

Министерство образования Республики Беларусь

Учреждение образования
«Полоцкий государственный университет»

А. И. Голембиевский

СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ

Учебно-методический комплекс
для студентов специальности 1-36 01 03 «Технологическое
оборудование машиностроительного производства»

Новополоцк
ПГУ
2009

УДК 621.9.06(075.8)
ББК 32.965я73
Г60

Рекомендовано к изданию методической комиссией
машиностроительного факультета в качестве учебно-методического
комплекса (протокол № 10 от 27.10.2008)

РЕЦЕНЗЕНТЫ:

директор ОАО «Технолит Полоцк» Л. В. ПЕТРОВ;
д-р техн. наук, проф., зав. каф. металлорежущих станков и инструментов
УО «ПГУ» В. А. ДАНИЛОВ

Голембиевский, А. И.

Г60 Системы управления технологического оборудования : учеб.-метод.
комплекс для студентов спец. 1-36 01 03 «Технологическое оборудование
машиностроительного производства» / А. И. Голембиевский. – Новопо-
лоцк : ПГУ, 2009. – 308 с.
ISBN 978-985-418-950-5.

Включает основное программное, методическое обеспечение и лекционный курс. Приведены в исторической последовательности сведения о диалектике развития систем управления технологического оборудования, основанного на резании.

Содержит классификацию систем управления по различным признакам. На этой основе рассмотрены как нечисловые, так и числовые системы автоматического управления оборудованием.

Приведен список учебной литературы, словарь специфических терминов, индивидуальные задания, контрольные и экзаменационные вопросы.

Предназначен для студентов машиностроительного факультета. Может быть полезен магистрантам соответствующих специальностей.

УДК 621.9.06(075.8)
ББК 32.965я73

ISBN 978-985-418-950-5

© Голембиевский А. И., 2009
© УО «Полоцкий государственный университет», 2009

ВВЕДЕНИЕ

Современная тенденция в методическом обеспечении учебного процесса в высшей школе – создание и использование учебно-методических комплексов (УМК) по дисциплинам учебного плана, включающих рабочую, учебную программу, методику изучения основных разделов дисциплины, конспект лекций, задания для управляемой, самостоятельной работы и примерный перечень экзаменационных вопросов. Использование УМК такого вида в учебном процессе является необходимым компонентом системно-методического обеспечения учебного процесса в высшей школе, а также условием введения образовательных стандартов. Принципиальное значение имеет УМК и для обеспечения управляемой самостоятельной работы студентов, на которую предполагается отводить не менее 20 % от общего количества часов, выделяемых учебным планом на изучаемую дисциплину. Для реализации современных тенденций образования, базирующихся на принципе «учить учиться», вероятно необходим УМК именно такого поколения, отличающийся от использовавшихся ранее, представляющих, по существу, набор составляющих его частей. Курс «Системы управления технологического оборудования» не является исключением из общего правила.

Динамика современного образовательного процесса, ведущая к уменьшению времени на изучение дисциплины, насыщение дисциплины фундаментальными основами науки о технологическом оборудовании, основанном на удалении части материала заготовки, и системах автоматического управления, рост объема информации, связанный с изменениями, происходящими в станкостроительной отрасли промышленности, выпускающей как традиционные станки с механическими связями, так и станки с числовым программным управлением, в том числе обрабатывающие центры, робототехнические комплексы, гибкие производственные модули, гибкие производственные системы требует иного, более гибкого подхода при подготовке инженера-механика.

Пионерная целевая функция УМК данного поколения:

- быть инструментом системно-методического обеспечения учебного процесса по данной дисциплине, его предварительного проектирования.

Производные целевые функции:

- объединять в единое целое различные дидактические средства обучения, подчиняя их целям подготовки современного инженера (исследователя, конструктора, механика);

- раскрывать требования к содержанию изучаемой дисциплины, к знаниям, умениям и навыкам выпускников, содержащимся в образовательном стандарте, и тем самым способствовать его реализации;

- служить накоплению новых знаний, новаторских технических идей и разработок, стимулировать развитие творческого потенциала;

– показать особенности патентной защиты как технологического оборудования, так и систем его управления на примерах реально существующих изобретений, разработанных на различных этапах развития отрасли.

Создание УМК такого поколения, базирующегося на принципах дидактики, сложная, многовариантная задача, решение которой должно способствовать формированию модели современного специалиста с университетским образованием.

Преимущества УМК – возможность изменения количества и состава разделов, направленности и содержательной части учебного процесса – позволяют гибко адекватно реагировать на изменяющиеся требования реальной промышленности и высшего образования в целом.

В историческом аспекте рассмотрена роль систем управления станочного оборудования в машиностроительном производстве. Приведены наиболее значимые на различных этапах развития станкостроительной отрасли производства пионерные технические решения и научные разработки. Показаны экономически целесообразные области использования в современном производстве технологического оборудования, оснащенного различными системами управления.

Рассмотрены наиболее общие положения науки о системах управления станками, справедливые как для ручного управления в человеко-машинной системе «станок – человек», так и для современного автоматического адаптивного управления. Рассмотрено понятие о системе автоматического управления, управляющей программе и ее реализации на программно-носителе. Приведена классификация систем автоматического управления по характеру информационных потоков, по форме задания управляющей программы, по виду управляющего сигнала.

Приведены схемы аналоговых систем автоматического управления, используемые в современных станках-автоматах. На конкретных примерах рассмотрено программирование обработки на таких автоматах.

Показаны принципиальные особенности систем числового программного управления (ЧПУ) от простейших систем класса NC до современных персональных систем управления класса PCNC. Рассмотрена укрупненная структура систем ЧПУ, хронология ее развития и классификация по различным признакам. Рассмотрены задачи (геометрическая, логическая, технологическая, терминальная), решаемые системой ЧПУ.

Рассмотрены основные устройства систем ЧПУ (исполнительные приводы, электродвигатели, считывающие устройства, измерительные преобразователи и т. п.).

На конкретных примерах приведены принципы программирования обработки на станках с ЧПУ, оснащенных различными системами ЧПУ.

ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ДИСЦИПЛИНЫ

Цель преподавания дисциплины. Основной технологической машиной в металлообработке всех типов производств является металлорежущий станок. Широкое распространение станков объясняется, прежде всего, универсальностью процессов обработки резанием, большой точностью и наименьшей шероховатостью получаемых на станках поверхностей обрабатываемых деталей, минимальной по сравнению с другими процессами обработки энергоемкостью, приходящейся на единицу объема удаляемого материала. Современная тенденция в области развития станкостроения как ведущей отрасли машиностроения это увеличение в общем парке станочного оборудования станков-автоматов, станков с числовым программным управлением, гибких производственных модулей, робототехнических комплексов, гибких производственных систем, оснащенных различными автоматическими системами управления.

Инженер специальности 1-36 01 03 «Технологическое оборудование машиностроительного производства» в практической работе связан не только с проблематикой конструирования, модернизации, исследования и обслуживания технологического (станочного) оборудования, но и выбора и/или конструирования систем автоматического управления этого оборудования. Оптимальное решение этой многовариантной задачи для различных типов производства определяет общий уровень развития станкостроения и машиностроительного производства в целом.

Металлорежущий станок, как техническая система, представляет собой объединение трех подсистем: кинематической структуры, подсистемы управления и компоновки, изучаемых соответствующими дисциплинами. Следовательно, дисциплину «Системы управления технологического оборудования» следует рассматривать в качестве базовой для названной специальности.

Цель преподавания дисциплины – это формирование мировоззрения в области управления, в первую очередь автоматического, технологическим оборудованием, обучение профессиональным знаниям, навыкам и умению решать задачи в данной области. При этом основное внимание при изучении дисциплины уделяется системам числового программного управления, как наиболее интенсивно развивающегося направления автоматизации управления металлорежущими станками и станочными комплексами.

Задачи изучения дисциплины. В соответствии с квалификационной характеристикой специалиста с университетским образованием при изучении дисциплины решается следующая задача: развитие мышления категориями науки о системах управления технологическим оборудованием и изучение основополагающих принципов их разработки.

Изучение дисциплины строится в преемственности с рядом предшествующих дисциплин – информатики; основ электроники и микропроцессорной техники; теории автоматического регулирования; гидро- и электрооборудования станков; технологического (станочного) оборудования.

В итоге изучения дисциплины студент должен знать:

- основные понятия и определения в области управления металлорежущими станками и классификацию их систем управления по различным признакам;
- виды, принцип работы и основы программирования аналоговых (механических) систем управления металлорежущими станками;
- обобщенную структуру, принцип работы и классификацию систем числового программного управления (ЧПУ);
- функции систем ЧПУ, методы их обеспечения и реализации в различных видах этих систем;
- элементную базу (основные блоки и принцип их работы) и управляемые исполнительные приводы;
- принципы организации связей между компонентами в системах ЧПУ;
- основы автоматизированного программирования с помощью CAD/CAM-системы среднего и верхнего уровня.

В итоге изучения дисциплины студент должен уметь:

- осуществлять ручное программирование временной и цикловой систем автоматического управления;
- осуществлять ручное программирование одной из систем ЧПУ токарных станков;
- осуществлять ручное программирование одной из систем ЧПУ фрезерных станков;
- осуществлять автоматизированное программирование токарных и фрезерных станков с ЧПУ с помощью систем программирования среднего уровня;
- осуществлять поиск информации по проблематике дисциплины в периодических научно-технических журналах и Интернете.

Знания, полученные при изучении дисциплины, используются в дипломном проектировании при конструировании станков с ЧПУ и при разработке технологических процессов при производстве режущих инструментов.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА

Рабочая программа составлена на основе типовой программы дисциплины «Системы управления станками и станочными комплексами», утвержденной УМО по специальностям автоматизированного производства от 21 февраля 1989 г. и базовой программы дисциплины «Автоматическое управление процессами и системами», утвержденной Советом машиностроительного факультета БНТУ (протокол № 3 от 26 ноября 2003 г.).

1. Лекционный курс

Введение (2 часа). Общие сведения об управлении металлорежущими станками и станочными комплексами: понятие о системе управления; управление в человеко-машинной системе «человек – станок». Автоматические системы управления, их качество, исходная система управления. Коэффициент автоматизации и коэффициент мобильности станочного оборудования. Классификация систем управления по информационным признакам, количеству и структуре потоков информации. Замкнутые и незамкнутые, непрерывные и дискретные системы управления. Управление циклом отдельного исполнительного органа, станка, станочного комплекса. Централизованное, децентрализованное и комбинированное управление. Управление отдельными параметрами исполнительного движения. Нечисловые и числовые системы управления: область использования, достоинства и недостатки.

Аналоговые системы управления (10 часов). Аналоговые (нечисловые) системы управления: временные, путевые, копировальные. Временные системы управления: вид программносителя, количество потоков информации, структура. Разновидности (классы) структуры временных систем управления. Области использования. Методика разработки управляющих программ. Путевые (в функции технологической готовности) системы управления: область использования, вид программносителя, количество потоков информации, структура, методика программирования. Система циклового программного управления как развитая путевая система управления. Область применения. Программирование параметров исполнительного движения, управление циклом работы станка. Пример программирования. Копировальные прямого копирования и копировальные следящие системы управления: вид программносителя, количество потоков информации, структура. Особенности обратной связи. Кон-

структивные особенности структуры некоторых копируемых систем. Пример разработки копира. Комбинированные аналоговые механические системы управления. Особенности аналоговых систем управления.

Системы числового программного управления (18 часов). Общие сведения о числовом программном управлении (ЧПУ). Классификация систем ЧПУ: по технологическому признаку, по аппаратной основе, по степени сервиса в общении с оператором (по диалогу с оператором). Митонимика в названиях устройств ЧПУ: NC, CNC, SHC, HNC, VNC, TNC, DNC, PCNC. Блок-схема устройства NC: структура, принцип работы. Блок-схема устройства CNC: структура, принцип работы. Понятие «система счисления». Десятичная, двоичная и двоично-десятичная системы счисления. Взаимные переводы чисел между системами. Арифметические операции над числами в различных системах счисления. Метод построения кодов букв и цифр. Код ИСО-7 бит. Кодирование символов кодом ИСО на перфоленте. Понятие синхродорожки и дорожки контроля на четность. Абсолютная и относительная системы координат. Программирование движений по прямой и дуге. Понятие дискретности устройства ЧПУ. Примеры простейших программ. Понятия «ноль станка», «ноль детали», «ноль инструмента». Алгоритм настройки системы отсчета. Корректоры программы. Понятие «цикл». Циклы глубокого сверления и сверления отверстий, расположенных на дуге окружности. Автоматическое изменение параметров при обработке цикла. Пример конструирования цикла глубокого сверления с уменьшающейся глубиной прохода. Многопроходные циклы обработки на токарных станках. Циклы точения устройства «Электроника НЦ-31». Эквидистантное программирование. Ручная подготовка управляющих программ. Алгоритм ручной подготовки программы. Пример подготовки программы для фрезерного станка. Безэквидистантное программирование. Система автоматизированной подготовки программ (САП). Структура САП. Назначение блоков САП. Введение в язык САП. Описание элементов контура. Программирование технологических функций. Правила оформления программы для САП. Пример программы для фрезерной обработки. Геометрические задачи ЧПУ. Фазы решения задач: формализация геометрического образа, кодирование, интерполяция. Понятие интерполяции применительно к приводу станка. Интерполяция методом оценочной функции. Понятие оценочной функции. Формула вычисления оценочной функции при движении по прямой (линейная интерполяция). Алгоритм управления приводом по методу

оценочной функции для прямой. Круговая интерполяция по методу оценочной функции. Формула оценочной функции и алгоритм интерполяции. Учет неравномерности контурной скорости в алгоритме интерполяции для окружности. Получение винтовой линии в случае применения алгоритмов круговой и линейной интерполяции в одном кадре.

Элементы устройств ЧПУ (8 часов). Устройства ввода программы. Фотоэлектрические считывающие устройства. Измерительные преобразователи (датчики обратной связи) импульсные, кодовые, фазовые. Интерполяторы: принцип работы. Структурные схемы линейных и круговых интерполяторов, работающих по методу оценочной функции. Структурная схема системы синхронизации, работающая в режиме ведущая-ведомая координаты. Структурная схема системы синхронизации, работающая в режиме независимых координат с эталонным генератором в качестве задатчика.

Практические схемы устройств ЧПУ (12 часов). Разновидности, область использования. Импульсно-шаговая СЧПУ. Позиционная СЧПУ. СЧПУ с импульсным датчиком и преобразователем «код-напряжение». Импульсно-фазовая СЧПУ. Микропроцессорные системы ЧПУ. Обобщенная структура микропроцессора. Алгоритм работы. Секционированные микропроцессорные модули с микропрограммным управлением. Структура вычислителя: магистрально-модульный принцип. Понятие «шина данных адреса». Понятие интерфейса. Параллельный и последовательный интерфейсы. Программируемый контролер (ПК): структура, принцип работы. Язык релейно-контактных схем и мнемокоды для программируемых контролеров. Аппаратная реализация контролера в зависимости от способа управления следящим приводом подачи. Программируемый контролер: аппаратная реализация, способ подключения к панели оператора устройства ЧПУ. Программирование обработки.

Компьютерные системы управления класса PCNC: понятие виртуальной управляющей машины, структура программно-математического обеспечения, архитектура системы управления.

Гибкие производственные системы (4 часа). Структура типовой ГПС. Анализ ее работы и выбор программных и аппаратных средств управления ГПС. Включение ГПС в систему полностью автоматизированного производства. Стратегия управления ГПС. Упрощенный алгоритм работы программы-диспетчера ГПС.

2. Лабораторные работы

№ пп	Тема работы	Время (час)	Оборудование	Форма контроля
1	2	3	4	5
1.	Изучение кода ИСО-7 бит для программирования обработки на станках с ЧПУ.	2		Письменный отчет
2.	Изучение языка релейно-контактных схем и мнемкокода для ПК «МикроДат».	2		Письменный отчет
3.	Изучение РТК на базе станка модели 2К135Ф2 и ПР модели РФ-202М. Программирование работы РТК.	4	РТК: станок 2К135Ф2-ПР РФ-202М	Письменный отчет
4.	Изучение системы управления «обрабатывающего центра» модели КС12-500М. Ручная подготовка управляющей программы и ее отработка.	4	Обрабатывающий центр модели КС12-500М	Письменный отчет
5.	Изучение системы управления токарного станка модели 16Б25ПФ3. Подготовка управляющей программы и ее отработка.	4	Станок модели 16Б25ПФ3	Письменный отчет
6.	Изучение фрезерного станка модели 6Р11МФ3. Подготовка управляющей программы и ее отработка.	4	Станок модели 6Р11МФ3	Письменный отчет
7.	Изучение следящей гидрокопировальной системы управления.	4	Станок модели 1722	Письменный отчет
8.	Изучение системы управления ПР «Универсал-5». Программирование работы.	4	ПР «Универсал-5»	Письменный отчет
9.	Изучение системы управления ПР «Циклон-5». Программирование работы.	4	ПР «Циклон-5»	Письменный отчет

МЕТОДИКА ИЗУЧЕНИЯ ОСНОВНЫХ РАЗДЕЛОВ ДИСЦИПЛИНЫ

Введение в системы управления

Наблюдая за работой системы «человек – станок» при обработке даже относительно простой детали, нетрудно заметить, что ручное управление процессом осуществляется по вполне определенной программе, которую предварительно составил для себя человек. Таким образом, в человеко-машинной системе человек, являясь носителем управляющей программы, выполняет функцию системы управления. Основное преимущество станков с ручным управлением – универсальность и высокая мобильность, т. е. возможность быстрой переналадки на обработку других деталей. Тем не менее еще в начале 20-го столетия создатели станочного оборудования начали интенсивный поиск технических решений, цель которого создание автоматизированного оборудования, или систем автоматического управления этим оборудованием. Поэтому при изучении данного раздела необходимо:

- обратить особое внимание на объективную необходимость перехода от ручного управления станочным оборудованием к созданию систем автоматического управления этим оборудованием на различных этапах промышленного развития;

- оценить экономическую целесообразность создания автоматизированного и автоматического станочного оборудования на исторических этапах экономического развития;

- обратить внимание на объективную необходимость перехода от отдельных станков-автоматов к автоматизированным станочным комплексам;

- понять диалектику качественного изменения систем управления станочным оборудованием и станочными комплексами на различных этапах развития машиностроения;

- уяснить значение пионерных технических решения в области механики, гидромеханики, электромеханики и электроники для развития систем управления станочным оборудованием;

- понять связь станковедения – науки о металлорежущих станках – с логикой развития систем управления станочным оборудованием и станочными комплексами;

- понять сущность терминологии, используемой при изучении систем управления станочным оборудованием, и ее связь с терминологией дисциплины «Станочное оборудование»;

- понять рациональность классификации систем управления по информационным признакам;
- уяснить принципиальную разницу в преобразовании информации при ручном и автоматическом управлении станочным оборудованием;
- обратить внимание на логику понятий «коэффициент автоматизации» и «коэффициент мобильности» станочного оборудования и определить усредненные значения этих коэффициентов для различных групп станков, изученных в дисциплине «Станочное оборудование».

Вопросы для самопроверки:

1. Охарактеризуйте значение системы «человек – станок» в истории развития систем управления станочным оборудованием.
2. Охарактеризуйте исторические этапы развития систем управления станочным оборудованием от ручного управления до числового и покажите связь этих этапов с развитием других областей знаний.
3. Раскройте сущность понятий «станок-автомат» и «станок-полуавтомат». Приведите конкретные примеры на основе знаний, полученных при изучении дисциплины «Станочное оборудование».
4. Охарактеризуйте поколения станков с ЧПУ. Покажите, исходя из экономической целесообразности, право на существование каждого поколения этих станков.
5. Раскройте сущность понятия «цикл обработки» и его структуру. Раскройте влияние элементов структуры цикла на производительность и качество обработки.
6. Раскройте сущность понятия «система управления» и охарактеризуйте функциональное назначение составляющих ее устройств.
7. Охарактеризуйте классификацию систем управления по информационным признакам. Назовите источники информации, используемые в системах управления и их влияние на качество обработки деталей.
8. Раскройте сущность типовых блок-схем систем управления с различным количеством потоков информации.
9. Опишите процесс преобразования информации чертежа детали в циклы работы станков, оснащенных различными системами управления.
10. Раскройте сущность понятий «коэффициент автоматизации» и «коэффициент мобильности» станка. Приведите конкретные примеры.
11. Охарактеризуйте сущность цифровой индикации и особенности ее использования на различных этапах развития систем управления станочного оборудования.

Аналоговые системы управления

Данный раздел посвящен изучению аналоговых (механических) систем управления станочным оборудованием. К этим системам в логической последовательности их создания относятся временные, копировальные и цикловые (развитые путевые) системы управления, основанные на механике, гидромеханике и электромеханике.

Временные системы управления особенно широко применяются в универсальных и специальных автоматах и полуавтоматах для изготовления относительно несложных деталей в массовом, крупносерийном и в ряде случаев серийном производстве. В этой группе автоматизированных станков система управления встраивается непосредственно в кинематическую структуру станка. По сложившейся традиции в дисциплине «Станочное оборудование» такую систему управления называют группой подачи, что недостаточно корректно.

Основу временной системы управления составляет распределительный вал (РВ), на котором в соответствии с циклограммой работы станка установлены профильные и командные кулачки. Профильные кулачки несут задающую информацию о параметрах «путь» и «скорость», а командные – о последовательности выполнения переходов цикла. При этом функцию блока ввода программы выполняет РВ. А орган настройки (гитара сменных зубчатых колес), связывающая электродвигатель системы управления с РВ, по существу, задает время выполнения цикла обработки через количество оборотов электродвигателя, соответствующих одному обороту РВ, за который осуществляется цикл.

По некоторым конструктивным особенностям, связанным со сложностью изготавливаемых деталей, качеству и производительности временные системы управления автоматизированных станков классифицируют по принципу выполнения холостых ходов на три группы, отличающиеся конструктивной сложностью и временем выполнения холостых ходов.

Во временных системах управления используется только канал задающей информации. Поэтому точность их работы определяется качеством выполнения профильных кулачков-программоносителей.

При изучении временных систем управления, исходя из изложенного, необходимо прежде всего понять сущность диалектики развития этих систем от простой к более сложной в триаде, состоящей из трех групп временных систем, различающихся структурной сложностью и особенностями их настройки. Затем рассмотреть структуру каждой из групп систем

управления и уяснить принцип задания цикла обработки и расчетных перемещений для органа настройки (гитара сменных зубчатых колес), синхронизирующего (согласующего) цикл с одним оборотом РВ. После изучения структурных схем временных систем управления рассмотреть полную кинематическую структуру этих систем, используемых в ряде станков-автоматов и полуавтоматов токарной и зубообрабатывающей групп, рассмотренных при изучении дисциплины «Станочное оборудование».

В заключение изучите методику разработки программноносителей (кулачков) на примере программирования обработки на токарно-револьверном автомате.

Копировальные системы управления получили широкое распространение в специализированных станках преимущественно токарной и фрезерной групп, например, моделей 1Б732, 6Б444, 6445, 6М42К и др. для обработки деталей с плоским и объемным криволинейным профилем по одной (вторая независимая), двум и трем координатам. Благодаря возможности быстрой смены программноносителя станки, оснащенные копировальными системами управления используют при автоматизации серийного производства.

Автоматизированные станки, оснащенные копировальными системами управления менее универсальны, чем автоматы и полуавтоматы, оснащенные временными системами управления, а их коэффициенты автоматизации и мобильности приблизительно соответствуют этим коэффициентам названных автоматов и полуавтоматов.

Многообразие копировальных систем по принципу функционирования состоит из двух подмножеств: систем прямого копирования и следящих копировальных систем. Исторически первыми являются системы прямого копирования. Простейшей конструкцией является предложенная А. Нартовым в начале 18-го столетия и использованная им в токарно-копировальных станках система прямого копирования. Позже системами прямого копирования стали оснащать вертикально-фрезерные станки для обработки плоских профильных кулачков.

Прямое копирование осуществляется посредством передачи движения от копира к режущему инструменту. Это имеет существенный недостаток: одни и те же элементы конструкции используются как для управления, так и для перемещения исполнительных органов. Сила, необходимая для перемещения инструмента относительно заготовки может достигать тысяч ньютонов, а передается она через те же копир и ролик, которые служат для управления системой. Поэтому детали и узлы системы управления

для обеспечения требуемой точности обработки и длительного срока службы самой системы должны обладать большой прочностью, жесткостью и износостойкостью. Необходимость соблюдения этих требований приводит к созданию крупногабаритных, тяжелых конструкций, что в настоящее время нецелесообразно. Тем не менее, изучение копировальных систем для понимания сущности их работы необходимо начать со знакомства с системами прямого копирования и только затем приступить к изучению следящих копировальных систем.

Для понимания сущности функционирования следящих копировальных систем рекомендуется сначала рассмотреть устройство для гидромеханического копирования при фрезеровании плоского кулачка. При этом необходимо особое внимание обратить на существенную особенность этого устройства: оно представляет собой следящую систему, в которой исполнительный орган повторяет движение управляющего органа не будучи с ним непосредственно связанным, как это имеет место при прямом копировании.

Затем на абстрактном уровне необходимо рассмотреть функциональную схему следящей системы и ее поведение во время переходных и установившихся режимов работы по соответствующим графикам.

В заключение следует изучить типовые схемы следящих систем, различающиеся как видом источника задающего сигнала, так и конструктивным исполнением.

Цикловые системы программного управления применяют, преимущественно, для управления станками токарной и фрезерной групп (например, моделей 1723, 1А341Ц, 1416Ц, 6С12Ц, 6Р13Ц и др.), а также агрегатными станками и промышленными роботами (например, Универсал-5, Циклон и др.).

Прежде всего необходимо осмыслить диалектику перехода от ручного управления в системе «человек – станок» к данному виду автоматического программного управления. Это возможно на основе следующих рассуждений. При управлении станком вручную рабочий, зная программу управления, постоянно следит (обратная связь) за ее точным выполнением управляя перемещениями стола, несущего обрабатываемую заготовку при фрезеровании, или перемещениями суппорта, несущего инструмент при точении. При этом величину рабочего перемещения (параметр «путь») он отслеживает (ограничивает) по лимбу (зрительному упору) на маховике соответствующего исполнительного органа. Такой принцип управления с постоянной скоростью движения исполнительных органов, характерный

для универсальных станков с ручным управлением, принято называть путевым, или в функции технологической готовности. При более сложном цикле, когда последовательно обрабатывается несколько различных поверхностей одним или несколькими инструментами (например, на токарно-револьверном станке), величину рабочего перемещения на каждом переходе рабочий ограничивает соответствующими жесткими упорами, смонтированными на поворачивающемся барабане, и включает механическую подачу суппорта. Выключение подачи осуществляется автоматически при набегании суппорта на упор посредством «падающего» червяка червячной передачи, расположенной в кинематической цепи привода подачи.

В первом из приведенных примеров умственный и физический труд рабочего участвует в формообразовании обрабатываемой детали, а во втором – преимущественно, только в управлении циклом обработки. Таким образом, во втором примере рабочий выполняет функцию системы путевого управления. В зависимости от сложности цикла возможны два варианта передачи этой функции системе автоматического управления. По первому варианту при простых циклах обработки на пути упоров, смонтированных на исполнительных органах или на базовых элементах, по которым перемещаются исполнительные органы, устанавливают конечные переключатели и соединяют их с электросхемой, содержащей ряд реле, обеспечивающих последовательность переходов исполнительных органов в цикле. По существу, совокупность реле является коммутатором автоматического управления при простом цикле обработки. В частности по такой схеме выполнена путевая система автоматического управления циклом нарезания цилиндрических зубчатых и червячных колес червячными фрезами на зубофрезерных станках, изученных в дисциплине «Станочное оборудование». Например, цикл нарезания зубчатого колеса имеет вид: **быстрый подвод стола с заготовкой по координате X в зону резания $\rightarrow$ рабочий ход суппорта фрезы по координате $Z \rightarrow$ быстрый отвод стола с заготовкой по координате $X \rightarrow$ быстрое перемещение суппорта фрезы по координате $Z \rightarrow$ повторение цикла после установки новой заготовки.**

Коммутатор управляет циклом обработки по алгоритму, заложенному на стадии проектирования и его программная перестройка невозможна. Поэтому по второму варианту при сложных циклах, включающих смену режущего инструмента, режимов обработки и других элементов цикла, в релейную схему включают центральный командоаппарат, который легко позволяет изменять схему последовательности рабочих и вспомогательных переходов цикла обработки т.е. перестраивать алго-

ритм цикла обработки. Полученную таким образом систему автоматического управления, построенную на аналоговом принципе управления параметрами движения исполнительных органов, принято называть системой циклового программного управления (ЦПУ).

Затем на абстрактном уровне следует подробно рассмотреть обобщенную функциональную схему системы ЦПУ и методику проектирования цикла перемещений исполнительного органа на примере фрезерования поверхностей на вертикально-фрезерном станке. После этого следует изучить основные узлы (устройства) системы ЦПУ.

В заключение необходимо рассмотреть практические схемы систем ЦПУ, разработанные на различных этапах развития этого класса систем программного управления.

Вопросы для самопроверки:

12. Охарактеризуйте принцип работы временной системы управления и область ее использования. Приведите конструктивные примеры физических программносителей этой системы. Назовите параметры настройки, задаваемые на программносителях.

13. Приведите структурные схемы временных систем управления 1, 2, 3 групп. Поясните принцип их работы. Выведете расчетные перемещения для органа настройки, согласующего цикл обработки с 1 оборотом программносителя (распределительного вала). Обоснуйте связь сложности обрабатываемых деталей с конструктивными особенностями используемых временных систем управления.

14. Приведите формулы цикловой производительности автоматов, оснащенных временными системами управления и на основе их анализа покажите группы автоматов для наиболее эффективного их использования.

15. Изложите методику проектирования цикла обработки на токарно-револьверном автомате. Опишите методику разработки кулачков-программносителей.

16. Изложите методику проектирования цикла обработки на многошпиндельном токарном автомате последовательного действия.

17. Опишите конструкцию временной системы управления токарно-револьверного автомата модели 1Е140.

18. Опишите конструкцию временной системы управления многошпиндельного автомата последовательного действия модели 1Б240 – 6.

19. Оцените значение изобретения копировальной системы управления для станкостроения. Назовите две разновидности копировальных систем, различающиеся по принципу функционирования; назовите их достоинства и недостатки; укажите область предпочтительного использования.

20. Приведите одну – две схемы прямого копирования, поясните сущность их функционирования, обоснуйте их достоинства и недостатки и на этой основе назовите область и уровень использования в станках.

21. Приведите схему системы следящего копирования и поясните сущность следящего копирования. Обоснуйте достоинства и недостатки систем следящего копирования.

22. Приведите обобщенную функциональную схему системы следящего копирования. Охарактеризуйте поведение следящей системы во время переходных и установившихся режимов работы. Назовите основные показатели работы следящих систем.

23. Назовите типы следящих копировальных систем. Приведите одну – две схемы. Укажите предпочтительные области их применения. Обоснуйте достоинства и недостатки.

24. Приведите схему следящей копировальной системы, работающей по методу включено – выключено и поясните ее работу.

25. Приведите схему следящей копировальной системы, работающей по методу слежения и поясните ее работу.

26. Приведите схему копировального устройства с индуктивным датчиком и поясните его работу.

27. Приведите схему простой гидравлической следящей копировальной системы и поясните ее работу.

28. Приведите схему гидравлической следящей копировальной системы с зависимыми подачами в продольном и поперечном направлениях и поясните ее работу.

29. Приведите схему фотоэлектрической головки следящей копировальной системы, поясните ее работу. Укажите достоинства и недостатки фотокопировальной системы управления.

30. Изложите методику перехода от ручного управления в системе «человек-станок» к системе циклового программного управления.

31. Приведите функциональную схему системы циклового программного управления и охарактеризуйте назначение входящих в нее устройств.

32. Нарисуйте эскиз несложной детали типа валики и составьте возможный цикл переходов при его обработке на токарном станке с цикловой системой управления.

33. Опишите назначение устройства задания и ввода программы систем циклового программного управления. Охарактеризуйте простой коммутатор и центральный командоаппарат. Приведите примеры групп станков, в которых они используются.

34. Приведите схему центрального командоаппарата, называемого штеккерной панелью, и опишите принцип его работы.

34. Приведите общую блок-схему системы циклового программного управления на примере токарного станка и опишите принцип ее работы.

35. Изложите сущность циклового программного управления токарным станком с применением в качестве программносителя перфоленты (станок с цикловым программным управлением профессора А. Л. Глейзера, 1948 г.). Приведите схему центрального командоаппарата этого станка и сравните ее со считывающими устройствами современных станков с числовым программным управлением.

Числовые системы управления

Появление систем числового программного управления (ЧПУ) связано с развитием технической кибернетики, электроники, вычислительной техники и внедрением в производство ЭВМ. Станочное (технологическое) оборудование, оснащенное системами ЧПУ, обладает преимуществами аналоговых систем автоматического управления, выполняемых на основе механики, электромеханики и гидромеханики, и вместе с тем лишены их недостатков. Предпочтительная область использования станочного оборудования, оснащенного системами числового управления, – многономенклатурное производство при небольших партиях деталей с неустойчивым видом продукции.

В данную группу входят как системы, обеспечивающие статическую настройку параметров обработки, так и выполненные на их базе системы, обеспечивающие динамическую настройку, называемые адаптивными. Начало промышленного применения станков с ЧПУ относится к 1957 – 1960 г. Сначала станки с ЧПУ пришли на смену копировально-фрезерным станкам для обработки фасонных поверхностей: жесткий программноситель-копир заменила перфолента, которая позволила ввести числовой (цифровой) метод задания программы (информации). По мере совершенствования системы ЧПУ стали использовать в других группах станков.

Системы, обеспечивающие статическую настройку параметров обработки. При изучении систем управления этого типа рассматриваются основы ЧПУ. К этим основам в логической последовательности относятся:

- классификация систем ЧПУ и на этой базе общая структура этих систем управления;
- задачи решаемые системами ЧПУ: геометрическая, логическая, технологическая и терминальная;

- элементная база и агрегаты устройств ЧПУ, современные электродвигатели и исполнительные приводы станков с ЧПУ;
- микропроцессорные системы ЧПУ и системы управления на основе персонального компьютера.

При изучении дисциплины «Станочное (технологическое) оборудование» было установлено, что многообразие кинематических групп, воспроизводящих то или иное исполнительное движение, можно разделить на два вида. Один вид составляют простые группы, в которых параметр «траектория» не настраивается, а другой вид – сложные группы, в которых обязательна настройка этого параметра. Этот признак, который можно назвать технологическим, также используется на первом уровне классификации систем ЧПУ. Поэтому изучение сущности структуры базовых систем ЧПУ типа NC и CNC необходимо связать с их использованием на примерах конкретных групп, составляющих кинематическую структуру ряда станков (сверлильных, расточных, токарно-винторезных, фрезерных и др.). Затем на примере блок-схему внешних взаимодействий устройства ЧПУ рассмотрите в исторической последовательности функции (решаемые задачи) системы ЧПУ.

При изучении геометрической задачи, решаемой системой ЧПУ, прежде всего необходимо освоить расположение осей координат по стандарту ISO-R841, в основу которого положено известное из курса физики правило правой руки. При этом следует учесть, что за положительное направление по каждой координате принимается то, при котором инструмент или заготовка отходят друг от друга. Затем следует изучить код ISO-7bit для программирования обработки, структуру кадра и порядок его расположения на программноносителе на примере перфоленты. На следующем этапе необходимо рассмотреть конкретный пример решения геометрической задачи при контурной обработке детали. Этот пример обеспечивает знакомство с новыми понятиями: опорная точка, рабочий кадр, буферный кадр, активация кадра, используемыми при обсуждении алгоритмов работы систем (устройств) ЧПУ.

Функции системы ЧПУ не исчерпываются выполнением формообразующих переходов. На современных станках с ЧПУ автоматизированы многочисленные вспомогательные переходы, которые следует называть переходами технологического обеспечения. Управление этими переходами осуществляется цикловой автоматики, решающей логическую задачу. Причем отдельные переходы инициируются управляющими сигналами программы, а условия их смены формируются под влиянием осведоми-

тельных сигналов, поступающих от объекта управления. Логическая задача распадается на некоторое число независимых подзадач, где каждая отдельная подзадача описывает циклический процесс некоторого объекта (механизма) на станке. Для понимания сущности решения логической задачи достаточно рассмотреть ее решение на примере дискретного механизма автоматической смены инструмента. Такая смена инструмента осуществляется двумя независимыми циклами: циклом поиска нужного инструмента в магазине, вызываемого по имени, состоящему из адреса T и кода инструмента, и циклом смены инструмента по имени $M06$. Как правило, цикл поиска очередного инструмента совмещают с обработкой предыдущим инструментом. Используя в третьем разделе конспекта лекций механизм смены инструмента и обобщенную схему инструментального магазина, следует рассмотреть организацию цикла смены инструмента и алгоритм его функционирования. Затем необходимо ознакомиться с формализованным описанием цикла на основе аппарата теории графов. В заключение решения логической задачи можно рассмотреть структуру функционального автомата как обобщенную модель решения логической задачи и общую конфигурацию системы управления цикловой автоматикой.

В общем случае технологическая задача состоит в достижении требуемого качества деталей. Причем основным показателем качества является точность, под которой понимают степень ее приближения к геометрически правильному прототипу, включая учет макрогеометрии, а также волнистость и шероховатость. При рассмотрении технологической задачи, решаемой ЧПУ, основное внимание необходимо уделить статической настройке детали, под которой понимают процесс управления первоначальным установлением точности относительно позиционирования и положения инструмента, станка и приспособления, т. е. в согласовании на уровне управления трех координатных систем: станка, детали, инструмента. Параметры согласования хранят в виде корректур инструмента в памяти устройства ЧПУ, под которым понимают координаты исполнительных поверхностей инструмента в системе координат станка. В этом принципиальное отличие систем ЧПУ от аналоговых (механических) систем автоматического управления. Корректуры используют по программе в виде размерной поднастройки, которую можно рассматривать как компонент статической настройки. На этой основе и следует рассматривать способ решения технологической задачи управления качеством обработки по принципу «как сделать».

Элементная база ЧПУ, осуществляющая элементарные операции, относится к одной из следующих групп: логические, хранения информации (памяти), арифметические, шифрования и дешифрования. Для построения блоков, выполняющих перечисленные операции, используется система логических элементов, осуществляющих дискретное логическое управление на основе специального математического аппарата – алгебры логики. В этой алгебре двоичное переменное может быть равно 1 или 0, что соответствует наличию или отсутствию входного сигнала. Функция этого переменного может быть также равной 1 или 0. Поэтому при изучении элементной базы ЧПУ сначала необходимо рассмотреть функции базовых логических элементов на примерах релейно-контактных схем, обеспечивающих максимальную наглядность. Затем следует рассмотреть блоки памяти (триггеры, регистры), арифметические блоки (сумматоры, двоичные счетчики унитарных импульсов, реверсивные счетчики).

Необходимость в шифровании возникает чаще всего при преобразовании десятичного кода в двоичный, а надобность в дешифрации на обратном преобразовании. Для построения шифраторов и дешифраторов используются так называемые «переключательные функции». Поэтому при изучении шифраторов и дешифраторов сначала необходимо познакомиться с названными функциями, а затем на фрагментах релейно-контактных схем изучить принцип работы этих блоков.

При изучении агрегатов устройств ЧПУ необходимо обратить внимание на то, что закодированная управляющая программа управления может быть представлена на различных программоносителях – перфоленте, магнитной ленте, магнитном диске. Перфолента – исторически наиболее ранний программоноситель постепенно вытесняется магнитной лентой и магнитным диском. Тем не менее при изучении принципов считывания управляющей информации основное внимание следует обратить на типовое устройство, обеспечивающее считывания информации с перфоленты, что позволяет наиболее полно понять сущность кодов для программирования обработки.

Для обеспечения функциональной связи между исполнительными органами в сложных кинематических группах, воспроизводящих траекторию исполнительного (формообразующего) движения в устройствах ЧПУ, используются интерполяторы и системы отслеживающей синхронизации.

В основу работы интерполятора положен принцип замены воспроизводимой линии (контура) ломаной линией с использованием соответствующего математического аппарата, преимущественно метода оценочной

функции и метода дифференциальных анализаторов. Поэтому при изучении интерполяторов сначала необходимо на примере, приведенном в конспекте лекций, рассмотреть принцип замены (аппроксимации) криволинейного контура ломаной линией и ее ручным программированием на примере простейшего линейного интерполятора. Это позволит понять объективную необходимость отказа от рутинного ручного программирования контура и использования простейшего интерполятора. Затем следует подробно рассмотреть процесс вычисления оценочной функции при решении геометрической задачи интерполяции прямой и дуги окружности и функциональную схему линейно-кругового интерполятора, обеспечивающего вычислительный процесс. В заключении необходимо ознакомиться с вычислительным процессом при интерполяции по методу цифровых дифференциальных анализаторов и функциональными схемами соответствующих интерполяторов.

Система отслеживающей синхронизации используется в кинематических группах, воспроизводящих станочное зацепление, имитирующее зацепление пары зубчатых колес, колеса с зубчатой рейкой, гайки с винтом и тому подобными механизмами. Возможны две базовые схемы отслеживающей синхронизации: классическая схема, работающая по принципу «задающая – ведомая координаты», и относительно новая – производная, работающая по принципу «равнозначные координаты». Необходимо изучить обе схемы. Затем следует на основе знаний, полученных при изучении дисциплины «Станочное (технологическое) оборудование» выявить кинематические группы, в которых могут быть использованы эти схемы отслеживающей синхронизации. Заменить в этих кинематических группах механические связи отслеживающей синхронизацией. Выявить в полученных таким образом группах с электронными связями между исполнительными органами блоки, выполняющие функцию органов настройки на траекторию и скорость.

В системах ЧПУ, замкнутых по положению, т. е. имеющих канал информации о ходе выполнения процесса обработки, используются три типа датчиков обратной связи: импульсные, кодовые и фазовые, преобразующие перемещение исполнительного органа в электрический сигнал. Импульсные датчики преобразуют перемещение исполнительного органа в унитарный код. Среди этих датчиков наиболее распространены фотоэлектрические. Поэтому необходимо подробно рассмотреть функциональную схему именно такого датчика. При этом особое внимание следует обратить на логику определения направления движения исполнительного органа «Вперед» и «На-

зад». Кодовые датчики преобразуют перемещение исполнительного органа в реальном времени в код, на котором задана управляющая информация, например в коде ISO-7bit. В этих датчиках также используется фотоэлектрическое явление. При их изучении необходимо понять сущность исключения ошибки при воспроизведении информации (методы дискредитации и V-образного считывания). В системах ЧПУ еще можно встретить фазовые датчики, среди которых наиболее распространены линейные и круговые индуктосины. Поэтому необходимо также познакомиться с конструкцией и принципом работы различных датчиков этой группы.

В исполнительных приводах станков с ЧПУ широко используются регулируемые электродвигатели различных конструкций. Поэтому при изучении приводов таких станков предварительно необходимо познакомиться с конструкциями и техническими характеристиками современных электродвигателей, используемых как в приводах главного движения (скорости резания), так и в приводах подач.

В приводах главного движения достаточно широко используют электродвигатели постоянного тока с тиристорным преобразователем напряжения. Необходимо сначала изучить схему варианта тиристорного привода. А затем рассмотреть структуру и принцип функционирования агрегатов, составляющих схему тиристорного преобразователя.

В приводах подач используют как шаговый, так и следящий приводы. Шаговый привод – это простейший вариант исполнительного позиционного привода подачи. Этот привод не допускает применения эффективных средств коррекции и оптимизации процесса обработки. Тем не менее он сохраняет свое значение в ситуациях меньшей ответственности, когда на первый план выступают экономические соображения. Поэтому необходимо рассмотреть типовую функциональную схему шагового привода и уяснить его достоинства и недостатки, определяющие область его использования.

Повышение жесткости и точности узлов станков, увеличение ускоренных ходов, необходимость работы электродвигателей в режимах разгона и торможения, уменьшение дискретности до 1 мкм обусловило объективную необходимость для создания быстродействующих приводов с высокой статической и динамической настройкой. Этим требованиям удовлетворяет следящий тиристорный привод с высокомоментным низкооборотным электродвигателем постоянного тока. В современных станках с контурной системой ЧПУ такой привод является основным. Поэтому необходимо вернуться к рассмотрению особенностей конструкции высокомоментных электродвигателей, а затем изучить общую структуру следя-

щего привода с таким электродвигателем. В заключение в качестве примера использования следящего привода следует рассмотреть функциональную схему такого привода одной координаты с импульсным датчиком и преобразователем «код-напряжение».

Повышение требований к качеству (точности) обработки резанием создало объективные предпосылки для создания адаптивных систем управления. Характерная особенность таких систем – автоматическая коррекция исходной управляющей программы по дополнительным каналам обратной связи на основе использования информации о параметрах процесса резания. В этом случае при решении технологической задачи на основе принципа «как сделать» управляющая программа приобретает характер задания типа «что сделать». Такой характер задания (адаптации) управляющей программы называют динамической настройкой. В процессе резания измеряют параметры динамической настройки с помощью датчиков силы резания и крутящего момента на шпинделе, датчиков температуры, датчиков деформаций и смещений и др. Такая информация при соответствующей ее обработке позволяет управлять динамической настройкой. Системы, реализующие данный способ управления процессом резания называют адаптивными предельного регулирования. В станках с ЧПУ преимущественное применение в силу относительной простоты реализации и эксплуатации нашли системы названного вида адаптивного управления.

Другая часть технологической задачи связана с управлением эффективностью (экономичностью) обработки. Обычно под экономичным режимом резания понимают такой период стойкости инструмента и соответствующие ему параметры режимов резания, при которых стоимость операции будет наименьшей. Эта проблема актуальна в отношении черновых операций. Математическая формулировка этой проблемы может быть различной. Системы управления, обеспечивающие поиск и поддержание технологических параметров рабочего процесса, удовлетворяющие критерию оптимизации называются адаптивными оптимального регулирования.

Таким образом, при изучении адаптивного управления необходимо рассмотреть сущность динамической настройки и обобщенную структурную схему, объединяющую оба типа адаптивных систем.

Далее необходимо познакомиться со средствами измерения параметров резания, используемыми в адаптивных системах управления. Затем рассмотреть структурную схему системы адаптивного предельного регулирования процесса резания на токарном станке с ЧПУ. И в заключение познакомиться со стратегией оптимизации режимов резания при использовании адаптивного оптимального регулирования.

Из дисциплины «Станочное оборудование» известно, что к вспомогательным функциям относятся все действия (движения), кроме движений формообразования, деления и врезания. В станках с ЧПУ каждая вспомогательная функция выполняется соответствующим функциональным автоматом, включающим двигательный, передаточный и исполнительный механизмы.

Особенностью вспомогательных механизмов станков является обработка повторно-кратковременных циклов, при которых двигатель работает в режиме многократного разгона-торможения. Наиболее характерным примером вспомогательного механизма, функционирующего в таком режиме является револьверная головка токарного станка с ЧПУ. На ее примере и следует рассмотреть управление вспомогательными механизмами.

Вопросы для самопроверки:

1. Приведите блок-схему и поясните принцип преобразования информации чертежа детали при использовании станка с ЧПУ.
2. Опишите классификацию систем ЧПУ по технологическому признаку и покажите ее связь с видом кинематических групп, воспроизводящих исполнительные движения.
3. Приведите блок-схемы систем ЧПУ типа NC и CNC и поясните принцип их функционирования.
4. Приведите блок-схему внешних взаимодействий устройства ЧПУ и охарактеризуйте функции устройства ЧПУ. Опишите в исторической последовательности задачи, решаемые системой ЧПУ.
5. Охарактеризуйте правила задания координат по стандарту ISO-R841 и приведите примеры расположения координат на универсальных станках.
6. Опишите геометрическую задачу, решаемую системой ЧПУ. Проиллюстрируйте решение на конкретном примере при контурной и при координатной обработке.
7. Охарактеризуйте семантику кода ISO-7bit для программирования обработки на станках с ЧПУ.
8. Приведите полную структурную схему кадра и охарактеризуйте назначение каждого технологического адреса. Приведите примеры использования технологических адресов при программировании обработки.
9. Изложите сущность логической задачи, назовите и охарактеризуйте переходы технологического обеспечения.
10. Опишите решение логической задачи на примере револьверной головки на 12 инструментов токарного станка с ЧПУ.

11. Изложите сущность решения технологической задачи по принципу «как сделать» на станке с ЧПУ.

12. Приведите схемы релейно-контактных базовых логических элементов НЕ, И, ИЛИ, ИЛИ-НЕ, И-НЕ и Инвертора.

13. Приведите фрагмент релейно-контактной схемы шифратора и объясните принцип его работы.

14. Приведите фрагмент релейно-контактной схемы дешифратора и объясните принцип его работы.

15. Изложите сущность аппроксимации криволинейного контура ломаной линией и принцип его ручного программирования. Приведите недостатки такого решения геометрической задачи.

16. Приведите блок-схему линейного интерполятора и поясните принцип его работы.

17. Изложите сущность решения геометрической задачи по методу оценочной функции на примере интерполяции прямой.

18. Изложите сущность решения геометрической задачи по методу оценочной функции на примере интерполяции дуги окружности.

19. Изложите сущность решения геометрической задачи на основе цифровых дифференциальных анализаторов на примере интерполяции прямой или дуги окружности.

20. Приведите блок-схему системы отслеживающей синхронизации, функционирующей по принципу «задающая – ведомая координаты» и объясните принцип ее работы.

21. Приведите блок-схему системы отслеживающей синхронизации, функционирующей по принципу «равнозначные координаты» и объясните принцип ее работы.

22. Приведите функциональную схему импульсного измерительного преобразователя и объясните принцип его работы.

23. Раскройте сущность устранения ошибки при считывании информации при использовании принципа дискредитации.

24. Раскройте сущность устранения ошибки при считывании информации при V-образном считывании.

25. Опишите конструкцию и принцип работы линейного индуктосина. Изложите методику его работы в трансформаторном режиме.

26. Охарактеризуйте особенности конструкций регулируемых электродвигателей, используемых в станках с ЧПУ.

27. Приведите схему тиристорного привода главного движения и объясните принцип его работы.

28. Приведите функциональную схему привода подачи с шаговым электродвигателем и объясните принцип его работы.

29. Приведите структурную схему следящего привода подачи с высокомоментным электродвигателем постоянного тока и объясните принцип его работы.

30. Объясните по функциональной схеме принцип работы следящего привода с импульсным датчиком и преобразователем «код – напряжение».

31. Опишите способ решения технологической задачи, связанной с управлением качеством обработки при адаптивном управлении.

32. Опишите обобщенную структурную схему адаптивного управления процессом резания.

33. Изложите сущность системы адаптивного предельного регулирования процесса резания на примере токарного станка.

34. Изложите сущность стратегии оптимизации режимов резания при использовании системы оптимального регулирования, в основу которой положен критерий производительности.

35. Приведите схему и циклограмму работы привода револьверной головки с горизонтальной осью токарного станка с ЧПУ.

36. Приведите расчетную модель привода револьверной головки и изложите методику выбора электродвигателя для этой головки.

37. Приведите схему сопряжения устройства ЧПУ со станком посредством программируемого контроллера и опишите принцип ее работы.

38. Приведите схему сопряжения устройства ЧПУ со станком посредством универсальных устройств на базе типовых модулей связи и опишите принцип ее работы.

39. Приведите схему виртуальной машины для станка с ЧПУ, поясните функции, выполняемые на разных уровнях ее иерархии.

64. Охарактеризуйте моды (способы существования), поддерживаемые персональным компьютером в СЧПУ типа PCNC.

65. Приведите структурную схему программно-математического обеспечения системы PCNC, опишите функции, выполняемые ее блоками.

66. Приведите схему архитектуры системы ЧПУ типа PCNC, охарактеризуйте задачи, решаемые ее отдельными блоками.

КОНСПЕКТ ЛЕКЦИЙ

1. ВВЕДЕНИЕ В СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ

1.1. Краткий экскурс в развитие систем управления

Исторически первой группой металлорежущих станков являются станки с ручным управлением, которые постоянно совершенствуются и даже оснащаются средствами автоматического управления (например, автоматический реверс подачи стола у шлифовальных станков, автоматическое изменение круговой частоты вращения шпинделя и продольной подачи суппорта у некоторых токарно-револьверных станков и т. д.). Технологический процесс на таких станках осуществляется посредством совместной работы человека и станка. Наблюдая за работой системы «человек – станок» при обработке даже относительно простой детали, можно заметить, что ручное управление процессом осуществляется по вполне определенной программе, которую предварительно составил для себя человек. Таким образом, в человеко-машинной системе человек, являясь носителем управляющей программы, выполняет функцию системы управления. Основное преимущество станков с ручным управлением – универсальность и высокая мобильность, т. е. возможность быстрой переналадки на обработку иных изделий. Основной недостаток – относительно малая производительность, что объясняется преимущественно малым совмещением переходов из-за ограниченных возможностей человека, работающего на станке.

Высокая универсальность и мобильность станков с ручным управлением обусловила их широкое использование в индивидуальном и мелкосерийном производстве, где относительно низкая производительность не имеет существенного значения. Исторически значимыми этапами развития станков с ручным управлением были механизация энергетического привода, освободившая человека от тяжелого физического труда, и изобретение в середине 18-го столетия самоходного суппорта, освободившее человека от технологической функции в системе «человек – станок».

Увеличение масштабов производства, потребность в изготовлении определенного количества одних и тех же деталей привело к созданию автоматических систем управления (САУ), в которых носителем управляющей программы является не человек, а вполне определенный объект, встраиваемый в станки. Это обстоятельство стало объективной причиной появления второй группы станков, прежде всего в токарной группе, – универсальных автоматов и полуавтоматов, особенностью которых является высокая цикловая производительность и высокая степень автоматизации.

Конструктивно САУ в этой группе станков выполнена в виде распределительного вала, встроенного в кинематическую структуру станков. Носителями программы в такой системе управления служат профильные кулачки.

Станок-автомат – это самоуправляющаяся технологическая машина, которая осуществляет все рабочие и вспомогательные движения цикла обработки, включая установку заготовки и снятие изделия после обработки. Станок-полуавтомат – это технологическая машина, работающая по автоматическому рабочему циклу, для повторения которого требуется вмешательство рабочего. Вмешательство рабочего, как правило, ограничивается установкой заготовок и снятия их после обработки.

Универсальные автоматы и полуавтоматы применяются в тех отраслях производства, где необходима высокая производительность и не требуется частая переналадка оборудования, т. е. в крупносерийном и массовом производствах. Например, современный многошпиндельный токарный автомат может заменить по производительности до 20 токарных станков с ручным управлением.

Дальнейшее увеличение масштабов производства привело к тому, что во многих случаях отпала необходимость в переналадке оборудования, и автоматизированные станки весь период эксплуатации выпускают одну и ту же деталь. В таких условиях применение автоматов и полуавтоматов становится уже нерациональным. Стремление в этом случае максимально повысить производительность привело к появлению третьей группы станков – специализированных и специальных автоматов и полуавтоматов. Специализированные автоматы и полуавтоматы могут быть переналажены на узкую группу однотипных деталей, а специальные автоматы и полуавтоматы создаются только для обработки одной детали. Высокая специализация привела к значительному упрощению конструкции этих станков по сравнению с универсальными автоматами и полуавтоматами.

При смене выпускаемого изделия значительное количество специализированных и специальных станков третьей группы оказывается ненужными, несмотря на физическую пригодность. Это неизбежно требует создания станков иного типа, в которых сочетаются высокая производительность с широкими технологическими возможностями и быстротой проектирования и освоения самих станков. Основным путем решения этой проблемы – стандартизация и нормализация механизмов и узлов на основе общности их технологического назначения. Таким образом, появилась четвертая группа – агрегатные станки, отличительной особенностью которых является компоновка из унифицированных узлов и механизмов. Агрегатные станки оснащаются, преимущественно, цикловой (развитой путевой) САУ.

Прогресс техники во всех областях машиностроения сопровождается уменьшением срока жизни изделий, уменьшением серийности их выпуска и ростом номенклатуры. В промышленно развитых странах около 80 % заводов так или иначе связаны с выпуском единичной и мелкосерийной продукции. Проблема автоматизации индивидуальных и мелкосерийных производств становится все более актуальной. Решение этой проблемы привело к созданию пятой группы станков-автоматов и полуавтоматов, оснащенных системами числового программного управления (ЧПУ). Характерной особенностью современных станков, оснащенных системами ЧПУ, является высокая универсальность, высокая точность и автоматический режим работы по легко переналаживаемой программе. Процесс подготовки управляющих программ отделен от процесса обработки в пространстве и времени. Первые станки с ЧПУ появились в 50-годах 20-го столетия.

Станки с ЧПУ целесообразно классифицировать по поколениям. Поколение – это понятие, которое не обязательно делит станочное оборудование на морально устаревшее и современное. Каждое из поколений станков может иметь право на существование исходя из экономической целесообразности. И относительно недорогой токарный или фрезерный станок с ЧПУ на базе соответствующего универсального станка и сложные, дорогие токарные станки с адаптивными системами управления, фрезерно-расточные многоинструментальные с автоматической сменой инструмента имеют сегодня применение. Все многообразие станков с ЧПУ можно объединить в три развивающиеся поколения. Рассмотрим особенности станков с ЧПУ каждого поколения.

Станки первого поколения включают универсальные станки, переоборудованные под числовое управление. Примерами станков этого поколения могут служить токарный станок модели 16K20Ф3, вертикально-фрезерный станок модели 6P13Ф3 и сверлильный станок модели 2M135PФ2.

Особенностью станка с ЧПУ первого поколения является широкое использование основных базовых деталей (станин, кареток, колонн) и их компоновок из обычных станков серийных моделей прежнего выпуска. При преобразовании в станки с ЧПУ осуществляется переход в приводной части к шариковым винтовым парам повышенной жесткости и точности, вводятся измерительные устройства средств обратной связи, управление работой станка осуществляется от универсального недорогого пульта ЧПУ. К числу достоинств станков первого поколения следует отнести их относительную дешевизну и простоту. Недостатками этих станков являются обычно относительно невысокая точность, ограниченные технологиче-

ские возможности вследствие работы одним инструментом (на токарных станках иногда несколькими инструментами в пределах возможностей обычных revolverных головок) и сравнительно невысокая производительность в результате небольших скоростей вспомогательных перемещений, ограниченной жесткости, невысоких допускаемых рабочих усилий, значительного подготовительного и заключительного времени.

Станки второго поколения представляют собой конструкции, специально разработанные для ЧПУ. Они характеризуются специальной конструкцией основных базовых узлов и их компоновок. Примером такого станочного оборудования могут служить фрезерно-расточной станок модели МА260Ф4 и токарный станок модели 1Р723РФЗ.

Станки второго поколения имеют повышенную жесткость всех элементов. Элементы привода встраиваются в базовые детали так, что последние обеспечивают их надежное укрытие от попадания стружки и долговечность работы. Скорости холостых перемещений повышены до 5 – 10 м/мин, возможно осуществление автоматической смены инструмента, применение адаптивного управления с автоматическим выбором целесообразного количества переходов и оптимизацией режимов резания. Все это создает возможность осуществления на станках второго поколения высокопроизводительной и высокоточной обработки деталей по числовой программе. В токарных станках небольших габаритов часто применяется станина с наклонными направляющими. Большинство из них имеет одну или две резцовые или revolverные головки: одну для наружного обтачивания, а другую для внутреннего, оснащаются многоинструментальным магазином. Компоновка станка наряду с повышенной жесткостью обеспечивает обычно самоотвод стружки в автономное транспортное устройство, размещенное в нижней части станка.

Преимуществами станков второго поколения является их точность и производительность, а недостатками – отсутствие комплексности обработки деталей, значительное подготовительное и заключительное время в результате ручной установки заготовки и снятия детали.

Станки третьего поколения характеризуются возможностью обеспечения комплексной обработки, обеспечением расширенных технологических возможностей и разветвленным транспортом. Конструкции станков третьего поколения представляют особый интерес, поскольку в них проявляются перспективы дальнейшего развития оборудования с ЧПУ. К третьему поколению можно отнести многооперационные станки моделей СМ-400Ф4.5 и АПРС-5Н.

Расширение технологических возможностей на станках третьего поколения по сравнению с многооперационными станками второго поколения достигается за счет увеличения количества управляемых по программе координат до пяти – шести посредством введения поворота обрабатываемой детали вокруг вертикальной и горизонтальной оси. В результате станочное оборудование этого поколения обеспечивает комплексную обработку самых сложных корпусных деталей, включая точное растачивание внутренних поверхностей фасонной формы, сверление и растачивание отверстий под произвольными углами в пространстве и т. п. Система управления станком имеет выход на ЭВМ более высокого порядка. Кроме того, такие станки оснащаются транспортным устройством, позволяющим автоматически по программе подавать спутник с заготовкой с запасной позиции (загрузки, выгрузки) на рабочую позицию, и наоборот. Специальное устройство осуществляет автоматизированную загрузку – выгрузку инструментов в магазине от внешнего накопителя. В результате такие станки, как правило, приспособлены для встраивания в автоматизированные производственные системы.

Основной тенденцией современного машиностроения является постепенный переход от применения набора станков – технологических машин к использованию автоматических машинных систем. В крупносерийном и массовом производстве уже получили широкое распространение автоматические линии из агрегатных станков и станков-автоматов, оснащенных преимущественно аналоговыми (нечисловыми) САУ. А в мелкосерийном производстве переход к станочным системам стал возможен лишь в последние годы благодаря развитию средств вычислительной техники и появлению класса управляющих ЭВМ. Автоматическая станочная система, в которой объединены станки с ЧПУ, транспортно-складские устройства и промышленные роботы, управляемая от ЭВМ, обладает высокой гибкостью, необходимой для обработки широкой номенклатуры деталей при частой их сменяемости. Принципы автоматизации переналадки стали распространяться также и на крупносерийное производство посредством автоматической замены комплектов режущих инструментов и технологической оснастки.

Развитие станкостроения определяет уровень всего машиностроительного производства. Использование в системах ЧПУ микропроцессоров привело к созданию гибких станочных систем, как основы будущего безлюдного машиностроительного комплекса высочайшей степени автоматизации при возможности мелкосерийного и серийного производства деталей в различных отраслях машиностроения. В соответствии с ГОСТ 26228 – 84

такие станочные системы называются гибкими производственными системами. Эти системы состоят из гибких производственных модулей. Гибкий производственный модуль это автоматизированная технологическая единица многоцелевого назначения, предназначенная для выполнения нескольких операций по обработке определенных деталей, в состав которой входит многоинструментальный станок-автомат с ЧПУ (обрабатывающий центр), автоматический манипулятор (промышленный робот) и накопители заготовок и обработанных деталей, объединенные общей системой управления. Такой модуль может работать в течение смены в безлюдном режиме.

1.2. Общие сведения о системах управления

Под управлением в общем виде понимается организация того или иного процесса для достижения определенной цели. Процесс управления подразумевает наличие одного или нескольких объектов управления и управляющей системы.

Отличительной особенностью станков, как с ручным управлением, так и оснащенных САУ является повторяемость всех движений (действий). Совокупность всех движений, повторяемых при обработке деталей одного вида, называется циклом обработки. Все движения цикла можно разделить на две следующие группы:

- основные или рабочие (движения формообразования, врезания и деления), обеспечивающие качество обработанных деталей;
- вспомогательные или холостые (движения позиционирования, смены инструмента, установки заготовок и их снятие после обработки и т. п.), быстроедействие которых оказывает заметное влияние на производительность технологической машины.

Все движения цикла следуют в определенной, заданной системой управления последовательности, причем некоторые из них могут частично или полностью совмещаться во времени.

Совокупность устройств, обеспечивающих управление, называют системой управления. По функциональному назначению отдельные звенья системы управления выполняют следующие функции:

- получение информации о задачах управления;
- получение информации о результатах управления;
- анализ полученных результатов и принятие решений;
- исполнение решений.

Применительно к задачам металлообработки, объектами управления являются отдельные металлорежущие станки и их группы, а целью их работы – выполнение заданных технологических операций. Различают системы (подсистемы) управления отдельными механизмами, выполняющими элементарные циклы, и системы, обеспечивающие управление общим циклом работы станка или группы станков.

На рис. 1.1. приведена блок-схема системы управления современного токарно-револьверного автомата модели 1E140.

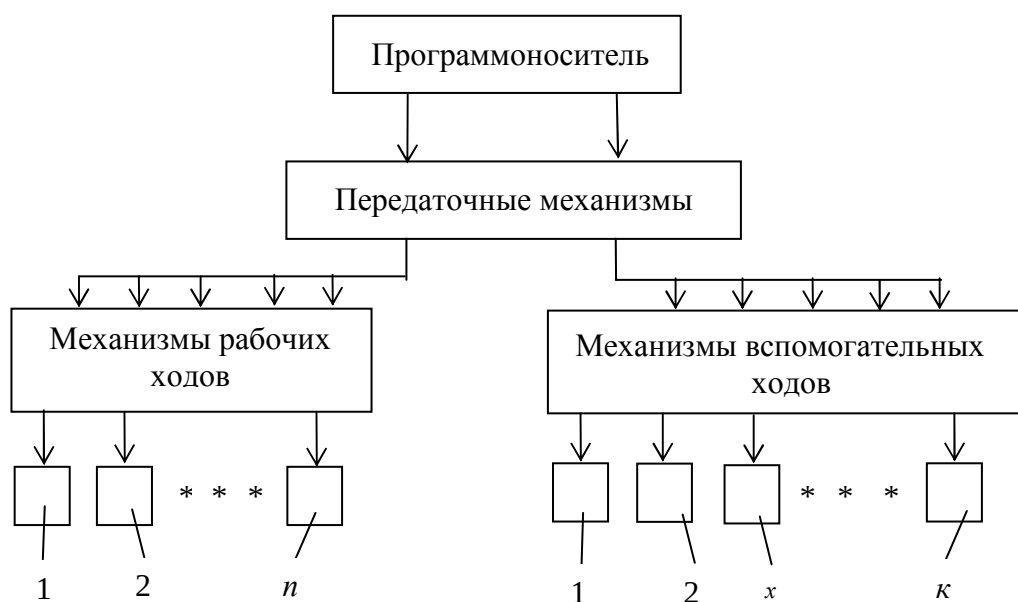


Рис. 1.1. Блок-схема системы управления токарно-револьверного автомата

Собственно САУ автомата состоит из программоносителя и передаточных механизмов. Конструктивно программоноситель выполнен в виде распределительного вала, несущего два типа кулачков: профильных и переключающих. На профильных кулачках зафиксирована в виде архимедовых спиралей программа выполнения рабочих ходов продольного и поперечных суппортов. Причем разность наибольших и наименьших радиусов этих спиралей задают параметр «путь» соответствующих суппортов, а крутизна этих спиралей или первая производная пути по углу поворота – параметр «подача». Переключающие кулачки обеспечивают управление приводами шпинделя заготовок (калиброванного прутка, из которого точат детали), сверлильного шпинделя и механизмов вспомогательных ходов. Передаточные механизмы это рычаги, соединяющие профильные кулачки с суппортами, а переключающие кулачки – с переключающими механизма-

ми (командоаппаратом, электромагнитными и однооборотными муфтами), посредством которых осуществляется включение и выключение соответствующих механизмов. На распределительном валу оба типа кулачков взаимно расположены так, что цикл обработки каждой детали выполняется за один оборот этого вала.

К механизмам $\{1; 2; \dots; n\}$ рабочих ходов, управляемых САУ относятся шпиндель заготовок, сверлильный шпиндель, продольный суппорт и поперечные суппорты: передний, задний, верхний и нижний. К механизмам $\{1; 2; \dots; k\}$ свободных ходов относятся механизм подачи прутка, механизм зажима прутка, механизм поворота револьверной головки и механизм ее фиксации.

Рассмотренная САУ токарно-револьверного автомата относится к группе аналоговых (механических) временных систем управления, так как посредством ее цикл обработки задается во времени. Ниже будут подробно рассмотрены известные разновидности (классы) этих систем управления.

Системы управления группой металлорежущих станков могут иметь три варианта:

- наиболее простая форма управления работой станочного оборудования – применение индивидуальных устройств ЧПУ; в этом случае смена перфоленты (программоносителя) осуществляется рабочим непосредственно у станка;
- более совершенная форма управления станками от центральной ЭВМ (система DNC); здесь станки оснащены упрощенным менее дорогим устройством управления;
- каждый станок управляется от мини-ЭВМ, которая запоминает вводимую информацию и в случае необходимости воспроизводит ее; прямое управление от такой ЭВМ позволяет вести диалог оператора с ЭВМ.

На рис. 1.2 приведена схема управления автоматизированным участком от ЭВМ. Большая ЭВМ выполняет операции по долгосрочному и оперативному планированию, решает вопросы загрузки станков, производит расчет управляющих программ и их автоматическую передачу. Малая ЭВМ непосредственно управляет участком – подключает группы станков $\{1; 2; \dots; k\}$ и $\{1; 2; \dots; m\}$, управляет поиском и транспортированием заготовок со склада, выбирает из долговременной памяти массивы управляющих программ и обеспечивает их выдачу по запросам. Непосредственно станками управляют упрощенные интерполяторы соответствующих блоков 1 и 2.

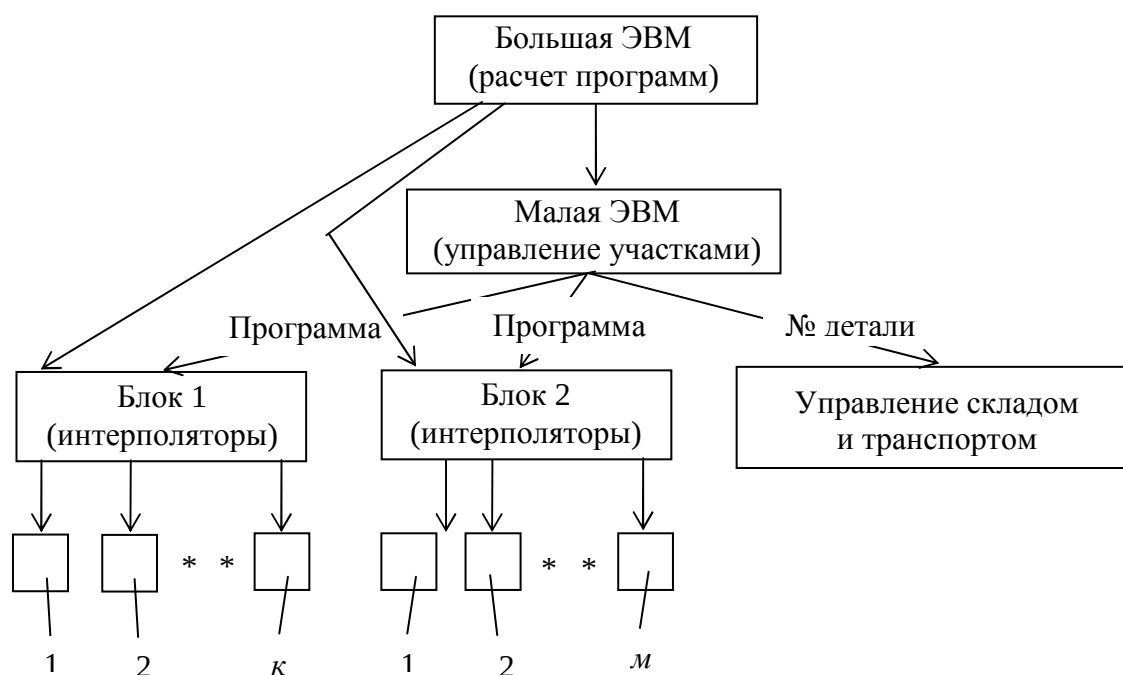


Рис. 1.2. Структурная схема управления автоматизированным участком

1.3. Классификация систем управления

Наиболее рационально классифицировать системы управления по информационным признакам, включающим источники и носители информации, количество и структуру потоков информации, вид и методы ее переработки. Информационные признаки наиболее полно отвечают назначению систем управления и сущности их работы.

Основным источником информации для систем управления металлорежущих станков является чертеж изделия. Вторичный документ – это технология изготовления изделия. Эта информация известна до начала технологического процесса. Она может быть сообщена системе управления заранее и называется задающей информацией. Задающая информация, зафиксированная тем или иным способом, является управляющей программой, а материальный носитель, на котором она зафиксирована, – программоносителем.

Другим источником информации является ход выполнения технологического процесса. Существующие датчики позволяют получать информацию о фактическом положении и скорости движения исполнительных органов, размере обрабатываемой поверхности, температурных и силовых деформациях в обрабатывающей системе, температуре в зоне резания и т. п. Эту информацию называют информацией обратной связи.

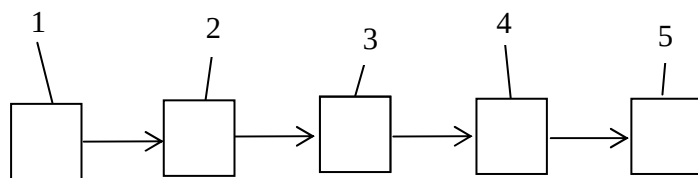
Источником информации о возмущениях служит окружающая среда: температура, влажность, колебание припуска заготовки и микротвердости ее материала, уровень вибраций и др.

Программа управления может быть зафиксирована посредством упоров, переключателей, кулачков, копиров, штекерных табло и быстросменных носителей: перфоленты, перфокарты, магнитной ленты, магнитных барабанов и дисков.

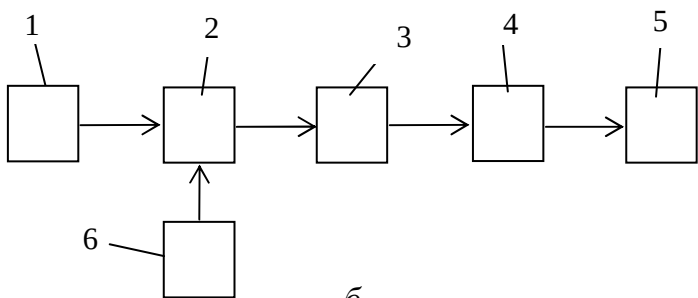
Количество информации, ее структура в определенной степени определяют качество работы системы управления. Чем больше используется каналов информации, тем качество работы системы управления выше, шире ее функциональные возможности. На рис. 1.3 приведены блок-схемы систем управления, содержащие различное количество каналов информации. Канал задающей информации содержит блок ввода программы 1, блок управления 2, управляющий привод (сервопривод) 3, силовой привод 4, исполнительный орган 5. Системы управления, содержащие только канал задающей информации (рис. 1.3, *а*), называют незамкнутыми. В таких системах отсутствует контроль над выполнением процесса обработки. Поэтому в принципе незамкнутые системы обеспечивают меньшую точность обработки по сравнению с системами, оснащенными дополнительными каналами информации. Рассмотренная выше (рис. 1.1) временная механическая система управления имеет незамкнутую структуру. Такую же структуру имеют шагово-импульсные системы управления с ЧПУ. Использование только одного задающего канала информации значительно упрощает конструкцию системы управления. Однако нормальное ее функционирование требует высокого качества изготовления отдельных ее элементов.

Обширный класс составляют замкнутые системы управления, которые для повышения качества обработки оснащены каналом, осуществляющим контроль над ходом выполнения технологического процесса обработки. Этот канал информации называют каналом обратной связи. В замкнутых системах (рис. 1.3, *б*, *г*) блок активного контроля 7 (датчик исполнения или обратной связи) вырабатывает сигнал об исполнении процесса обработки. Этот сигнал поступает в сравнивающее устройство блока управления 2, где сравнивается с задающей информацией. В итоге на выходе устройства сравнения вырабатывается сигнал, корректирующий сигнал управления приводом исполнительного органа. Качество работы замкнутых систем управления, в частности точности отработки заданной информации, выше, чем в незамкнутых системах при некотором усложнении их конструкции. В замкнутых системах управления, как правило, используют управляемые приводы. Абсолютное

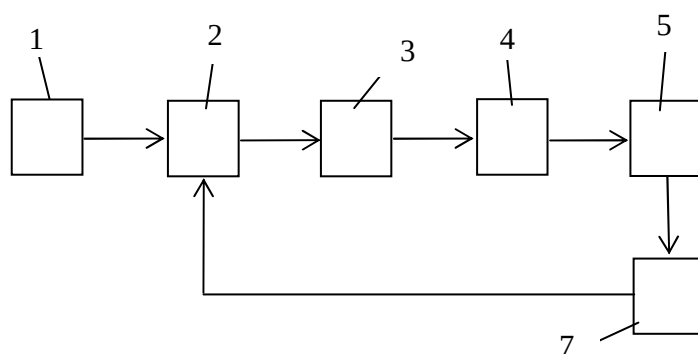
большинство современных станков с ЧПУ оснащается замкнутыми системами управления. Замкнутую структуру имеют также системы циклового программного управления и копировальные системы.



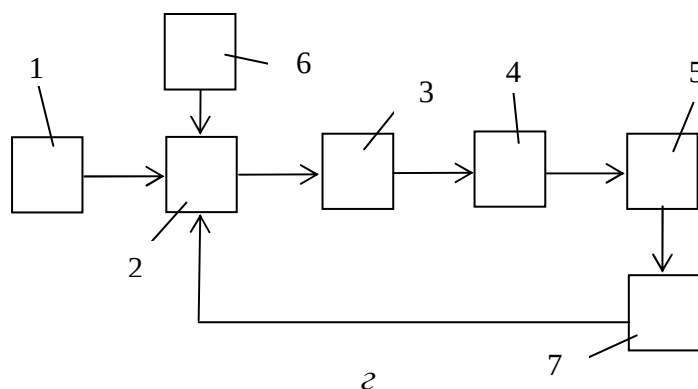
a



б



в



г

Рис. 1.3. Типовые блок-схемы систем управления:
a – с одним потоком информации; *б, в* – с двумя потоками информации;
г – с тремя потоками информации

Для обеспечения оптимального управления осуществлением процесса обработки в системах управления используется также дополнительный канал информации, позволяющий устранять влияние внешних воздействий, например, случайное изменение микротвердости и припуска обрабатываемой заготовки. Для этого используют датчики внешних воздействий (рис. 1.3, б, г), например, тензометрические, позволяющие корректировать управляющий сигнал. Такие системы относят к классу приспособляющихся – самонастраивающихся, самоорганизующихся и самообучающихся.

Самонастраивающиеся системы имеют постоянную структуру, а в процессе их функционирования изменяются лишь управляющие воздействия или параметры (коэффициенты передаточных функций). В настоящее время эти системы частично реализованы в станках с адаптивным управлением.

В самоорганизующихся системах во время работы изменяются не только управляющие воздействия, но и структура.

Самообучающиеся системы характеризуются изменением в процессе работы алгоритма, по которому они построены.

По характеру управляющих сигналов системы управления делят на две группы: аналоговые (непрерывные) и дискретные. Аналоговые системы оперируют непрерывными управляющими сигналами, а дискретные системы характеризуются скачкообразной формой управляющих сигналов. К аналоговым системам управления относятся механические, например, временные, путевые и копировальные системы. К этой группе относятся также некоторые системы ЧПУ, например, фазовые и потенциометрические. К дискретным относятся некоторые системы ЧПУ, например, импульсно-шаговые. Ряд систем ЧПУ относится к гибридной дискретно-аналоговой группе, например, импульсно-фазовые системы.

Из изложенного в данном разделе следует, что преобразование информации в системе управления металлорежущего станка может быть ручным с участием человека и автоматическим. Преимущество ручного управления – максимально высокая гибкость, недостаток – рост производительности ограничен физическими возможностями человека. Для автоматического управления характерна меньшая гибкость. В тоже время увеличение производительности автоматизированных станков не зависит от физических возможностей человека.

1.4. Преобразование и передача информации в системе чертеж – деталь

Управление станком можно представить как процесс воздействия на его исполнительные органы для обеспечения выполнения требуемого технологического процесса обработки деталей с заданными точностью, производительностью и себестоимостью. Это воздействие может осуществляться вручную – человеком (рис. 1.4, *а*) или САУ – без участия человека (рис. 1.4, *б*).

При ручном управлении рабочий преобразует информацию чертежа детали 1 в определенные движения рук, осуществляя управление циклом работы станка 2 и перемещениями его рабочих органов. При этом рабочий использует собственный опыт и знания о методах обработки, последовательности выполнения технологических переходов, применяемых режимах обработки, возможностях и особенностях конструкции станка, режущих инструментах и др.

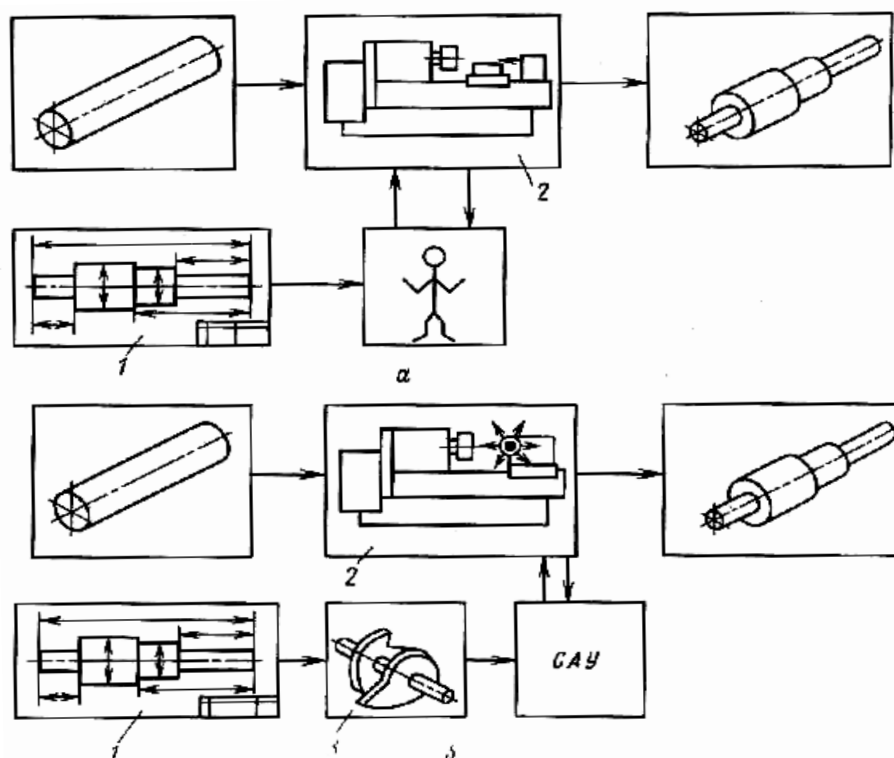


Рис. 1.4. Схемы управления станком: *а* – ручная; *б* – автоматическая

При ручном управлении станком обеспечиваются большая универсальность и высокая мобильность, так как любое изменение чертежа детали может быть очень быстро учтено рабочим при управлении станком. Без

больших затрат производится также переход на обработку других деталей. Однако ручное управление станком существенно ограничивает возможность повышения производительности обработки, а во многих случаях также снижает или делает нестабильной точность обработанных деталей.

При применении САУ управление станком производится на основе заранее разработанной программы, материализованной на программоносителе 3 (кулачках, копире, перфоленте и др.). При автоматическом управлении рост производительности станочного оборудования не ограничивается физическими возможностями рабочего, а точность обработки не связана с его профессиональной квалификацией. Вместе с тем мобильность автоматического станочного оборудования зависит от конструкции его САУ.

САУ представляет собой комплекс устройств и средств связи, обеспечивающих точное и согласованное во времени взаимодействие исполнительных органов станка в соответствии с программой управления, разработанной на основе принятого технологического процесса обработки. Программа управления – это последовательность команд, обеспечивающих заданное функционирование рабочих органов станка. Элемент или комплекс элементов, несущих программу управления, называется программоносителем.

Выше было показано, что исходным документом для изготовления детали является ее чертеж. На чертеже заданы геометрическая форма, размеры, требуемая точность изготовления, материал, шероховатость поверхности и др. сведения. Совокупность сведений о детали, заготовке, режущих инструментах, технологическом оборудовании и условиях производства, содержащиеся в чертежах, технических условиях, нормалях, паспортах и т. п., представляет общую начальную информацию, которую имеет технолог при подготовке технологии обработки.

Из общей начальной информации выделяют составляющую, на основе которой разрабатывают и составляют программу управления, вводимую посредством программоносителя в систему управления. Часть начальной информации переносят в операционную технологическую карту и используют для выбора технологического оборудования, оснастки, режущих инструментов и для настройки оборудования.

Таким образом, управление обработкой детали на станке можно рассматривать как процесс передачи и преобразования информации в системе чертеж – готовая деталь, а систему управления как систему передачи и преобразования информации. При этом можно выделить два участка передачи и преобразования информации. Первый участок – внешней переработки и передачи информации от чертежа до программоносителя; второй участок – внутренней переработки и передачи информации от ввода информации с программоносителя в систему управления до полного изготовления детали.

При изготовлении детали можно выделить три качественно различных этапа, из которых складывается процесс использования информации $I_{изд.}$, содержащейся в чертеже детали.

На первом этапе технолог использует часть этой информации $I_{см}$ при выборе соответствующих средств производства: станка, режущих и вспомогательных инструментов и приспособлений. В эти средства производства при их проектировании и изготовлении была вложена соответствующая информация, позволяющая применять их для изготовления определенного класса деталей. По существу, технолог производит сравнение заложенной в них информации с соответствующей информацией, даваемой чертежом детали. Например, токарно-винторезный станок обеспечивает обработку деталей с определенной точностью получения соосных цилиндрических и конических поверхностей, а также торцов, перпендикулярных оси вращения.

На втором этапе используют другую часть информации I_v при проектировании и изготовлении дополнительных специальных инструментов и приспособлений, жестких и нежестких программноносителей, а также при наладке автомата (полуавтомата).

На третьем этапе рабочий (наладчик, оператор) использует часть информации $I_{раб.}$ при управлении станком. Пользуясь чертежом детали, рабочий, управляя вручную, обеспечивает получение тех ее параметров, которые не гарантируются станком, режущим инструментом, технологической оснасткой и программноносителями (на первом и втором этапах). Например, при изготовлении деталей из штучных заготовок на многошпиндельном токарном полуавтомате рабочий устанавливает заготовки на рабочую позицию и снимает их после обработки вручную.

Таким образом, информация, переносимая на деталь в процессе ее изготовления по чертежу, представляет собой совокупность составляющих ее частей, т. е.:

$$I_{изд.} = I_{см.} + I_v + I_{раб.} \quad (1.1)$$

Из формулы (1.1) следует, что чем больше сумма $I_{см.} + I_v$ по сравнению с $I_{раб.}$, тем выше степень автоматизации процесса изготовления детали, количественно характеризуемая отношением:

$$\alpha = \frac{I_{см.} + I_v}{I_{см.} + I_v + I_{раб.}} \rightarrow 1, \quad (1.2)$$

↓
0

где α – коэффициент автоматизации станка.

При обработке на универсальном станке с ручным управлением сумма $I_{cm.} + I_v$ будет незначительной, а часть информации $I_{paб.}$ максимальной. В этом коэффициент автоматизации станка α близок к нулю. При обработке деталей на станке-автомате $I_{paб.}$ приближается к нулю. Например, при использовании пруткового токарного автомата эта часть информации включает только установку очередного прутка (заготовки) в шпиндель станка. Следовательно, коэффициент автоматизации α такого автомата приближается к единице.

Составляющая I_v определяет степень мобильности используемого технологического оборудования, количественно характеризуемая отношением:

$$\beta = \frac{I_{cm.}}{I_{cm.} + I_v} \rightarrow 1, \quad (1.3)$$

↓
0

где β – коэффициент мобильности станка.

При переходе к обработке новой детали на токарно-револьверном автомате, оснащённом временной системой управления, необходим трудоемкий процесс изготовления кулачков (жестких программносителей) и наладки автомата. Для такого автомата $I_v \rightarrow \max$ и, следовательно, его коэффициент мобильности приближается к нулю. При использовании универсального станка с ручным управлением или станка с ЧПУ, наоборот, $I_v \rightarrow 0$ и, следовательно, коэффициент мобильности таких станков $\beta \rightarrow 1$.

1.5. Цифровая индикация при управлении

Для визуального отсчета в цифровой форме перемещений подвижных узлов в металлорежущих станках и координатно-измерительных машинах, а также для полуавтоматического управления приводами этих станков и машин в режиме позиционирования применяются устройства цифровой индикации (ЦИ).

На рис. 1.5 показана функциональная схема устройства ЦИ, в которой используются десятичные счетчики. В этой схеме измерительный преобразователь (датчик) D при каждом перемещении исполнительного ор-

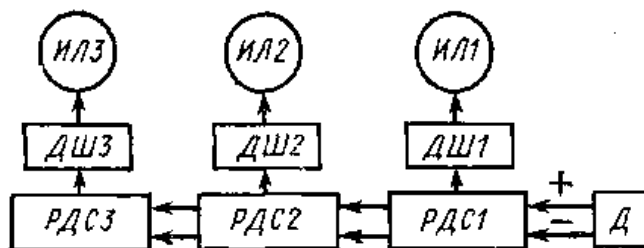


Рис. 1.5. Схема цифровой индикации

гана выдает импульс по каналу «+» или «-» в зависимости от направления движения. Импульсы поступают на реверсивные декадные счетчики *РДС1*, *РДС2*, *РДС3*, каждый из которых соответствует одному десятичному разряду. Состояние каждой декады через дешифраторы *ДШ1*, *ДШ2*, *ДШ3* передается неоновым индикаторным лампам *ИЛ*, на которых загораются цифры, характеризующие состояние каждой декады.

В качестве измерительных преобразователей *Д* в устройствах ЦИ могут использоваться как индуктивные датчики (вращающиеся трансформаторы, бесконтактные сельсины, индуктосины и др.), так и фотоэлектрические датчики. Сопряжение датчиков с реверсивными счетчиками осуществляется посредством системы формирования импульсов отработки. Структура и принцип работы отдельных элементов устройств ЦИ рассматриваются ниже в соответствующих разделах.

Известны как однокоординатные устройства ЦИ, так и устройства, обслуживающие последовательно до четырех координат. Дискретность отсчета – 0,01 или 0,001 мм.

Можно представить несколько уровней использования ЦИ в металлорежущих станках как с ручным управлением, так и в станках с ЧПУ. Простейший (первый) уровень управления с ЦИ характерен для крупногабаритных автоматизированных станков, например, продольно-фрезерных, с ручным управлением с одним потоком информации. В этих станках исходная программа работы задается рабочим-станочником, а ЦИ используется только для визуального наблюдения за перемещениями исполнительного органа. По существу это станки с современным ручным управлением. Второй уровень управления с ЦИ используется в станках с предварительным набором координат. В этих станках исходная информация задается станочником на пульте управления. В процессе работы станка ЦИ непрерывно отображает положение исполнительного органа. По существу пульт управления в этом случае является простейшим устройством ЧПУ, обеспечивающим работу станка в старт-стопном режиме. В соответствии с принятой классификацией в конце обозначения модели станка, оснащенного таким устройством ЧПУ, указывается тип системы управления символом Ф1.

В развитых устройствах ЧПУ 1-го, 2-го, 3-го поколения, у которых управляющая программа задается посредством физического программноносителя, например, перфоленты или магнитной ленты, ЦИ отображает по принципу бегущей строки: номер кадра, номер инструмента и величина (параметр «путь») перемещения по соответствующим координатам. Устройства ЧПУ 3-го поколения с расширенными функциями, 4-го поколения

(микропроцессорные системы управления) и последующих поколений оснащены дисплеями. В этих устройствах нет блока ЦИ по рис. 1.5, а ЦИ отображается непосредственно на дисплее при использовании как стартового (наладочного) режима, так и при рабочем режиме. Причем, отображение ЦИ осуществляется в коде, используемом для программирования обработки, например, международном коде ISO-7bit или используемом, преимущественно, в США коде EIA.

На рис. 1.6 показан современный 3-координатный ЦИ типа X pos 3 фирмы «Knuth» (ФРГ) для оснащения или переоснащения фрезерных, токарных и др. станков и измерительных машин. Данный ЦИ кроме индикации (визуализации) положения исполнительного органа по координатам X, Y, Z как отдельно, так и совмещенно, позволяет также выполнять ряд дополнительных функций: сохранять значения координат при выключенном индикаторе; рассчитывать диаметр отверстия; переключать показания радиус/диаметр; осуществлять пересчет мм/дюйм.

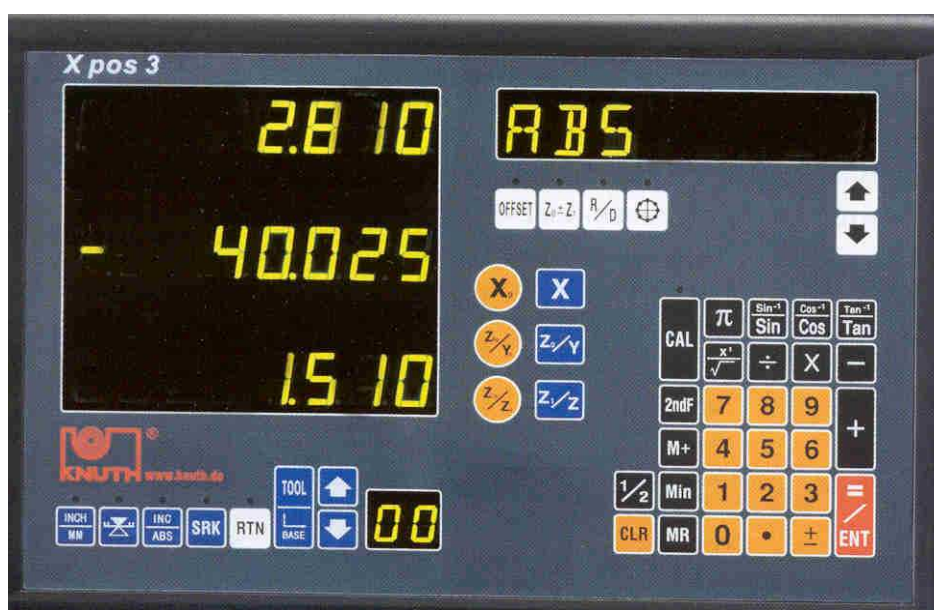


Рис. 1.6. Внешний вид устройства ЦИ типа X pos 3

Устройство индикации оснащено калькулятором и памятью на 10 инструментов. Дискретность отсчета 0,01/0,005 мм.

2. АНАЛОГОВЫЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ

2.1. Временные системы управления станками

2.1.1. Принцип работы

В этих аналоговых (механических) САУ задающая информация зафиксирована в профиле кулачков и их ориентации относительно друг друга на распределительном валу (РВ). Основу этих систем составляют кулачковые механизмы с профильными и переключающими кулачками в сочетании с рычажными механизмами. Прообразом этих САУ можно считать механические копировальные системы управления, изобретенные русским изобретателем А. Нартовым и использованные им в начале 18-го столетия в токарно-копировальных станках (рис. 2.1).

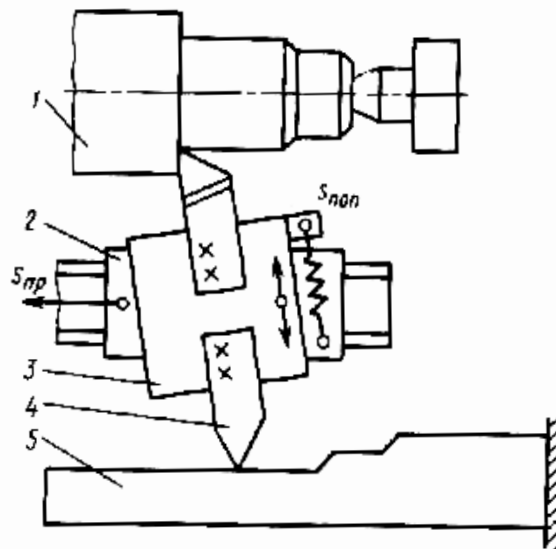


Рис. 2.1. Схема механической копировальной системы

В этих системах при обработке детали 1 плоский копир 5 (кулачок) через щуп 4 (толкатель) управляет перемещением поперечного суппорта 3 с режущим инструментом и обеспечивает необходимую рабочую подачу $s_{ноп}$ при перемещении продольного суппорта 2 с подачей $s_{пр}$. Такие системы конструктивно просты и надежны, но при их работе возникают большие потери на холостые ходы, обусловленные необходимостью возврата в исходное положение при повторении цикла обработки, а также имеет место повышенный износ копира из-за действия на него силы резания. В данных системах происходит управление работой только одного инструмента.

Если взять плоские копиры и обернуть их на цилиндры или изготовить в виде дисковых кулачков, установленных на один общий РВ, то при его вращении получается система управления большим количеством различных рабочих органов с надежной синхронизацией всех движений цикла обработки заданной детали. Полученная таким образом система управления позволяет посредством построения циклограмм заранее рассчитать рабочий цикл любой сложности, обеспечив строгое выполнение заданного процесса обработки, соответствующего, как правило, одному обороту РВ за определенный отрезок времени:

$$T = t_p + t_{х.х},$$

где T – время заданного цикла обработки детали;

t_p – время рабочих ходов в цикле обработки;

$t_{х.х}$ – холостых ходов.

В такой системе управления РВ обеспечивает порядок осуществления технологических переходов и цикличность процесса обработки в целом.

Программа управления, составленная в числовом виде и записанная в карте наладки, фиксируется в программоносителе, которыми являются кулачок для одного исполнительного механизма и система кулачков (профильных и командных), установленных и закрепленных в соответствии с циклограммой на РВ автомата (рис. 2.2).

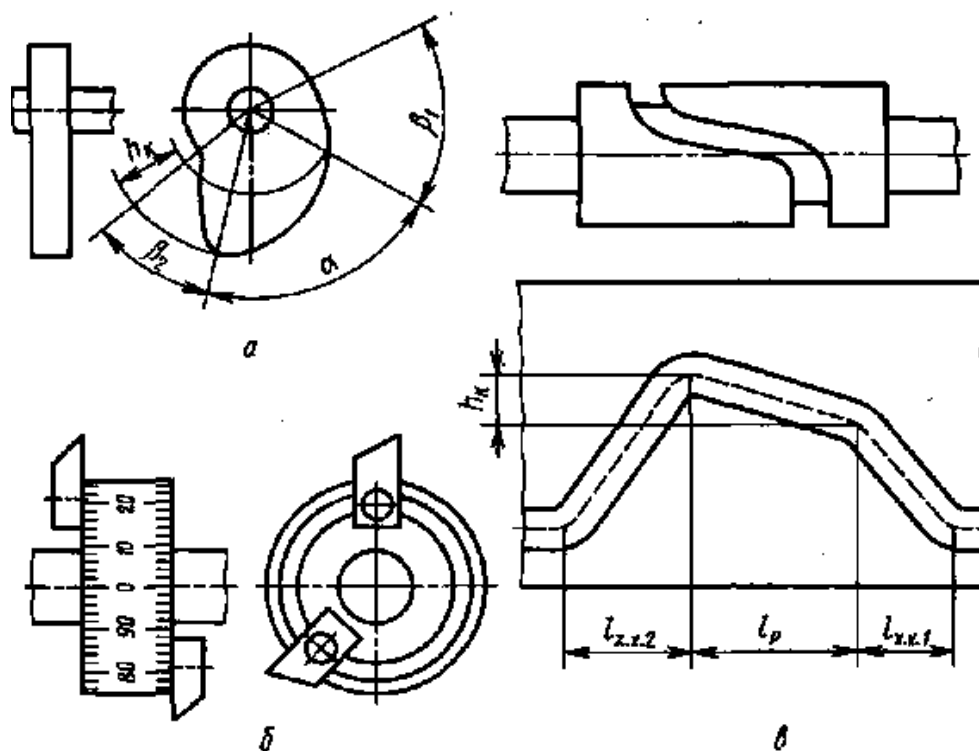


Рис. 2.2. Кулачки временной системы управления: а – дисковый профильный; б – командный; в – барабанный кулачок и его развертка

Величины перемещений (параметр «путь») рабочих органов задаются подъемом h_k на кулачке, а их длительность на холостых ходах – углами β_1 (или величиной $l_{x.x1}$) при подводе и β_2 (или величиной $l_{x.x2}$) при отводе рабочего органа. Длительность перемещений на рабочем ходе задается углом α (или величиной l_p).

В этих системах используется только канал задающей информации. Поэтому точность их работы определяется качеством выполнения кулачковых программноносителей. Функцию блока ввода программы выполняет РВ.

Временные системы управления с РВ особенно широко применяются в универсальных и специальных автоматах и полуавтоматах для изготовления относительно несложных деталей в массовом, крупносерийном и в ряде случаев серийном производстве. В этой группе автоматизированных станков система управления встраивается непосредственно в станок. В ряде технологических машин иного назначения, например, сборочных машинах, такая система управления конструктивно выполняется в виде автономного командоаппарата с собственным источником энергии вращения РВ. В этом случае командоаппарат передает информацию управления исполнительным органам посредством каналов связи, например, гидравлических, шариковых.

2.1.2. Классификация временных систем управления

По некоторым конструктивным особенностям, связанным со сложностью изготавливаемых деталей, качеству и производительности временные САУ автоматизированных станков классифицируют по принципу выполнения холостых ходов на три группы.

Группа 1 временных САУ. К этой группе относятся системы, у которых привод вращения шпинделя 1 станка и РВ с кулачками-программононосителями 2, 3, 4 и т. д. осуществляется от электродвигателя M соответственно через гитары сменных зубчатых колес i_v и i_x (рис. 2.3, а).

Особенность этих систем управления – частота вращения РВ для каждой настройки гитары сменных колес i_x постоянна в течение всего времени цикла T обработки детали. Поэтому при изменении времени рабочих ходов пропорционально изменяется и время холостых ходов. Другая особенность состоит в том, что кулачки, выполняющие холостые ходы, для определенного круга работ являются постоянными, требующими определенного постоянного угла поворота РВ ($\beta_1 = const$) для осуществления хо-

лостых ходов. В то же время кулачки, выполняющие рабочие хода, в зависимости от характера работ в каждом отдельном случае требуют различных углов поворота РВ.

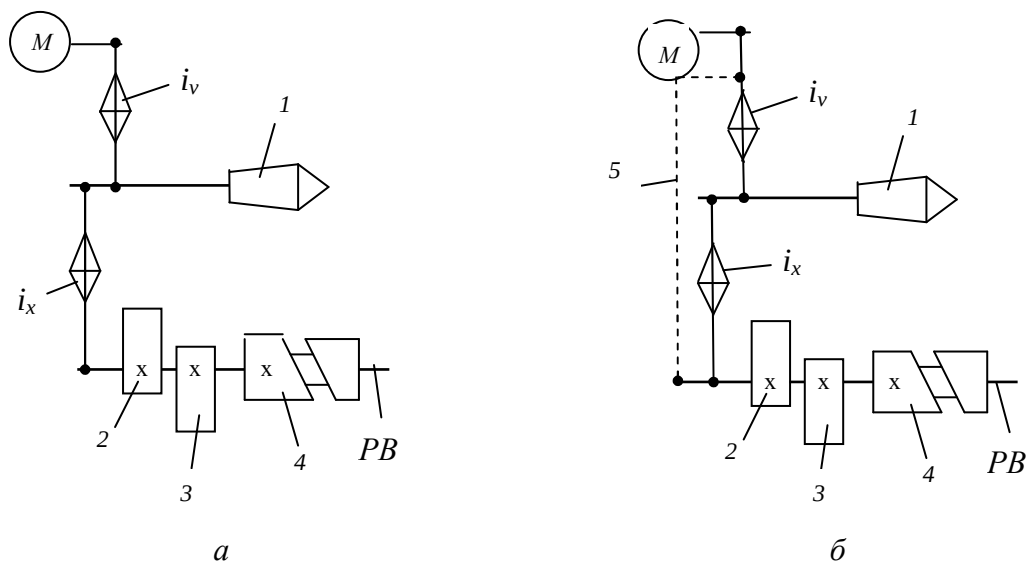


Рис. 2.3. Принципиальные схемы автоматов с временной САУ:
а – группа 1; б – группа 11

Время холостых ходов:

$$t_{x.x1} = \frac{\beta_1}{2\pi} T,$$

где β_1 – угол холостых ходов (без учета совмещенных холостых ходов).

Производительность автоматов с САУ первой группы:

$$Q_1 = \frac{1}{T} = K \left(1 - \frac{\beta_1}{2\pi}\right) = K\eta_1,$$

где $K = \frac{1}{t_p}$ – технологическая производительность;

$\eta_1 = 1 - \frac{\beta_1}{2\pi}$ – коэффициент производительности автоматов с САУ

группы 1.

Анализ зависимостей $t_{x.x1} = f(T)$ и $Q_1 = f(K)$ показывает, что при $\beta_1 = const$ и при переменном K (или T) время $t_{x.x1}$ будет переменным (рис. 2.4). Поэтому при обработке относительно сложных деталей с большим временем t_p (имеем T_{max} и K_{min}) $t_{x.x1}$ время будет также большим, хотя из условий работы механизмов холостых ходов оно может быть существенно меньше. В итоге производительность автоматов оказывается низкой.

При обработке простых деталей (T_{min} и K_{max}) производительность автомата получается большой, но необходимо учитывать, что время на холостые хода может получиться меньше того, которое допускается прочностью механизмов холостых ходов.

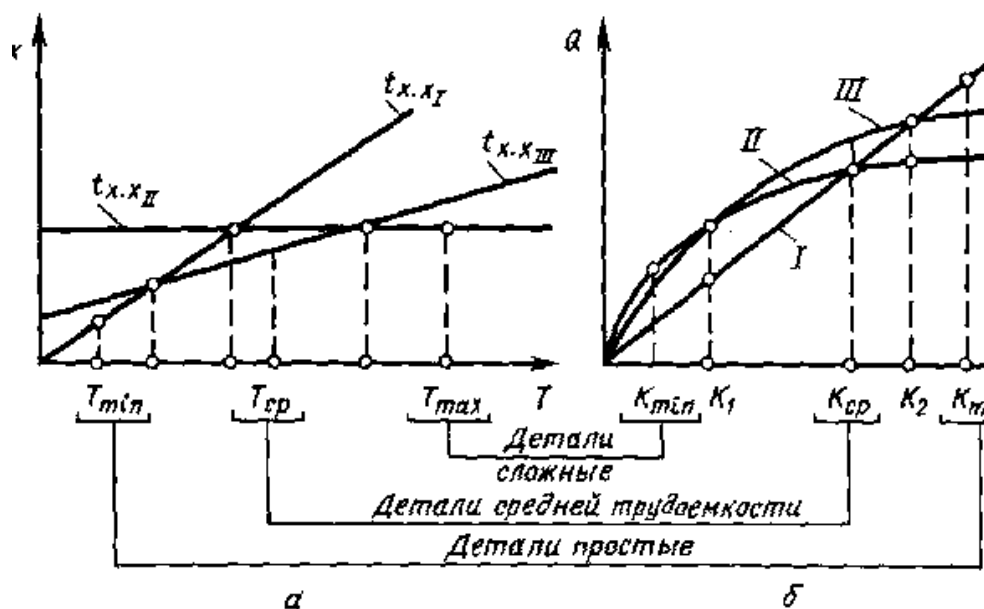


Рис. 2.4. Графики зависимостей: $a - t_{x.x} = f(T)$; $b - Q = f(K)$

Расчетные перемещения для вывода формулы настройки для гитары сменных колес i_x САУ группы 1 имеют вид:

$$\frac{n_m}{60} t_u \text{ об.электродвигателя} \rightarrow 1 \text{ обороту РВ},$$

где n_m – круговая частота вращения электродвигателя, мин^{-1} ;

t_u – время цикла обработки одной детали, сек.

Системы управления группы 1 применяют в металлорежущих автоматах для обработки простых деталей (например, в автоматах продольного точения моделей 1И10П, в автоматах фирм «Tornos» и «Bechler» (Швейцария), «Strohm» (ФРГ)), а также в большинстве технологических машин других отраслей (пищевых, текстильных, полиграфических).

Группа 11 временных САУ. Особенностью систем управления этой группы (рис. 2.3, б) является то, что РВ в течение цикла T имеет две скорости вращения – рабочую и ускоренную. Рабочее вращение РВ при выполнении рабочих ходов осуществляется через гитару сменных зубчатых колес i_x , позволяющую менять частоту вращения РВ при обработке различ-

ных деталей. Ускоренное вращение РВ при выполнении холостых ходов осуществляется по ненастраиваемой кинематической цепи 5. Причем частоту ускоренного вращения РВ на холостых ходах выбирают из условий прочности механизмов холостого хода.

Время холостых ходов:

$$t_{x.x11} = \frac{\beta_{11}}{2\pi n_{x.x}} = const,$$

где β_{11} – угол холостого хода.

Например, в многошпиндельном токарном автомате модели 1Б240-6 угол $\beta_{11} = 215^\circ$ и $t_{x.x11} = 2$ с.

Таким образом, изменение времени рабочих ходов в САУ группы 11 не влияет на время холостых ходов (рис. 2.4). В некоторых многошпиндельных автоматах лимитирующим механизмом с точки зрения холостых ходов является механизм подачи пруткового материала. Поэтому скорость вращения РВ на холостых ходах может изменяться и настраиваться в зависимости от требуемой величины подачи материала.

Цикловая производительность автоматов с САУ группы 11 определяется по выражению:

$$Q_{11} = \frac{1}{T} = K \frac{1}{1 + K t_{x.x11}} K \eta_{11},$$

где $\eta_{11} = \frac{1}{1 + K t_{x.x11}}$ – коэффициент производительности автоматов с САУ группы 11.

Величина коэффициента η_{11} является переменной, зависимой от технологической производительности K .

Все холостые ходы в данной системе управления выполняются при максимальной скорости вращения РВ. Поэтому наиболее эффективно их применять при обработке сложных деталей и деталей из труднообрабатываемых материалов (рис. 2.4).

Расчетные перемещения для вывода формулы настройки для гитары сменных колес i_x САУ группы 11 имеют вид:

$$\frac{n_m}{60} t_p \text{ об.электродвигателя} \rightarrow \frac{\alpha_p^0}{360} \text{ поворота РВ},$$

где n_m – круговая частота вращения электродвигателя, мин^{-1} ;
 α_p^0 – суммарный угол (длительность) рабочих перемещений.

Как правило, угол α_p^0 в различных моделях станков составляет 160 – 200°.

Этими системами управления оснащают полуавтоматы со смешанным соединением групп обката и деления для нарезания конических колес, некоторые одношпиндельные автоматы и полуавтоматы и практически все многошпиндельные автоматы последовательного действия. Например, полуавтоматы для нарезания конических зубчатых колес 5П23БП и 528, многошпиндельные токарные автоматы моделей 1Б240-6, 1Б265-6, 1Б290 и автоматы фирм «Gildemeister» и «Pitler (ФРГ)» и др.

Группа 111 временных САУ. Эти системы (рис. 2.5) представляют собой сочетание систем управления групп 1 и 11. В этих системах РВ, несущий профильные и командные кулачки 2, 3, 4, 5 и т. д. вращается, как в системах группы 1, с одной скоростью, устанавливаемой посредством гитары сменных колес i_x , при выполнении всех рабочих и части холостых ходов (подвод и отвод поперечных суппортов). Для этих холостых ходов по аналогии с системами группы 1 имеем:

$$\beta_1 = \text{const}; t_{x.x1} = \frac{\beta_1}{2\pi} T.$$

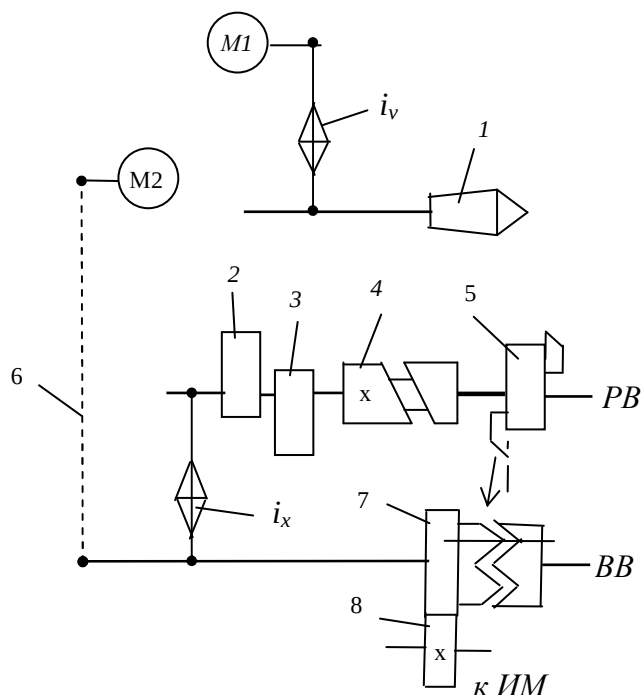


Рис. 2.5. Схема автомата с временной САУ группы 111

Остальные холостые ходы (подача и зажим прутка, поворот револьверной головки, переключение частоты и направления вращения шпинделя и др.) осуществляются с помощью вспомогательного вала (ВВ), вращение которому сообщается с максимально возможной постоянной для данного автомата частотой от электродвигателя М2 по ненастраиваемой цепи 6. По аналогии с системами группы 11 для этих холостых ходов $t_{x.x11} = const$. Выполнение холостых ходов с помощью ВВ управляется командными кулачками, установленными на РВ. Например, командный кулачок 5 по циклу обработки посредством передаточного механизма (рычага) включает кулачковую муфту. В результате движение от ВВ посредством зубчатой передачи 7 – 8 сообщается соответствующему исполнительному механизму (ИМ), осуществляющему вспомогательное движение.

Общее время холостых ходов для автоматов с системами управления группы 111:

$$t_{x.x111} = t_{x.x1} + t_{x.x11}.$$

Тогда:

$$T = t_p + t_{x.x1} + t_{x.x11}. \quad (2.1)$$

Подставляя в выражение (2.1) соответствующие значения T , $t_{x.x1}$, $t_{x.x11}$ найдем производительность автомата, оснащенного САУ группы 111:

$$Q_{111} = K(1 - \frac{\beta_1}{2\pi}) + \frac{1}{1 + Kt_{x.x11}} = K\eta_1\eta_{11}.$$

Анализ формулы производительности показывает, что САУ группы 111 занимают промежуточное положение между системами групп 1 и 11, и поэтому рекомендуется их применять для обработки деталей (рис. 2.4) средней сложности при средних значениях времени цикла T_{cp} и технологической производительности K_{cp} .

Расчетные перемещения для вывода формулы настройки для гитары сменных колес i_x САУ группы 111 аналогичны расчетным перемещениям САУ группы 1 и, следовательно, имеют вид:

$$\frac{n_m}{60} t_u \text{ об.электродвигателя} \rightarrow 1 \text{ обороту РВ},$$

где n_m – круговая частота вращения электродвигателя, мин⁻¹;
 t_u – время цикла обработки одной детали, сек.

Системами управления группы 111 оснащены токарно-револьверные автоматы, например, моделей 1E140, 1E165, автоматы фирм «Index» и «Traub» (ФРГ) фирмы «Tarex» (Швейцария) и др.

2.1.3. Особенности проектирования кулачковых механизмов временных систем управления

При конструировании автомата после выбора соответствующей группы САУ с РВ рассчитывают и проектируют кулачковые механизмы (рис. 2.6). При этом необходимо:

- выбрать конструкцию кулачкового механизма (дисковый или барабанный кулачок 1, остроконечный или роликовый башмак 2, качающийся или поступательно перемещающийся толкатель 3 и передаточные рычаги от толкателя до исполнительного органа – суппорта 4;

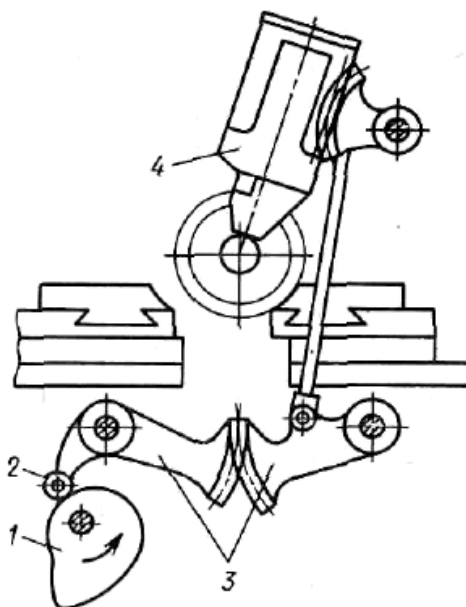


Рис. 2.6. Схема кулачкового механизма для управления циклом суппорта

- определить размеры кулачкового механизма (диаметры кулачка, и роликового башмака, размеры рычагов, расстояние между опорами поступательно перемещающегося толкателя, величину консоли толкателя, передаточное отношение рычагов и др.);

- обосновать и выбрать кривые, по которым будут профилироваться участки рабочих и холостых ходов на кулачке.

От конструкции и размеров кулачкового механизма в значительной степени зависит производительность и надежность работы автомата, точность обработки деталей, габаритные размеры и другие характеристики автомата.

Наиболее важным параметром кулачкового механизма, оказывающим существенное влияние на указанные характеристики автомата, является угол давления θ (рис. 2.7). При больших значениях этого угла увеличивается производительность автомата (меньше угол β), уменьшаются размеры кулачка, но надежность автомата снижается, так как может происходить заклинивание кулачкового механизма. При малых значениях угла давления θ происходит обратное явление.

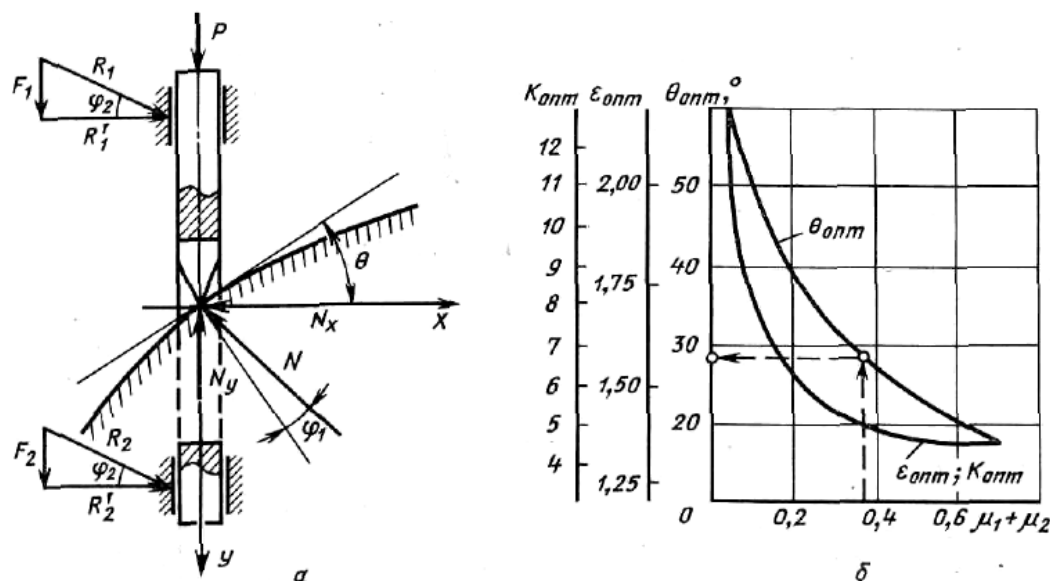


Рис. 2.7. Схема для определения оптимального угла давления:
 а – схема эталонного кулачкового механизма и сил, действующих на него;
 б – номограмма

Профессором Г. А. Шаумяном введено понятие оптимального угла давления θ_{opt} и разработана методика его расчета. Схема кулачкового механизма по рис. 2.7 принята за эталонную и для нее проведены соответствующие расчеты и выведена формула для определения оптимального угла давления:

$$\operatorname{tg} \theta_{opt} = \frac{1 - \mu_1 \mu_2}{(\mu_1 + \mu_2) K_{opt}}, \quad (2.2)$$

где μ_1 – коэффициент трения башмака о поверхность кулачка;

μ_2 – коэффициент трения в опорах толкателя;

K_{opt} – оптимальное значение коэффициента запаса, $K = \operatorname{tg} \theta_3 / \operatorname{tg} \theta$, здесь θ_3 – угол заклинивания.

На рис. 2.7, б представлена номограмма для определения по сумме $\mu_1 + \mu_2$ оптимальных углов давления, значений K_{opt} и коэффициента возрастания нагрузки ϵ_{opt} .

Пример определения θ_{onm} , K_{onm} , ε_{onm} показан штриховыми линиями. Здесь:

$$\varepsilon = N / P; N = \sqrt{N_x^2 + N_y^2},$$

где P – полная нагрузка;

N – полная реакция кулачка на толкатель.

Для произвольного кулачкового механизма θ_{onm} определяют, приводя механизм к эталонной схеме и выражая различия в конструкции и размерах башмака через коэффициент λ_1 , а различия в конструкции и размерах толкателя через λ_2 . Определив эти коэффициенты (для эталонной схемы $\lambda_1 = \lambda_2 = 1$), находят приведенные коэффициенты трения $\mu_{n1} = \mu_1 \lambda_1$ и $\mu_{n2} = \mu_2 \lambda_2$. Эти коэффициенты подставляют в формулу (2.2) вместо значений μ_1 и μ_2 .

При профилировании кулачков исходят из положения, что кривые рабочих ходов должны обеспечивать закон перемещения, определяемый характером процесса обработки. Для станков-автоматов обычно требуется равномерное перемещение исполнительных механизмов для обеспечения постоянной величины подачи режущего инструмента. Этому требованию для дисковых кулачков отвечает архимедова спираль, а для цилиндрических кулачков – винтовая линия. К кривым холостых ходов предъявляется требование обеспечения минимального времени холостого хода. При этом угол давления θ не должен быть больше оптимального значения, а возникающие в механизме силы инерции не должны быть выше допустимых значений.

Вследствие того, что характер и величина инерционных воздействий в механизме определяются ускорением толкателя, для участков холостого хода, задаются законом изменения ускорения. На практике участки холостого хода дисковых кулачков профилируют по параболической кривой, реже используют логарифмическую и архимедову спирали.

При ручной разработке дисковых кулачков участки холостых ходов очерчивают по предварительно изготовленным шаблонам.

2.1.4. Одношпиндельные токарно-револьверные автоматы

В качестве примера станка, оснащенного временной САУ, рассмотрим современный высокопроизводительный токарно-револьверный автомат. Типичным представителем этой гаммы автоматов является одношпиндельный прутковый автомат модели 1E140 (рис. 2.8), применяемый для обработки деталей сложной формы из круглого, квадратного или шестигранного калиброванного прутка. Автомат имеет револьверную головку с шестью гнездами для державок инструментов, четыре поперечных суппорта и командоаппарат для автоматического изменения частот вращения шпинделя.

Техническая характеристика. Наибольший диаметр обрабатываемого прутка – 40 мм; наибольший диаметр нарезаемой наружной резьбы по стали – М24, по латуни – М32; наибольшая длина подачи прутка – 105 мм; наибольший ход суппорта 100 мм; наименьшее и наибольшее расстояние от торца шпинделя до револьверной головки 75 – 210 мм; пределы частот вращения шпинделя: при левом вращении 80 – 2500 мин⁻¹, при правом вращении 40 – 315 мин⁻¹; число ступеней частот вращения шпинделя – 12, из них три автоматически переключаемых; время переключения частоты вращения шпинделя – 0,25 сек и направления вращения шпинделя – 0,5 сек; время поворота револьверной головки – 0,5 сек; время обработки одной детали – 11,6 – 363 сек.

Пруток пропускают через направляющую трубу и закрепляют в шпинделе станка цанговым патроном. Инструменты устанавливают в револьверной головке и на поперечных суппортах. Инструментами револьверной головки протачивают наружные поверхности, обрабатывают отверстия и нарезают резьбу, инструментами поперечных суппортов обрабатывают фасонные и конусные поверхности, подрезают торцы, снимают фаски и отрезают готовые детали.

Кинематическая структура автомата содержит группу скорости резания $\Phi_{v1}(B_1)$, группу сверлильного приспособления $\Phi_{v2}(B_2)$, группу подач $\Phi_s(P_i)$, выполняющую также функцию системы временного управления.

Группа скорости резания Φ_{v1} . Ее внутренняя связь имеет вид: *опоры шпиндельной бабки → шпиндель V обрабатываемого прутка*(B_1).

Внешняя связь – кинематическая цепь: $M_1 \rightarrow i_v \rightarrow 212 / 170 \rightarrow$ *шпиндель V* (B_1).

Группа настраивается на скорость – автоматической коробкой скоростей i_v , включающей гитару сменных колес, на направление – реверсом, совмещенным с коробкой скоростей. Коробка скоростей i_v обеспечивает автоматическое переключение трех скоростей через шестерни 58/37, 42/53, 27/68 с вала 1 на вал 11 через электромагнитные муфты МЭ1 и МЭ2 при работе обгонной муфты M_0 и реверс выходного вала IV через шестерни 47/47 и 24/40, 40/60 посредством электромагнитных муфт МЭ3, МЭ4, МЭ5, МЭ6. Гитара сменных зубчатых колес a_1/b_1 служит для расширения диапазона регулирования частот вращения шпинделя.

Группа сверлильного приспособления Φ_{v2} размещается в одном из гнезд револьверной головки РГ.

Внутренняя связь группы: *корпус РГ → сверлильный шпиндель* (B_2).

Внешняя связь – короткая кинематическая цепь: $M_3 \rightarrow 24/18 \rightarrow 17/17 \rightarrow$ *сверлильный шпиндель* (B_2).

Сверлильный шпиндель имеет постоянную круговую частоту вращения около 1900 мин^{-1} . Направление его вращения противоположно к вращению шпинделя автомата и обеспечивает высокие скорости резания при сверлении отверстий малого диаметра.

Группа подач $\Phi_s(\Pi_i)$ наряду с движениями рабочих подач поперечных и продольного суппортов выполняет также функцию системы временного управления циклом обработки, включающей управление рабочими и вспомогательными движениями и их последовательностью. Таким образом, эта группа является также временной САУ, рассматриваемого автомата.

Внутренняя связь группы – элементарные поступательные пары: *направляющие станины станка → поперечные и продольный суппорты (Π_i)*.

Внешняя связь: $M2 \rightarrow 2/24 \rightarrow M_1 \rightarrow \text{вспомогательный вал (BB) } V11 \rightarrow 22/64 \rightarrow 64/53 \rightarrow (i_u = a/b \text{ (c/d, e/f)}) \rightarrow 1/40 \rightarrow \text{распределительный вал (PB) } XV \rightarrow K5 \text{ (TB)} \rightarrow \text{продольный суппорт } (\Pi_{\text{прод}}) \text{ и } 25/25 \rightarrow \text{распределительный вал (PB) } XV1 \rightarrow K1 - K4 \text{ (TB)} \rightarrow \text{поперечные суппорты } (\Pi_{\text{поп 1-4}})$.

Группа настраивается на путь, скорость и исходное положение суппортов – жесткими программоносителями – кулачками $K1 - K5$, установленными на поперечном XV и продольном XV1 распределительных валах. Гитара сменных зубчатых колес i_u используется для задания времени цикла обработки. Во внешней связи предусмотрена также цепь ускоренного вращения PB от BB через зубчатые передачи $\frac{55}{31} \cdot \frac{57}{62} \cdot \frac{62}{58} \cdot \frac{1}{40}$ при включении цепи ускоренного хода муфтой M_5 .

РП для гитары сменных зубчатых колес i_u :

$$\frac{n_m}{60} \cdot t_p \text{ об. электродвигателя } M2 \longrightarrow \frac{\alpha_p^0}{360^0} \text{ об. PB,}$$

где t_p – время рабочих ходов, с;

α_p^0 – угол поворота PB за время рабочих ходов, по паспорту автомата $\alpha_p^0 = 200^0$.

УКЦ:

$$\frac{\alpha_p^0 = 200^0}{360^0} = \frac{n_m = 1440}{60} \cdot t_p \cdot \frac{22}{64} \cdot \frac{64}{53} \cdot i_u \cdot \frac{1}{40} \cdot \left(\frac{25}{25}\right).$$

ФН:

$$i_u = \frac{22}{100} \cdot t_u.$$

Рабочие и холостые хода в группе Φ_s при включенной муфте M_1 осуществляет электродвигатель M_2 , передающий движение BB V_{11} и далее по внешней связи PB XV и $XV1$. Включение и выключение муфты M_1 производят вручную.

Круговая частота вращения BB составляет $1440 (2/24) = 120 \text{ мин}^{-1}$. Круговая частота ускоренного вращения PB составляет:

$$120 (55/31)(57/62)(62/58)(1/40) = 5 \text{ мин}^{-1}.$$

На BB установлены однооборотная муфта M_2 и самовыключающиеся после двух оборотов зубчатые муфты M_3 и M_4 . Муфта M_2 включает периодически командоаппарат KA , получающий вращение от BB через червячную передачу $1/18$. При включении муфты M_3 вращение через зубчатые колеса $(36/72) \cdot (72/72)$ передается валу X_{111} , на котором установлены цилиндрические кулачки B_1 и B_2 , управляющие механизмами подачи и зажима прутка, смонтированными на шпинделе V . С учетом передаточного отношения от BB VII за два оборота муфты M_3 вал IX сделает один оборот. Частота вращения вала IX – постоянна и равна $120 (36/72) (72/72) = 60 \text{ мин}^{-1}$, а время подачи и зажима прутка за один оборот вала IX равно 1 с. Через зубчатые колеса $36/72$ движение передается на кулачок D , управляющий через зубчатый сектор $z = 125$ и колесо $z = 20$ качающимся упором для прутка. При включении муфты M_4 вращение передается на мальтийский механизм поворота револьверной головки через зубчатые колеса $42/84$ на широкое колесо $z = 42$. С этого колеса через коническую передачу $25/50$ движение передается поводку мальтийского креста, установленного на одной оси с револьверной головкой (PG). Торцевой кулачок на конической шестерне 50 выводит фиксатор из PG . За два оборота муфты M_4 поводок совершает один оборот. Мальтийский крест имеет шесть пазов и за один оборот поводка поворачивается на 60° .

На поперечном PB XV установлен дисковый кулачок K_5 подачи продольного (револьверного) суппорта, кулачок K_6 привода приемника PP деталей и кулачок K_7 переключения кулачковой муфты M_5 . На продольном PB XVI установлены кулачковые барабаны B_3 , B_4 , B_5 включения зубчатых муфт M_2 , M_3 , M_4 и дисковые кулачки K_1 , K_2 , K_3 , K_4 подачи поперечных суппортов, цилиндрический кулак K_y подачи вспомогательного продольного суппорта.

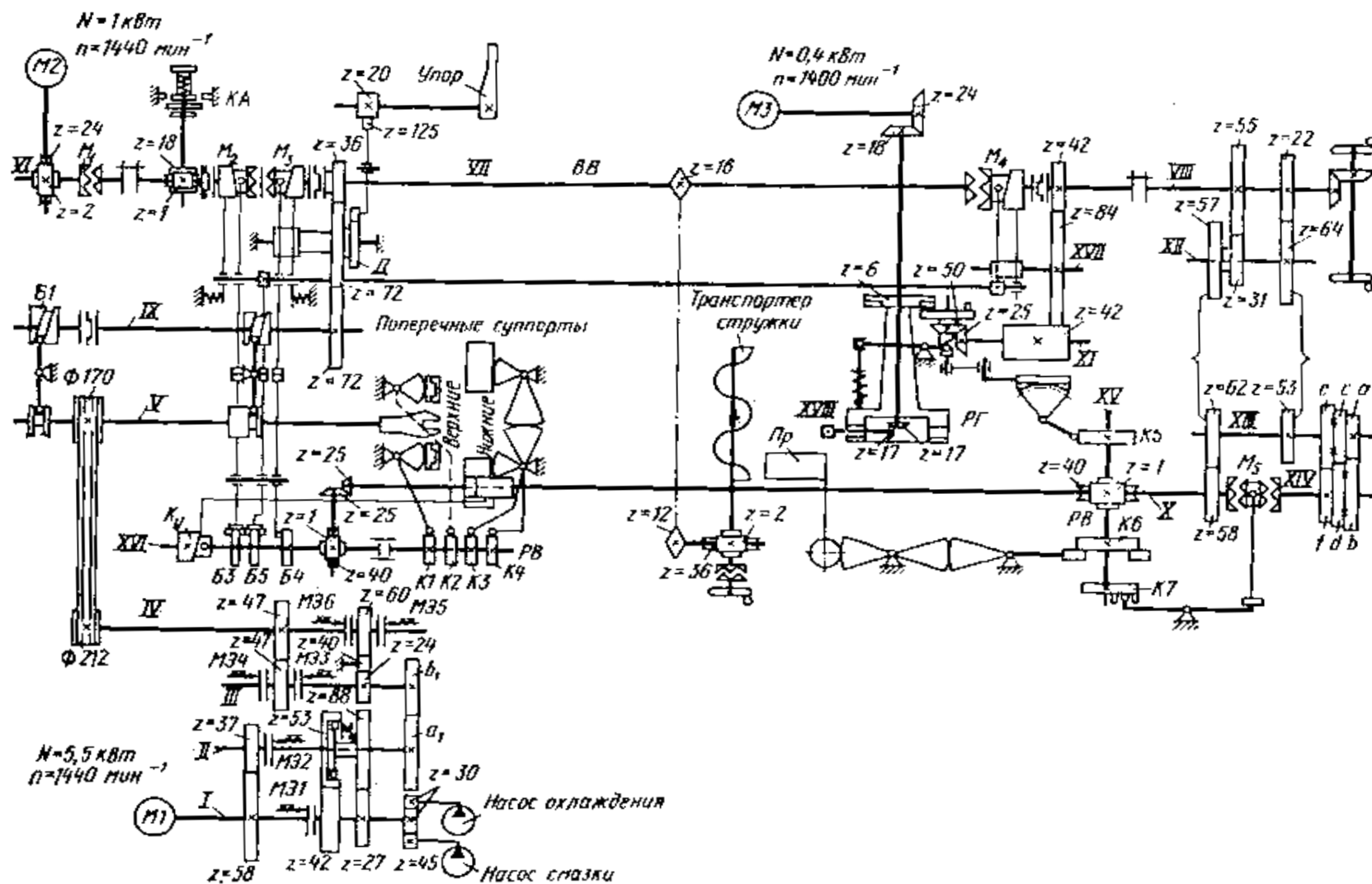


Рис. 2.8. Кинематическая схема токарно-револьверного автомата

Настройка автомата включает разработку технологии изготовления детали на автомате, составление расчетно-технологической карты наладки, выбор инструментов и нормальной специальной оснастки. Процесс изготовления детали включает перечисление переходов, режимов резания и длин перемещений инструментов, режущего, вспомогательного и измерительного инструмента. Эти данные сводят в объединенную операционно-наладочную карту автомата (рис. 2.9). Обязательно указывают вспомогательные переходы: 1 – подача прутка до упора, 2, 4, 7 и 11 – переключение револьверной головки, 13 – переключение направления и частоты вращения шпинделя. Переключение частоты вращения шпинделя совмещено с переключением револьверной головки и в карте наладки не учитывается. Время вспомогательных переходов для автомата постоянно. Подача материала и поворот головки осуществляется за 1 с, переключение направления вращения шпинделя – за 0,5 с, переключение скорости вращения шпинделя – за 0,25 с.

Наладку инструментов по принятому процессу и порядок чередования переходов производят с учетом наладочных и базовых размеров $РГ$ и шпинделя. По паспорту автомата наименьшее и наибольшее расстояние от торца шпинделя до $РГ$ (без оправки инструмента) равно 64 и 180 мм. При наладке перехода 3 принято, что резцовая оправка занимает 58 мм, а минимальное расстояние между шпинделем и головкой 85 мм, следовательно, в исходном положении резца для обточки длины 25 мм расстояние от торца шпинделя до $РГ$ равно $85 + 25 = 110$ мм, т. е. укладывается в размеры настройки.

Длина рабочих ходов инструментов:

$$L = L_p + L_n + L_{пер},$$

где L_p – длина рабочего хода по чертежу, мм;

L_n – длина подвода инструментов, мм;

$L_{пер}$ – длина перебега инструмента, мм.

Так, в переходе 3 для рабочего хода инструмента принято $L = L_p + L_n = 25 + 2 = 27$ мм. Для наладки станка рекомендуются следующие средние значения установочных размеров L_n и $L_{пер}$: резец проходной – 1,5 мм; резец фасонный – 0,5 мм; резец отрезной – 0,5 мм; сверло, зенкер, развертка 1 – 2 мм; метчик, плашка – 2 мм.

Размер диаметра обработки (обточки, расточки) устанавливают регулировкой инструмента на размер по чертежу.

Расчет и назначение подач и скоростей резания производят по условиям обработки согласно нормативам резания. Так, для перехода 3 принято $s = 0,08$ мм/об, $v = 80$ м/мин, а для перехода 12 – $s = 2,5$ мм/об (шаг нарезаемой резьбы), $v = 5,5$ м/мин.

Переходы выполняют с различной скоростью резания, и время одного оборота шпинделя для различных переходов неодинаково, поэтому нельзя его складывать без приведения к общему расчетному числу оборотов.

Эскиз детали	Наименование операции	Автоматная	Вид обработки	Скорость резания, м/мин	Частота вращения шпинделя, мин	Коэффициент приведения					
	Автомат	1E140	Обточка	90	800	1					
	Материал	Сталь	Нарезные резцы	5,5	80	10					
	Заготовка	36x2500 8-9 качества ГОСТ 7417-75	Свек платки Фаски, отрезка	—	200	4					
	Марка	A12 ГОСТ 1414-75	Рабочее число оборотов шпинделя	2586							
	Охлаждение	Сульфорефрезол	Холодное число оборотов	860							
Число оборотов шпинделя для изготовления одной детали					3446						
Эскиз обработки по переходам	п/п	Наименование переходов	Рабочий ход, мм	Подвиг, мм/об	Обороты шпинделя		Кулачковый диск				
					на диаметр перехода	для расчета рабочего хода	Соты		Радиус		
	1	Подача прутка до упора					2	0	2	113	113
	2	Переключение револьверной головки					2	2	4	112	112
	3	Обточка $\Phi 28$	27	0,08	350	350	10	4	14	113	140
	4	Переключение револьверной головки					4	14	18	118	118
	5	Обточка фаски $1,5 \times 45^\circ$ и зацентровка	7	0,09	80	160	5	18	23	120	127
	6	Пауза					0,5	23	23,5	127	127
	7	Переключение револьверной головки					5	23,5	28,5	102	102
	8	Обточка $\Phi 21,86_{-0,14}^{+0,14}$ и сверление	27	0,068	400	400	11,5	28,5	40	104	131
	9	Пауза					0,5	40	40,5	131	131
	10	Медленный отход	27	0,08	350	350	10,5	40,5	51	131	104
	11	Переключение револьверной головки и шпинделя					4,5	51	55,5	83	83
	12	Нарезание резьбы М22x2,5	22,5	2,5	9	90	3	55,5	58,5	84,5	103
	13	Переключение частоты и направления вращения шпинделя	22,5	2,5	9	36	1	58,5	59,5	103	84,5
	14	Обточка канавки	3,5	0,03	(120)	(240)	(7)	(68)	(75)	78,5	82
	15	Передний суппорт						(75)	(75,5)	82	82
	16	Отход резца					(75,5)		82	55	
	17	Обточка фаски $1 \times 45^\circ$	2	0,03	(68)	(136)	(4)	(66)	(70)	78	80
	18	Задний суппорт						(4,5)	(70)	78,5	80
	19	Отход резца						(70,5)		80	55
	20	Верхний суппорт						62	97	77,5	95
	21	Отход резца	18	0,03	600	1200	35	3	97	100	95

64

Так, для 5, 14, 17, 20 переходов расчетные обороты шпинделя $n_{pi} = n_i k_2$, $n_{p5} = n_5 k_2 = 80 \cdot 2 = 160$, $n_{p17} = 68 \cdot 2 = 136$, $n_{p20} = 600 \cdot 2 = 1200$, $n_{p14} = 120 \cdot 2 = 240$.

Рассчитанные аналогичным способом с учетом коэффициентов приведения числа оборотов других переходов вносят в таблицу. В карте настройки в скобках указаны числа оборотов для совмещенных операций, не учитываемых в расчете времени цикла работы станка. Расчетное число оборотов шпинделя, необходимых для совершения всех рабочих переходов, составит сумма чисел расчетных оборотов (без скобок), $\sum n_p = 2586$ оборотам.

По условиям наладки цикл работы должен совершиться за один полный оборот кулачков, выполняющих холостые и рабочие ходы переходов. В графе «Сотые доли» имеются две колонки – сотые доли для рабочих и холостых ходов. Сотые доли холостых ходов выбирают по данным паспорта автомата. Так, для 1-го перехода – 2 сотых диска кулачка, для 4, 7, 11 переходов – 2-5 сотых, для 9, 21 переходов – соответственно 0,5 и 3 сотых.

Общая сумма сотых долей холостых ходов соответствует 24 лучам из общего числа 100 лучей полного оборота РВ. Поэтому число расчетных оборотов для выполнения холостых ходов:

$$\sum n_x = \sum n_p \cdot 24/76 = 2586 \cdot 24/76 = 816.$$

Продолжительность цикла работы складывается из суммы времен переходов, которые можно подсчитать по числу оборотов шпинделя для выполнения каждого перехода. Для этой цели в графе Обороты шпинделя предусмотрены две колонки: обороты шпинделя на данный переход и обороты шпинделя для расчета. Обороты шпинделя на данный переход (ход) $n_{ход} = L/s$, где L – длина перемещения инструмента, мм; s – подача, мм/об.

Так, для перехода 3 число оборотов на переход $n_{ход} = 27/0,08 = 338$ оборотам. Учитывая время выстоя резца в конце перехода для зачистки, принято $n_{ход} = 350$ оборотов. Рассчитанные числа оборотов переходов занесены в графу Обороты на данный переход.

Числа оборотов шпинделя для расчета вычисляют с учетом режимов работы на каждом переходе. Так, на станке установлено четыре режима чисел оборотов шпинделя: 5, 14, 17, 20 переходы – 400; 3, 8, 10 переходы – 800; 12, 13 переходы – 200 мин¹. Эти обороты подсчитаны по соответствующим режимам и согласованы с числами оборотов шпинделя. Из перечисленных чисел оборотов шпинделя наиболее быстроходным является 800 мин¹. Оно взято за основное расчетное число.

Пересчет чисел оборотов каждого перехода в число оборотов для расчета производят с помощью коэффициентов приведения k . Общее число расчетных оборотов шпинделя для полного цикла работы:

$$\sum n = n_p + n_x = 2586 + 816 = 3402.$$

Продолжительность цикла работы:

$$t_u = (n_p + n_x)/n_0 = 3402/800 = 4,25 \text{ мин} = 255 \text{ с.}$$

По паспортным данным подбирают необходимые сменные колеса для настройки гитары i_u по расчетному циклу работы. Циклу $t_u = 258 \text{ с}$ соответствуют сменные колеса $a = 20$, $b = 80$, $c = 60$, $d = 71$.

Число сотых долей для рабочих ходов:

$$a_i = n_{pi} / n_l,$$

где n_l – число расчетных оборотов на одну сотую ($n_l = \sum n/100 = 3402/100 = 34,02 \text{ об/луч.}$).

Для 3-го перехода число сотых:

$$a_3 = n_{p3}/n_l = 350/34,02 = 10.$$

Рассчитанное число лучей для переходов вносим в карту. Общее число лучей рабочих и холостых ходов должно равняться сумме $\sum a_i = 100$. Радиусы кулачков диска определяют из конструктивных условий, исходя из размеров роликов, рычагов, соотношения плеч рычагов и размеров дисков кулачков.

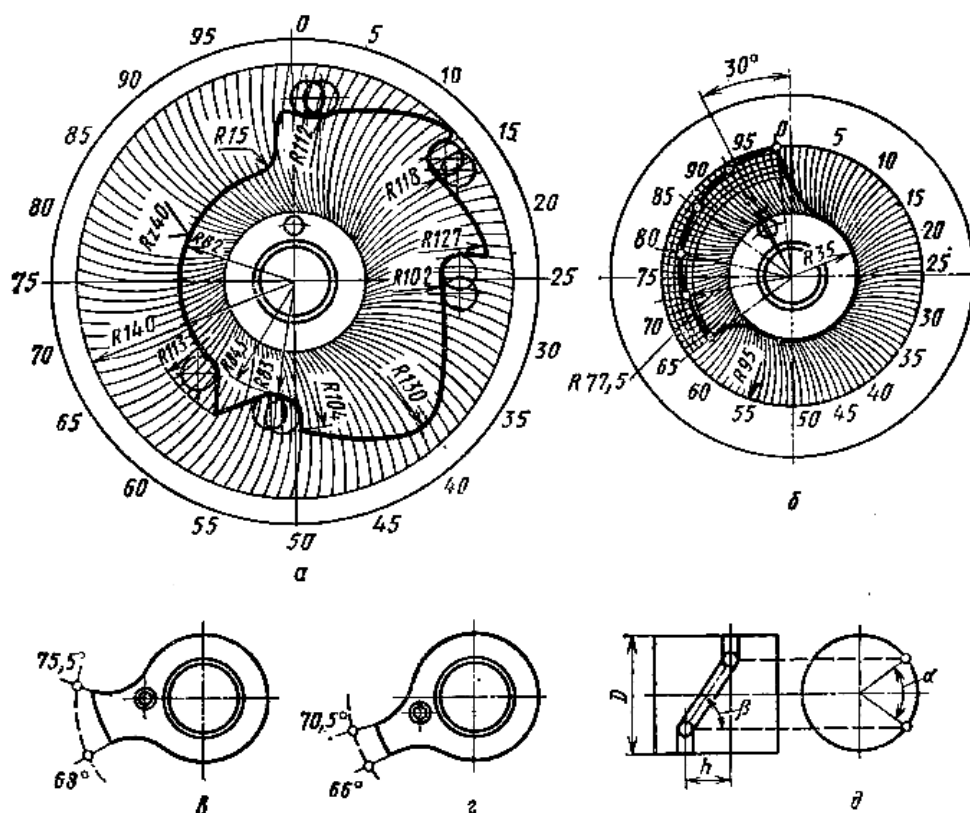


Рис. 2.10. Кулачки токарно-револьверного автомата:
 a – продольного суппорта; поперечных суппортов; $б$ – вертикального;
 $в$ – переднего; $г$ – заднего; $д$ – вспомогательного вала

Профили кулачков вычерчивают на бланках, разделенных на 100 частей прямыми или кривыми лучами (рис. 2.10, *а, б*). Радиусы криволинейных лучей равны длине рычага качания. На бланки наносят соответственно с картой настройки участки сектора кривых рабочих и холостых ходов. На каждом участке определяют максимальные и минимальные радиусы зоны расположения кривой и на этом участке строят для рабочих движений архимедову спираль, а для холостых ходов кривые вычерчивают по шаблону.

Кривые барабанов можно рассчитать по рис. 2.10, *д*. Задано: a – число лучей поворота барабана; L – перемещение исполнительного механизма при соотношении рычагов 1:1; D – диаметр барабана. Величины α , β и l определяются следующим образом: угол сектора кривой барабана $\alpha = 3,6^\circ a$, где $3,6^\circ$ – цена одного луча. Длина дуги по барабану $l = \pi Da/360^\circ$. Необходимый угол подъема кривой барабана $\beta = \arctg h/l$.

Наладка автомата заключается в снятии с РВ кулачков револьверной головки и поперечных суппортов, смене державок инструмента. Затем производят смену зубчатых колес в коробке скоростей и в приводе РВ. Устанавливают новые кулачки револьверной головки и поперечных суппортов, размещают резцы, начиная с отрезного резца, регулируют длину подачи прутка и хода инструментов.

Производительность автомата при рассмотренной настройке:

$$Q = 3600/258 \approx 13 \text{ деталей/час.}$$

2.1.5. Многошпиндельные прутковые автоматы

Гамма горизонтальных многошпиндельных автоматов с временной САУ построена на базе шестишпиндельных моделей, принятых за основные. Подобие основных узлов и механизмов, высокая унификация обеспечивают высокое качество изготовления, стабильную точность и высокую надежность станков. На многошпиндельных автоматах выполняют центрование, черновую, чистовую и фасонную обточку, подрезку, снятие фасок, проточку канавок, сверление, зенкерование, развертывание, нарезание наружных и внутренних резьб, фрезерование шлицев, отрезку. Кроме того, можно выполнять операции без снятия стружки: накатку рифлений, клеймение цифр и марок, накатку резьбы, раскатку и обкатку поверхностей (рис. 2.11).

Направление вращения шпинделей в многошпиндельных автоматах не меняется при обработке. Поэтому нарезание резьб метчиками и плашками производят при отставании инструмента, а свинчивание – посредством обгона вращающейся детали. Для фрезерования шлицев используют специальное приспособление, обеспечивающее помимо вращения фрезы синхронное с рабочим шпинделем вращение фрезерной головки (рис. 2.11, поз. 111).

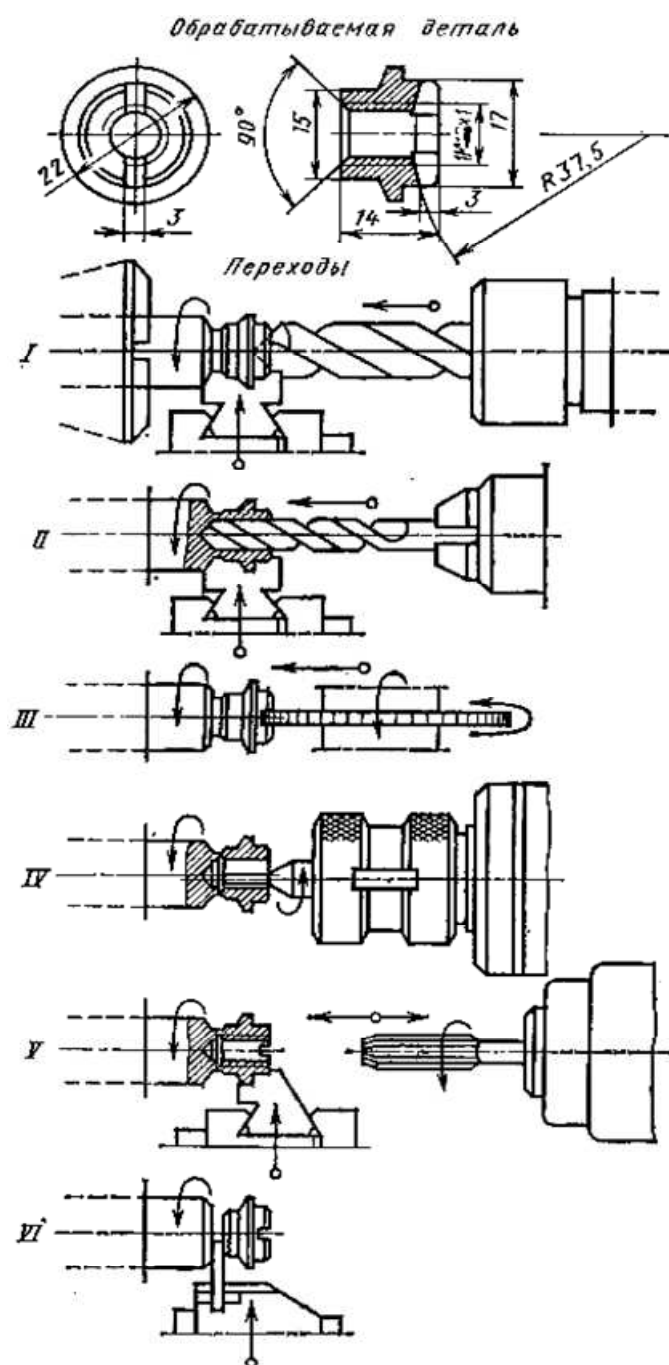


Рис. 2.11. Последовательность переходов при обработке гайки на шестишпиндельном автомате

Горизонтальные многошпиндельные автоматы характеризуются последовательным принципом действия, когда операции по обработке детали равномерно распределяются по всем позициям I – VI. При большом числе шпинделей на шестишпиндельных, и особенно на восьмишпиндельных, автоматах применяется параллельно-последовательный принцип действия, когда одна или две детали с базированием по отверстию и наружной поверхности на станках с двойной индексацией проходят одновременно последовательную обработку.

Автомат 1Б240-6 (рис. 2.12) является базовой моделью многошпиндельных автоматов. При использовании постоянных кулачков автомат имеет регулируемый ход продольного и поперечных суппортов, что упрощает и ускоряет наладку. Автомат предназначен для изготовления деталей из прутков круглого и многогранного сечения.

Техническая характеристика. Наибольший диаметр прутка – 40 мм, наибольшая длина подачи прутка – 180 мм; частоты вращения шпинделей – 154 – 2120 мин⁻¹; число скоростей – 24; наибольший рабочий ход продольного суппорта – 166 мм, поперечных верхних суппортов – 65 мм, средних и нижних – 40 мм; время холостого хода – 2,7 с; время обработки одной детали – 288 с.

Каждая позиция шпинделей обслуживается продольным и поперечным суппортами. Две верхние позиции могут оснащаться дополнительными устройствами, имеющими независимую подачу. В пяти позициях продольного суппорта могут быть установлены приспособления для сверл, разверток, резбовых плашек и метчиков. На первой шпиндельной позиции используется откидной упор для выдвижения прутка на размер обработки.

Кинематическая группа скорости резания $\Phi_v(B_1)$ простая. Ее внутренняя связь – вращательные пары: *корпус шпиндельного блока* → *шпиндели заготовок* (B_1).

Внешняя связь – кинематическая цепь главного движения: $M_1 \rightarrow 124/317 \rightarrow i_v \rightarrow (55/37 \text{ или } 25/67) 45/45 \rightarrow 49/38 \rightarrow \text{шпиндели } (B_1)$.

Группа настраивается только на один параметр – скорость (резания) двухколесной гитарой зубчатых колес $i_v = A/B$. Для этой гитары РП имеют вид:

$$n_{M1} \text{ мин}^{-1} \rightarrow n_{ш} \text{ мин}^{-1}.$$

УКЦ:

$$n_{ш} = 1450 \frac{124}{317} (\eta = 0,96) (i_v = \frac{A}{B}) (\frac{55}{37} \text{ или } \frac{25}{67}) \frac{45}{45} \frac{49}{38}.$$

ФН при зацеплении 55/37 и 25/67 имеет вид соответственно

$$i_{v1} = n_{ш} / 1047; \quad i_{v2} = n_{ш} / 263.$$

Блок зубчатых колес 37 – 67 используют для быстрого переключения частоты вращения шпинделей. Для точной настройки частот вращения шпинделей служит комплект из 12 пар сменных зубчатых колес A, B .

При нарезании резьбы метчиками и плашками вращательное движение инструментальному шпинделю, установленному на продольном суппорте, сообщается от вала V посредством двухколесных гитар c/d и e/f . Процессом нарезания резьбы управляет плоский кулачок барабана 13, установленного на РВ, посредством переключения муфты M_2 . При нарезании резьбы движение инструментальному шпинделю сообщается через гитару c/d , а при свинчивании – через гитару e/f .

РП для обеих гитар имеют вид:

$$n_{и} \text{ мин}^{-1} \rightarrow n_u \text{ мин}^{-1},$$

где n_u – круговая частота вращения инструмента.
УКЦ:

$$n_u = 38/49 \cdot M_2 \cdot c/d \text{ или } e/f.$$

ФН:

$$c/d = e/f = 6,1 n_u.$$

При нарезании резьбы

$$n_u = n_{и} - n_v,$$

где $n_v = 1000 v/\pi D$;
 v – скорость резания, м/мин;
 D – средний диаметр резьбы.

При свинчивании (вывинчивании) инструмента:

$$n_u = n_{и} + n_c,$$

где $n_c = (2 - 3) n_v$.

Быстросверлильный шпиндель устанавливается на продольном суппорте и соединяется с валом 21. Направление вращения этого шпинделя противоположно направлению вращения шпинделей заготовок. Вращательное движение быстросверлильному шпинделю сообщается от электродвигателя M_1 по внешней связи группы скорости резания до центрального вала V и далее через передачи 42/20, сменное колесо k и вал 21.

Группа подачи $\Phi_s(P_2)$ выполняет также функцию системы временного управления циклом обработки, включающем управление рабочими и вспомогательными движениями исполнительных органов станка и последовательностью выполнения этих движений.

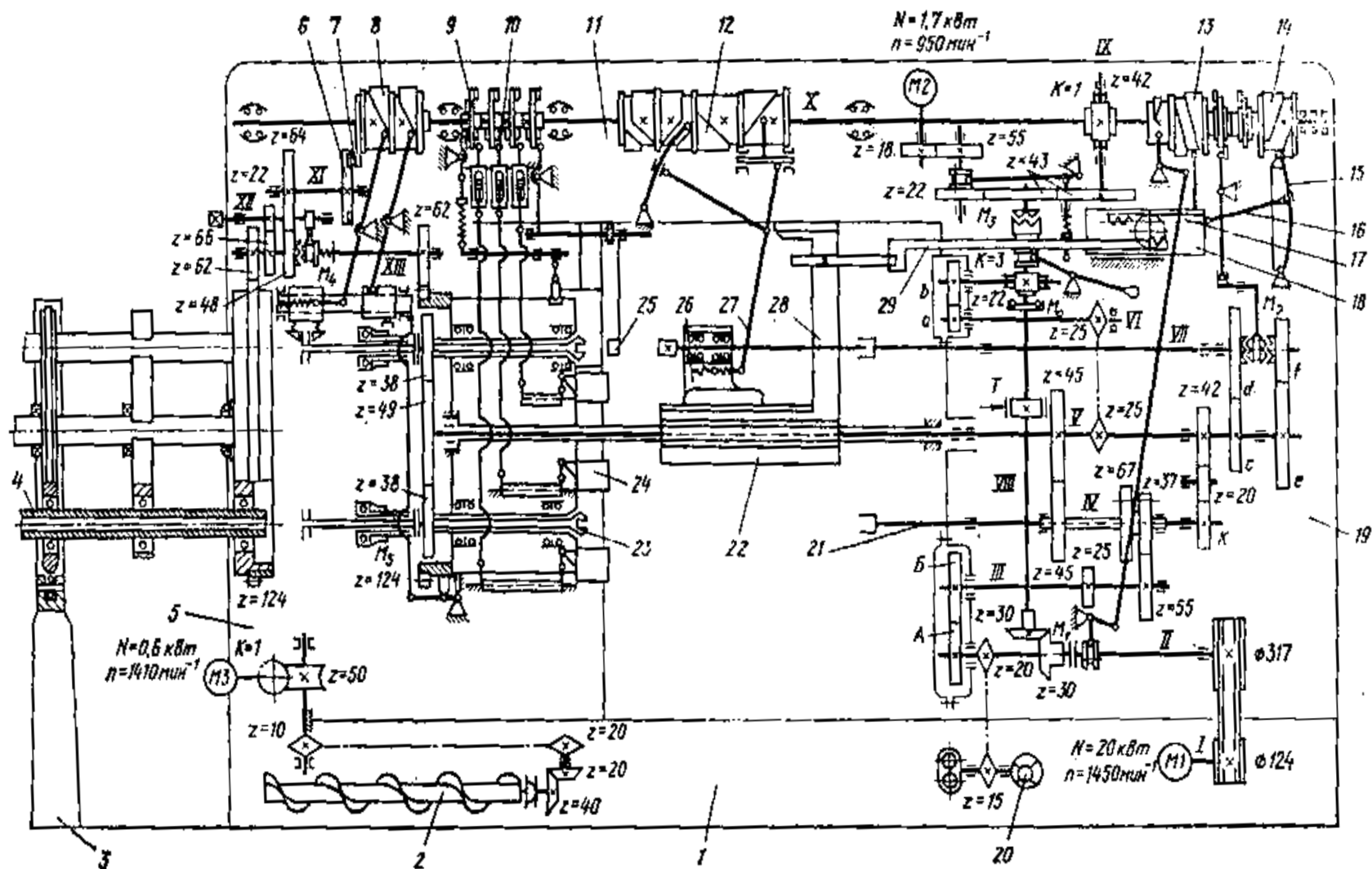


Рис. 2.12. Кинематическая схема шестишпиндельного пруткового автомата

Внутренняя связь группы: *направляющие станины* → *поперечные и продольный суппорт* (Π_2).

Внешняя связь – кинематическая цепь, соединяющая электродвигатель M_1 с РВ (вал X), выполняющем в приводе подач функцию ТВ: $M_1 \rightarrow 124/317 \rightarrow i_v \rightarrow (55/37 \text{ или } 25/67) \rightarrow 45/45 \rightarrow 25/25 \rightarrow i_u = a/b \rightarrow 3/22 \rightarrow 43/43 \rightarrow 1/42 \rightarrow РВ \rightarrow \text{кулачки (ТВ) } 9,10 \rightarrow \text{рычаги} \rightarrow \text{поперечные суппорты } (\Pi_{2 \text{ поп}}) \text{ и барабан (ТВ) } 13 \rightarrow \text{продольный суппорт } (\Pi_{2 \text{ прод}})$.

Группа настраивается на путь, скорость и исходное положение суппортов жесткими программоносителями, функцию которых выполняют кулачки 9, 10 и барабан 13. Гитара i_u используется для задания времени обработки.

РП для гитары i_u :

$$\frac{n_{ш}}{60} \cdot t_p \text{ об. шпинделей} \longrightarrow \frac{\alpha_p^0}{360^0} \text{ об. РВ}.$$

УКЦ:

$$\frac{\alpha_p^0}{360^0} = \frac{n_{ш}}{60} \cdot t_p \cdot \frac{38}{49} \cdot \frac{25}{25} \cdot (i_u = \frac{a}{b}) \cdot \frac{3}{22} \cdot \frac{43}{43} \cdot \frac{1}{42}.$$

ФН:

$$i_u = \frac{\alpha_p \cdot 60 \cdot 49 \cdot 22}{360 \cdot n_{ш} \cdot t_p \cdot 3} = \frac{60 \alpha_p}{n_{ш} t_p}.$$

Ускоренное вращение для вспомогательных движений РВ получает от вала 11 при включении фрикционной муфты M_1 от кулачкового барабана 13. Обгонная муфта M_o на валу VIII разъединяет цепь рабочей подачи от цепи ускоренного вращения. Ускоренный ход РВ (УКЦ):

$$n_{x.x} = 1450 \frac{124}{317} \eta \frac{30}{30} \frac{43}{43} \frac{1}{42} = 13 \text{ мин}^{-1}.$$

При переключении вращения РВ с быстрого хода на медленный включается тормоз T на валу VIII, управляемый от РВ синхронно с муфтой M_1 .

Поперечные суппорты приводятся в движение рычажной системой от дисковых кулачков 9 и 10, установленных на РВ. Диапазон рабочих ходов суппортов при четырех сменных кулачках обеспечивается регулируемы рычагами. Изменение плеч рычага обеспечивается переставной тягой.

Продольный суппорт предназначен для установки резцедержавок с инструментами и приспособлений для сверлильных и резьбонарезных работ. В поперечном сечении продольный суппорт имеет шестигранную (по числу рабочих позиций) форму с направляющими для приспособлений типа «лас-

точкин хвост». Продольный суппорт скользит по трубе, охватывающей центральный вал, и имеет призматические направляющие в траверсе 11, с которой он соединен вертикальным кронштейном 28. Продольный суппорт имеет быстрый подвод на длине 120 мм, медленный рабочий ход, регулируемый в пределах 20 – 80 мм, и быстрый отвод. Такой цикл движения осуществляет реечный механизм, размещенный в каретке 18 с шестерней $z = 18$, $m = 4$ мм. Рейки 17 и 29 находятся с обеих сторон и при вращении реечной шестерни получают противоположное движение. Каретка связана с барабаном 13 на *PB*, рейка 17 тягой 16 и рычагом 15 – с барабаном 14, а рейка 29 – с кронштейном 28 продольного суппорта 22. При вращении *PB* первой в движение приводится каретка от кулака барабана 13. Рычаг, а с ним и рейка 17 стоят неподвижно, так как на барабане 14 в данный момент проходит постоянный участок. По неподвижной рейке 17 обкатывается реечная шестерня, двигаясь вместе с кареткой, и выдвигает рейку 29. На рейке 29 суммируются два движения: от хода каретки и вращения реечной шестерни. Продольный суппорт получает ход в 2 раза больше хода каретки. Происходит быстрый подвод суппорта к рабочим шпинделям. Затем на равномерном участке кулачка барабана 13 каретка останавливается по упору. Второй кулак барабана 14 медленно поворачивает рычаг 15, который через тягу 16 перемещает рейку 17. Реечная шестерня поворачивается уже вокруг неподвижной оси, медленно перемещает рейку 29, а с ней и суппорт. Изменяя место закрепления тяги 16 на рычаге 15, получают разный ход суппорта при постоянном радиусе кулачка.

Шпиндельный блок является основным узлом автомата и определяет точность обработки. Шпиндельный блок включает барабан, группу шпинделей, механизмы подъема, поворота и фиксации барабана (рис. 2.13). В барабане 1 расточены цилиндрические гнезда под опоры шпинделей 2. На барабане установлен венец зубчатого колеса 3, служащий для поворота шпиндельного блока. В корпусе барабана размещены фиксирующие замки 5 для рычагов фиксации 6 и запираания 14.

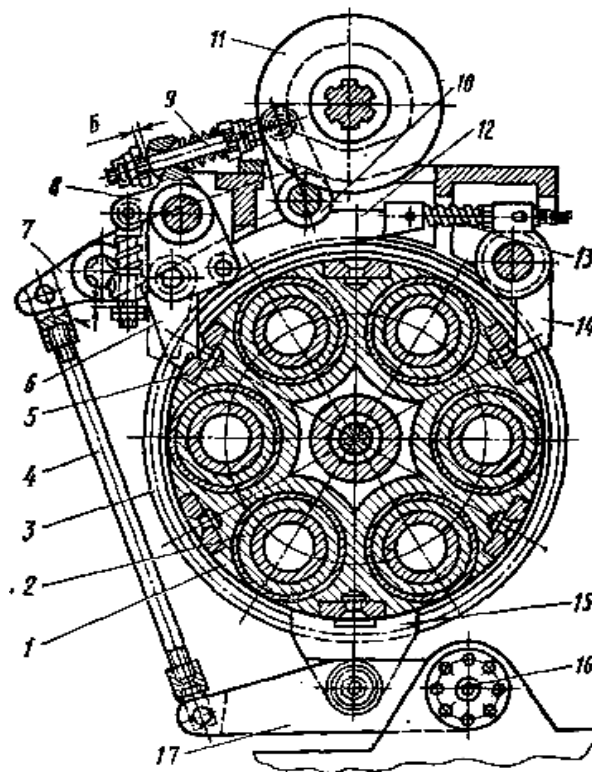


Рис. 2.13. Шпиндельный блок

Периодический поворот блока и его фиксация осуществляется простой, ненастраиваемой группой деления $D(B_4)$. Ее внутренняя связь: корпус $\rightarrow$ шпиндельный блок (B_4).

Внешняя связь: $M_1 \rightarrow 124/317 \rightarrow i_v \rightarrow (55/37 \text{ или } 25/67) 45/45 \rightarrow 25/25 \rightarrow i_{\text{ц}} = a/b \rightarrow 3/22 \rightarrow 43/43 \rightarrow 1/42 \rightarrow PB \rightarrow \text{поводок } 7 \rightarrow \text{мальтийский крест } 6 \rightarrow 64/48 \rightarrow \text{вал XIII} \rightarrow 62/124 \rightarrow \text{шпиндельный блок и барабан с трубами для прутковых заготовок.}$

Параметр путь, т. е. поворот шпиндельного блока на угловой шаг, равный $1/6$, обеспечивается четырехпазовым мальтийским крестом. Поворот блока осуществляется на поддерживающей колодке. Перед поворотом производится расфиксация и подъем барабана на $0,3 - 0,4$ мм от опорной поверхности. От кулака 11 PB приводится в движение рычаг 10, который через тягу 9 выбирает зазор B и поворачивает промежуточный рычаг 8. Последний выводит из гнезда замка 5 фиксирующий рычаг 6, а через тягу 12 и регулировочный стержень 13 – запирающий рычаг 14 из противоположного относительно вертикальной оси гнезда. Затем от другого кулака PB через рычаг 7 и тягу 4 поворачивается качающийся на оси 16 рычаг 17 с опорной колодкой 15, поднимая шпиндельный блок. После поворота блок опускается на поверхность и фиксируется рычагами 6 и 14.

Особенности настройки и наладки многошпиндельных автоматов. Одновременная обработка деталей накладывает особые условия на разрабатываемый технологический процесс, заключающийся в необходимости выдерживать равную продолжительность обработки на позициях и выбирать режимы обработки (главным образом скорость резания) с учетом постоянства частоты вращения шпинделей.

Наличие приспособлений 26 (рис. 2.12) с независимым вращением от вала VII со сменными шестернями c, d и e, f , вала 21 и независимой подачи от кулаков 12 PB через рычажную систему 27 инструментальных шпинделей, устанавливаемых на продольном суппорте 22, позволяет для сверления, зенкерования, развертывания, нарезания резьбы устанавливать наиболее выгодные режимы обработки.

При разработке процесса длины рабочих ходов выбирают так, чтобы при заданных режимах время обработки было одинаковым. Выявляется лимитирующая операция, на которой длинный проход невозможно разделить на два из-за удорожания оснастки и потери, точности обработки. На

других позициях, исходя из времени лимитирующей операции, режимы следует понизить до выравнивания времен. Необходимо стремиться к минимальному числу инструмента.

Последовательность обработки деталей строят так, чтобы на позициях I, II, III выполняли черновые, а на позициях IV, V, VI – чистовые операции. Такое построение обеспечивает наиболее рациональный сход стружки в корыто с нижних позиций, а минимальный сход стружки с верхних суппортов, попадая в зону черновой обработки, не оказывает существенного влияния на стружкообразование. Отвод стружки из корыта станины 1 производят шнеком 2, привод которого осуществляется от электродвигателя M_3 через червячную передачу 1/50, цепную передачу 10/20 и коническую 20/40.

Из рис. 2.11 и 2.14 видно, что суппорты вступают в работу одновременно при угле 210° поворота PB и заканчивают работу при угле 360° .

При наладке автомата используется привод наладочного вращения PB от электродвигателя M_2 .

При наладке посредством муфты M_3 рабочий привод PB отключают, и при включении электродвигателя M_2 образуется кинематическая цепь наладочного вращения PB :

$$n_{PB} = (n_{M2} = 950) \frac{18}{55} \frac{22}{43} \frac{43}{43} \frac{1}{42} = 4 \text{ мин}^{-1}.$$

Охлаждение инструмента в зоне обработки осуществляют подачей СОЖ с помощью лопастного насоса 20, приводимого в действие цепной передачей 20/15 от вала 11. Соосно лопастному насосу на одном и том же валу установлен шестеренный насос смазки.

До недавнего времени преобразование числовой информации чертежа детали в аналоговый вид (кривые кулачков) требовало трудоемкого процесса изготовления полученных физических аналогов (профильных кулачков-программоносителей).

В настоящее время эта задача с существенно меньшими трудозатратами решается посредством использования полуавтоматов фрезерной группы, оснащенных контурными системами ЧПУ.

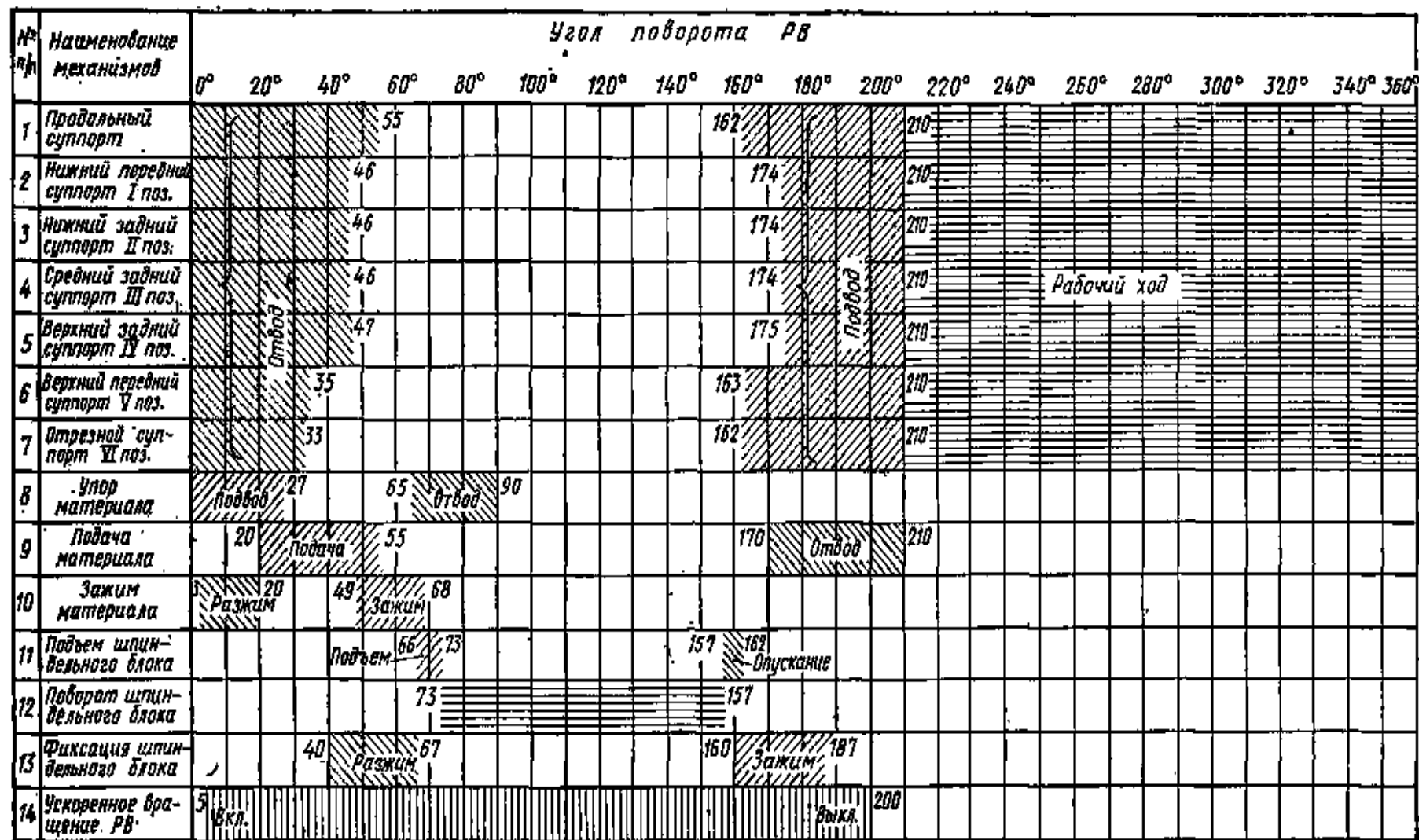


Рис. 2.14. Циклограмма работы многошпиндельного пруткового автомата

2.2. Копировальные системы управления

2.2.1. Механические копировальные системы

Первый токарно-копировальный станок был создан А. Нартовым в 1712 г. Этот станок (рис. 2.1) использовался для обработки одинаковых деталей посредством прямого копирования заданного образца (плоского копира). В настоящее время различные схемы копирования достаточно широко используются в машиностроении для изготовления деталей, имеющих сложные криволинейные поверхности. Причем наибольшее распространение для обработки таких поверхностей получили токарно-копировальные и копировально-фрезерные станки.

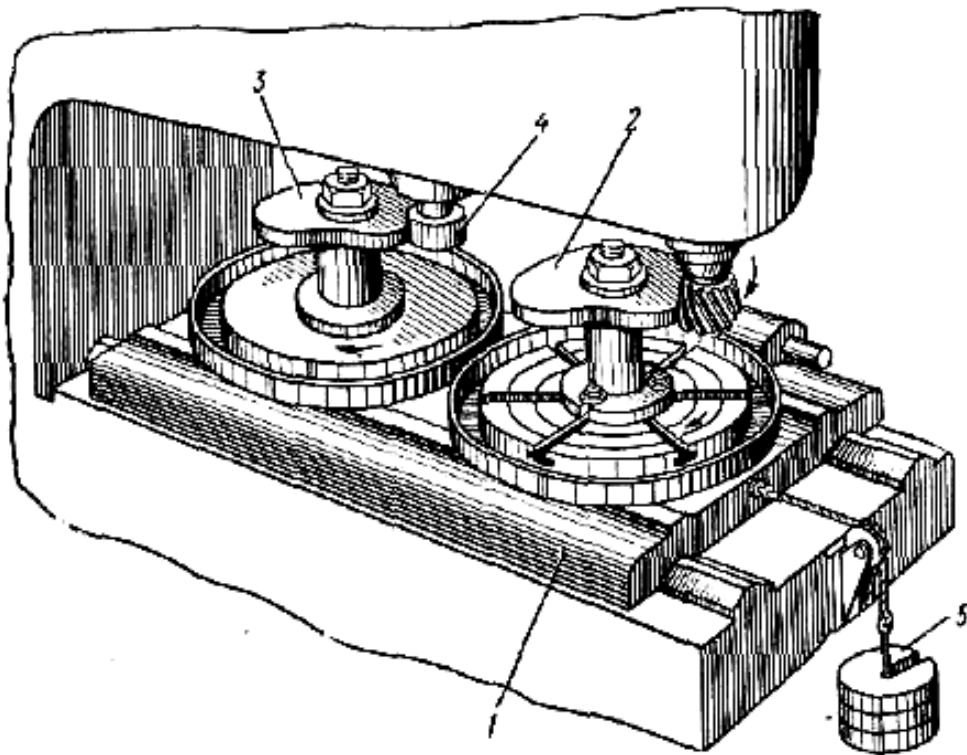


Рис. 2.15. Схема работы копировально-фрезерного станка при прямом копировании

Рассмотрим принцип действия копировально-фрезерного станка (рис. 2.15), работающего по схеме прямого копирования. На столе 1 устанавливаются заготовка 2 и копир 3, рабочая поверхность которого определяет программу работы станка. Копир под действием груза 5 находится в постоянном контакте с роликом 4. В процессе обработки копир и заготовка

вращаются с одинаковой круговой частотой, а стол под действием груза перемещает заготовку относительно фрезы, в зависимости от относительного расположения ролика и копира в каждый момент времени.

При равенстве наружных диаметров фрезы и ролика профиль обработанной детали будет полностью соответствовать профилю копира. Постоянный контакт между роликом и копиром, а, следовательно, между фрезой и заготовкой можно поддерживать не только посредством груза, но и с помощью пружины, гидравлического или пневматического нажимного устройства.

Прямое копирование с механической передачей движения от копира к режущему инструменту имеет существенный недостаток: одни и те же элементы конструкции используются как для управления, так и для перемещения исполнительных органов. Сила, необходимая для перемещения инструмента относительно заготовки может достигать тысяч ньютонов, а передается она через те же копир и ролик, которые служат для управления системой. Поэтому детали и узлы системы управления для обеспечения требуемой точности обработки и длительного срока службы самой системы должны обладать большой прочностью, жесткостью и износостойкостью. Необходимость соблюдения этих требований приводит к созданию крупногабаритных, тяжелых конструкций, что в настоящее время нецелесообразно.

2.2.2. Следящие копировальные системы

В начале 20-го столетия для копировального станка предложена схема с гидромеханическим управлением (рис. 2.16). Копир 3 и заготовка 4, установленные на одном столе, вращаются с одинаковой скоростью от червячных передач. Ролик 6 под действием пружины 11 находится в постоянном контакте с копиром 3. В процессе обработки вращающийся копир и пружина заставляют ролик двигаться в направлении горизонтальной оси вилки, причем это движение не передается непосредственно режущему инструменту, как это имеет место в станках с механическими системами управления, а осуществляется гидравлической системой, состоящей из насоса 13, гидравлического цилиндра 7 и управляющего золотника 12. Гидравлический цилиндр закреплен на столе 1, который может двигаться по направляющим, приближаясь к столу 2 или удаляясь от него. Так как поршень 9 цилиндра 7 закреплен неподвижно, то при подаче масла в правую полость цилиндра стол будет двигаться вправо, а при подаче масла в левую полость влево.

Подачей масла в полости цилиндра управляет золотник 12, имеющий два цилиндрических пояска. Если ролик, а вместе с ним и золотник, переместятся вправо, то масло под давлением будет поступать по маслопроводу 10 в правую полость цилиндра и стол начнет перемещаться вправо. Масло из левой полости цилиндра по маслопроводу 8 через левую полость корпуса золотника 12 потечет в масляный бак 14. Стол будет продолжать движение вправо до тех пор, пока золотник своими цилиндрическими поясками не перекроет оба отверстия корпуса золотника, соединенные с маслопроводами 8 и 10. При движении ролика и золотника влево стол с фрезой 5 будет также двигаться влево до тех пор, пока золотник снова не перекроет оба отверстия, соединенные маслопроводами с гидроцилиндром.

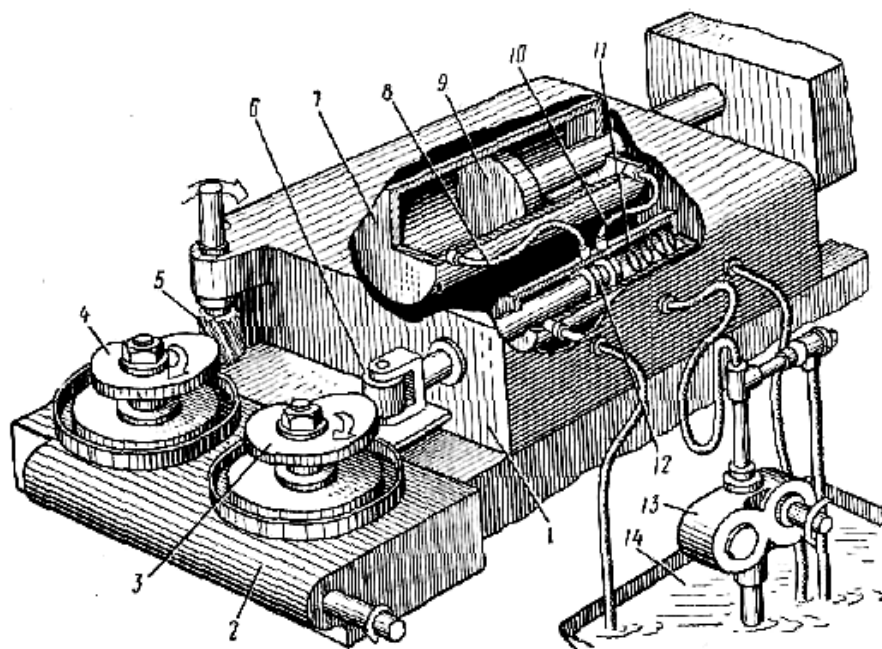


Рис. 2.16. Схема слеящего гидрокопирования

Из рассмотренной схемы видно, что функции управления и исполнения управляющих команд здесь разделены между разными элементами системы. Благодаря этому копир, щуп (ролик) и золотник, выполняющие функцию управления, не несут больших нагрузок. Это позволяет изготавливать копиры из легкообрабатываемых материалов, причем стоимость материала и обработки существенно уменьшаются, а долговечность копиров увеличивается. Поэтому описанный принцип построения копировальных систем управления применяется в САУ.

Рассмотренное гидрокопировальное устройство имеет еще одну существенную особенность: оно представляет собой следящую систему. Действительно, стол с фрезой как бы «следит» за перемещением щупа (ролика). Если щуп перемещается вправо, то и стол с фрезой движется в том же направлении, и наоборот. Следящая система начинает действовать автоматически при рассогласовании между положениями щупа и фрезы. Она все время стремится устранить это рассогласование и прекращает действовать лишь тогда, когда щуп и фреза займут одинаковое положение. В следящих системах исполнительный орган повторяет движение управляющего органа, не будучи с ним непосредственно связан.

Рассмотрим функциональную схему следящей системы управления (рис. 2.17). Управляемый рабочий орган 7 (например, шпиндельная бабка с фрезой) с помощью силового следящего привода 6 (например, гидроцилиндра) автоматически воспроизводит движение, задаваемое управляющим устройством 1 (например, копиром). Сигнал управления вырабатывается сравнивающим устройством 2, получающим информацию о требуемом положении рабочего органа 7 от управляющего устройства 1 и о его действительном положении с помощью отрицательной обратной связи 9. Последняя называется так, потому что управляющий сигнал ε (сигнал рассогласования) представляет собой разность сигналов $x_{зад}$ и x , характеризующих соответственно заданное и действительное перемещение рабочего органа.

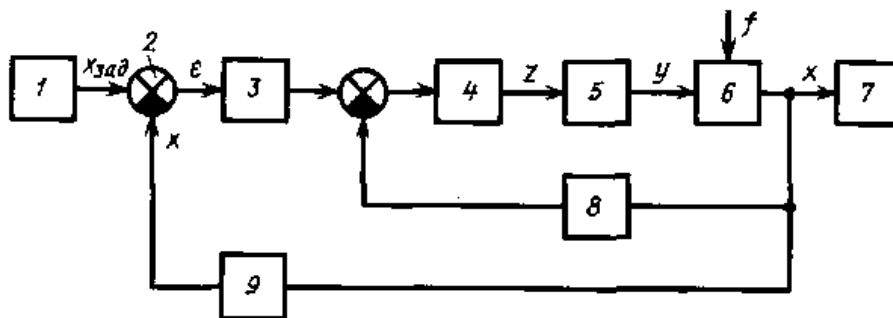


Рис. 2.17. Функциональная схема следящей системы управления

На силовой следящий привод кроме реакции со стороны рабочего органа станка (силы резания, силы трения) действует внешнее воздействие f .

Сигнал рассогласования ε усиливается в усилителе 3 и преобразуется с помощью корректирующих устройств 4 и 8 в управляющий сигнал z . Корректирующее устройство 4 принято называть последовательным, а устройство 8 параллельным. Корректирующие устройства предназначены

для обеспечения работоспособности и требуемой точности и быстродействия следящей системы. Сигнал z через усилитель мощности 5 передается на силовой следящий привод, в качестве которого в станках применяют электродвигатели постоянного тока и гидроприводы – гидроцилиндр с поршнем или гидродвигатель. Следящие системы управления могут быть непрерывными (аналоговыми) и дискретными, а также линейными и нелинейными. Линейной называется система, динамика всех звеньев которой описывается линейными уравнениями. Для этого необходимо, чтобы статистические характеристики всех звеньев системы были линейными. Нелинейной называется такая система, в которой хотя бы в одном звене нарушается линейность статической характеристики или же имеет место любое другое нарушение линейности уравнений динамики звена. Реальные звенья следящих систем управления почти всегда имеют нелинейные характеристики, обусловленные ограничением мощности, гистерезисом, силами сухого трения, зазорами в кинематических цепях привода подач.

Учитывая, что наиболее полно разработана методика расчета для обыкновенных линейных систем, для простоты анализа и синтеза следящих систем управления нелинейные характеристики их реальных звеньев линеаризируют. В основе линеаризации нелинейных уравнений лежит предположение, что в исследуемом динамическом процессе переменные изменяются так, что их отклонение от установившихся значений остаются все время достаточно малыми.

При проектировании и эксплуатации систем решают одну из двух задач – задачу анализа следящей системы управления и задачу ее синтеза. В первом случае задаются следящая система и значение ее параметров. Требуется определить свойства системы. Во втором случае. Наоборот, задаются свойства, которыми должна обладать система управления, и необходимо создать такую систему. Очевидно, что задача синтеза значительно сложнее задачи анализа из-за своей неоднозначности.

В общем виде порядок исследования следящей системы управления в обоих случаях включает математическое описание системы, исследование ее установившихся и переходных режимов. Математическое описание следящей системы управления начинается с разбиения ее на звенья и описания этих звеньев. Последнее может осуществляться либо аналитически в виде уравнений, связывающих входные и выходные величины звена, либо графически в виде характеристик, описывающих ту же связь. По уравнениям или характеристикам отдельных звеньев составляют уравнения или характеристики системы в целом, на основании которых она исследуется.

После разбиения системы на звенья и их математического описания составляют структурную схему системы управления.

При разработке математической модели следящей системы управления необходимо учитывать динамику ее механической части – привода подач от двигателя до рабочего органа станка. Аналитическую связь между входной и выходной величиной звена дает передаточная функция. Следящую систему можно рассматривать как комбинацию динамических звеньев с определенными типовыми передаточными функциями. Улучшение свойств и повышение точности работы следящей системы производится изменением ее параметров или, если это необходимо, ее структуры – введением дополнительных корректирующих средств. В следящих системах управления станками в качестве таких средств наиболее рационально применять обратные связи, которые технически легко реализуются и имеют свойство уменьшать влияние нелинейностей участков цепи, которые ими охватываются. Кроме того, они снижают сумму постоянных времени звеньев, входящих в систему управления, и увеличивают быстродействие.

Динамические свойства линейных звеньев и системы управления в целом могут быть описаны уравнениями и графическими характеристиками – переходными и частотными. Если входное воздействие в следящей системе возникло внезапно, то в ней происходит переходный процесс, который постепенно переходит в установившийся режим работы (рис. 2.18).

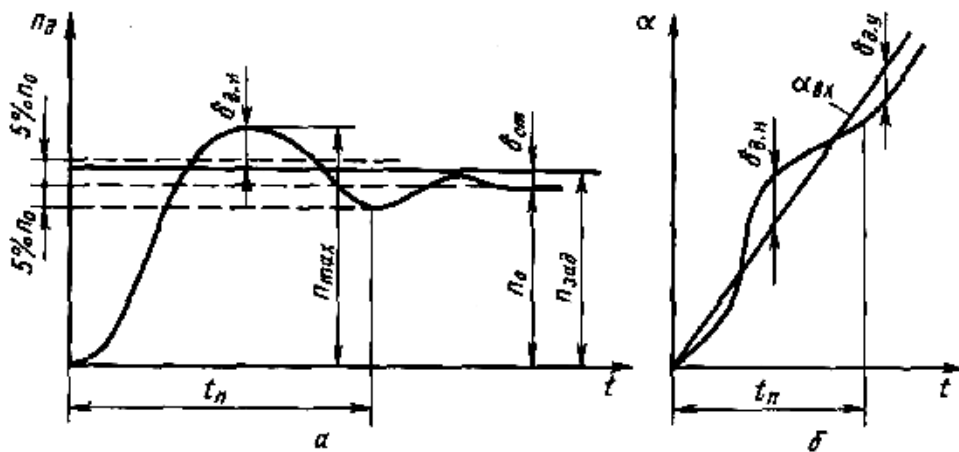


Рис. 2.18. Графики переходных процессов в следящей системе управления:
 а – при ступенчатом изменении n_d ; б – при повороте входного вала
 на угол α_{ex} с постоянной скоростью

В нелинейных системах возможны автоколебания, т. е. устойчивые свободные колебания с постоянной амплитудой при отсутствии внешних колебательных воздействий.

Поведение следящей системы во время переходных и установившихся режимов работы можно косвенно характеризовать ее амплитудной и фазовой частотными характеристиками. Эта часть поведения следящей системы изучается в дисциплине «Испытание и исследование металлорежущих станков».

Основными показателями работоспособности и качества следящей системы управления является устойчивость ее работы, точность и быстродействие. Устойчивость определяет работоспособность системы, а быстродействие влияет на динамическую точность и производительность станка. Под устойчивостью следящей системы управления понимают ее способность возвращаться к установившемуся состоянию после прекращения воздействий, которые вывели систему из этого состояния.

Инерционность объекта управления, а также наличие некоторого запаздывания при прохождении сигнала по цепям следящей системы обуславливает возможность возникновения колебаний в системе. Амплитуда этих колебаний может уменьшаться или увеличиваться. Например, если трение в направляющих и подшипниках будет велико, колебания будут затухающими (рис. 2.18), а система устойчивой. Но если энергия, поступающая по цепи обратной связи, окажется достаточной для преодоления сил трения с некоторым запасом, амплитуда колебаний будет нарастать, объект управления будет раскачиваться все сильнее, и система будет неустойчивой. О степени устойчивости системы судят по ее поведению в переходном процессе, по величине перерегулирования:

$$\sigma = \frac{n_{\max} - n_o}{n_o} 100\%,$$

где σ – коэффициент перерегулирования;

$n_{\max}$ и n_o – соответственно максимальное и установившееся значения регулируемой величины.

Используются также частотные методы определения критерия устойчивости системы (критерии устойчивости Рауса-Гурвица, Михайлова и Найквиста).

Точность следящей системы управления характеризуется величинами статической $\delta_{ст}$ и динамической δ_d ошибок. Статическая ошибка $\delta_{ст}$ это ошибка, получаемая по окончании отработки входного сигнала $n_{зад}$ при неподвижном выходном вале следящего привода подачи. Она складывается из ошибок датчика обратной связи, кинематических погрешностей передаточных механизмов, ошибок от помех, дрейфа нулей и нечувствительности усилителей мощности, ошибок, возникающих в статике под действием нагрузки на управляемый рабочий орган станка.

Динамическая ошибка может быть установившейся $\delta_{д.у}$ и неустановившейся (переходной) $\delta_{д.н}$. Ошибка, измеренная в установившемся режиме, когда выходной вал вращается с постоянной скоростью, равной скорости, задаваемой на входе (угол поворота входного вала $\alpha_{вх}$), называется установившейся динамической ошибкой. Ошибка, измеренная в переходном процессе, когда выходной вал системы движется с ускорением (замедлением), стремясь к установившейся скорости (к полной остановке), называется неустановившейся (переходной) динамической ошибкой. С течением времени эта ошибка меняется, стремясь к некоторому установившемуся значению $\delta_{д.у}$, если переходный процесс заканчивается движением с постоянной установившейся скоростью, или к значению $\delta_{ст}$ если переходный процесс заканчивается остановкой системы.

Для уменьшения степени влияния динамической погрешности следящей системы на точность воспроизведения заданного контура детали требуется высокое быстродействие системы управления. Неблагоприятная форма кривой переходного процесса с большим перерегулированием является причиной возникновения дополнительной погрешности слежения и недопустимых динамических сил, действующих на кинематические цепи станка. Быстродействие следящей системы управления характеризуется временем переходного процесса t_n .

Задание программы управления копиром позволяет осуществлять непрерывное управление обработкой деталей с прямолинейным и криволинейным плоским и объемным профилем.

Следящие системы управления широко применяют в станкостроении. На их основе построены различные типы следящих копировальных систем и системы ЧПУ замкнутого типа.

2.2.3. Типы следящих копировальных систем

В станкостроении применяют различные типы следящих копировальных систем: электрические, гидравлические, электрогидравлические, пневмогидравлические и др. Следящими копировальными системами управления оснащаются, токарные, фрезерные и другие типы станков для обработки деталей типа ступенчатых валов, кулачков, шаблонов, ковочных и вырубных штампов, кокилей, металлических моделей, пресс-форм и других изделий.

Формообразование на станках со следящими копировальными системами управления может осуществляться двумя методами:

- посредством обхода копира 4 (рис. 2.19) при включении и выключении движений подач от электродвигателя 2 на короткие промежутки времени с помощью электромагнитных муфт 1 и 3 (рис. 2.19, а), которые включаются или отключаются замыканием или размыканием контактов (рис. 2.19, б) при подъеме или опускании щупа 5 (метод включено – выключено);

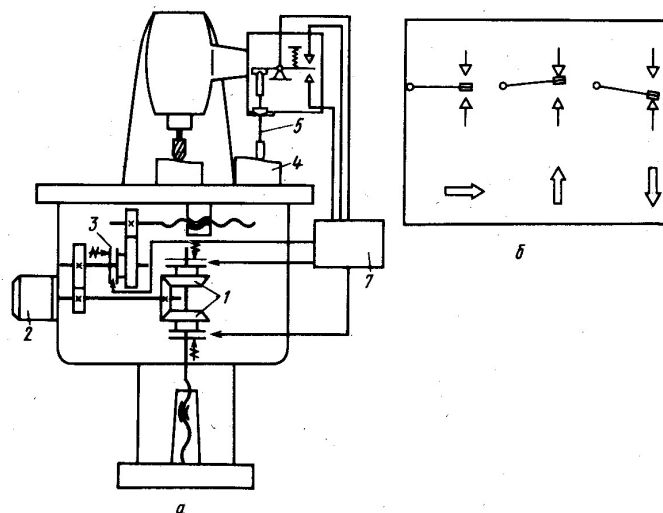


Рис. 2.19. Следящая копирувальная система, работающая по методу включено – выключено: *а* – структурная схема; *б* – положение контактов

При проектировании следящих копировальных систем управления металлорежущими станками предпочтительны схемы, работающие по методу слежения, так как обеспечивают более высокое качество формообразующей обработки деталей (рис. 2.20). Управляющее воздействие следящей системы задается копиром 8, установленным вместе с заготовкой 1 на столе 9 станка, имеющем постоянную задающую подачу $s_{зад}$. По поверхности копира скользит щуп 7 копировального прибора 6.

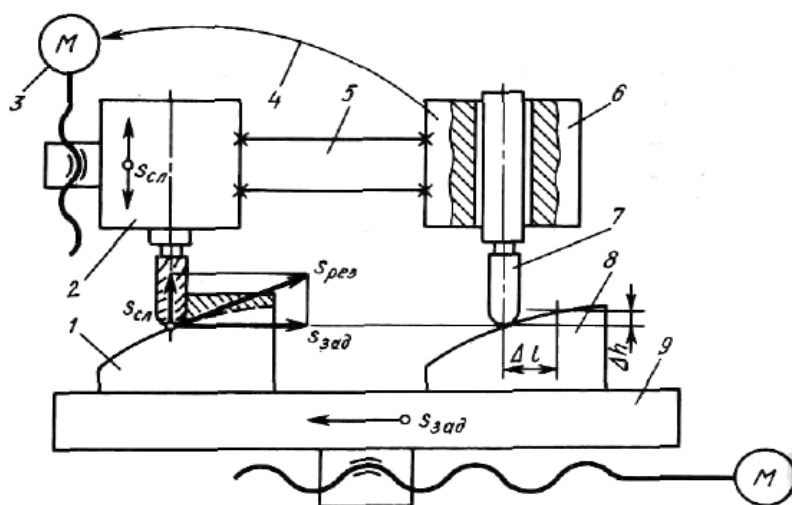


Рис. 2.20. Структурная схема следящей копировальной системы, работающей по методу слежения

Перемещаясь вверх на величину Δh при перемещении стола на величину Δl , или отклоняясь на небольшой угол щуп 7 задает управляющее воздействие (входной сигнал $x_{зад}$ на рис. 2.17). Шпиндельная бабка 2 с инструментом через жесткую обратную связь 5 соединена с корпусом копировального прибора 6, положение которого характеризует действительное положение управляемого объекта (выходной сигнал x). Датчик, находящийся в копировальном приборе 6, измеряет рассогласование в положении щупа и фрезы и вырабатывает сигнал управления 4 (сигнал рассогласования ε), который после его усиления и коррекции посылается на силовой следящий привод 3, обеспечивающий следящую подачу $s_{сл}$ шлифовальной бабки станка. Профиль обрабатываемой детали образуется посредством геометрического сложения двух взаимно перпендикулярных перемещений: движения стола с задающей подачей $s_{зад}$ и движения шпиндельной бабки с фрезой со следящей подачей $s_{сл}$. Система управления следит за перемещением и воспроизводит перемещение фрезы с результирующей подачей $s_{рез}$, воспроизводящей на заготовке точную копию профиля установленного копира.

Примером электрической следящей копировальной системы является схема копировального прибора с индуктивным датчиком, приведенная на рис. 2.21.

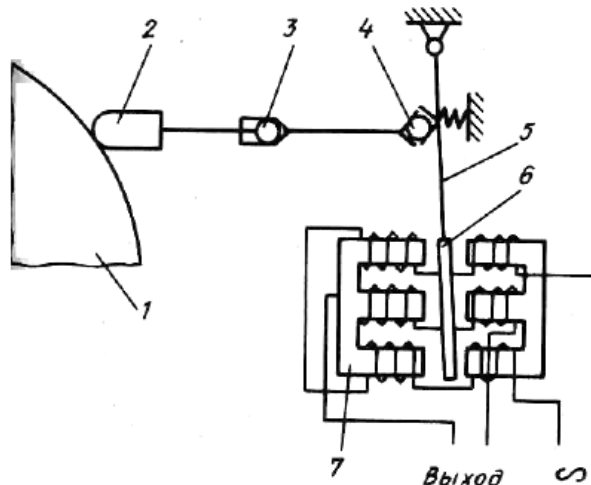


Рис. 2.21. Схема копировального прибора с индуктивным датчиком

Щуп 2 благодаря шарнирной опоре 3 может перемещаться копиром 1 в осевом направлении и отклоняться на небольшой угол. На конце щупа и на качающемся рычаге 5 имеются конические гнезда, куда помещен шарик 4. Благодаря этой опоре отклонение рычага 5 происходит не только при осевом смещении щупа 2, но и при его угловом отклонении. На конце рычага 5 установлен якорь 6, расположенный между двумя сердечниками 7

дифференциального трансформатора. На первичную обмотку этого трансформатора подается напряжение, а со вторичной обмотки снимается управляющее напряжение (сигнал рассогласования) при отклонении якоря 6 от среднего положения вправо или влево.

Схема простой гидравлической следящей копировальной системы приведена на рис. 2.22. Щуп 3, связанный со следящим золотником, скользит по поверхности копира 2, установленного вместе с заготовкой 8 на столе 1, перемещающемся с заданной подачей $s_{зад}$. В среднее окно корпуса золотника насос подает масло под давлением p_n , через верхнее и нижнее окна происходит слив масла. Следящая подача $s_{сл}$ шпиндельной бабки 7 с фрезой обеспечивается следящим гидроцилиндром 6, у которого поршень со штоком 5 закреплен на колонне станка.

На горизонтальном участке копира, когда рассогласования нет, плунжер золотника находится в среднем положении. При этом закрыта подача масла от насоса (p_n) и закрыт слив масла из обеих полостей силового следящего гидроцилиндра. В результате в этом положении $s_{сл}=0$. При перемещении щупа с плунжером золотника вверх или вниз открывается подача масла под давлением соответственно в верхнюю или нижнюю полость гидроцилиндра.

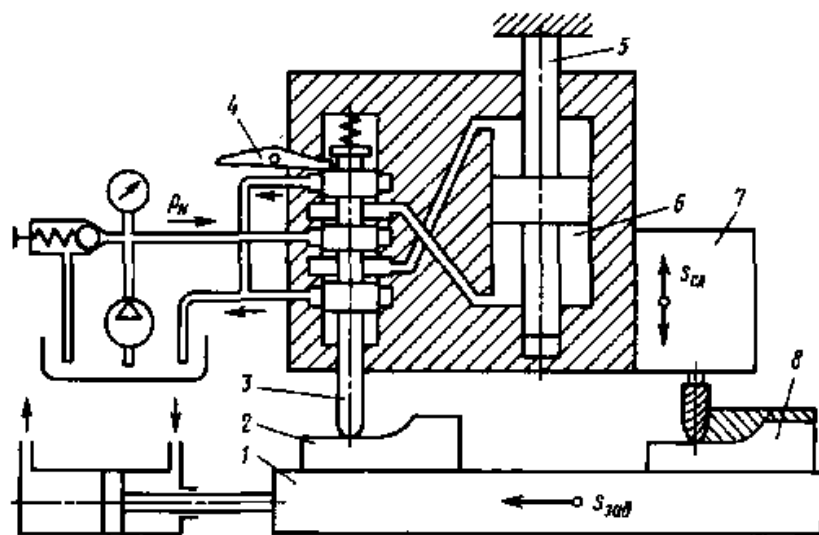


Рис. 2.22. Схема гидравлической следящей копировальной системы

Шпиндельная бабка с фрезой будет соответственно подниматься или опускаться. Перемещение шпиндельной бабки, совершаемые по команде следящего золотника, немедленно передаются ему же посредством обратной связи, осуществляемой в данном случае закреплением корпуса золот-

ника непосредственно со шпиндельной бабкой. Обратная связь ослабляет командный сигнал следящего золотника, снижая его до нуля при среднем положении плунжера золотника. Для отвода фрезы от заготовки и щупа от копира вручную служит рукоятка 4.

На рис. 2.23 приведена схема гидрокопировального суппорта КТ-1 для токарных станков с высотой центров, равной 200 мм. От лопастного насоса 1 масло под давлением, установленным напорным клапаном 2, поступает в штоковую полость 3 гидроцилиндра 4, которое через отверстие 5 сообщается с бесштоковой полостью 6. Полость 6 соединена с баком гидростанции посредством трубопровода 9, следящего золотника 12 и трубопровода 13.

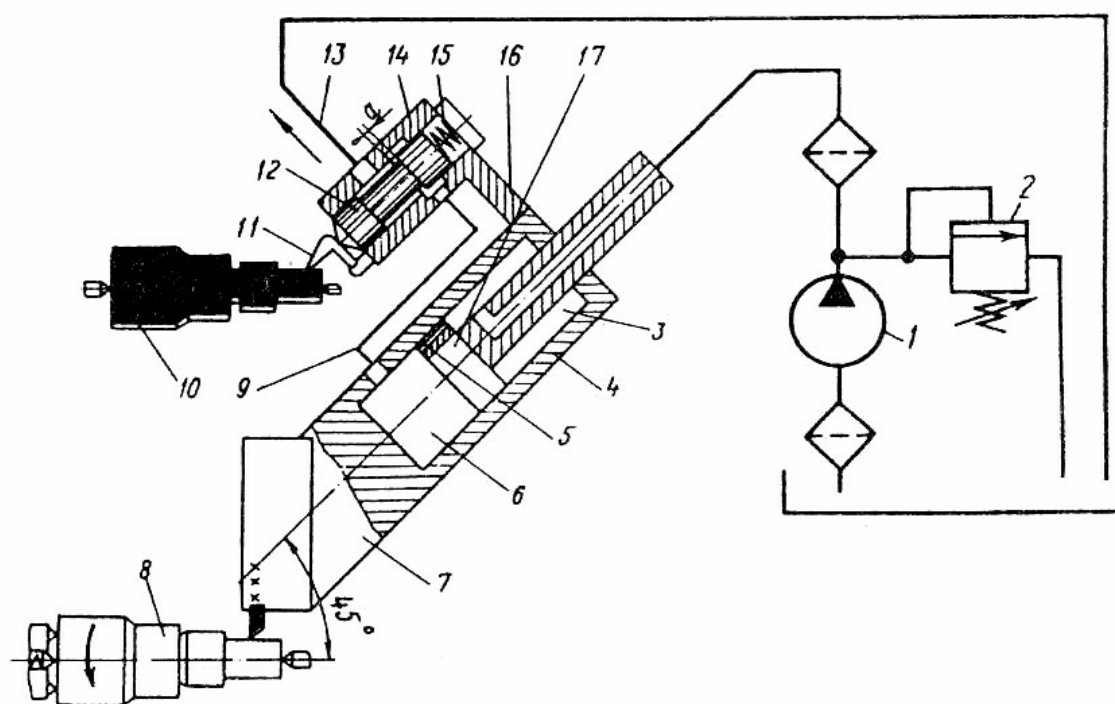


Рис. 2.23. Схема гидрокопировального суппорта

В исходном положении копировальный суппорт 7 с резцом и следящим золотником 12 отведен от обрабатываемой заготовки 8 и копира 10. При включении насоса в полостях 3 и 6 гидроцилиндра 4 устанавливается одинаковое давление. Так как площадь поршня в полости 6 больше площади поршня в полости 3, то суппорт 7 начнет двигаться к заготовке 8, а следящий золотник 12 – к копиру 10. Движение суппорта продолжается до тех пор, пока щуп 11 следящего золотника 12 не встретит на своем пути копира 10 и не переместит золотник 12. С этого момента начинается слежение золотника за профилем копира.

Если профиль копира параллелен линии центров, то щуп 11, преодолевая усилие пружины 15, смещает золотник 12 в осевом направлении на такую величину, чтобы между торцом золотника 12 и расточкой в корпусе 14 открылась кольцевая щель a , через которую начинается слив масла из полости 6 цилиндра 4 в бак гидростанции.

При этом давление в полости 6 понижается и усилия, действующие на поршень 17, уравниваются. Копировальный суппорт будет неподвижен. Это соответствует обточке цилиндрической поверхности. При переходе от обточки цилиндра к подрезке торца щуп 11, воздействуя на золотник 12, увеличивает щель « a », давление в полости 6 цилиндра падает и копировальный суппорт начинает двигаться по своим направляющим от обрабатываемой заготовки.

Каждому перемещению золотника 12 относительно копира 10 соответствует такое же перемещение копировального суппорта 7. Каждому перемещению копировального суппорта 7 относительно обрабатываемой заготовки 8 благодаря звену 16, жесткому креплению корпуса 14 к цилиндру 4 будет соответствовать такое же перемещение корпуса 14 относительно копира.

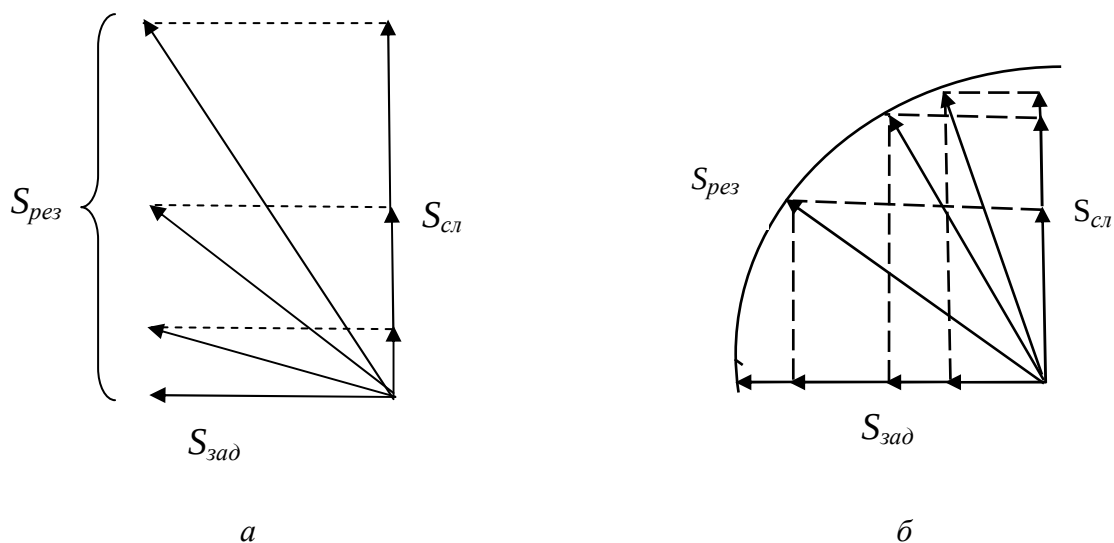


Рис. 2.24. Графики изменения подачи вдоль обрабатываемого контура:
 a – при постоянной задающей подаче; $б$ – при задающей подаче,
 зависящей от следящей подачи

Существенным недостатком копировальных систем управления по рис. 2.20, 2.22 и 2.23 является независимость задающей (ведущей) $S_{зад}$ и следящей $S_{сл}$ подач, что приводит к различной подаче $S_{рез}$ вдоль контура (рис. 2.24, a) и, следовательно, к неодинаковому качеству обработанной поверхности.

Для улучшения условий резания применяют наклон направляющих салазок на угол 60° или даже 45° (см. рис. 2.23). Однако при этом ухудшаются условия обработки обратных конусов и ступенек. Для углов профиля детали $\pm 30^\circ$ рекомендуется сохранять положение поперечного суппорта под углом 90° к направлению движения продольного суппорта.

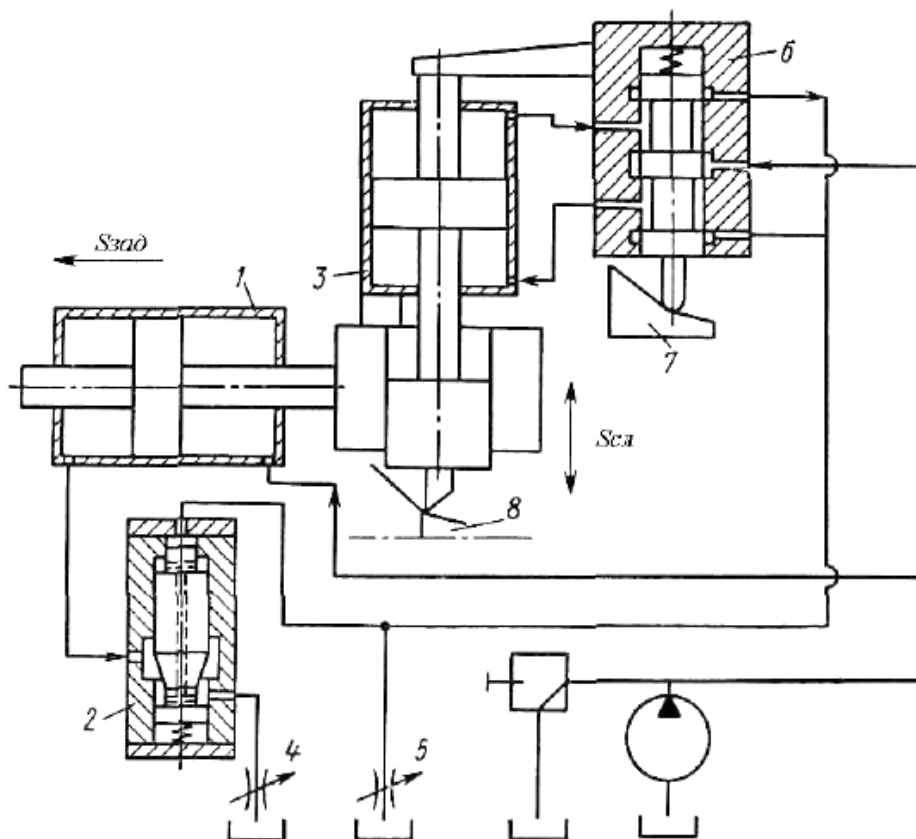


Рис. 2.25. Схема гидравлической копировальной системы с зависимыми подачами в продольном и поперечном направлениях

Используют также специальные схемы, обеспечивающие получение зависимых подач в продольном и поперечном направлениях. Одна из таких систем управления с гидравлическим приводом приведена на рис. 2.25. Заданная подача $s_{зад}$ обеспечивается гидроцилиндром 1, скорость движения поршня которого автоматически управляется гидрораспределителем 2 в функции изменения следящей подачи $s_{сл}$. При увеличении скорости следящей подачи возрастает давление на выходе из гидроцилиндра 3, а следовательно, в верхней части регулятора 2, золотник которого, перемещаясь, увеличивает дросселирование масла, выходящего из гидроцилиндра 1, тем самым уменьшая заданную подачу. Настройкой дросселей 4 и 5 добиваются максимально возможного постоянства результирующей подачи $s_{рез}$ вдоль обрабатываемого контура (рис.2.24, б).

Преобразование информации чертежа детали и изготовление на ее основе физического аналога – копира, относительно большая трудоемкость его изготовления привело к заманчивой идее использования в качестве программ-носителя непосредственно чертежа детали. Системами с такими программ-носителями являются фотокопируемые следящие системы управления. Их применяют для обработки плоских деталей на фрезерных и гравировальных станках, а также на некоторых других технологических машинах.

Считывание программы управления (слежение за линией чертежа детали) производится фотоэлектрической головкой (рис. 2.26), от которой сигналы управления поступают на силовые следящие приводы. Отраженный от плоскости чертежа 1 свет, излучаемый источником 2 света, попадает через объектив 3 на металлическую диафрагму 4 с круглым отверстием 5, расположенным с эксцентриситетом относительно оси вращения (являющейся также оптической осью) синхронного электродвигателя 6 с полым валом 7.

Диаметр светового отверстия, толщина линии чертежа и расстояние от объектива до плоскости чертежа выбираются с таким расчетом, чтобы изображение линии чертежа в плоскости диафрагмы полностью закрывало световое отверстие. При этом условии за каждый оборот синхронного двигателя световое отверстие два раза пересекает изображение линии, что вызывает затемнение фоторезистора 8 и, следовательно, изменение фототока также дважды за один оборот. Эти два импульса фототока используются в качестве первичных сигналов для управления корректирующей и электрической системами, последняя из которых следит за углом наклона копируемого контура.

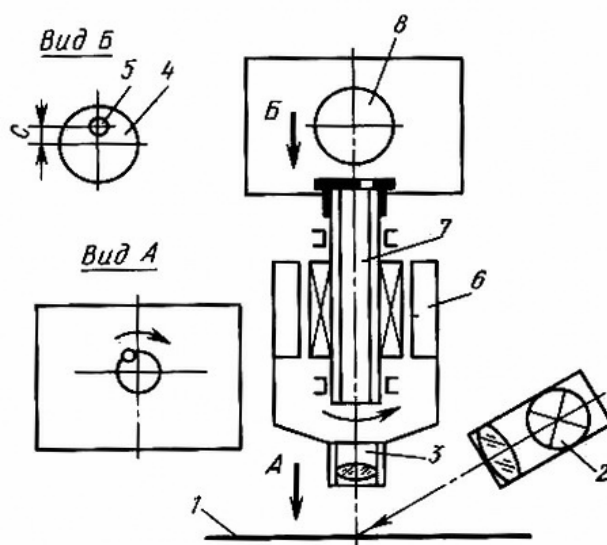


Рис. 2.26. Схема работы фотоэлектрической головки

Линия контура чертежа, используемого в фотокопировальных системах, должна быть не шире 0,2 мм. Ее края не должны иметь резких утолщений и размывов. Фон чертежа должен быть ровным непосредственно около линии, без грязи и царапин. На чертеже не должно быть линий, пересекающих основной контур.

Из рассмотрения принципа работы и характеристики фотокопировальных систем управления видно, что замена копира чертежом детали не дает существенных преимуществ, так как не решает принципиальный вопрос - использование для управления непосредственно числовой информации чертежа детали. В этих системах в качестве программносителя используется физический аналог – контур детали, графическое выполнение которого также достаточно трудоемко.

Копировальные системы управления получили широкое распространение в специализированных станках преимущественно токарной и фрезерной групп, например, моделей 1Б732, 6Б444, 6445, 6М42К и др. для обработки деталей с плоским и объемным криволинейным профилем по одной (вторая независимая), двум и трем координатам. Благодаря возможности быстрой смены программносителя станки, оснащенные копировальными системами управления, используют при автоматизации серийного производства.

Автоматизированные станки, оснащенные копировальными системами управления менее универсальны, чем автоматы и полуавтоматы, оснащенные временными системами управления, а их коэффициенты автоматизации и мобильности приблизительно соответствуют этим коэффициентам названных автоматов и полуавтоматов.

2.3. Цикловые системы программного управления

2.3.1. Принцип работы

При управлении станком вручную (рис. 2.27) рабочий, зная программу управления, постоянно следит (обратная связь) за ее точным выполнением управляя перемещениями стола, несущего обрабатываемую заготовку. При этом величину рабочего перемещения (параметр настройки «путь») он отслеживает (ограничивает) по лимбу (упору) на маховике соответствующего исполнительного органа. Такой принцип управления с постоянной скоростью движения исполнительных органов, характерный для универсальных станков с ручным управлением, принято называть путевым,

или в функции технологической готовности. При более сложном цикле, когда последовательно обрабатывается несколько различных поверхностей одним или несколькими инструментами (например, на токарно-револьверном станке), величину рабочего перемещения на каждом переходе рабочий ограничивает соответствующими жесткими упорами, смонтированными на поворачивающемся барабане, и включает механическую подачу суппорта. Выключение подачи осуществляется автоматически при набегании суппорта на упор посредством «падающего» червяка червячной передачи, расположенной в кинематической цепи привода подачи.

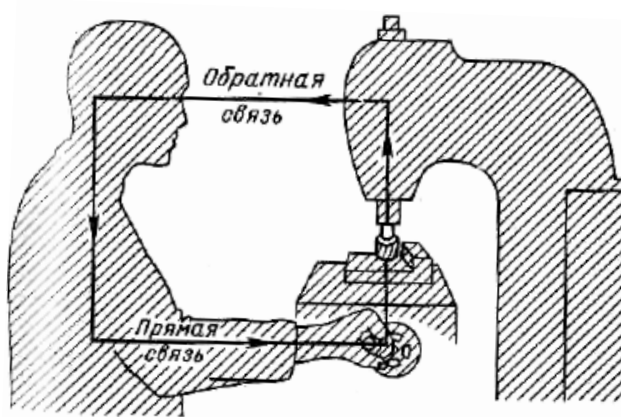


Рис. 2.27. Схема управления при обработке заготовки вручную

В первом из приведенных примеров умственный и физический труд рабочего участвует в формообразовании обрабатываемой детали, а во втором – в управлении циклом обработки. Таким образом, во втором примере рабочий выполняет функцию системы путевого управления. В зависимости от сложности цикла возможны два варианта передачи этой функции САУ. По первому варианту при простых циклах обработки на пути упоров, смонтированных на исполнительных органах или на базовых элементах, по которым перемещаются исполнительные органы, устанавливают конечные переключатели и соединяют их с электросхемой, содержащей ряд реле. В частности по такой схеме выполнена путевая САУ циклом нарезания цилиндрических зубчатых и червячных колес червячными фрезами на зубофрезерных станках. Например, цикл нарезания зубчатого колеса имеет вид: *быстрый подвод стола с заготовкой по координате X в зону резания → рабочий ход суппорта фрезы по координате Z → быстрый отвод стола с заготовкой по координате –X → быстрое перемещение суппорта фрезы по координате –Z → повторение цикла после установки новой заготовки.*

По второму варианту при сложных циклах, включающих смену режущего инструмента, режимов обработки и других элементов цикла, в релейную схему включают центральный командоаппарат, который легко позволяет изменять схему последовательности рабочих и вспомогательных переходов цикла обработки. Полученная таким образом САУ, построенная на аналоговом принципе управления величинами движения исполнительных органов, называется системой циклового программного управления (ЦПУ).

На рис. 2.28 представлена функциональная схема системы ЦПУ, состоящая из устройства задания УЗ и ввода программы УВП, устройства автоматики УА, исполнительного устройства ИУ.

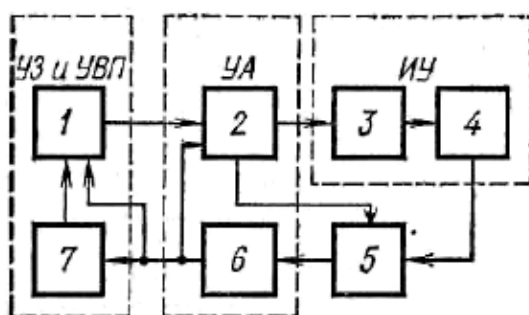


Рис. 2.28. Функциональная схема системы ЦПУ

УЗ и УВП снабжает систему управления информацией о цикле. Это устройство состоит из блока задания программы 1 и блока поэтапного ввода программы 7. Из блока 1 информация поступает в УА, состоящее из схемы управления циклом работы станка 2 и схемы преобразования сигналов контроля 6. УА усиливает и размножает команды, выполняет ряд логических функций. В цикловых системах УА обычно строят на электромагнитных реле. С блока 2 усиленные сигналы поступают на ИУ, которое обеспечивает отработку заданных программой команд. ИУ состоит из исполнительных элементов 3 (электрического, гидравлического или другого привода рабочих органов станка 4 (суппортов, револьверных головок, коробок скоростей и подач и т. д.). Рабочие органы отрабатывают этап программы, и устройство 5 контроля окончания отработки этапа дает команду через блок 6 на включение следующего этапа программы, что осуществляется устройством 7. При этом под этапом программы понимается часть полной программы, которая одновременно вводится в систему управления. Окончание этапа программы обычно контролируется путевыми переключателями. Иногда для этой цели используют реле выдержки времени, но только в тех случаях, когда время отработки этапа программы колеблется незначительно. Возможен контроль с помощью реле давления, если рабочий орган приводится в движение гидроцилиндром, или токовым реле в зажимных устройствах с приводом от электродвигателя.

На рис. 2.29 показан возможный цикл перемещения стола несущего обрабатываемую заготовку, относительно фрезы при фрезеровании обрабатываемых поверхностей на вертикально-фрезерном станке, оснащенном системой ЦПУ (сплошными стрелками показаны рабочие переходы, а штриховыми – позиционирование, или холостые переходы).

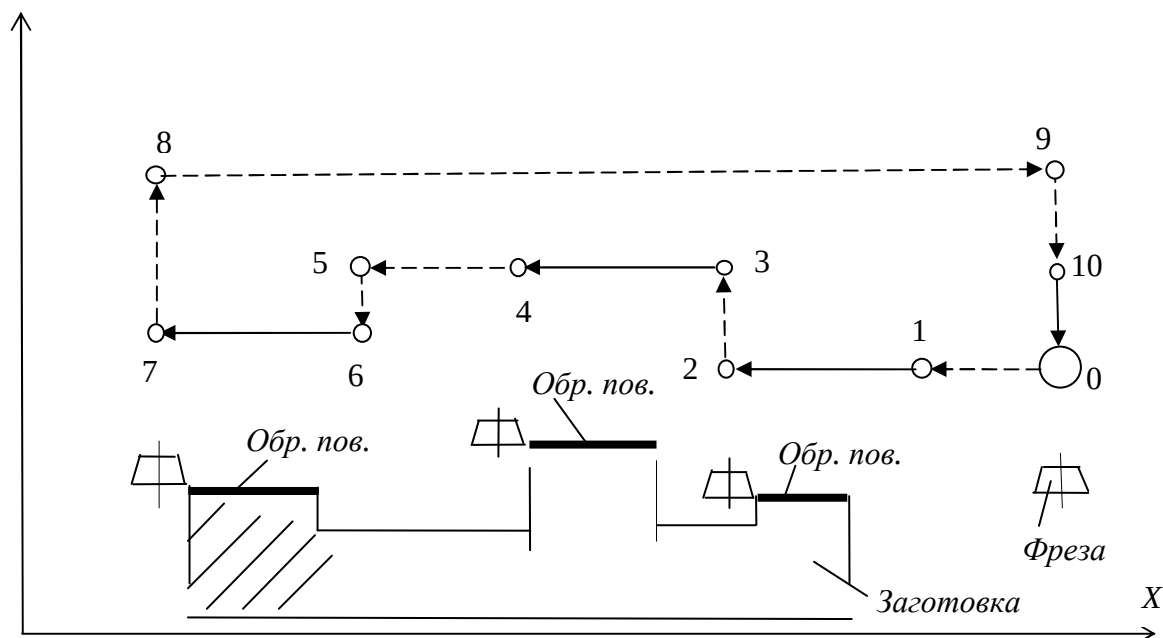


Рис. 2.29. Цикл перемещений стола фрезерного станка

Схема переходов составляется на основании чертежа детали и технологии ее обработки. Последовательность переходов и величины подач программируются расстановкой штекеров на центральном командоаппарате, а величины перемещений – расстановкой упоров на соответствующих панелях или линейках.

Последовательность переходов программы с указанием опорных точек по соответствующим координатам представляется в следующем виде:

- 0 – 1 + X, ускоренный ход
- 1 – 2 + X, рабочий ход
- 2 – 3 – Z, ускоренный ход
- 3 – 4 + X, рабочий ход
- 4 – 5 + X, ускоренный ход
- 5 – 6 + Z, ускоренный ход
- 6 – 7 + X, рабочий ход
- 7 – 8 – Z, ускоренный ход
- 8 – 9 – X, ускоренный ход
- 9 – 10 + Z, ускоренный ход
- 10 – 0 + Z, рабочий ход
- СТОП

2.3.2. Основные узлы систем ЦПУ

Устройства задания и ввода программы состоят из устройства задания программы УЗ и устройства поэтапного ввода программы УВП. УЗ запоминает и вводит в систему полную программу, а УВП предназначено для последовательного считывания этапов программы и ввода их в систему для отработки.

Для набора программы на станке используют центральные командо-аппараты, выполненные в виде или штекерной панели, или кулачкового командоаппарата.

Штекерная панель – это устройство статического типа, у которого ввод разовой программы производится без перемещения элементов блока. Схема штекерной панели показана на рис. 2.30.

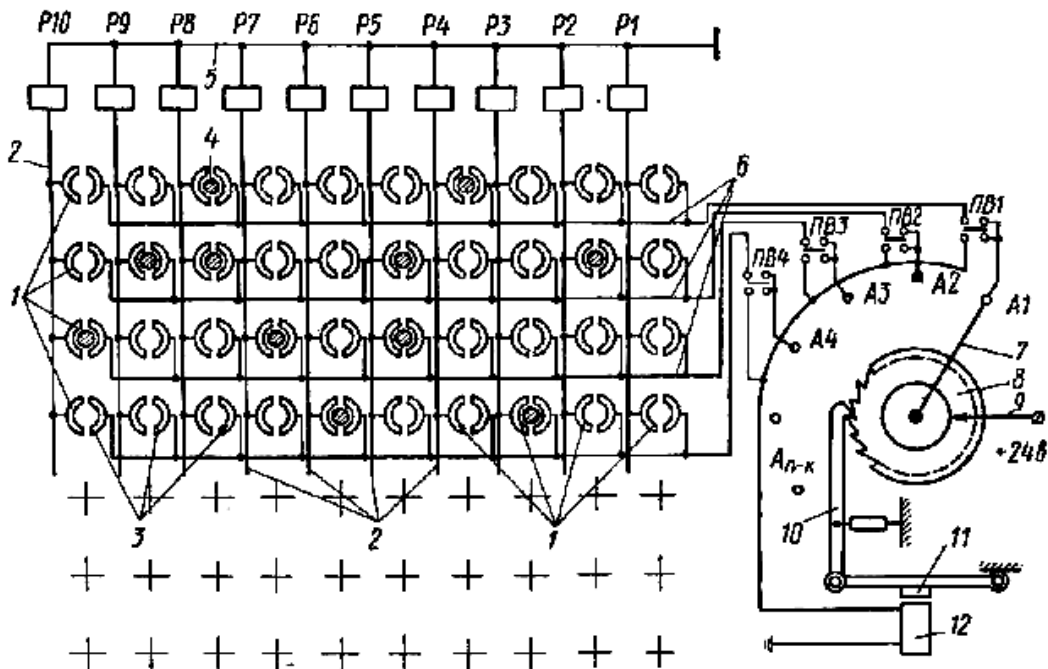


Рис. 2.30. Схема штекерной панели

В каждом горизонтальном ряду схемы находится десять гнезд, состоящих из двух половинок. Левые половинки 1 присоединены к проводникам 2, которые подключены к обмоткам реле P1 – P10. Вторые концы обмоток этих реле присоединены к общей шине 5. Правые половинки 3 гнезд присоединены к проводникам 6, подключенным к контактам A1, A2, A3...A_n шагового искателя на функциональной схеме шаговый искатель соответствует блоку 7, а штекерные гнезда, реле и т. д. – блоку 1). При касании щетки 7 шагового искателя одного из контактов A_i правые половинки 3 гнезд через проводник соединяются с шиной 9 и соответственно с источником питания. Но под напряжением окажутся только реле, связанные с

гнездами, в которые вставлены штекеры;. При положении щетки 7, показанном на схеме, Включены реле P_4 и P_8 . Реле дают команды на включение электромагнитных муфт или других исполнительных элементов (на функциональной схеме соответственно блок 3), а они приводят в движение рабочие органы станка (на функциональной схеме соответственно блок 4). Рабочий орган перемещается на требуемую величину и упор нажимает на путевой выключатель $ПВ_1$. При этом разомкнется цепь питания реле P_4 и P_8 и замкнется цепь электромагнита 12, который, притягивая якорь 11, через собачку 10 повернет храповик 8 и щетка 7 перейдет на контакт A_2 шагового искателя. Под напряжением окажется следующий горизонтальный ряд штекерных гнезд. Будет выполнен следующий комплекс команд, или следующий этап программы, снова сработает шаговый искатель и т. д.

Программа на штекерной панели задается быстро и достаточно просто, но в этот период станок простаивает. Для ускорения набора программы и во избежания ошибок может быть использована накладная перфокарта или шаблон. Перфокарту накладывают на штекерную панель, а штекеры вводят в гнезда через отверстия в перфокарте, пробитые в соответствии с программой. Таким же образом можно сохранять программу для дальнейшего использования.

Кулачковый командоаппарат (рис. 2.31) — это кинематическое УВП, у которого для последовательного считывания этапов программы осуществляется перемещение элементов памяти относительно считывающих элементов устройства.

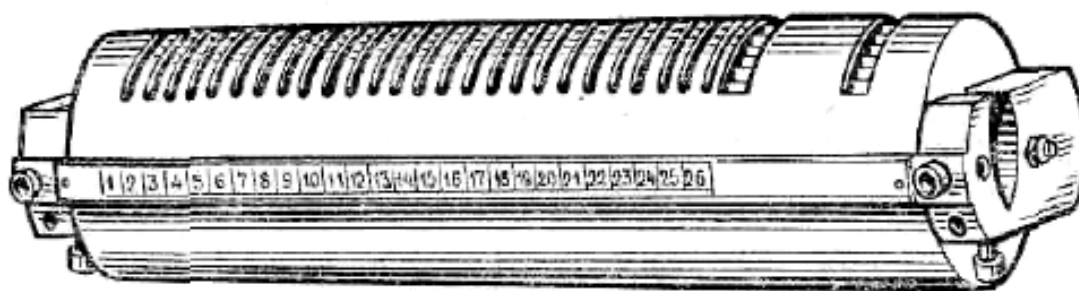


Рис. 2.31. Кулачковый командоаппарат

В гнезда командоаппарата закладывают шарики или штифты, которые воздействуют на электрические контакты или конечные выключатели, включая цепи соответствующих исполнительных органов. Число гнезд по окружности барабана определяет число возможных этапов программы, а число гнезд вдоль образующей барабана — максимально воз-

можное число программируемых параметров. Шарики, как и штекеры в панелях, можно закладывать в гнезда в явной или кодированной форме. Явный ввод удобнее, но при большом числе задаваемых параметров приходится применять кодированный ввод.

Устройства задания и контроля перемещений исполнительных органов предназначены для размерной настройки системы управления. Обычно это групповые путевые переключатели, состоящие из блоков переключателей и упоров. Блок упоров представляет собой панель (рис. 2.32) или барабан с пазами, в которых в соответствии с чертежом расставляются упоры, воздействующие на конечные переключатели, также объединенные в единый конструктивный блок. Один из блоков устанавливают на неподвижной части станка, другой – на подвижной. Панели упоров могут быть съемными, тогда они настраиваются вне станка с последующим уточнением настройки на станке. На одной панели упоров могут быть расположены регулируемые (точные) и нерегулируемые (грубые) кулачки. У регулируемых упоров имеются микрометрические винты для точной установки. Вместо механических упоров могут применяться упоры – магнитные штрихи на латунном барабане. Магнитная головка, перемещаясь вдоль барабана и встречая такой штрих, дает сигнал об окончании данного перехода.

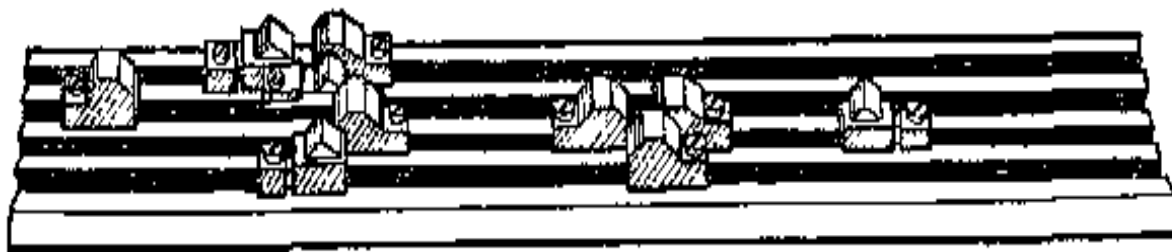


Рис. 2.32. Панель упоров

Устройства переключения круговых режимов обработки принципиально не отличаются от аналогичных устройств других автоматизированных станков. Это может быть привод с регулируемым электродвигателем или автоматические коробки круговых частот и подач с электромагнитными муфтами.

Устройства смены инструмента выполняют, как правило, в виде револьверных головок: с вертикальной осью поворота на 4 – 8 гнезд, с горизонтальной осью – до 16 гнезд.

2.3.3. Практические схемы систем ЦПУ

На рис. 2.33 приведена общая блок-схема системы ЦПУ, разработанная на основе функциональной схемы (рис. 2.28). Информация о цикле и режимах обработки задается блоками задания и поэтапного ввода программы.

Далее информация поступает в блок автоматики, предназначенный для усиления и размножения команд, поступающих на исполнительный блок. Откуда информация, как правило, через магнитные муфты передается на исполнительные механизмы станка (привод подач, коробку скоростей и др.).

Размерная информация задается на панелях или линейках 1 и 4, закрепленных на продольном (координата Z) и поперечном (координата X) суппортах. При перемещении линеек упоры воздействуют на блоки конечных выключателей 2 и 3, обеспечивающих контроль за окончанием отработки каждого этапа и выдачу сигналов на блок преобразования сигналов контроля и далее на блок поэтапного ввода программы для включения следующего этапа обработки.

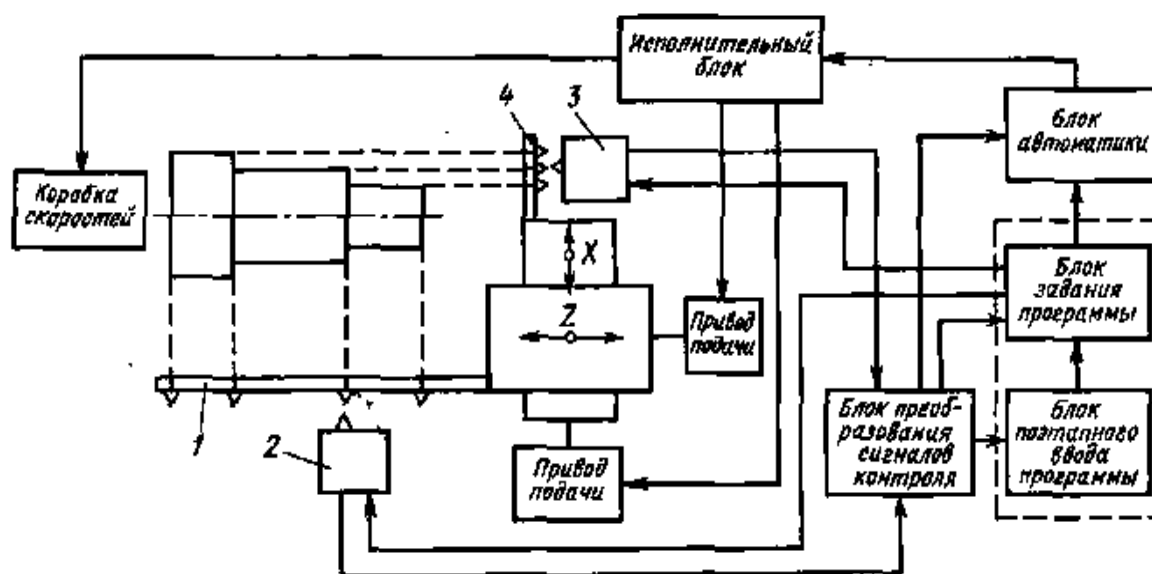


Рис. 2.33. Общая блок-схема системы ЦПУ

В процессе развития систем ЦПУ появилась заманчивая идея записать цикл обработки первой детали конкретной партии при ручном управлении на магнитный носитель, а затем использовать его в качестве программноносителя при обработке остальных деталей этой партии. Рассмотрим принцип действия такой систем управления с записью на магнитной ленте (рис. 2.34).

В процессе записи программы магнитная лента перемещается с постоянной скоростью мимо записывающей магнитной головки (рис. 2.34, *a*). Основной частью магнитной головки является сердечник, состоящий из двух полуколец, набранных из листового пермаллоя (сплав с большой магнитной проницаемостью). В рабочей части головки, обращенной к ленте, между половинками сердечника сохраняется зазор $a \approx 0,01 — 0,02$ мм. На сердечнике головки располагаются две катушки с обмоткой.

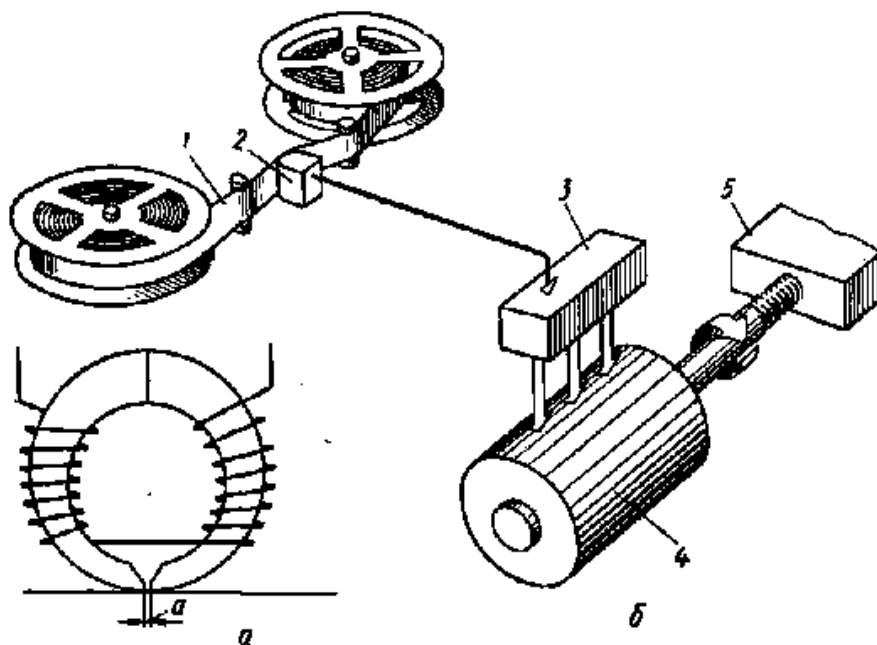


Рис. 2.34. Схема управления с помощью магнитной ленты

При пропускании через катушки переменного тока в сердечнике образуется переменное магнитное поле, которое замыкается через ферромагнитный слой участка ленты, находящегося в данный момент против рабочего зазора, и намагничивает его. Таким образом, на ленте остаются следы в виде поперечных элементарных магнитных штрихов.

При протягивании ленты мимо считывающей магнитной головки магнитные штрихи, перемещаясь в зазоре сердечника, создают в нем переменный магнитный поток, который возбуждает электродвижущую силу в катушках головки. При соблюдении определенных условий ток в катушке магнитной головки будет точно таким же, как и первичный ток записи.

При записи программы работы станка, как правило, одновременно записывается несколько управляющих сигналов. Для этого магнитная лента делится по ширине на несколько дорожек и на каждой из них записывается свой сигнал. Так, например, на магнитной ленте шириной 35 мм, широко применяемой в станках с программным управлением, размещается девять дорожек.

Запись и воспроизведение сигналов каждой дорожки производятся отдельными магнитными головками, которые конструктивно выполнены в виде единого блока. Точное расположение головок в блоке по высоте и тщательная регулировка лентопротяжного механизма обеспечивают надежное считывание сигналов каждой из головок только с соответствующей дорожки магнитной ленты.

Принцип действия систем с записью программ на магнитной ленте можно рассмотреть на примере работы механизма продольной подачи фрезерного станка (рис. 2.24, б). Рабочий орган – стол 5 станка снабжен шаговым электродвигателем 4, ротор которого поворачивается на определенный угол при подаче на его обмотки импульса постоянного тока. Программа перемещения рабочего органа записывается на магнитной ленте 1 в виде поперечных магнитных штрихов.

При считывании программ с движущейся ленты соответствующей головкой блока 2 магнитных головок каждый из элементарных магнитных штрихов вызывает появление импульса в обмотке головки. По соответствующим каналам импульсы поступают в блок управления 3 шаговым двигателем. Непрерывно следующие друг за другом импульсы вращают с заданной скоростью ротор шагового двигателя. Величина перемещения рабочего органа станка программируется записью на ленте соответствующего числа командных импульсов.

На второй дорожке ленты записываются сигналы управления шаговым двигателем другого рабочего органа станка и т. д. Записанная программа может быть многократно воспроизведена при обработке партии одинаковых деталей.

Способ магнитной записи имеет ряд преимуществ по сравнению с другими способами записи программы. Лента может долго сохранять магнитные свойства. На 1 мм длины магнитной ленты можно разместить до пяти и более отметок, т. е. получить затем столько же командных импульсов. Воспроизвести программу можно сразу после ее записи, без каких либо промежуточных операций. Магнитный слой можно легко размагнитить и одну и ту же ленту использовать для записи различных программ.

Один из первых вариантов циклового программного управления токарным станком с применением в качестве программносителя перфоленты был разработан в 1948 г. в Московском станкоинструментальном институте (в настоящее время Московский государственный технический университет «СТАНКИН») профессором А. Л. Глейзером (рис. 2.35).

Центральный командоаппарат системы ЦПУ размещается в отдельном блоке, укрепленном на станке. Этот командоаппарат состоит из металлического барабана *БЛ*, перемещающего ленту с записанной на ней программой работы, пятнадцати контактов и электромагнита *ЭЛ* с шаговым механизмом для периодического поворота барабана с лентой.

На двенадцати дорожках ленты в виде того или иного сочетания отверстий записывается программа работы станка, определяющая последовательность, направление и величину перемещений рабочих органов. Периодический поворот барабана *БЛ* под действием шагового устройства, представляющего собой сочетание электромагнита *ЭЛ* с храповым механизмом, перемещает программную ленту каждый раз на величину шага. В результате тот или иной контакт, касаясь металлического барабана через определенное отверстие в ленте, замыкает цепь реле *ЭР* или цепь одного из семи электромагнитов, управляющих положением трех муфт в фартуке станка. Замыкание цепи вызывает включение соответствующего механизма.

В связи с переводом станка на программное управление была разработана новая конструкция фартука (рис. 2.36). В фартук встроены муфты *М1*, *М2* и *М3*. Муфта *М1* может занимать одно из трех положений. При включении этой муфты вправо движение передается через зубчатые колеса 1 – 5 и реализуется команда «Вперед». Среднее положение муфты *М1* соответствует команде «Стоп». Включение муфты *М1* влево обеспечивает передачу движения через зубчатые колеса 2 – 3 – 4, при этом реализуется команда «Назад». Муфта *М2* предназначена для выполнения двух команд. При включении этой муфты влево движение передается через зубчатые колеса перебора 6 – 7 – 9 – 8 и выполняется команда «Медленно». Включением муфты *М2* вправо достигается непосредственная передача движения от вала III валу V и реализуется команда «Быстро». При перемещении муфты *М3* влево движение от вала V передается винту VI поперечного суппорта через колеса 12 – 13 и червячную передачу 10 – 11. При этом выполняется команда на включение поперечного суппорта. Переключением муфты *М3* вправо достигается передача движения от вала V гайке винта VII через зубчатые колеса 14 – 15. В таком положении муфты *М3* включается продольный суппорт.

Муфты переключаются с помощью семи электромагнитов и трех путевых переключателей, расположенных внутри фартука суппорта (рис. 2.35). Электромагнит *ЭВ* включает ходовой вал станка для перемещений суппорта в продольном или поперечном направлении. Электромагнит *ЭС* служит для остановки суппорта. Включением электромагнита *ЭН* достигается изменение направления движения суппорта. Электромагниты *ЭБ* и *ЭМ* служат для включения муфты *М2* (рис. 2.36), которая позволяет выполнять быстрые или медленные перемещения суппорта. Для включения через муфту *М3* движения продольных или поперечных салазок суппорта служат соответственно электромагниты *ЭД* и *ЭП* (рис. 2.35).

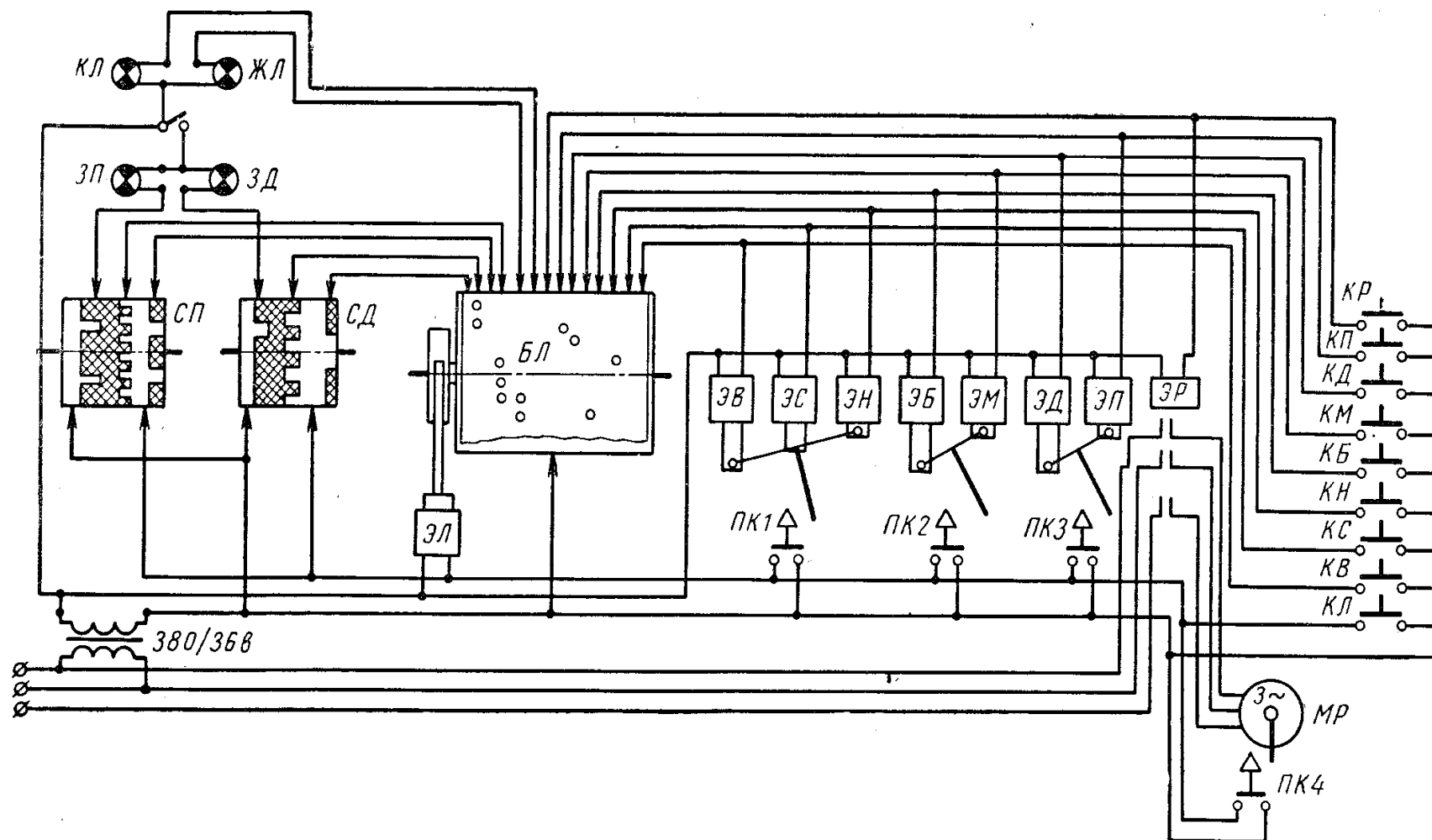


Рис. 2.35. Принципиальная схема системы ЦПУ токарного станка (1948 г.)

Все электромагниты заблокированы, и противоречивые команды не могут последовать одновременно. При включении одного из семи электромагнитов, например электромагнита *ЭП*, срабатывает путевой выключатель *ПКЗ*, который своими контактами замыкает цепь электромагнита *ЭЛ*. Включение этого электромагнита вызовет перемещение ленты и под четырнадцатью скользящими контактами окажется следующая горизонтальная ее строка. В этой строке под одним из скользящих контактов должно находиться отверстие, предназначенное для подачи очередной команды. Выполнение этой команды завершается замыканием цепи электромагнита *ЭЛ* и перемещением ленты и т. д.

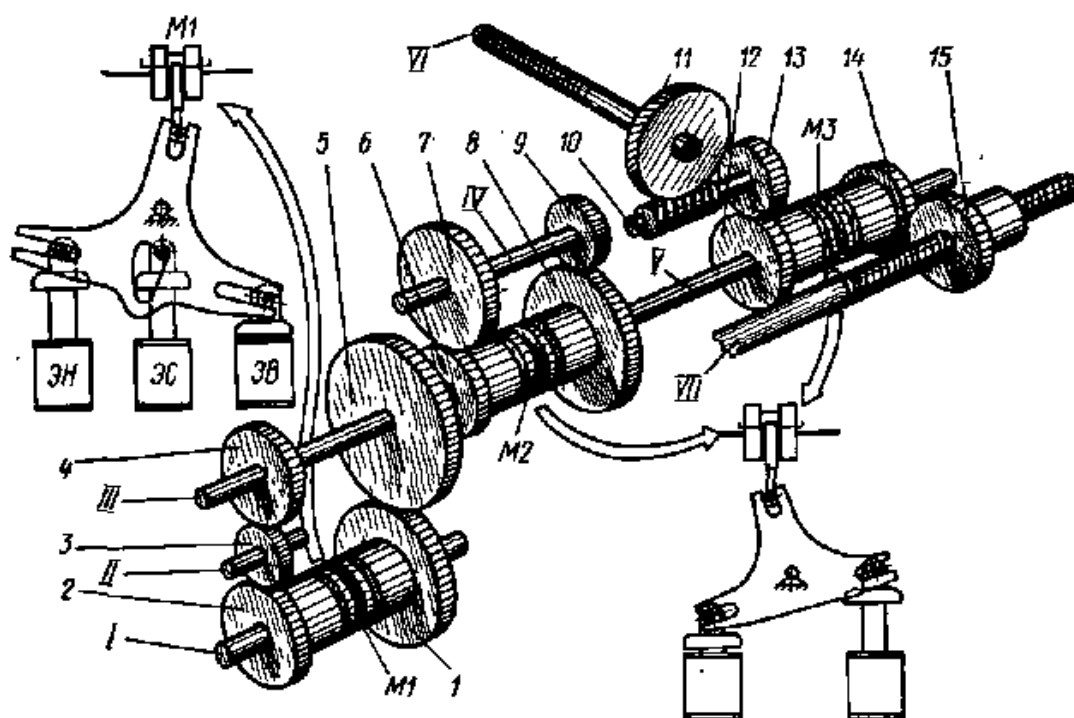


Рис. 2.36. Кинематическая схема фартука токарного станка с ЦПУ

На передней стороне фартука имеется ряд кнопок (*КР*, *КП*, *КД*, *КМ*, *КБ*, *КН*, *КС*, *КВ*, *КЛ*), служащих для ручного управления при наладке станка на новую работу. В станке используется четырехпозиционный резцедержатель, для поворота которого служит электродвигатель *МР*, установленный на суппорте. Он включается при срабатывании реле *ЭР*. В свою очередь, реле *ЭР* срабатывает при замыкании цепи реле скользящим контактом через отверстие, пробитое в соответствующем месте ленты. После поворота резцедержателя срабатывает путевой выключатель *ПК4*, замыкающий цепь электромагнита *ЭЛ*. Это вызывает поворот барабана *БЛ* с перемещением ленты на величину шага.

Система управления (рис. 2.35) работает следующим образом. Барабан *БЛ* перемещает ленту на один шаг с помощью храпового механизма, приводимого в действие электромагнитом *ЭЛ*. Электромагнит срабатывает в трех случаях: от кнопки *КЛ* ручного включения – при настройке станка и при его пуске; от путевых выключателей *ПК1*, *ПК2*, *ПК3* и *ПК4*, каждый из которых замыкает цепь после включения соответствующего исполнительного электромагнита *ЭВ*, *ЭС*, *ЭН*, *ЭБ*, *ЭМ*, *ЭД*, *ЭП* или реле *ЭР* электродвигателя *МР* поворота резцедержателя; от контроллерных барабанов *СП* и *СД*.

Работа контроллерных барабанов имеет особое значение. Контроллерный барабан *СП* установлен на винте поперечной подачи. Во время движения поперечных салазок суппорта вместе с винтом вращается контроллерный барабан *СП*. На его поверхности имеется изолирующая накладка, образующая на барабане ряд токопроводящих и токонепроводящих участков. Контроллерный барабан *СД* связан со специальной гайкой ходового винта продольной подачи. Он вращается вместе с гайкой во время перемещения продольных салазок суппорта. Этот барабан также имеет насадку, которая образует на его поверхности ряд токопроводящих и токонепроводящих участков. Скользящие контакты контроллерных барабанов *СП* и *СД* включены последовательно с контактами, скользящими по барабану *БЛ*. Поэтому электромагнит *ЭЛ* окажется под током и барабан с лентой повернется только в том случае, если одновременно замкнется один из четырех контактов, расположенных слева на барабане *БЛ*, и связанный с ним скользящий контакт на барабане *СП* или *СД*.

Шаг винта поперечной подачи, на котором установлен барабан *СП*, равен 5 мм. При 50 токопроводящих участках слева на барабане *СП* и пяти участках справа за один оборот винта, а, следовательно, и барабана левый контакт будет контактировать с токопроводящими участками барабана 50 раз, а правый – 5 раз. Это дает возможность отсчитывать целые и десятые доли миллиметра при перемещении салазок поперечного суппорта. Точно так же работает и барабан *СД*, установленный на специальной гайке ходового винта. Имея десять токопроводящих участков слева и один справа, этот барабан при шаге ходового винта 10 мм дает возможность отсчитывать десятки миллиметров и миллиметры при перемещении салазок продольного суппорта.

В электрической схеме предусмотрены четыре сигнальные лампочки. Зеленые лампочки *ЗП* и *ЗД* включаются в момент замыкания контактов на барабанах *СП* и *СД* при установке суппортов в исходное положение. Желтая лампа *ЖЛ* сигнализирует о необходимости изменения режима резания, а красная *КЛ* – об окончании обработки.

На рис. 2.37 показан фрагмент программоносителя – бумажной перфоленты. Она имеет 14 вертикальных рядов в соответствии с числом считывающих контактов на барабане *БЛ* (рис. 2.35). В первом ряду, обозначенном буквой *д*, фиксируется величина перемещения продольного суппорта в десятках миллиметров. Каждое отверстие этого ряда обеспечивает продольному суппорту продвижение на 10 мм. Если, например, в нем подряд расположено четыре отверстия, то продольный суппорт при непрерывном движении в заданном направлении переместится на 40 мм. Во втором ряду, обозначенном буквами *дд*, фиксируется величина перемещения продольного суппорта в миллиметрах. Каждое отверстие этого ряда вызывает перемещение продольного суппорта на 1 мм.

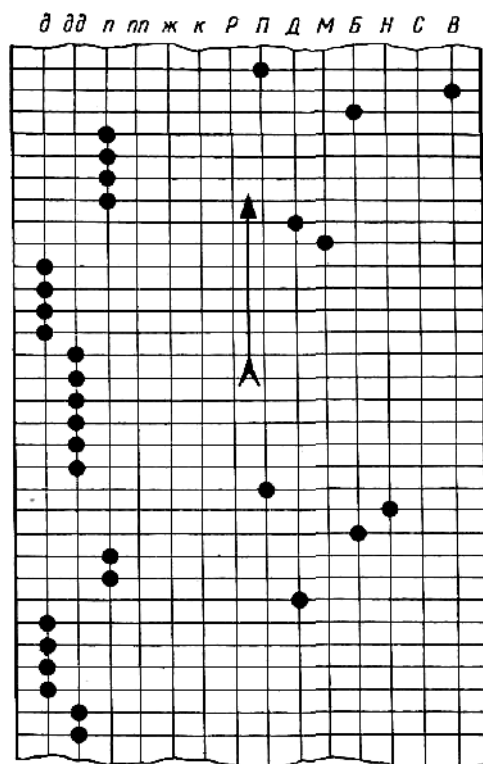


Рис. 2.37. Фрагмент программоносителя

Третий ряд *п* служит для записи величины перемещения поперечного суппорта в миллиметрах. Каждое отверстие ряда обеспечивает продвижение поперечного суппорта на 1 мм. Ряд *пп* предназначен для фиксации величины перемещения поперечного суппорта в десятых долях миллиметра. Пятый ряд *ж* используется для замыкания электрической цепи желтой сигнальной лампы скользящим контактом через отверстие, расположенное в соответствующем месте программной ленты. В шестом ряду *к* располага-

ется отверстие, через которое замыкается цепь красной сигнальной лампы. В рядах, обозначенных буквами *Р, П, Д, М; Б, Н, С, В*, пробиты отверстия, служащие для замыкания в заданной последовательности электрических цепей, реализующих следующие команды: «Поворот резцедержателя», «Включение поперечного суппорта», «Включение продольного суппорта», «Медленно», «Быстро», «Назад», «Стоп», «Вперед».

На изображенном участке ленты, перемещающейся в направлении стрелки, пробиты отверстия для выполнения следующих команд: поперечный суппорт – «Вперед», «Быстро», «Перемещение на 4 мм»; продольный суппорт – «Медленно», «Перемещение для протачивания на 46 мм; поперечный суппорт «Назад», «Быстро», «Перемещение на 2 мм»; продольный суппорт – «Перемещение на 40 мм и более».

При обработке ступенчатых валиков и втулок на токарном станке, оснащенном описанной системой ЦПУ, обеспечивалась точность 4-го класса по диаметральным и осевым размерам.

Системы ЦПУ применяют для управления станками токарной и фрезерной групп (например, моделей 1А341Ц, 1416Ц, 6С12Ц, 6Р13Ц и др.), а также агрегатными станками и промышленными роботами (например, Универсал-5, Циклон и др.).

2.3.4. Комбинированные схемы на основе систем ЦПУ

Используются также комбинированные системы управления на основе системы ЦПУ. Например, многорезцовый токарно-копировальный полуавтомат модели 1713Ц для точения деталей, преимущественно, типа валов с прямолинейным и криволинейным профилем. В отличие от базовой модели 1713 он дополнительно снабжен механизмом смены инструмента и многопроходным устройством. Это обеспечивает групповую обработку деталей одним или несколькими резцами, а также многорезцово-копировальную обработку с автоматическим изменением частот вращения шпинделя и подач копировального суппорта за несколько рабочих проходов. Общее управление циклом работы полуавтомата осуществляется от центрального командоаппарата.

Наряду с традиционными токарными автоматами с временной системой управления выпускаются автоматы, у которых система управления состоит из трех подсистем: цикловой, временной и следящей копировальной. Соответствующая структурная схема токарно-револьверного автомата приведена на рис. 2.38. Схема включает копировальный суп-

порт 1, револьверный суппорт 2, барабан с упорами, задающими величины перемещения револьверного суппорта, продольный суппорт 4, барабан с упорами, задающими величину перемещения продольного суппорта 5, копир 6, коробку скоростей 7, поперечные суппорты 8 и 12, управляемые кулачками, механизм зажима заготовки 9, электродвигатель ускоренного перемещения револьверного суппорта 10, коробку передач револьверного суппорта 11. Управление циклом, режимами обработки и перемещениями продольных суппортов осуществляется от центрального командоаппарата (штекерной панели) цикловой подсистемы, а управление перемещениями поперечных суппортов – временной подсистемой управления.

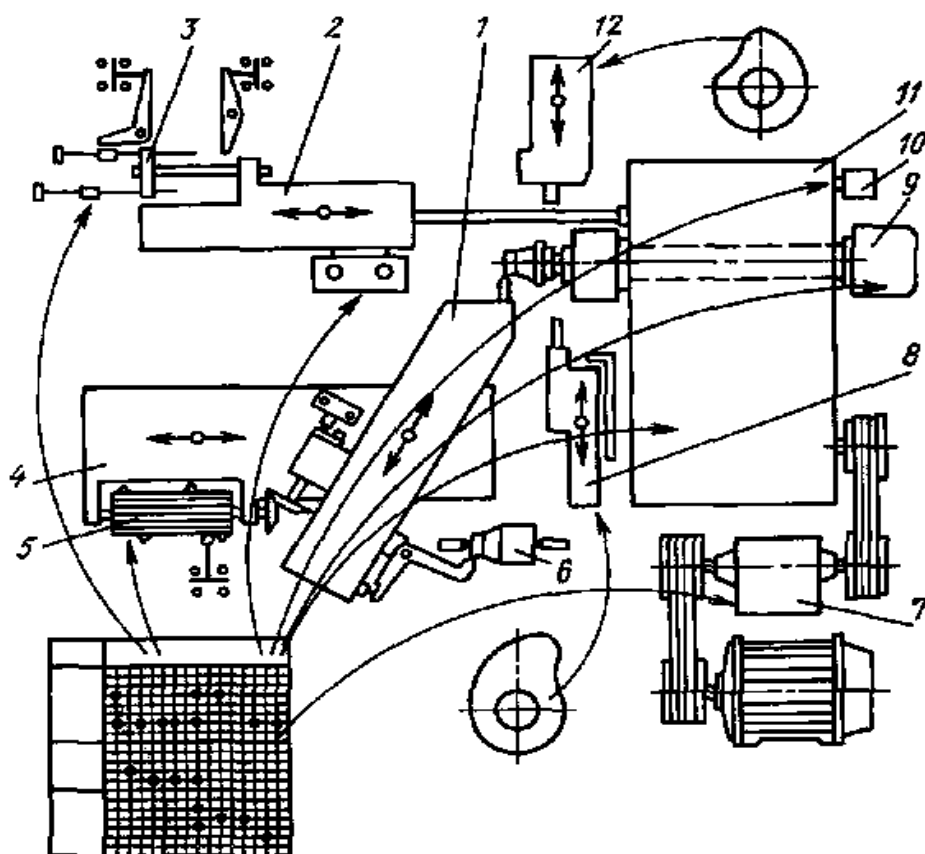


Рис. 2.38. Схема комбинированной системы управления токарно-револьверного автомата

Применение таких комбинированных САУ позволяет при широких технологических возможностях и высоком коэффициенте автоматизации упростить переналадки автоматов и сократить затраты времени на нее.

2.4. Особенности систем управления аналогового типа

Заканчивая общее рассмотрение аналоговых систем управления, отметим специфику их проектирования при использовании той или иной разновидности системы. Для замкнутых систем управления с датчиками пути (конечными выключателями) характерно их использование при программировании позиционирования исполнительных органов или осуществления обработки по линиям, параллельным направляющим этих органов. Если требуется обеспечить высокую точность и производительность такого управления, то при любом проектируемом типе привода необходимо добиваться наименьшего неконтролируемого выбега исполнительного органа относительно точки останова и возможно меньшего времени самого процесса позиционирования.

При использовании незамкнутых временных систем с априорной информацией о результате управления достаточно просто может быть достигнута высокая точность обработки, но при больших скоростях необходимо обращать особое внимание на вопросы динамики такого привода, особенно важное во время переходных процессов при резком изменении скорости движения исполнительных механизмов. Отметим, что временные системы управления с распределительным валом, несущим программоносители в виде кулачков, являются самыми надежными из систем с аналоговым программоносителем.

Для копировальных систем управления непрямого действия наиболее важным звеном является блок усиления сигнала управления, от которого во многом зависит конечная точность обработки. В ряде случаев желательно обеспечить взаимную связь скоростей исполнительных органов по управляемым координатам.

Общим сходством и недостатком всех рассмотренных аналоговых систем управления, особенно если они предназначены для программирования траекторий движения формообразования, позиционирования или управления циклом, является недостаточная их мобильность. Действительно, при изменении программы необходимо ее вновь выполнять в виде физической модели, для чего следует изготовить новые кулачки, шаблоны, копиры и другие программоносители осуществить переналадку станка, переставив упоры или конечные выключатели, или изменить положение управляющих элементов командоаппарата. Станки с такими системами управления иногда недостаточно универсальны даже для серийного производства, если речь идет о частой сменяемости объектов этого производства, где при низкой мобильности оборудования будут наблюдаться еще большие простои при переналадке. Поэтому необходимо на стадии проектирования системы управления стремиться к созданию таких технических решений, которые имели бы возможно большие значения коэффициентов α и β .

3. СИСТЕМЫ ЧИСЛОВОГО УПРАВЛЕНИЯ

3.1. Особенности числового программного управления

В предшествующих разделах рассмотрены два основных способа преобразования информации чертежа при изготовлении деталей на станках:

- первый – с участием человека в человеко-машинной системе при использовании универсального оборудования, характерный для единичного и мелкосерийного производства;

- второй – с использованием в автоматических станках аналогового программносителя, характерный для крупносерийного и массового производства с устойчивым видом продукции.

Развитие технической кибернетики, электроники, вычислительной техники, внедрение в производство ЭВМ привело к разработке и широкому применению в станкостроении систем ЧПУ металлорежущими станками, обладающих преимуществами аналоговых САУ и лишенными их недостатков. Способ преобразования информации чертежа при использовании станка с ЧПУ приведен на рис. 3.1.

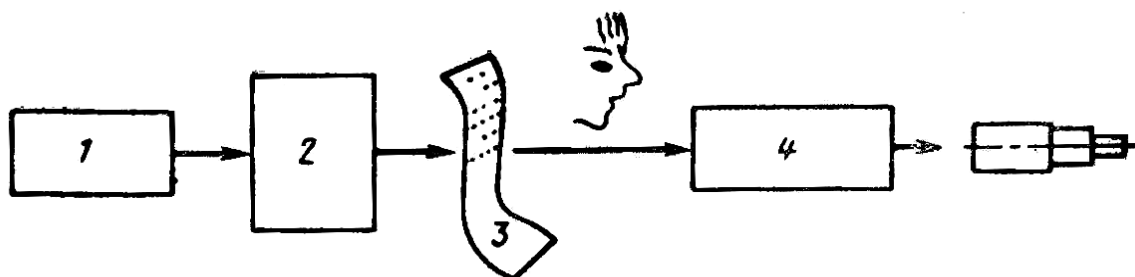


Рис. 3.1. Блок-схема системы ЧПУ

Информация чертежа 1 преобразуется технологом-программистом в текстовую или табличную формы 2, где посредством символов (букв, цифр, знаков) определяется программа (алгоритм) обработки детали. Затем эта информация может быть записана на программно-носитель 3 или введена в ЭВМ. Далее от программно-носителя (перфоленты, магнитной ленты и т. д.) или непосредственно от ЭВМ сигналы, поступающие на станок 4, будут определять обработку запрограммированной детали. Таким образом, обеспечивается работа станка без создания аналоговой модели программы и без непосредственного участия в системе управления станком человека. Система управления при таком способе подготовки управляющей программы обладает большой мобильностью; достаточно изменить несколько символов в тексте, чтобы произвести обработку детали с иными размерами. Такая система управления универсальна, а подготовка управляющей программы для нее может быть максимально автоматизирована.

Таким образом, станки с ЧПУ – это такое оборудование, у которого в САУ вводится информация в виде символов, характеризующих перемещение исполнительных органов станка, определяющих траекторию движения заготовки (детали) или инструмента, а также весь цикл его работы. Данное определение можно отнести не только к станкам для обработки резанием, но и к технологическому оборудованию для сварки, раскроя материала, автоматического измерения деталей и промышленным роботам, у которых функцию инструмента выполняет рука-манипулятор.

Предпочтительная область использования станков с ЧПУ – многономенклатурное производство при небольших партиях деталей с неустойчивым видом продукции.

3.2. Классификация систем ЧПУ по технологическому признаку

По технологическому признаку системы ЧПУ 1 (рис. 3.2) разделяют на позиционные (координатные) 2 и контурные 5.

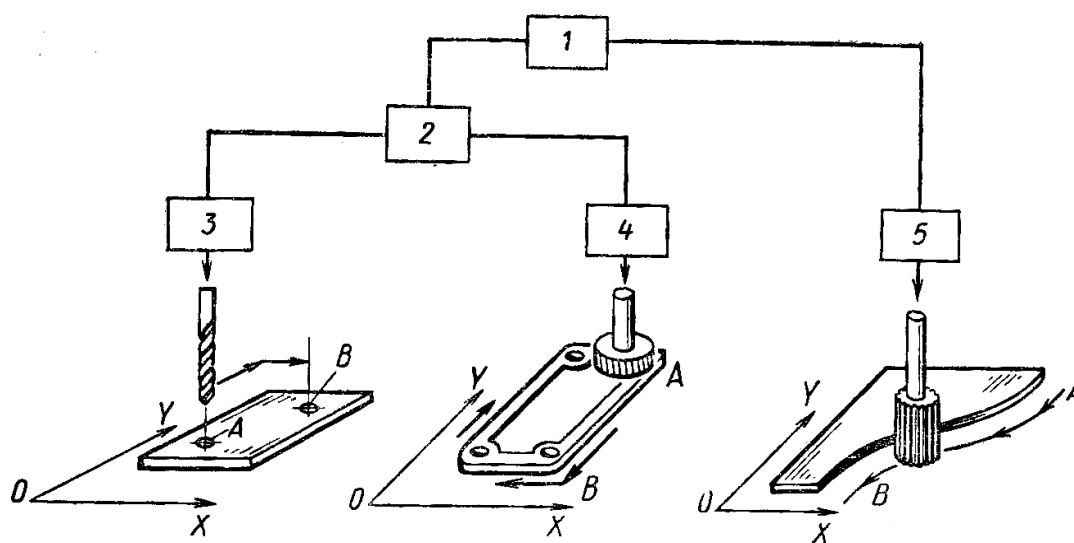


Рис. 3.2. Классификация систем ЧПУ по технологическому признаку

В свою очередь среди позиционных систем управления различают:

– системы с управлением положением отдельных точек 3, когда обработка осуществляется после позиционирования инструмента или заготовки в зону обработки; цикл работы станка предусматривает позиционирование и фиксацию исполнительного органа станка в точке с заданными

программой координатами и последующую обработку; в этих системах нет необходимости функционально связывать перемещения исполнительных органов; если они происходят одновременно, то делается это лишь для сокращения времени позиционирования; область использования таких систем – станки сверлильно-расточной группы;

– системы с управлением перемещениями вдоль отрезков прямых 4, параллельных направляющим исполнительных органов; в этом случае обработка осуществляется в процессе перемещения от одной позиции к другой, копируя при этом формообразующем движении направляющие соответствующего исполнительного органа; при этом, как правило, исполнительные органы работают поочередно, обходя контур обработки по прямоугольному циклу, и лишь изредка имеет место одновременное движение по двум координатам при обработке поверхности, расположенной под углом примерно 45^0 к системе координат станка; область использования таких систем управления – некоторые упрощенные типы токарных и фрезерных станков.

Контурные системы управления обеспечивают формообразующую обработку деталей сложной (фасонной) формы. В этих системах программируется как величина, так и закон перемещения исполнительных органов. Такой характер перемещения обеспечивается посредством функциональной связи между перемещениями исполнительных органов по двум и более координатам. Область использования контурных систем – автоматизированные станки токарной, фрезерной, шлифовальной и др. групп для обработки фасонных поверхностей.

В современных многоинструментальных станках (обрабатывающих центрах), как правило, используют оба типа рассмотренных систем управления, а выбор той или иной системы по циклу обработки обеспечивается в соответствующем кадре функциональной командой, например, типа G00 в коде ISO – 7 bit при программировании обработки.

Абсолютное большинство систем ЧПУ имеет замкнутую структуру. Исключение составляют шагово-импульсные системы, у которых, как правило, используется только один поток информации. В развитых системах управления, используемых в многоинструментальных станках, предусмотрены также коррекция размеров инструмента, стандартные циклы и возможность программирования и использования подпрограмм, которые можно рассматривать как частные стандартные циклы.

3.3. Общая структура систем ЧПУ

Собственно любая система ЧПУ может быть разделена на вычислительно-логическое устройство (ВЛУ) и автоматическую систему управления электроприводами (АСУ ЭП).

По структуре, функциям и объему информации ВЛУ все системы ЧПУ можно разделить на три основные группы:

- системы NC (Numerical control), выполненные аппаратно, обеспечивающие управление работой станка по программе, заданной в алфавитно-цифровом коде;
- системы CNC (Computer numerical control), содержащие в своей структуре мини-ЭВМ или процессор для выполнения основных функций управления;
- системы DNC (Direct numerical control), управляющие группой станков или гибкой производственной системой от общей ЭВМ, осуществляющей хранение программ и распределение их по запросам от устройств управления отдельных станков; при этом отдельные станки могут быть оснащены устройствами типа NC, SNC, CNC.

Системы NC имеют жесткую структуру с определенными заданными функциями управления, и перестройка алгоритмов управления либо невозможна, либо может быть произведена стадии изготовления. Оперативная память этих систем ограничена. Разновидностью системы NC является система SNC (Speicher NC), дополненная большой памятью, способной хранить всю программу обработки.

Система ЧПУ с ручным вводом программы с помощью электромеханических наборных полей, установленных на пульте управления называется системой HNC (Hand NC).

Системы CNC имеют гибкую структуру с возможностью программирования алгоритмов работы, имеют большой объем памяти, позволяющий хранить управляющую программу. Наличие каналов связи в таких системах позволяют подключать большое число внешних устройств.

Информация, содержащаяся в программе, состоит из двух видов:

- информации, задающей траекторию движений исполнительных органов и обрабатываемой АСУ ЭП;
- информации, формирующей технологические команды.

Система типа NC (рис. 3.3). В ВЛУ типа NC числовая программа с программноносителя после каждого ее кадра посредством блока воспроизведения программы (БВП) через блок ввода (БВ), в котором производится усиление и формирование сигналов, поступает в блок декодирования (БД).

В этом блоке происходит расшифровка кодовых сигналов, в результате чего программная информация в соответствии с ее назначением поступает либо в устройство управления (УУ), обеспечивающее функционирование и взаимодействие блоков ВЛУ, либо через промежуточную память (ПП) – интерполятор (И) и в блок технологических команд (БТК).

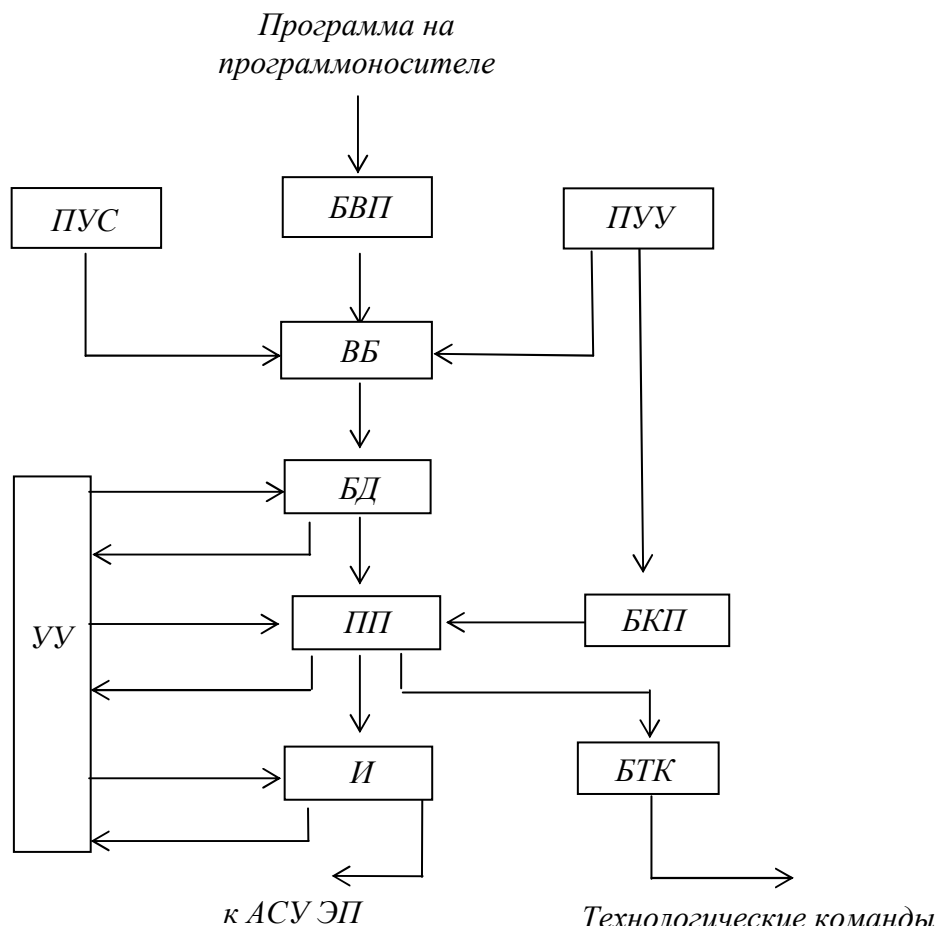


Рис. 3.3. Блок-схема системы типа НС

Интерполятор преобразует числовую информацию, поступающую на него в том или оном виде, в унитарный код (последовательность импульсов) отдельно по каждой координате с соблюдением заданной функциональной зависимости между ними. БТК служит для управления режимами включения и отключения механизмов и исполнительных органов. На пульте управления собственно устройством программного управления (ПУУ) осуществляется задание режимов работы, индикации пути и скорости, задаваемых программой; туда же поступает информация от исполнительных органов. Коррекция программы для учета размера и износа инструмента, для ограничения динамических контурных ошибок, для компенсации изменения нагрузки и т. д. осуществляется в блоке коррекции программы (БКП).

Таким образом, в системах NC необходимые функции ЧПУ осуществляются отдельными электронными блоками. Причем обработка информации в различных блоках может выполняться параллельно. Введение в систему управления новых функций реализуется только с помощью дополнительных блоков.

Основные направления развития систем типа NC:

- совершенствование в части элементной базы и схемно-конструкторских решений;
- увеличение памяти на всю программу и расширение технологических возможностей.

Системы типа NC сохраняют свое значение для станков с ЧПУ, выпускаемых крупными сериями.

Система типа CNC (рис. 3.4). Этот тип системы характеризуется тем, что основные алгоритмы работы задаются программно или программно-аппаратно и могут изменяться в зависимости от цели применения устройства управления. Это позволяет уменьшить число модификаций систем ЧПУ, ускорить их освоение, особенно систем ЧПУ с самоподнастраивающимися алгоритмами.

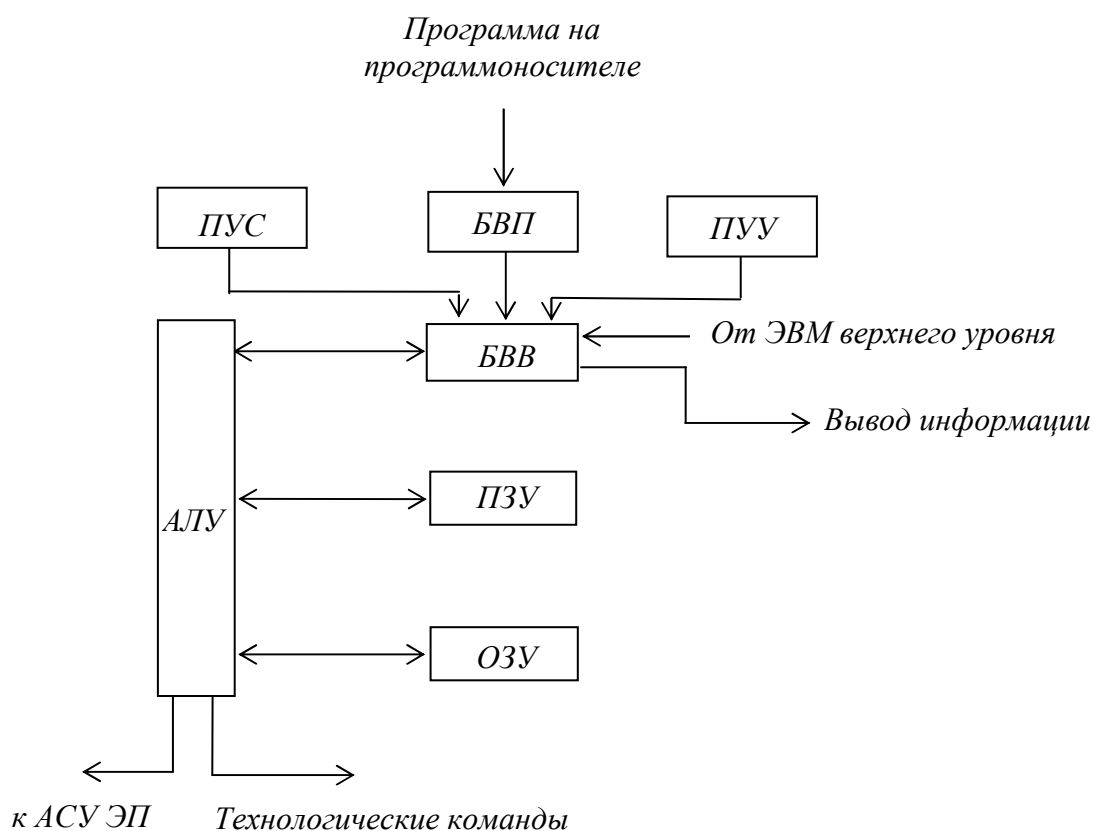


Рис. 3.4. Блок-схема системы типа CNC

В этих системах реализация алгоритма работы ВЛУ обеспечивается арифметико-логическим устройством (АЛУ). Поэтому многие операции выполняются последовательно. Программа вводится в АЛУ через блок воспроизведения программы (БВП) и блок ввода-вывода (БВВ). В постоянном запоминающем устройстве (ПЗУ) хранятся постоянные части программы и необходимые константы. ПЗУ используется для декодирования информации, интерполяции и т. д. В оперативное запоминающее устройство (ОЗУ) заносятся управляющие программы. В нем также хранятся текущие значения параметров, информация для коррекции траекторий движений и т. д. Реализация всех функций ЧПУ в системе CNC посредством АЛУ затруднена, так как в этом случае требуется очень высокое быстродействие вычислительных средств. Таким образом, с помощью АЛУ выполняются функции устройства управления блоками, декодирования, хранения информации и интерполяции. Блоки ПУС и ПУУ выполняют те же функции, что и в системе типа NC.

Создание систем CNC стало возможным после выпуска больших быстродействующих интегральных схем, которые имеют процессорные элементы, элементы оперативной и постоянной памяти и элементы связи с внешними устройствами. Применение микропроцессоров и микро-ЭВМ обеспечило качественное улучшение структуры систем ЧПУ. Появилась возможность построить систему ЧПУ по принципу малой вычислительной машины с полужестким или гибким заданием алгоритмов работы, памятью на одну или несколько программ, стандартными периферийными устройствами вычислительной техники (печатающим устройством, дисплеем и т. д.), каналами связи с более мощной ЭВМ верхнего уровня.

Появилась также возможность выполнения принципиально новых функций: редактирования программы; коррекция систематических погрешностей; изменение алгоритма работы применительно к станкам различных групп и т. д. Значительное уменьшение габаритов системы ЧПУ позволяет располагать ее непосредственно на станке. Встроенная система типа CNC позволяет выполнить программирование изготовления относительно простых деталей на станке с использованием диалога с дисплеем, программа вводится непосредственно в память системы ЧПУ и проверяется при обработке пробной детали.

Современные многоинструментальные станки (обрабатывающие центры), как правило, оснащаются устройствами ЧПУ, включающими оба типа рассмотренных систем, т. е. NC и CNC.

3.4. Задачи числового программного управления

3.4.1. Общая характеристика задач

Функции устройства (системы) ЧПУ можно определить через систему его необходимых внешних воздействий (рис. 3.4). Прежде всего, устройство ЧПУ по отношению к своему объекту (станку или иному технологическому оборудованию) выступает как управляющий автомат. Устройство ЧПУ вместе со станком и само является объектом управления в окружающей среде.

Детализируя указанные функции, обнаруживаем четыре их класса. Взаимодействие устройства ЧПУ с объектом-станком состоит в управлении формообразованием детали (**геометрическая задача ЧПУ**), в управлении дискретной автоматикой станка (**логическая задача ЧПУ**), в управлении рабочим процессом станка (**технологическая задача ЧПУ**). Взаимодействие с окружающей производственной средой (**терминальная задача ЧПУ**) проявляется через диалог с оператором и информационный обмен с управляющей ЭВМ более высокого ранга.



Рис. 3.5. Система внешних взаимодействий устройства ЧПУ

Исторически **геометрическая задача ЧПУ** возникла первой, и у ранних устройств ЧПУ была по сути единственной. Действительно, получить изделие (деталь), соответствующее чертежу, управляя приводами подач станка, – это тот минимум возможностей, который требуется от станка-автомата (полуавтомата) или иного автоматически действующего обрабатывающего оборудования.

Появление и развитие **логической задачи ЧПУ** явилось следствием автоматизации на станке большого многообразия вспомогательных, простых или циклических переходов: зажимы – разжимы, подводы – отводы, переключения, пуски – остановки, автоматическая смена инструмента и др.

Именно обилие переходов составляет специфику логической задачи, оно проявляется в большом количестве дискретных обменных сигналов, число которых измеряется десятками, между устройством ЧПУ и станком.

Технологическая задача ЧПУ присутствует только в тех случаях, когда основной рабочий процесс сам становится объектом управления (либо с целью его поддержания, либо с целью его оптимизации). Примером автоматически поддерживаемого рабочего процесса может служить электрохимическая обработка, в рамках которой осуществляется взаимосвязанное управление источником питания технологического тока, системой подачи и очистки электролита, приводами подачи электродов – инструментов. Примеры оптимизируемых рабочих процессов – фрезерование или токарная обработка, управление которыми состоит в изменении подачи и скорости резания с целью увеличения производительности, снижения приведенных затрат, повышения качества обработки.

Терминальная задача ЧПУ поддерживается устройством ЧПУ как персональным компьютером. Диалог с оператором охватывает управление станком и устройством ЧПУ в различных режимах, операции с управляющей программой ЧПУ, некоторые действия системного характера. Информационный обмен с ЭВМ необходим в интегрированной пространственно распределенной системе управления, имеющей признаки локальной вычислительно-управляющей сети.

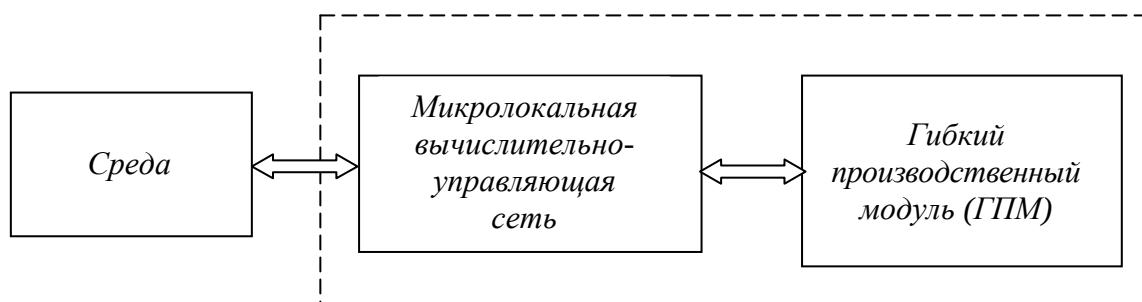


Рис. 3.6. Внешние взаимодействия системы управления ГПМ, реализованной в виде микролокальной вычислительно-управляющей сети

Гибкий производственный модуль (ГПМ) является более сложным объектом управления, чем отдельный станок, так как в состав модуля входят периферийные средства станка (промышленный робот, накопитель заготовок, устройство смены инструментальных магазинов и др.), которые могут располагать собственными средствами управления. Для решения общей технологической задачи эти средства должны быть скоординирова-

ны, а поэтому объединяются в единую микролокальную вычислительно-управляющую сеть, которая и выступает в роли системы управления. Ее функцию можно определить (по аналогии с функцией устройства ЧПУ отдельного станка) через совокупность необходимых внешних взаимодействий с ГПМ и окружающей средой (рис. 3.6).

3.4.2. Геометрическая задача

Геометрическая задача ЧПУ – это отображение геометрической информации чертежа в совокупность таких формообразующих движений станка, которые материализуют чертеж в конечном изделии. Формообразующие движения воспроизводятся, как правило, следящими приводами подач станка. Следящие приводы подач расположены так, что они соответствуют координатной системе станка, в которой и осуществляется в процессе обработки управляемое относительное движение инструмента и заготовки.

Станки с ЧПУ во всех странах имеют одинаковые значения направлений перемещений и их символику. Стандартом ISO – R841 принято за положительное направление перемещения исполнительного органа станка считать то, при котором инструмент или заготовка отходят друг от друга. Исходной осью (ось Z) является ось рабочего шпинделя. Если эта ось поворотная, ее положение выбирают перпендикулярно плоскости крепления детали. Положительное направление оси Z – от устройства крепления детали к инструменту, тогда оси X и Y расположатся так, как это показано на рис. 3.7. На рис. 3.8 приведены примеры расположения осей на токарном, вертикально-сверлильном и горизонтально-расточном станках с ЧПУ.

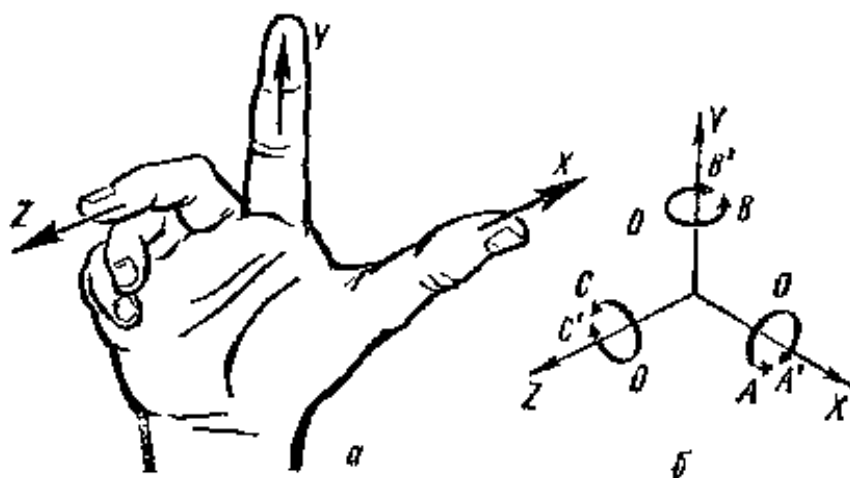


Рис. 3.7. Расположение осей координат на станках с ЧПУ:
а – правосторонняя система координат; б – первичные оси

Оси X , Y , Z называются первичными; они расположены ближе к шпинделю. Вторичные оси U , V , W параллельны первичным, третичные обозначают буквами P , Q , R . Углы поворота вокруг осей обозначаются A , B , C (соответственно для поворота вокруг осей X , Y , Z), дополнительные углы поворота – буквами D и E .

Положительным направлением считается вращение по часовой стрелке при взгляде вдоль положительного направления соответствующей оси. При перемещении детали, а не инструмента положительные значения изменяют направление; их обозначают буквами X' , Y' , Z' и т. д.

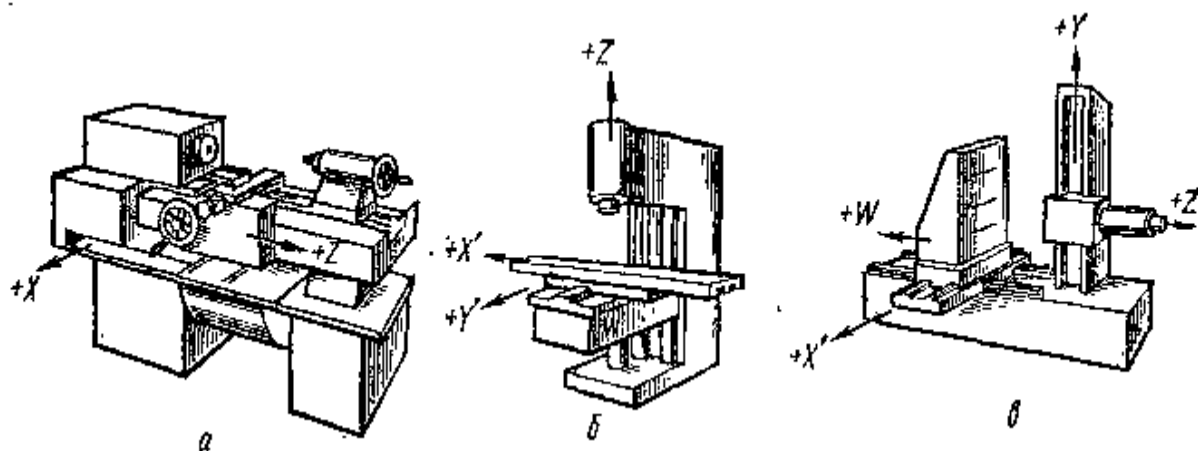


Рис. 3.8. Примеры расположения осей координат на станках с ЧПУ:
 a – токарный станок; b – вертикально-фрезерный станок;
 c – горизонтально-расточной станок

Для обработки на станке с ЧПУ геометрическую информацию чертежа дополняют информацией, отражающей все необходимые для данной операции технологические переходы: маршрут (выбор исходной точки инструмента и технологических баз заготовки, порядок и направление обхода заготовки инструментом), сведения о числе проходов и применяемых инструментах, данные о режимах резания и др.

Для управления станком производится кодирование этой (исходной) информации и представления ее с помощью символов. Для кодирования информации, как правило, используют международный семиразрядный буквенно-цифровой код ISO-7 bit (рис. 3.9).

Основу кода составляет двоичная система счисления, четыре разряда которой используют для кодирования каждого разряда десятичных чисел, т. е. для кодирования числовой (размерной) информации применена двоично-десятичная система счисления.

Для кодирования знаков и заглавных букв латинского алфавита, а также для кодирования признаков всех составляющих частей кода используют семь двоичных разрядов (7 bit). Для проверки правильности информации каждая строка программноносителя (кодированная комбинация) контролируется по модулю два, т.е. на четность числа единиц, например, пробивок на перфоленте. Для контроля четности используется восьмая дорожка программноносителя.

В рассматриваемом коде даны следующие рекомендации по применению букв, сокращенных слов и знаков (даны не полностью):

A, B или *C* – вращение вокруг осей *X, Y* или *Z* или осей, параллельных им;

F – подача (100 подач);

G – условие перемещения, или адрес режима; работы системы ЧПУ (100 команд);

I, J, K – начальные координаты соответственно по осям *X, Y, Z* дуг окружности относительно ее центра;

L – коррекция;

M – вспомогательные команды (100 команд);

N – номер блока информации, фразы, кадра (1000 номеров);

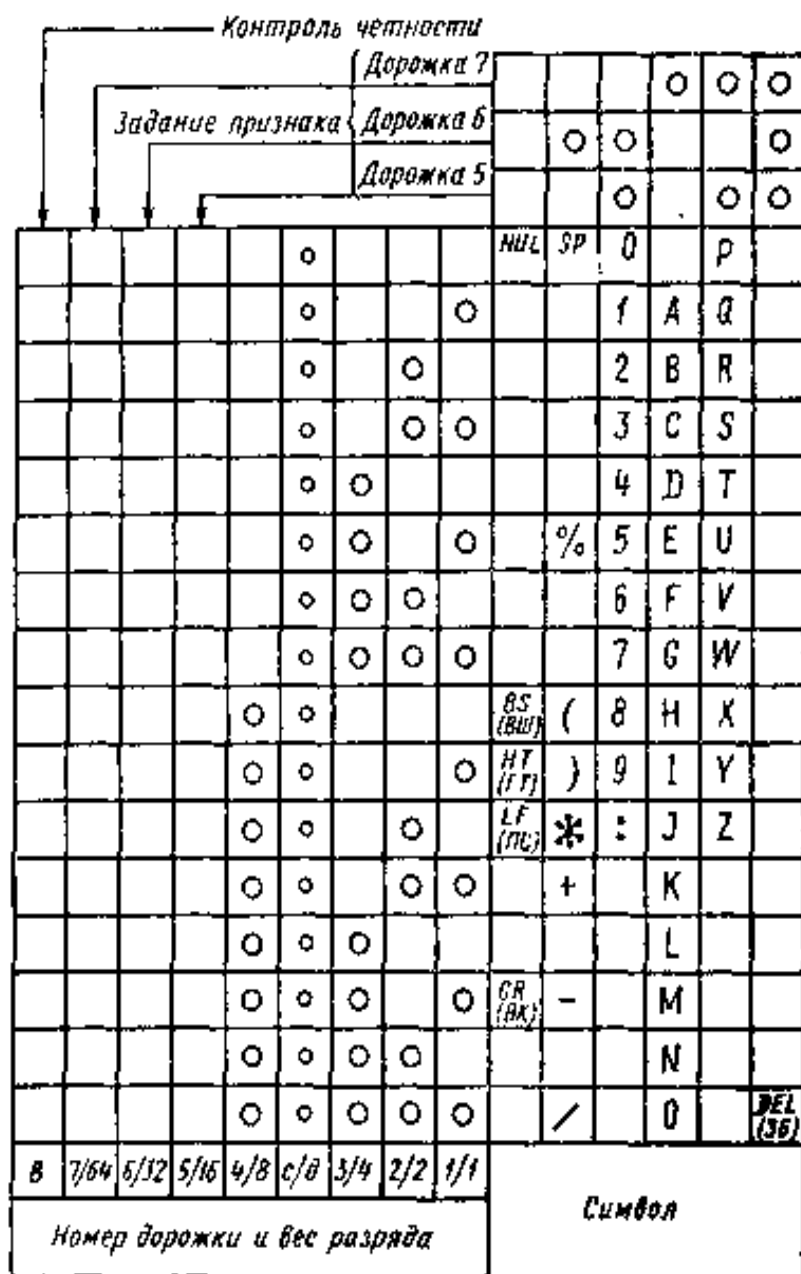


Рис. 3.9. Структура кода ISO-7 bit

P, *Q* или *R* – дополнительное указание по перемещению (третично-му) или ускоренный ход параллельно оси *X*, *Y*, *Z* или произвольно;

S – частота вращения главного движения (скорость) (100 скоростей);

T – инструмент (100 номеров);

U, *V* или *W* – дополнительное указание по перемещению (вторично-му) параллельно оси *X*, *Y* или *Z* произвольно;

X, *Y* или *Z* – перемещение по оси *X*, *Y* или *Z*;

«–», «+» – направления перемещения;

LF (ПС) – конец фразы (кадра, блока);

% – начало программы;

«(» – отключение управления (информация на ленте не воспринимается системой ЧПУ);

«)» – включение управления;

DEL – забой (строка не читается).

Некоторые возможные режимы работы системы ЧПУ, задаваемые адресом G:

G00 – позиционирование;

G01 – линейная интерполяция;

G02 – круговая интерполяция по часовой стрелке;

G04 – задержка в обработке на время, задаваемое на пульте;

G08 – разгон;

G09 – торможение;

G13 – G16 – выбор осей координат;

G17, G18, G19 – выбор плоскости обработки соответственно *XY*, *ZX*, *YZ*;

G25 – начало отсчета координат;

G33 – резбонарезание резцом (постоянный шаг);

G40 – отмена команд G41 – G52;

G41 – коррекция диаметра фрезы при левом ее вращении;

G52 – коррекция инструмента (–/0);

G53 – отмена команд G54 – G59;

G54 – сдвиг линейный по оси *X*;

G59 – сдвиг линейный по плоскости *YZ*;

G60 – точное позиционирование № 1;

G62 – быстрое позиционирование до упора грубо;

G64 – переход с быстрого хода на рабочую подачу или наоборот;

G80 – отмена постоянных циклов;

G81 – G89 – постоянные циклы с 1 по 9.

Некоторые возможные вспомогательные команды, задаваемые адресом M:

M00 – запрограммированный стоп;

M01 – останов с подтверждением;

M02 – конец программы;

M03 – вращение шпинделя по часовой стрелке;

M05 – останов шпинделя;

M06 – команда на замену инструмента;

M08 – включение охлаждения № 1;

M09 – выключение охлаждения;

M10 – зажим инструмента;

M15 – быстрое перемещение в направлении +;

M30 – конец ленты;

M31 – обход блокировки;

M32 – M35 – постоянная скорость резания;

M36 – диапазон подач № 1;

M38 – диапазон скоростей № 1;

M60 – смена заготовки;

M61 – линейное смещение заготовки в фиксированное положение № 1;

M68 – зажим заготовки;

M71 – угловое смещение заготовки в фиксированное положение № 1;

M78 – зажим стола;

M79 – отжим стола.

Информация (кодируется) программируется кадрами. Полное обозначение формата кадра определяет слова и их длину, которые требуются системе ЧПУ для записи необходимой информации. Каждый кадр состоит из слов «номер кадра», слов основной информации и служебного символа «конец кадра», выполняющего функцию разделителя. Слова записываются в порядке, указанном на рис. 3.10 и внутри кадра не должны повторяться.

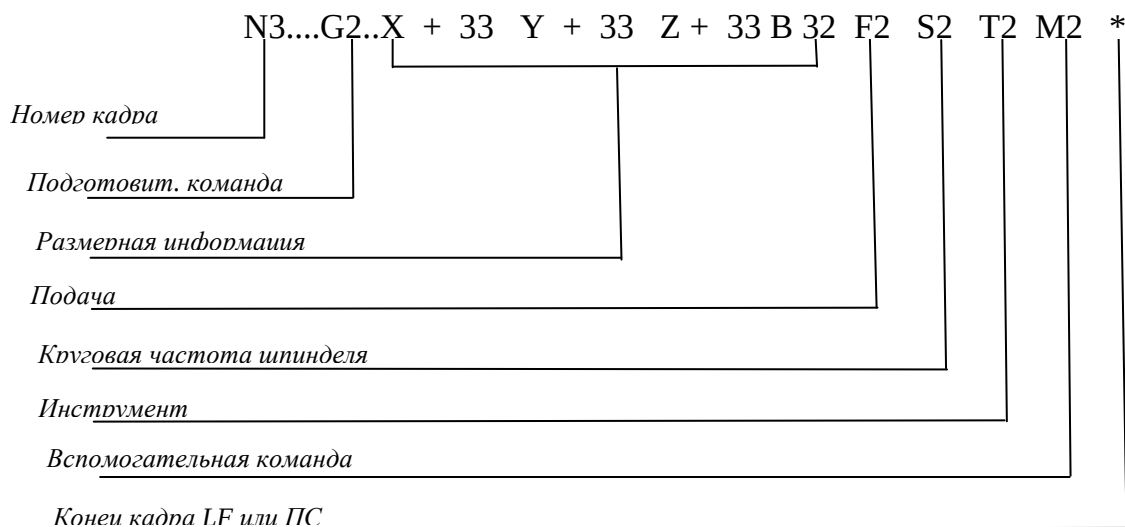


Рис. 3.10. Структура кадра

Размерная информация задается после символов координаты и направления перемещения (+ или –) двумя цифрами, определяющими количество десятичных разрядов до и после запятой.

Слова «подача» (символ F) и «круговая частота вращения шпинделя» (символ S) выражают задание режимов обработки. Кодом предусмотрено кодирования режимов обработки посредством арифметической либо геометрической прогрессии. На практике предпочтение отдается второму варианту. По этому варианту F и S выражаются кодом из двух цифр, представляющим $\log_{1,12} F$ и $\log_{1,12} S$, а все подачи и круговые частоты выбираются из ряда, представляющего целые степени числа 1,12. При этом 00 соответствует «остановке», 99 – соответственно «быстрому ходу» и «наибольшей круговой частоте», а числа от 1,12 до 75000 ($1,12^{99}$) охватывают весь возможный диапазон используемых величин подач и круговых частот вращения.

Физическим программносителем, традиционным для первого этапа развития систем ЧПУ, является перфолента, у которой форма, размеры и расположение кодовых и синхронизирующих отверстий определены стандартом (рис. 3.11).

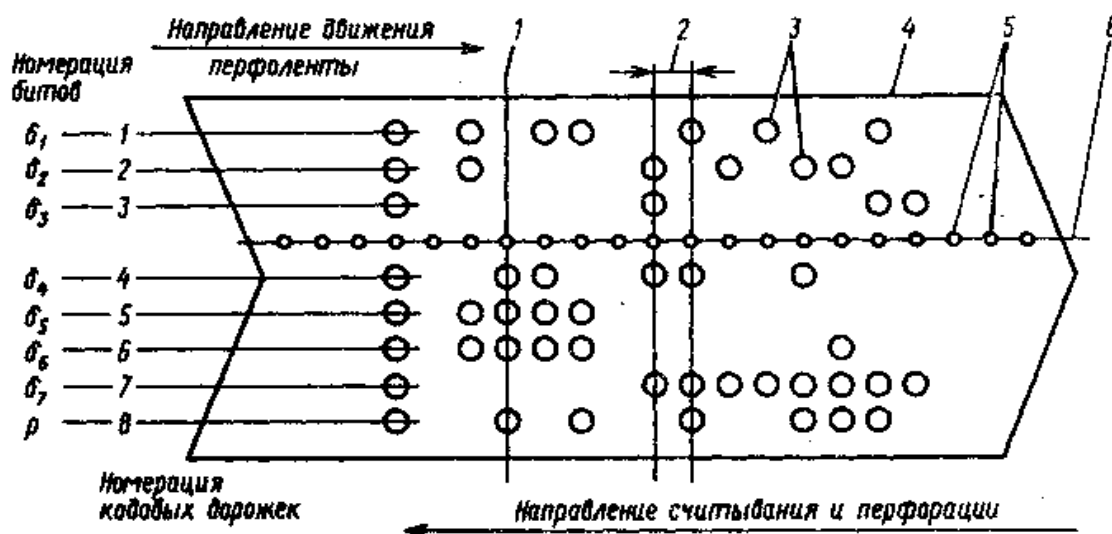


Рис. 3.11. Перфолента – физический программноноситель станочного оборудования с ЧПУ

Перфолента шириной 25,4 мм (1 дюйм) включает следующие элементы кодового набора: строка 1, шаг перфорации 2, кодовые отверстия 3, базовую кромку 4, синхронизирующие (транспортные) отверстия 5, синхронизирующую (транспортную, ведущую) дорожку 6, рабочие дорожки $\delta_1 - \delta_7$, дорожку контроля на четность p .

Кодовая комбинация записывается в строке, ее расположение задано синхронизирующим отверстием, которое служит для определения момента считывания кодовой комбинации. Нумерация кодовых дорожек ведется от базовой кромки.

В качестве физического программносителя используется также магнитная лента. Ранее этот программноситель использовался в основном для хранения и ввода информации в декодированном виде (в унитарном коде) в системах контурного управления без встроенного интерполятора. Однако магнитную ленту можно применять и для записи кодированной программы. Такая возможность особенно необходима при использовании ЭВМ в связи с тем, что существенно ускоряется ввод и вывод информации по сравнению с перфорируемыми программносителями. Магнитная лента позволяет получать высокую плотность записи информации, достигающую до 40 импульсов на миллиметр.

На современном этапе развития устройств ЧПУ предпочтение отдается магнитным дискам, вытесняющим в первую очередь перфоленту. Тем не менее перфолента из-за своей наглядности, вероятно, еще какое-то время будет использоваться в практике, главным образом, при изучении кодов для программирования технологических операций.

Оценим состав и объем информации, перерабатываемой устройством ЧПУ, на примере контурной обработки плоской детали (рис. 3.12).

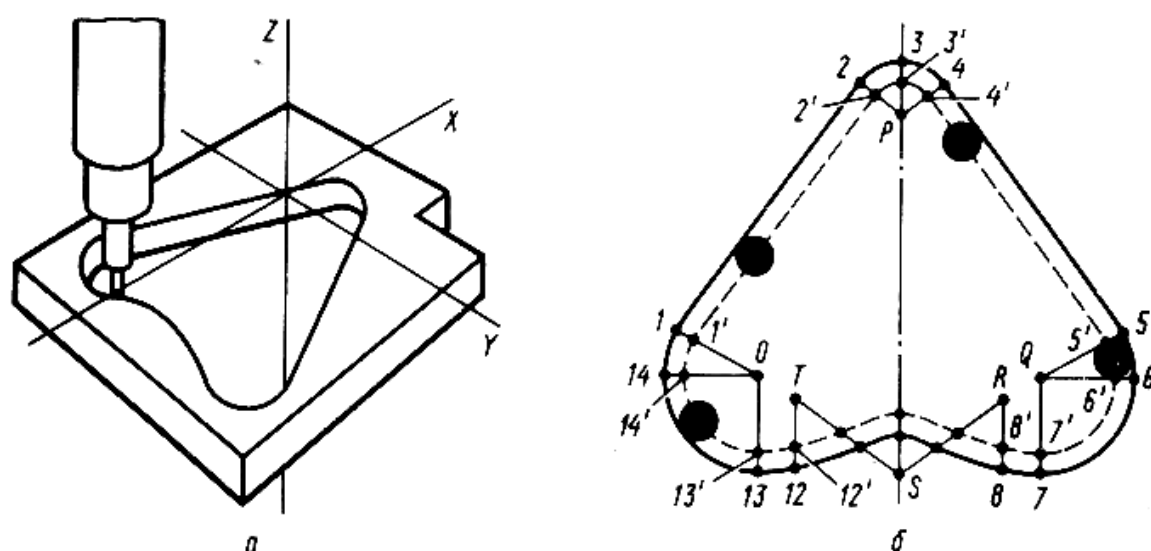


Рис. 3.12. Контурная обработка плоской детали:
 а – обработка фасонного окна концевой фрезой;
 б – траектория сложного формообразующего движения заготовки и инструмента

Для этого рассмотрим обработку плоского фасонного окна концевой фрезой на вертикально-фрезерном станке с ЧПУ в прямоугольной системе координат (рис. 3.12, *а*). Совместным движением подач стола и салазок вдоль осей X и Y необходимо обеспечить сложное формообразующее движение заготовки и инструмента (рис. 3.12, *б*). При этом после выбора направления обхода окна придется запрограммировать не относительное движение по контуру, заданному чертежом детали (траектория $1, 2, \dots, 14, 1$), а движение вдоль эквидистанты заданного контура, отстоящей от него на радиус фрезы (траектория $1', 2', \dots, 14', 1'$). Разделим траекторию $1', 2', \dots, 14', 1'$ на элементарные участки (прямые линии и дуги окружности). Таких участков будет десять: $1' 2' - 2' 3' 4' - 4' 5' - 5' 6' 7' - 7' 8' - 8' 9' - 9' 10' 11' - 11' 12' - 12' 13' - 13' 14' 1'$ (обозначения точек $9' 10' 11'$ опущены, так как их расположение на рис. 3.13, *б* очевидно). Точки $1', 2', 4', 5', 7', 8', 9', 11', 12', 13'$, размещенные на стыке элементарных участков, будем называть **опорными**.

Теперь общую стратегию управления можно представить в следующем виде. Комбинацией установочных перемещений посредством стола, салазок и шпиндельной бабки совместим ось фрезы с начальной опорной точкой $1'$ в плоскости обработки. Цикл автоматического управления по программе начнем именно с этой опорной точки, например, по часовой стрелке. Управляющую программу составим из отдельных кадров, каждый из которых содержит описание, привязанное к очередному элементарному участку. Поскольку в данном примере рассматриваем только геометрическую задачу, в описании элементарного участка сделаем акцент на геометрической информации. Первый кадр будет содержать в кодированном виде следующие данные: имя кадра в виде его номера, признак движения по прямой, значение перемещений вдоль осей X и Y при движении от опорной точки $1'$ к опорной точке $2'$, скорость подачи на первом элементарном участке.

Обработка первого кадра начнется с момента его активизации, когда он станет **рабочим**. Обработка состоит в расчетах промежуточных относительных положений инструмента и заготовки от опорной точки $1'$ до опорной точки $2'$, а также в управлении движением в соответствии с расчетами. В результате движения по программе первого кадра ось фрезы окажется совмещенной с опорной точкой $2'$, открывающей второй элементарный участок.

Его кодированное описание составляет содержание второго кадра управляющей программы; имя кадра, признак движения по окружности, местные координаты точки $2'$ относительно центра P , что создает определенность в задании окружности приращением перемещений по осям X и Y при движении от опорной точки $2'$ к опорной точке $3'$, скорость подачи на втором элементарном участке. Обработка второго кадра управляющей программы завершится совмещением оси фрезы с опорной точкой $3'$.

Последовательная активизация кадров управляющей программы, последовательная обработка содержащейся в них информации, сопровождающаяся выдачей оперативных команд на исполнительные приводы станка, приводит к последовательному обходу запрограммированного контура от одной опорной точки к следующей. Во избежание приостановки подачи на стыке двух элементарных участков, т. е. в момент активизации очередного кадра, этот очередной кадр должен быть заранее подготовлен к оперативным расчетам и обработке. В таком подготовленном виде кадр называют **буферным**.

Укрупненный алгоритм работы устройства ЧПУ в автоматическом цикле показан на рис. 3.13.

Основным содержанием переработки информации в автоматическом цикле является подготовка буферного кадра, обработка рабочего кадра. Подготовка буферного кадра состоит в преобразовании информации из того вида, в котором она представлена на физическом программноносителе или в памяти устройства ЧПУ, в тот вид, который наиболее удобен для выполнения расчетов, связанных с обработкой рабочего кадра.

Представим описание геометрии, рассмотренных начальных элементарных участков $1' 2'$ и $2' 3' 4'$ (рис. 3.12, б). С этой целью зададимся конкретными численными значениями параметров общей траектории (рис. 3.14). Кодированное описание элементарных участков в виде управляющей программы имеет вид:

N001 G01 X375000 Y160000 F09 LF

N002 G02 I 039240 J – 091980 X000000 Y183960 LF

Кадр открывается символом N, означающим номер кадра, а завершается символом LF, который выполняет функцию разделителя «конец кадра». Основное содержание кадра составляет последовательность слов.

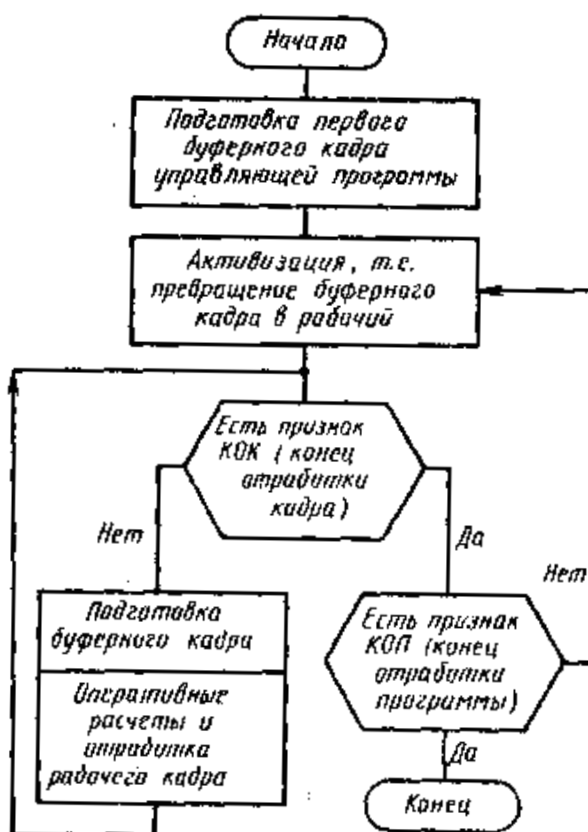


Рис. 3.13. Алгоритм работы устройства ЧПУ

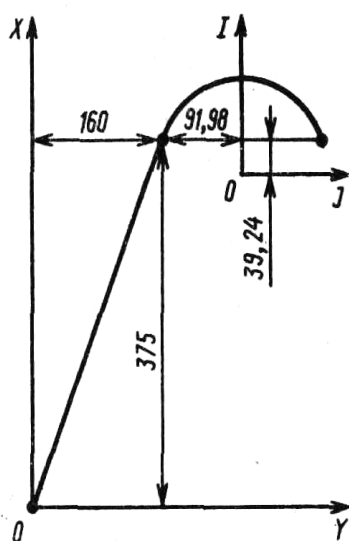


Рис. 3.14. Описание геометрии начальных элементарных участков (рис. 3.12)

подразумевается по умолчанию. Слово с адресом F определяет скорость подачи в мм/мин, а отсутствие подобного же слова во втором кадре свидетельствует о том, что подача не меняется.

Любой кадр управляющей программы в конце концов становится буферным, а затем и рабочим. Информация рабочего кадра носит обобщенный характер; она укрупнено описывает геометрическую задачу, т. е. ту траекторию, которую необходимо воспроизвести. Однако эта информация ничего не говорит о способах решения геометрической задачи, т. е. о том, какими должны быть команды, оперативно выдаваемые на следящие приводы подачи. Вычислительные процедуры устройства ЧПУ, обеспечивающие переход от укрупненного описания заданного перемещения к оперативным командам в функции времени для исполнительных приводов, называют **интерполяцией**.

Интерполяция осуществляется над целыми числами, каждая единица которых соответствует наименьшему перемещению или углу поворота рабочего органа станка, контролируемом в процессе управления. Такое соответствие трактуют как **дискретность перемещения**. Поскольку контроль перемещения на станке вдоль каждой координатной оси выполняет датчик обратной связи по положению следящего привода подачи, постольку и дискретность перемещения определяется ценой деления шкалы этого датчика.

Слова G01 и G02 называют подготовительными функциями. Они указывают соответственно на движение по прямой линии в первом кадре и по дуге окружности во втором кадре. Слова с адресами X , Y есть размерные перемещения, представляющие собой относительные кодовые приращения по соответствующим координатным осям, заданные шестью символами, определяющими количество десятичных разрядов до и после запятой. Слова с адресами I , J указывают положение начальной точки дуги относительно ее центра в местной системе координат. Для всех слов с геометрической информацией знак «+» опущен и

Пусть, например, дискретность перемещения некоторой системы ЧПУ составляет 1 мкм. Это означает, что цена деления шкалы датчика обратной связи по положению следящего привода подачи равна 1 мкм. Следовательно, заданное в некотором кадре перемещение, подготовленное для интерполяции, должно быть представлено целым числом микрометров. В общем случае заданное перемещение на уровне рабочего кадра представлено целым числом **дискрет**. Таким образом, под **дискретой** можно понимать и управляющую команду, поступающую на вход следящего привода подачи. Следящий привод подачи отрабатывает каждую дискрету соответственно ее цене, т. е. в виде некоторого элементарного перемещения.

Вернемся к рассмотренному примеру. В первом кадре задано перемещение по прямой: X375000 Y160000. При дискретности перемещения 1 мкм это эквивалентно интерполируемому перемещению по X на 375000 дискрет за некоторое время и по Y на 160000 дискрет за то же время. Исходя из заданной в кадре скорости подачи, несложно рассчитать время полной отработки кадра.

До сих пор геометрическая задача рассматривалась на примере контурной обработки фасонного профиля. Покажем, что содержание геометрической задачи сохраняется и в случае, когда, взаимосвязь координатных перемещений отсутствует, т. е. при позиционном управлении. Для этого рассмотрим позиционную обработку на токарном станке с ЧПУ при последовательном использовании следящих приводов подачи в декартовой (прямоугольной) формообразующей системе координат.

Пусть необходимо обработать шкив *a* шестью последовательно сменяемыми инструментами 1 – 6, закрепленными в револьверной головке *б* (рис. 3.15). Управляющая программа будет иметь в своем составе шесть блоков, содержащих группу кадров, предусматривающих использование в рамках группы какого-то одного инструмента. Каждый блок открывается кадром, в котором закодировано перемещение нужного инструмента в начальное перед очередным переходом положение. Далее следуют кадры, в каждом из которых закодировано перемещение между соседними опорными точками, обозначенными (рис. 3.15, *в – з*) последовательными числами.

Опорные точки расставляют, во-первых, в тех местах, где происходит смена управляемых координат, и, во-вторых, там, где принудительно изменяется скорость подачи. Отработка блока, по существу задающего

подцикл автоматического управления, завершается выводом revolverной головки в исходное положение, в котором происходит смена инструмента.

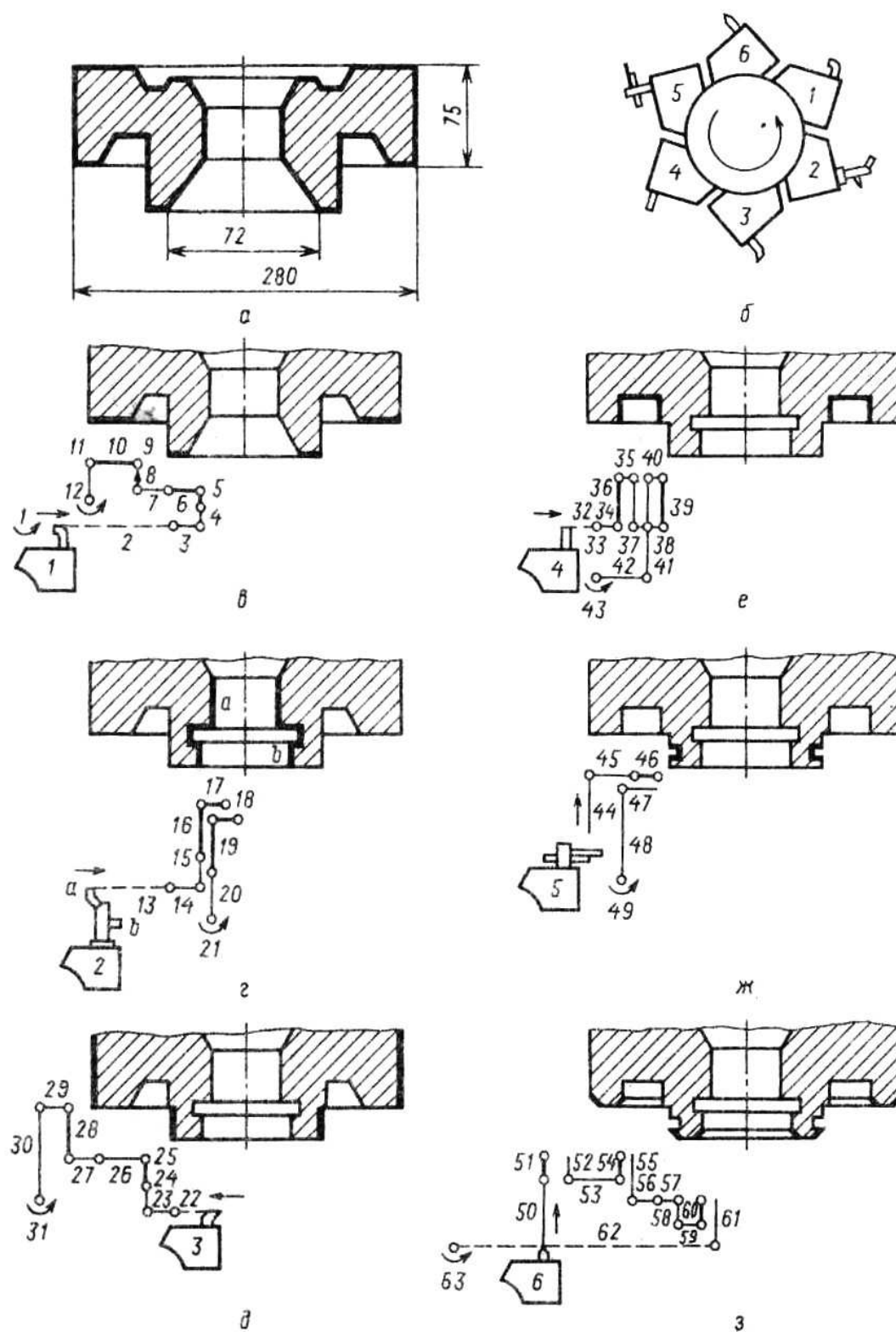


Рис. 3. 15. Многоинструментальная обработка на токарном станке с ЧПУ

Специфика прямоугольной обработки не меняет в устройстве ЧПУ по сравнению с контурной обработкой формального содержания процесса переработки управляющей информации: ввод, вычисления, связанные с определением промежуточных между опорными точками положений инструмента, выдача оперативных управляющих команд следящим приводам подачи станка.

3.4.3. Логическая задача

Функции ЧПУ не исчерпываются выполнением основных (формообразующих) переходов при обработке деталей. На современных станках автоматизированы многочисленные вспомогательные переходы, которые можно называть переходами технологического обеспечения. К числу этих переходов относятся; управление автоматической сменой инструмента; управление переключениями в приводах подач, связанными с ограничениями рабочей зоны; управление в приводе главного движения (движения скорости резания); управление зажимными приспособлениями. В эту группу переходов входят также охлаждение зоны резания, смазка механизмов станка, перемещение ограждения и др. Эти функции выполняются системой цикловой автоматики, которая обеспечивает подготовку к работе, работу станка в заданных режимах, индикацию состояния электрооборудования станка и самой системы автоматики во всех режимах, выход из аварийных ситуаций, хранение информации при отключении питания, защиту электрооборудования. Таким образом под **системой цикловой автоматики** понимают систему автоматического управления механизмами и группами механизмов, поведение которых определяется множеством дискретных операций с отношениями следования и параллелизма. Причем отдельные переходы инициируются электрическими управляющими сигналами, а условия их смены формируются под влиянием осведомительных сигналов, поступающих со стороны объекта управления.

Системы цикловой электроавтоматики создают для решения логической задачи ЧПУ. Эта задача распадается на большое число независимых, а также связанных между собой через взаимные блокировки подзадач, где каждая отдельная подзадача описывает циклический процесс некоторого дискретного объекта (механизма) на станке.

Все сложные циклические процессы (переходы), выполняемые на станке с ЧПУ, можно представить в виде циклов автоматики и операций. **Циклом** автоматики станка с ЧПУ называют последовательность действий, выполняемых по имени одним из трех следующих информационных слов

(кадра) управляющей программы: «скорость главного движения (скорость резания)», «функция инструмента», «вспомогательная функция». Цикл автоматики состоит из операций, причем под операцией можно понимать любое независимое действие дискретного механизма, выполняемое одним двигателем, открываемое самостоятельным управляющим сигналом, подтверждаемое или не подтверждаемое при закрытии осведомительным сигналом.

Информационное слово «скорость главного движения» начинается адресом S , за которым следует комбинация цифр, определяющая в большинстве случаев частоту вращения шпинделя. Для кодирования скорости главного движения применяют прямое обозначение, геометрическую и арифметическую прогрессии, символический код.

Метод прямого обозначения наиболее нагляден: например, слово $S800$ означает вызов цикла, устанавливающего частоту вращения 800 мин^{-1} . Тем не менее, при кодировании наиболее распространено использование геометрической прогрессии. При этом методе частоту вращения обозначают условным кодом $00, \dots, 99$, а действительные значения образуют геометрическую прогрессию: $0; 1,12; 1,25; 1,40; \dots; 75000 \text{ мин}^{-1}$.

Информационное слово «функция инструмента» начинается с адреса T , за которым следует одна или две группы цифр. В первом случае слово указывает только номер вызываемого инструмента, а номер корректора (блока коррекции) для этого инструмента определяется другим словом с адресом D . Во втором случае вторая группа цифр определяет номер корректора длины, положения или диаметра инструмента. Например, в слове $T1218$: T – адрес, 12 – номер инструмента, 18 – номер корректора.

Информационное слово «вспомогательная функция» определяет разнообразие команд цикловым механизмам станка и самому устройству ЧПУ. Некоторые общепринятые вспомогательные функции приведены выше при описании семантики кода ISO-7 bit. Другие вспомогательные функции вводят при создании конкретного станка и конкретного устройства ЧПУ.

Дискретные механизмы станка включают следующие функциональные группы: привод главного движения и шпиндель; дискретная группа в приводах подачи; механизм автоматической смены инструмента; механизм автоматической смены заготовки; зажимные приспособления станка; механизм уборки стружки; система охлаждения; люнеты; задняя бабка и пиноль токарного станка и др. Отдельные механизмы могут выполнять не один, а несколько взаимоисключающих циклов, называемых ортогональными. В качестве примеров ортогональных групп циклов можно привести группу циклов смены диапазонов частоты вращения шпинделя (имена

циклов М38 и М39), группу циклов выбора направления вращения и остановки шпинделя (имена циклов М03...М05). Циклы поиска инструмента (Т00...Т99) и циклы включения частоты вращения шпинделя (S00...S99) также представляют подобные ортогональные группы.

Таким образом, общая структура вспомогательного технологического обеспечения построена по иерархическому принципу: функциональные группы дискретных механизмов, ортогональные группы циклов автоматики для каждого механизма, операции каждого отдельного механизма.

Рассмотрим дискретный механизм автоматической смены инструмента (рис. 3.16). Автоматическая смена инструмента осуществляется в рамках двух независимых циклов: цикла поиска нужного инструмента в магазине, вызываемого по имени, состоящему из адреса T и кода разыскиваемого инструмента, и цикла смены инструмента, вызываемого по имени М06. Цикл поиска нового инструмента, как правило, совмещают с обработкой предыдущим инструментом.

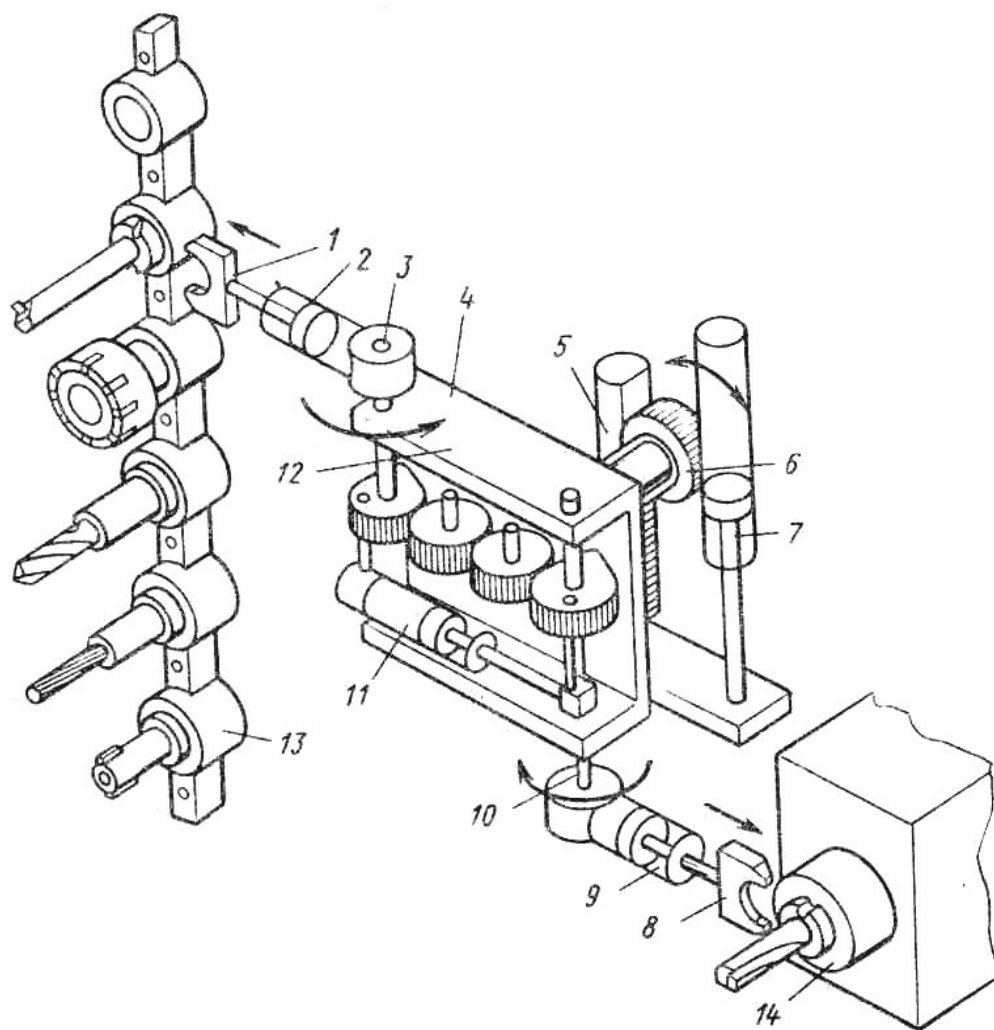


Рис.3.16. Механизм автоматической смены инструмента

Цикл *М06* организован следующим образом. В исходном положении схваты 1 и 8 автооператора 12 находятся на небольшом расстоянии соответственно от магазина 13 и шпинделя 14. По команде *М06* на смену инструментов оба схвата одновременно подаются с помощью гидроцилиндров 2 и 9 к инструментальным оправкам и захватывают их (каждый схват имеет рычаг-защелку). Вслед за этим рычаги с гидроцилиндрами схватов синхронно поворачиваются гидроцилиндром 11 вокруг вертикальных осей 3 и 10, извлекая оправки с инструментами из магазина и шпинделя. Для смены инструментов корпус 4 автооператора поворачивается на 180° посредством зубчатого колеса 6 и реек, связанных с гидроцилиндрами 5 и 7. После этого рычаги схватов, поворачиваясь вокруг своих осей, вводят инструменты в магазин и шпиндель.

Инструментальные магазины оснащают, как правило, реверсивными приводами, и поиск инструмента в этом случае целесообразно вести по кратчайшему пути.

На рис. 3.17 показана обобщенная схема магазина, представляющая собой круг с разбивкой на заданное число N позиций, соответствующих числу гнезд в магазине (на схеме $N=24$). Исходная позиция, в которой выполняется смена инструмента, обозначена треугольником.

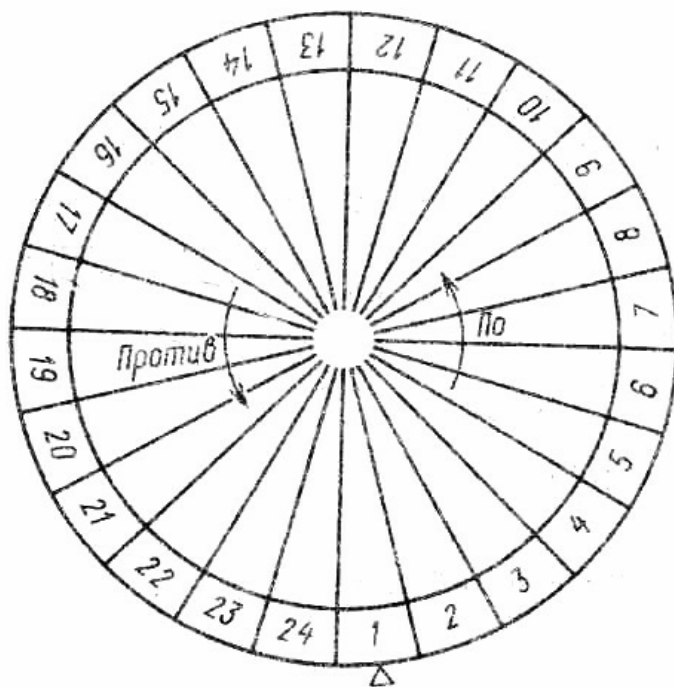


Рис. 3.17. Обобщенная схема инструментального магазина

Из схемы магазина следует, что вращение по часовой стрелке необходимо выполнять, если $N_3 > N_{исх}$ и $N_3 - N_{исх} < N/2$; или если $N_3 < N_{исх}$ и $N_{исх} - N_3 > N/2$, где N_3 и $N_{исх}$ – соответственно номер гнезда магазина, поиск которого задан именем цикла с адресом T , и номер гнезда магазина, расположенного в исходной позиции.

Разработке системы цикловой электроавтоматики предшествует формальное описание дискретных механизмов в трех режимах: автоматическом, наладочном (режим ручного управления) и нерегулярных ситуаций. В описаниях должна быть предусмотрена возможность перехода из режима в режим путем выделения состояний механизма, допускающих такой переход, а именно выделение состояний выполненных циклов.

Рассмотрим традиционное алгоритмическое описание в автоматическом режиме цикла работы револьверной головки токарного станка с ЧПУ.

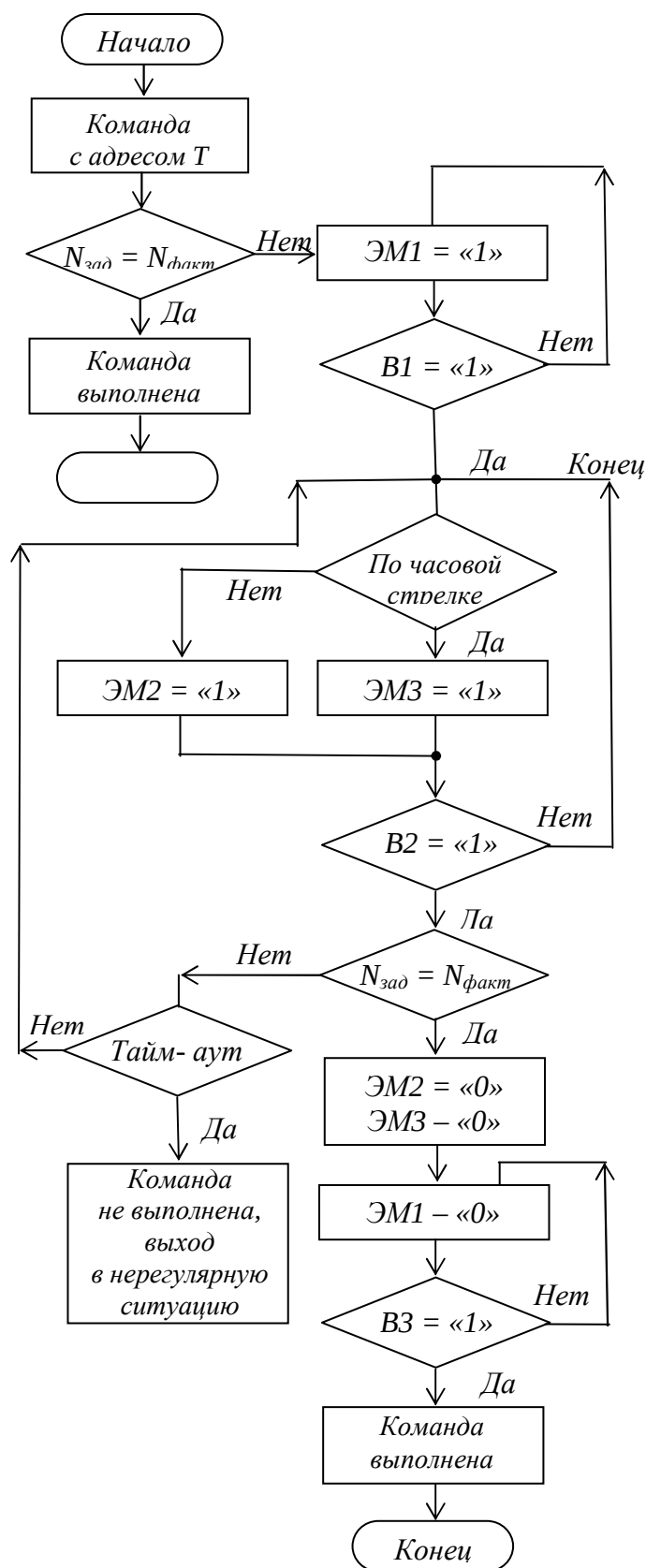


Рис. 3.18. Алгоритм цикла смены инструмента

По команде с адресом T на смену инструмента инициируется автоматический цикл (рис. 3.18), который начинается с анализа кода N_ϕ рабочей позиции револьверной головки. Если код совпадает с кодом позиции N_z , в которой находится вызываемый инструмент, заданный в управляющей программе ЧПУ, то подтверждается выполнение команды. В противном случае с помощью электромагнита ЭМ1 производится разжим револьверной головки, подтверждаемый конечным выключателем $B1$. Далее должна быть вызвана вычислительная процедура, определяющая направление вращения головки к заданной позиции, после чего включаются соответственно электромагниты ЭМ2 (поворот против часовой стрелки) или ЭМ3 (поворот по часовой стрелке). При всяком прохождении позиции возможной фиксации срабатывает конечный выключатель $B2$ и осуществляется проверка совпадения кодов $N_z = N_\phi$. Если совпадения не произойдет в течение заранее установленной выдержки времени, то это будет свидетельствовать об отказе, который будет обработан в режиме нерегулярной ситуации.

Совпадение кодов означает достижение заданной позиции, в которой отключаются электромагниты ЭМ2 или ЭМ3 в зависимости от направления завершаемого вращения. Затем выключается электромагнит ЭМ1, и револьверная головка зажимается. Подтверждением нормального зажима будет сигнал от конечного выключателя $B3$.

Профессор В. Л. Сосонкин предложил более наглядное и в большей степени формализованное описание автоматического режима. Основными компонентами такого описания будут выполняемые револьверной головкой операции. Дополнительными компонентами такого описания будут вычислительные процедуры, которые могут потребоваться на стыке отдельных операций. В качестве изобразительных средств для описания циклов привлечены графы, вершинам которых поставлены в соответствие выполнение операций или процедур, а дугам – условия завершения операций или процедур.

Составим таблицу 3.1 операций и процедур, необходимых для автоматической смены инструмента, а также условий завершения операций и процедур применительно к рассматриваемому примеру.

Граф цикла автоматической смены инструмента показан на рис. 3.19. Этот граф получен сцеплением вершин, помеченных состояниями α_k . Начальной вершине графа приписано состояние T , что означает: из этого состояния может быть инициирован цикл с адресом T . Конечная вершина графа также обозначена T , это свидетельствует о полном завершении автоматического цикла. Все другие обозначения на графе соответствуют обозначениям табл. 3.1, где * – признак операции.

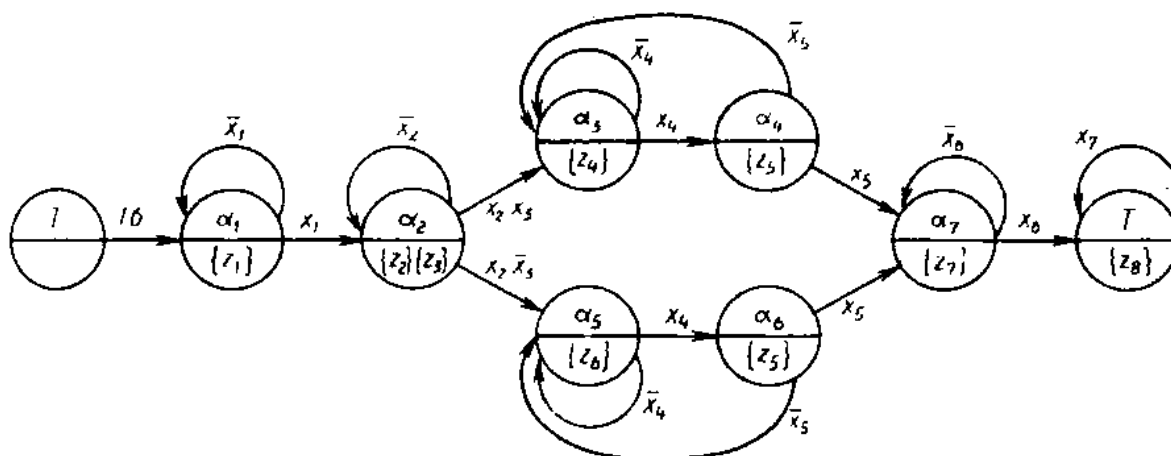


Рис. 3.19. Граф цикла механизма автоматической смены инструмента

Таблица 3.1

Операции и процедуры автоматической смены инструмента

Операция или процедура		Завершение операции или выход из процедуры	
Описание	Обозначение	Описание	Обозначение
Анализ возможности инициации автоматического цикла	$\{Z_1\}$	Отсутствие блокирующих признаков, разрешение на продолжение	x_1
Разжим револьверной головки, осуществляемый при включении ЭМ1*	$\{Z_2\}$	Срабатывание конечного выключателя В1	x_2
Определение направления вращения револьверной головки	$\{Z_3\}$	Формирование признака «Вращение по часовой стрелке»	x_3
Вращение по часовой стрелке при включении ЭМ3*	$\{Z_4\}$	Срабатывание конечного выключателя В2 при повороте головки в очередную позицию	x_4
Вращение против часовой стрелки при включении ЭМ2	$\{Z_6\}$		
Определение совпадения кодов заданной и фактической позиции	$\{Z_5\}$	Формирование признака «Совпадение кодов»	x_5
Выключение вращения (ЭМ2, ЭМ3). Зажим револьверной головки, осуществляемый ЭМ1*	$\{Z_7\}$	Срабатывание конечного выключателя В3	x_8
Анализ неизменности состояния после выполнения цикла		Формирование признака «Состояние неизменно»	x_7

Пусть вызван цикл по имени T_6 , что означает необходимость поворота револьверной головки в шестую позицию. По условию T_6 осуществляется переход в состояние α_1 , в котором предусмотрена возможность блокировки цикла со стороны других механизмов. Из вершины исходят две дуги. Первая соответствует отсутствию блокирующих признаков и направлена к вершине, начинающей исполнение первой операции цикла. Вторая дуга, переход по которой выполняется при наличии блокирующих признаков, замыкается на исходную вершину.

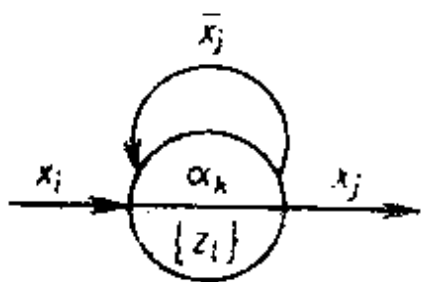


Рис. 3.20. Базовый элемент графа цикла

По мере последовательных переходов от вершины к вершине достигается та, в которой цикл завершен. Техническими требованиями нередко оговаривают неизменность состояния механизма после выполнения цикла. В этом случае из вершины, определяющей завершение цикла (на рис. 3.20, вершина T), предусматривают переход в режим нерегулярных ситуаций. В данном примере такой выход пройдет при условии x_7 .

Достоинством представленного описания является неизменная структура базового элемента – вершины с системой входов – выходов, с регулярным описанием состояния. Обобщенная структура базового элемента показана на рис. 3.20, где x_i – условие входа в операцию (процедуру); x_j – условие благоприятного завершения операции или формирования признака выхода из процедуры; $\bar{x}_j$ – отсутствие условий, необходимых для завершения операции или выхода из процедуры; α_k – обозначение состояния (этапа) выполнения цикла; $\{Z_i\}$ – имя выполняемой (вызываемой) в данном состоянии операции или процедуры.

Граф описания ручного режима задает допустимую последовательность операций и процедур, инициируемых органами ручного управления. Пусть для рассматриваемой револьверной головки предусмотрены две команды ручного управления: x_3 – поворот головки в соседнюю позицию по часовой стрелке; x_9 – поворот головки в соседнюю позицию против часовой стрелки. Способ формирования команд ручного управления от кнопок, клавишей, тумблеров значения на этом этапе анализа не имеет. Граф описания ручного режима имеет вид, представленный на рис. 3.21.

Описание нерегулярной ситуации преследует две цели. Во-первых, по признаку попадания в нерегулярную ситуацию (обозначим x_{10}) идентифицируется текущее состояние механизма. В графе (рис. 3.22) это делается в рамках состояния α_8 посредством процедуры $\{Z_9\}$, которая введена для этого режима

дополнительно. Во-вторых, задаются операции, посредством которых механизм переводится в состояние выполненного цикла. Режим нерегулярных ситуаций позволяет привести все дискретные механизмы в «порядок», т. е. в такие состояния, которые доступны управлению в автоматическом режиме.

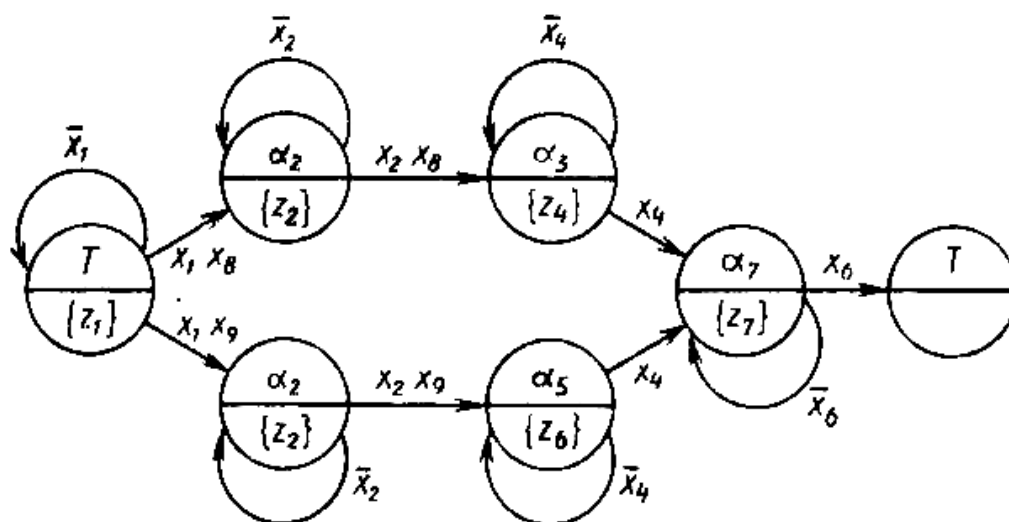


Рис. 3.21. Граф описания ручного режима механизма смены инструмента

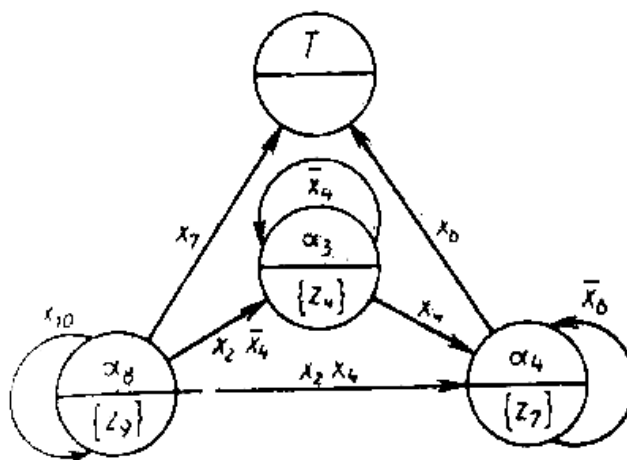


Рис. 3.22. Граф описания нерегулярной ситуации механизма смены инструмента

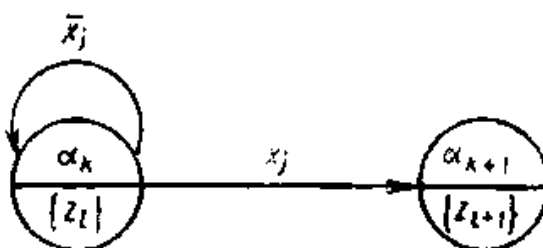


Рис. 3.23. Изображение двух смежных базовых элементов графа, используемое для формирования аналитической записи

Графам описания поведения механизма в любом режиме соответствует удобная аналитическая запись. Для этого базовый элемент графа, отображающий некоторое состояние – источник перехода (рис. 3.20), покажем вместе с другим базовым элементом, отображающим состояние – приемник (рис. 3.23). Заметим, что для источника α_k приемником будет α_{k+1} (при выполнении условия x_j) и α_k (при невыполнении условия x_j).

Имея в виду связь источника с вероятными приемниками, можно составить аналитическое описание базового элемента α_k в таком виде:

α_k , если x_j , то $\{Z_{l+1}\}$, на α_{k+1} ;
 α_k , если $\bar{x}_j$, то $\{Z_1\}$, на α_k .

Формат аналитического описания в обобщенном виде выглядит следующим образом:

Обозначение состояния – источника	<u>если</u>	Условие завершения операции или формирования признака выхода из процедуры	<u>то</u>	Имя выполняемой в состоянии – приемнике операции или процедуры	<u>на</u>	Обозначение состояния – приемника

Возвращаясь к рассматриваемому примеру, составим аналитическое описание поведения револьверной головки во всех трех режимах: автоматическом, режиме ручного управления, режиме нерегулярной операции. Аналитические записи, с учетом приведенного выше, полностью соответствуют графам, приведенным на рис. 3.19; 3.21; 3.22.

Автоматический режим:

T если $T6$ то $\{Z_1\}$ на α_1
 α_1 если x_1 то $\{Z_2\} \{Z_3\}$ на α_2
 α_1 если $\bar{x}_1$ то $\{Z_1\}$ на α_1
 α_2 если $x_2 x_3$ то $\{Z_4\}$ на α_3
 α_2 если $x_2 \bar{x}_3$ то $\{Z_6\}$ на α_5
 α_2 если $\bar{x}_2$ то $\{Z_2\} \{Z_3\}$ на α_2
 α_3 если x_4 то $\{Z_5\}$ на α_4
 α_3 если $\bar{x}_4$ то $\{Z_4\}$ на α_3

.....

Наладочный режим (режим ручного управления):

T	<u>если</u>	$x_1 x_8$	<u>то</u>	$\{Z_2\}$	<u>на</u>	α_2
T	<u>если</u>	$x_1 x_9$	<u>то</u>	$\{Z_2\}$	<u>на</u>	α_2
T	<u>если</u>	$\bar{x}_1$	<u>то</u>	$\{Z_1\}$	<u>на</u>	T
α_2	<u>если</u>	$x_2 x_8$	<u>то</u>	$\{Z_4\}$	<u>на</u>	α_3
α_2	<u>если</u>	$\bar{x}_2$	<u>то</u>	$\{Z_2\}$	<u>на</u>	α_2

.....

Режим нерегулярных ситуаций:

α_8	<u>если</u>	x_{10}	<u>то</u>	$\{Z_9\}$	<u>на</u>	α_9
α_8	<u>если</u>	x_7	<u>то</u>		<u>на</u>	T
α_8	<u>если</u>	$x_2 \bar{x}_4$	<u>то</u>	$\{Z_4\}$	<u>на</u>	α_3
α_8	<u>если</u>	$x_2 x_4$	<u>то</u>	$\{Z_7\}$	<u>на</u>	α_4

.....

Для описания циклов и операций автоматики может быть применен также формализм сетей Петри. **Сетью Петри** называют ориентированный граф с вершинами двух типов: позициями (кружками) и переходами (черточками), в котором дугами соединяют только вершины разного типа. В позиции помещают фишки, или метки (обозначенные точками), которые, перемещаясь по определенным правилам, отображают динамику развивающегося процесса. Текущее размещение фишек называют **маркировкой сети**. При задании сети указывают начальную маркировку. Изменение маркировки происходит в результате выполнения (срабатывания) переходов. Переходам сопоставляется некоторое внешнее событие (возможно пустое). Переход срабатывает, если во всех его входных позициях, из которых ведут дуги в переход, есть фишки и наступает это событие. При срабатывании перехода из каждой входной его позиции удаляется фишка, а в каждую выходную позицию, в которую ведет дуга из перехода, фишка вносится.

Рассмотрим с учетом изложенного этот граф (рис. 3.24), при использовании системы обозначений полностью соответствующей обозначениям на графе автоматического режима (рис. 3.19). Каждой позиции приписаны имя T , α_k и порождаемая при наличии фишки процедура $\{Z_i\}$. Переходам сопоставлено логическое условие x_j . Начальная маркировка соответствует размещению фишки в позиции с именем T . При срабатывании перехода, т. е. при вызове цикла автоматической смены инструмента, происходит первое перемещение фишки, и автоматический цикл начинает воспроизводиться.

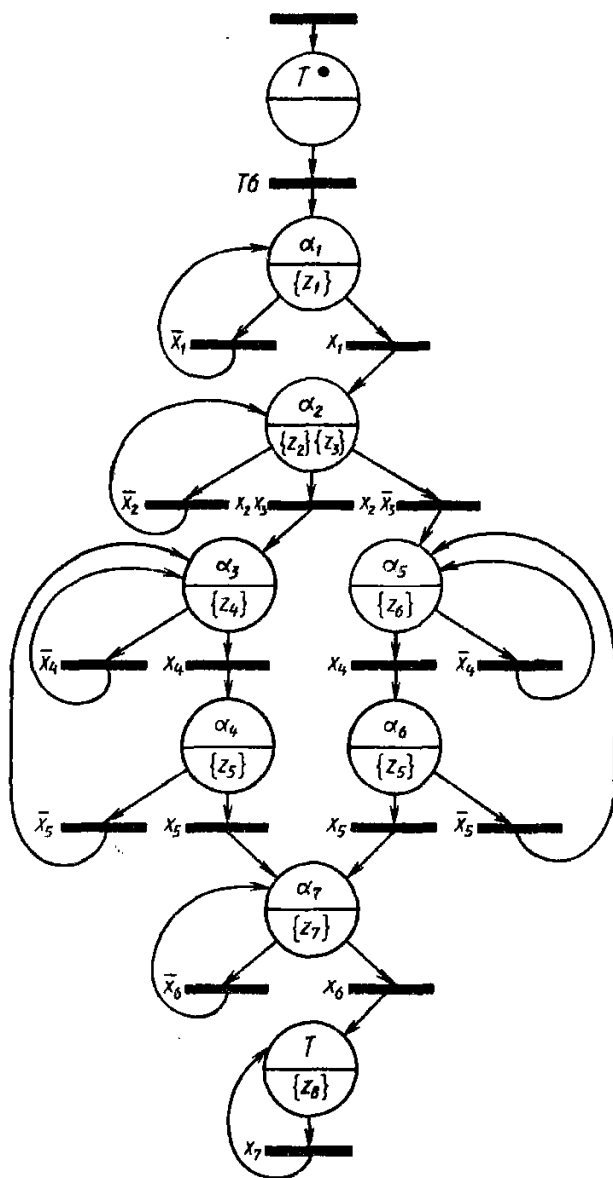


Рис. 3.24. Описание цикла механизма автоматической смены инструмента с помощью формализма сетей Петри

Формализм сетей Петри наиболее перспективен при описании параллельных процессов, связанных взаимными блокировками и сигналами синхронизации. Логическая задача ЧПУ как раз и состоит из подобных процессов.

Таким образом, существует возможность независимой разработки многочисленных отдельных циклических процессов, с установлением впоследствии необходимой связи между ними.

Обобщенной моделью решения логической задачи ЧПУ может служить функциональный автомат (рис. 3.25).

Под **функциональным автоматом** (рис. 3.25, а) подразумевают автономное устройство или комплекс устройств с четко выраженными целевыми функциями работы, в которых можно выделить исполнительную часть (операционный автомат) и управляющую часть (управляющий автомат). Операционный и управляющий автоматы обмениваются осведомительными (типа обратной связи)

и управляющими сигналами между собой и с внешней средой.

При решении логической задачи ЧПУ в качестве операционного автомата выступают исполнительные цикловые механизмы объекта (станка), а функции управляющего автомата выполняет система цикловой электроавтоматики (рис. 3.25, б). Множество двоичных или цифровых осведомительных сигналов x от конечных и путевых выключателей, датчиков параметров, поступающих со стороны объекта, определяют его текущее состояние. Множе-

ство управляющих сигналов y типа включить – выключить поддерживают состояние объекта неизменным или переводят его в новое состояние. Система цикловой электроавтоматики имеет и внешний интерфейс, получая извне от других управляющих устройств команды управления, например, имена вызываемых циклов, сообщая другим управляющим устройствам о своих состояниях, например, о выполнении полученного задания.

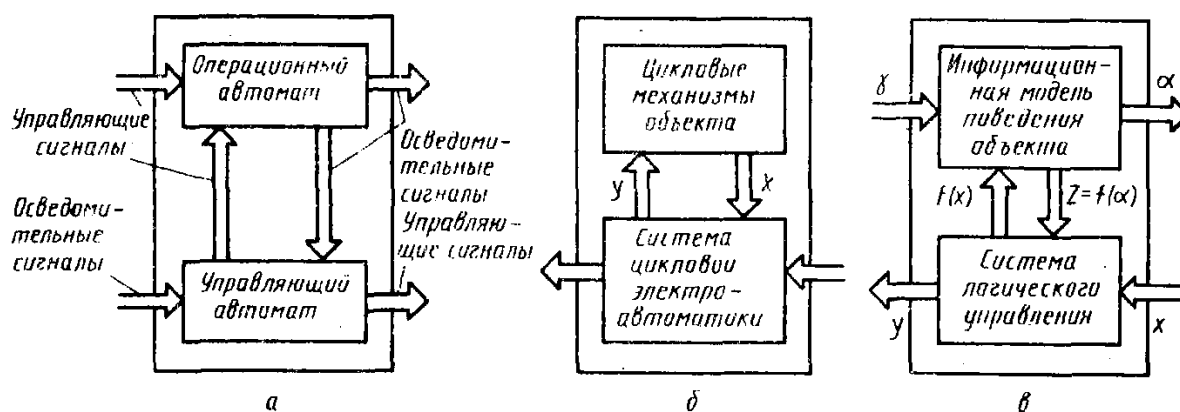


Рис. 3.25. Функциональный автомат как обобщенная модель решения логической задачи: а – общая структурная схема функционального автомата; б – модель решения логической задачи ЧПУ; в – система цикловой электроавтоматики как функциональный автомат

Внутренняя структура системы цикловой электроавтоматики также построена по типу функционального автомата (рис. 3.25, в). Роль операционного автомата играет информационная модель поведения объекта, т. е. модель воспроизводимых циклов автоматики. Содержательная сторона этой модели рассмотрена выше в различных формах внешнего представления. Роль управляющего автомата играет система логического управления. В качестве управляющих сигналов выступают логические функции x , определяющие текущие состояния α воспроизводимых циклов автоматики в информационной модели и переходы между состояниями этой модели. В качестве осведомительных сигналов выступают имена вызываемых операций или процедур $\{Z\}$, которые являются функциями устойчивых состояний α циклов автоматики: $\{Z\} = f(\alpha)$. В дальнейшем имена $\{Z\}$ транслируются во внешние управляющие сигналы y . Некоторые состояния α информационной модели, например, начальные, заключительные состояния циклов, могут представлять интерес для внешних устройств управления. Внешние управляющие сигналы y поступают для начальной инициации циклов.

Общая конфигурация системы управления цикловой автоматикой приведена на рис. 3.26. Эта конфигурация содержит: технологический пульт станка, систему цикловой электроавтоматики, объект, представленный здесь компонентами системы управления на станке, устройство ЧПУ. В автоматическом режиме система управления электроавтоматикой получает от устройства ЧПУ команды γ на запуск циклов, а сигналы α уведомляют устройство ЧПУ о завершении циклов на станке. В ручном режиме оператор с помощью органов управления технологического пульта или панели управления устройства ЧПУ вызывает отдельные переходы циклов или полные циклы командами u . Реакция системы цикловой электроавтоматики на нерегулярные ситуации (смена режима, нажатие кнопки аварийного останова, срабатывание путевых ограничительных выключателей и др.) проявляется в остановке станка в текущей операции или переводе в заданное состояние. Во всех режимах система цикловой электроавтоматики воздействует на объект управления командами y . В результате управляющего воздействия выполняются вспомогательные операции технологического обеспечения, а по мере завершения отдельных стадий этих операций изменяются значения осведомительных сигналов x . Обработка операций на станке визуализируется с помощью средств индикации по сигналам v , являющимся подмножеством множества y .

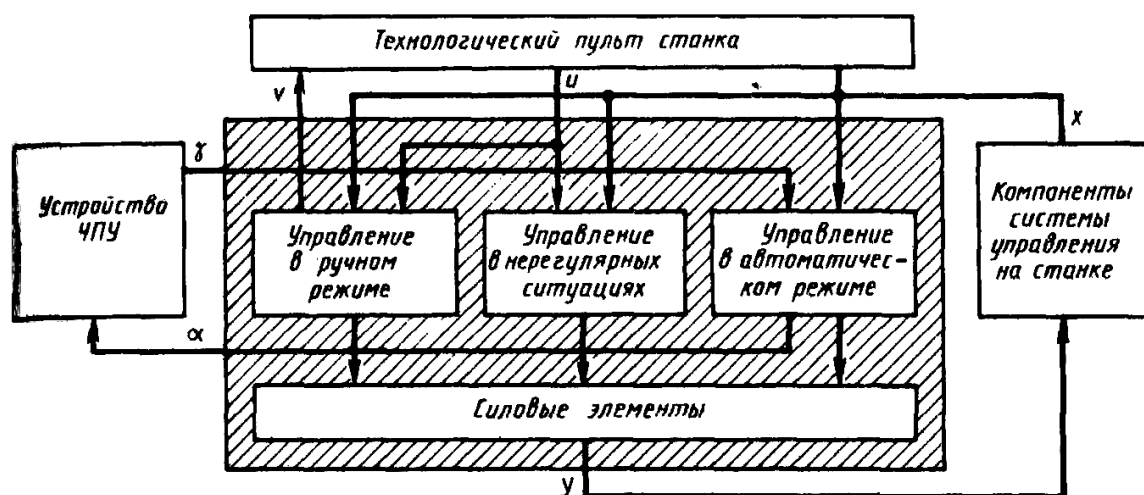


Рис. 3.26. Общая конфигурация системы управления цикловой автоматикой

В заключение рассмотрим фазы решения логической задачи ЧПУ в автоматическом режиме. Начальная фаза состоит во вводе управляющей программы в память устройства ЧПУ и последующей ее активизации. Логическая задача представлена в управляющей программе именами вызы-

ваемых циклов. Само же описание циклов, как это следует из предыдущих пояснений, уже заранее на уровне стыковки системы управления со станком введено в память и постоянно хранится там. Непосредственный вызов циклов производится из рабочего кадра управляющей программы. С этого момента начинается вычислительный процесс, состоящий в анализе осведомительных сигналов, выполнении переходов по циклу с одновременным вызовом необходимых операций и процедур, выдаче управляющих воздействий на станок.

Степень сложности логической задачи оценивают косвенно по числу входов-выходов системы цикловой электроавтоматики.

3.4.4. Технологическая задача

Технологическая задача ЧПУ состоит в достижении требуемого качества деталей с наименьшими затратами. Основным показателем качества деталей является их точность. Под точностью детали понимают степень ее приближения к геометрически правильному прототипу, включая учет макрогеометрии, а также волнистость и шероховатость. К другим показателям качества можно отнести, например, состояние поверхностного слоя обрабатываемой детали.

Рассмотрим механизм формирования заданной точности обработки в связи с особенностями начальной установки и статической настройки на обработку корпусной детали.

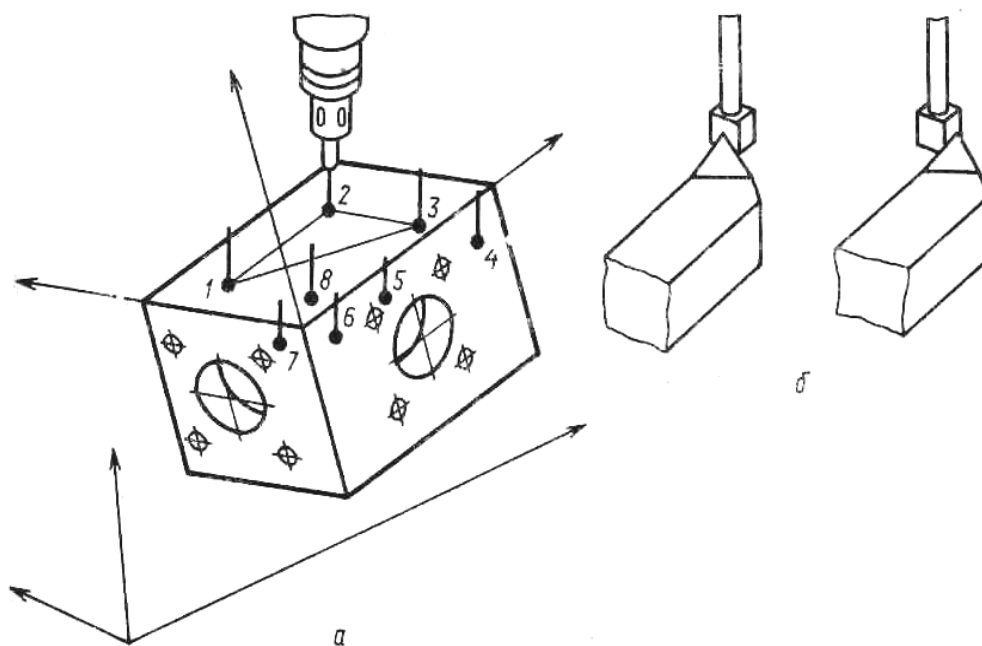


Рис. 3.27. Измерительные циклы:

а – для обследования детали; *б* – для обследования инструмента

При размещении обрабатываемой детали в рабочем пространстве станка, и таким образом включить в кинематические и размерные цепи станочной системы, необходимо обеспечить начальную установку, т. е. управление точностью начального положения относительно баз станка или приспособления. Комплект технологических баз, определяющих положение детали в процессе ее обработки, образует координатную систему детали. Поверхности стола, или приспособления, или других компонентов, с помощью которых деталь координируют в рабочем пространстве, составляют комплект баз станка, формирующих его координатную систему.

Погрешность установки, как правило, не может быть определена расчетным путем. Поэтому после установки обследуют поверхности детали с помощью измерительных головок в рамках специальных автоматических измерительных циклов (рис. 3.27). По результатам измерений погрешности установки детали вводятся в память устройства ЧПУ, и таким образом координатные системы станка и детали оказываются согласованными, а управляющая программа ЧПУ в системе координат детали – пригодной для своего воспроизведения в координатной системе станка.

Статическая настройка детали – это процесс управления первоначальным установлением точности относительного движения и положения (без резания) инструмента, оборудования и приспособления. Иными словами, статическая настройка состоит в согласовании на уровне управления уже трех координатных систем: станка, детали, инструмента. Параметры согласования хранят обычно в виде корректур инструмента в памяти устройства ЧПУ, под которыми понимают координаты исполнительных поверхностей инструмента в системе координат станка.

Установленная первоначально точность относительного движения и положения снижается при обработке вследствие различного рода погрешностей, как систематических, так и случайных. Примером систематической погрешности может служить переменная в координатах рабочего пространства станка погрешность шариковой передачи винт – гайка. Примеры случайных погрешностей: размерное изнашивание, многократно используемого в различных операциях инструмента; неравномерность припуска на обработку от сечения к сечению; неравномерность микротвердости материала заготовки.

Размерная поднастройка как компонент статической настройки – это управление восстановлением в процессе обработки точности относительного движения и положения инструмента, станка и приспособле-

ния для продолжения рабочего процесса с заданным качеством. Размерную поднастройку с целью компенсации систематических погрешностей осуществляют посредством периодического обращения к таблицам коррекций соответствующих погрешностей, хранимым в памяти устройства ЧПУ, например, к таблицам систематических погрешностей шариковых передач винт – гайка. Случайные погрешности, как правило, компенсируют посредством модуля адаптивного управления, используемого в системах управления.

Для осуществления статической настройки на станках с ЧПУ в принципе возможны три метода:

- метод пробных проходов, связанный с установлением координат инструмента в системе координат детали (этот метод является традиционным при ручном управлении);
- абсолютный метод, связанный с установлением координат инструмента в системе координат станка;
- относительный метод, связанный с установлением координат инструмента в промежуточной системе координат, положение которой относительно координатной системы станка известно.

Получили распространение два последних метода, которые реализуют на станках с ЧПУ с помощью измерительных головок.

Из изложенного следует способ решения той части технологической задачи, которая относится к управлению качеством обработки при использовании статической настройки (рис. 3.28). По существу функционирование станка с ЧПУ при таком виде настройки подчинено принципу «как сделать». Действительно, управляющая программа содержит набор конкретных инструкций. Контролю подлежит не качество обработки детали, а правильность выполнения этих инструкций. Случайные и систематические факторы, неизбежно сопутствующие процессу резания, вызывают ситуацию, в которой теряются точность, производительность и вполне вероятен брак. По этой причине управление при статической настройке не устраняет оператора (станочника) из процесса из процесса обслуживания станка. Оператор использует доступные ему на панели средства управления для текущей коррекции режимов резания и отдельных траекторий. Более радикальное вмешательство в управляющую программу возможно при использовании динамической настройки, характерной для систем адаптивного управления. Такой вид управления будет рассмотрен ниже после изучения аппаратных средств, функциональных схем и электроприводов станков с ЧПУ.

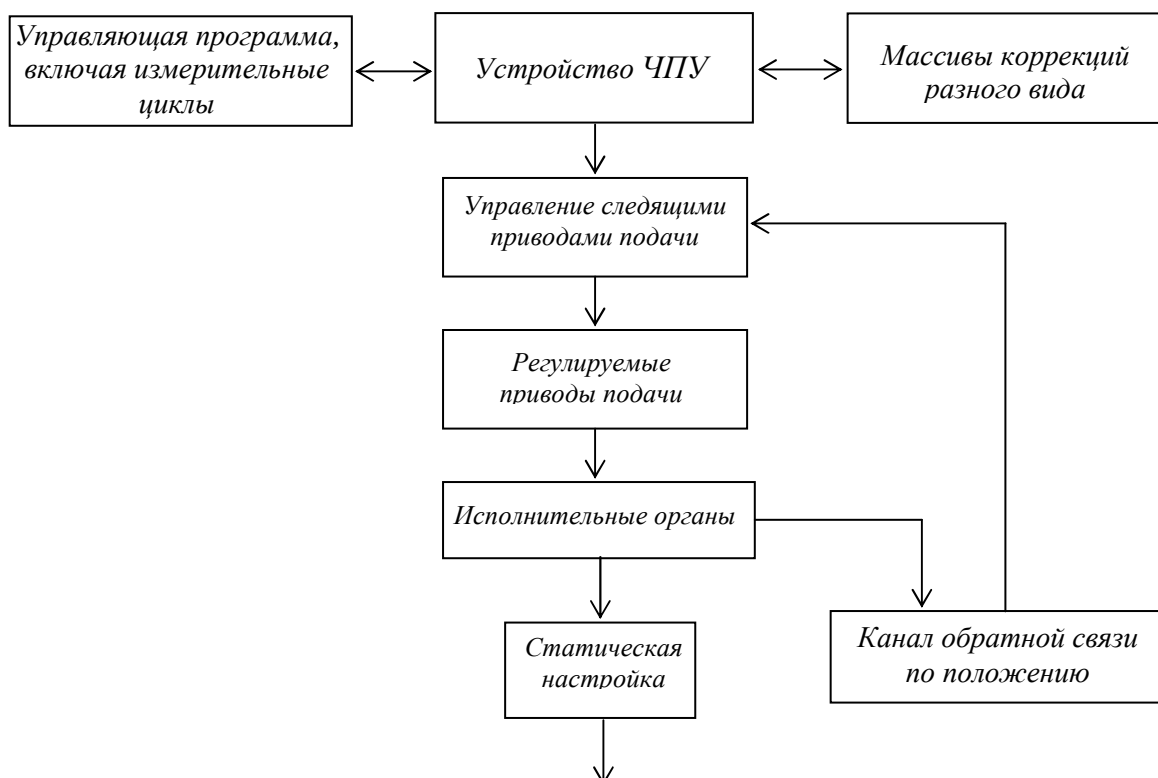


Рис. 3.28. Способ решения технологической задачи, связанной с управлением качеством обработки по принципу «как сделать»

3.4.5. Терминальная задача

Устройство ЧПУ первоначально было создано как проблемно-ориентированная вычислительная машина реального времени. Однако затем, по мере возрастания активной роли оператора в управлении, все более увеличивался удельный вес интерактивных (диалоговых) процедур и связанных с ними процессов машинного масштаба времени. Постепенно сформировался круг задач, решение которых не требовало специальной и даже специализированной аппаратуры ЧПУ, но вполне могло быть выполнено универсальными вычислительными средствами на основе взаимодействия оператора с терминалом (пассивным или активным). Так сформировалась терминальная задача ЧПУ.

К терминальной задаче ЧПУ относятся все проявления взаимодействия устройства ЧПУ с окружающей средой: диалог с оператором и диалог с другими системами управления. Техническими средствами поддержания диалога являются прежде всего пассивный терминал (панель оператора) или активный терминал (персональный компьютер), а также интерфейс с управляющими устройствами внешней среды.

Терминальная задача сложилась столь явно, что терминал устройства ЧПУ все чаще становится отдельным конструктивным элементом. На рис. 3.29 представлен современный многоцелевой токарно-фрезерный обрабатывающий центр с ЧПУ (фирма «VIKTOR», Тайвань). В этом станке устройство ЧПУ, включающее собственно систему управления, пультовый модуль (пассивный терминал), модуль ввода – вывода сигналов электроавтоматики выполнен в виде отдельного общего модуля 1,



Рис. 3.29. Многоцелевой обрабатывающий центр

встроенного непосредственно в станок. Устройство ЧПУ в виде общего модуля может также быть выполнено в виде универсальной консоли, как это сделано, например, в современном координатно-шлифовальном вертикальном станке (представлен на первой странице обложки) фирмы «СТАН-САМАРА» (Россия).

Инструментом общения оператора с панелью управления, какому бы терминалу (пассивному, активному) она ни принадлежала, являются дисплей и клавиатура. Клавиатура предназначена для выбора режима работы; ввода алфавитно-цифровых данных; управления курсором с целью редактирования вводимой информации; смены страниц информации, выводимой на дисплей; изменения системы отсчета, выбора дискретности перемещений; ввода исполнительных команд типа «включить», «выключить», «пуск», «стоп»; задания элементов геометрии; укрупненных команд типа технологических циклов и др.

Экран дисплея представляет информацию следующего вида: сообщения об ошибках и сбоях; состояние управляемого объекта, т. е. станка (положение рабочих органов в различных системах координат, подача, частота вращения шпинделя, имена выполняемых циклов автоматики, сведения о выполняемой управляющей программе, текст выполняемого фрагмента управляющей программы); описание стандартных циклов, включая их графическую интерпретацию; представление статико-графической модели управляющей программы (наложенные эскизы заготовки и изделия с указанием всех рабочих и вспомогательных переходов); представление динамико-графической модели процесса обработки и др.

3.5. Элементная база устройств ЧПУ

3.5.1. Общие сведения об элементной базе

Элементарные операции, осуществляемые устройством ЧПУ, относятся к одной из следующих групп: логические, хранения информации (памяти), арифметические, шифрования и дешифрования. В качестве элементной базы для построения блоков, выполняющих перечисленные операции, используется система потенциальных (логических) элементов, для которой используется потенциальное (дискретное) кодирование входных сигналов.

Для построения схем дискретного логического управления используют специальный математический аппарат – **алгебру логики**. В этой алгебре двоичное переменное a может быть равно 1 или 0. Это соответствует наличию или отсутствию входного сигнала. Функция этого переменного – логическая функция $x = f(a)$, может быть также равной 1 или 0.

Если подача сигнала a на вход логического элемента (ЛЭ) вызывает на его выходе такой же сигнал $x = f(a) = a$, то такой элемент называют **повторителем** (рис. 3.30, а). Действие повторителя эквивалентно включению реле X контактом a , после чего закрывается замыкающий контакт x этого реле (рис. 3.30, б).

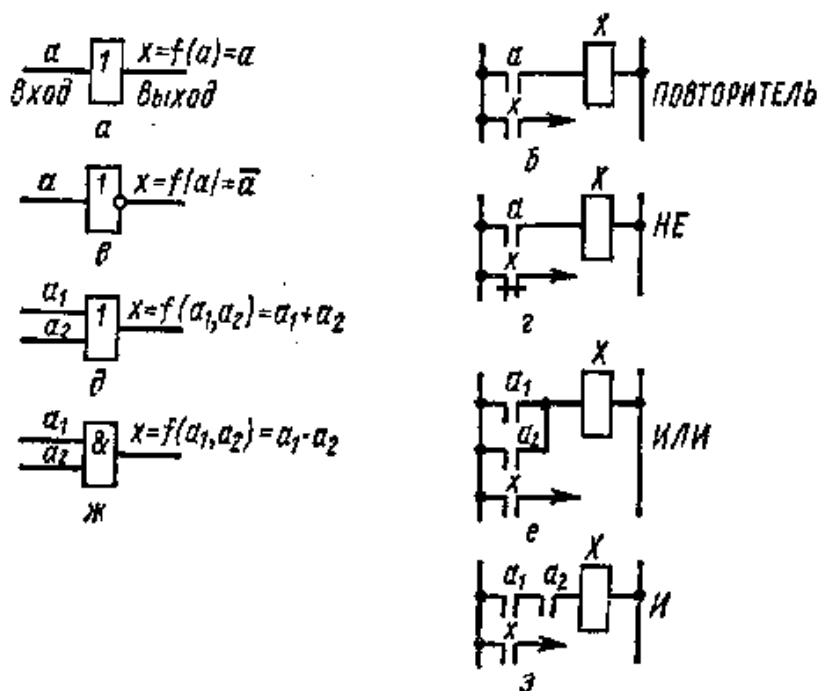


Рис. 3.30. Функции базовых логических элементов:

$a, в, д, ж$ – условное обозначение; $б, г, е, з$ – релейно-контактное исполнение

На рис. 3.30 и последующих рисунках релейные схемы приводятся для наглядного пояснения работы элементов логики.

Если при подаче сигнала a на вход ЛЭ сигнал на его выходе исчезает, то такой элемент называют *инвертором* или элементом НЕ. Логическую функцию в этом случае обозначают $x = f(a) = \bar{a}$, где черта над a обозначает операцию отрицания (инверсии). Схема элемента НЕ и эквивалентная ему релейно-контактная схема показаны на (рис. 3.30, в, г).

Элемент ИЛИ с двумя входами и эквивалентная релейная схема приведены на рис. 3.30, д, е. У этого элемента выходной сигнал появляется при наличии сигнала или на первом, или на втором входе. В данном случае $x = a_1 + a_2$. При $a_1 = 1, a_2 = 0$ или $a_1 = 0, a_2 = 1$ имеем $x = 1$. В случае $a_1 = 0, a_2 = 0$ получим $x = 0$. Для $a_1 = 1, a_2 = 1$ имеем $x = 1$, так как логическая функция может принимать только два значения (1 или 0). Справедливость данной логической функции поясняется рис. 3.30, е. Логическую функцию $x = a_1 + a_2 + a_3 \dots$ называют **дизъюнкцией** (логическое сложение). При логическом сложении наряду со знаком «+» в алгебре логики используют так же символ «V».

Двоичное переменное, так же как и логическая функция, могут принимать лишь значения или 0, или 1. Отсюда следуют свойства логической суммы $a + a = a$; $a + a = 1$; $a + 0 = a$; $a + 1 = 1$. Логическая сумма равна единице, если хотя бы одно слагаемое равно единице. Она равна нулю, только если каждое из слагаемых равно нулю.

Элемент И с двумя входами и его эквивалентная релейная схема показаны на рис. 3.30, ж, з. У этого элемента выходной сигнал появляется при наличии сигнала и на первом, и на втором входах. В данном случае $x = a_1 \cdot a_2$. Логическую функцию этого вида называют **конъюнкцией** (логическое умножение). При многих входах логическое произведение принимает вид $x = a_1 \cdot a_2 \cdot a_3 \dots$. Логическое произведение характеризуется свойствами $a \cdot a = a$; $a \cdot a = 0$; $a \cdot 1 = a$; $a \cdot 0 = 0$. Логическое произведение равно единице, если каждый из множителей равен единице.

Для логической суммы и логического произведения справедливы переместительные, сочетательные и распределительные законы. Справедлив также закон инверсии $\overline{a_1 + a_2 + a_3} = \bar{a}_1 \cdot \bar{a}_2 \cdot \bar{a}_3$; $\overline{a_1 \cdot a_2 \cdot a_3} = \bar{a}_1 + \bar{a}_2 + \bar{a}_3$.

Рассмотренные базовые ЛЭ являются одноступенчатыми. К этой группе ЛЭ относятся также двухступенчатые элементы (рис. 3.31).

Элемент с двумя входами, совмещающий функции повторителя и инвертора, называют элементом «запрет» (рис. 3.31, а, б). У этого элемента выходной сигнал появляется при наличии входного сигнала a_1

и отсутствии входного сигнала a_2 . На рис. 3.31, в, г представлены элемент ИЛИ-НЕ, совмещающий функции элементов ИЛИ и НЕ, и его эквивалентная релейная схема. На рис. 3.31, д, е показаны элемент И-НЕ, в котором совмещены функции элемента И и элемента НЕ, и эквивалентная релейная схема этого элемента.

Различные комбинации рассмотренных базовых ЛЭ позволяют выполнять любые логические функции и образовывать варианты схем, выполняющих одни и те же функции. Например, на рис. 3.32, а, б, в представлены логические схемы, показывающие, как посредством только элементов И-НЕ можно создать схемы И, НЕ, ИЛИ.

Наибольшее распространения получили ЛЭ, использующие полупроводниковые диоды и транзисторы. Сопротивление перехода «эмиттер – коллектор» закрытого транзистора часто условно считают равным бесконечности, а открытого – нулю (по аналогии при размыкании и замыкании контакта реле).

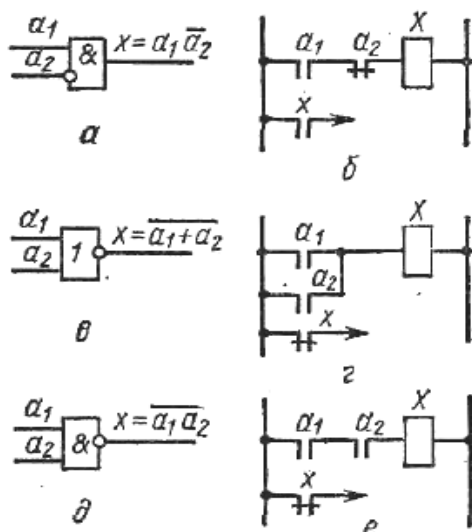


Рис. 3.31. Логические элементы запрет; ИЛИ-НЕ; И-НЕ

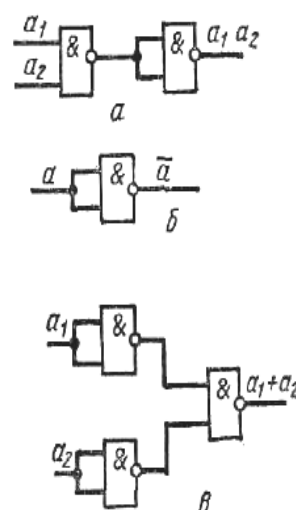


Рис. 3.32. Схемы из элементов И-НЕ

В действительности оно изменяется от сотен тысяч и миллионов Ом до единиц или долей Ом.

Вследствие эффекта усиления параметры выходного сигнала транзисторного элемента могут быть сделаны равными параметрам входного сигнала. Схема такого элемента ИЛИ-НЕ приведена на рис. 3.33. На зажимы 0 и $-U_n$ подается напряжение питания коллекторной цепи транзистора T . На его базу подается положительное напряжение смещения $+U_c$, за-

пирающее транзистор. При этом, поскольку транзистор T заперт, между точками 0 и «выход» приложено напряжение источника питания. При подаче на любой из входов 1, 2, 3 достаточного по величине отрицательного относительно точки 0 потенциала транзистор отпирается и напряжение между точками 0 и «выход» исчезает. Диоды $D1$, $D2$, $D3$ отделяют входы друг от друга. Таким образом, если на любой вход элемента подать отрицательный сигнал, который примем за 1, то на выходе не будем иметь сигнала, т. е. получим 0. При подаче на все входы положительного сигнала, принятого за 0, получим на выходе 1.

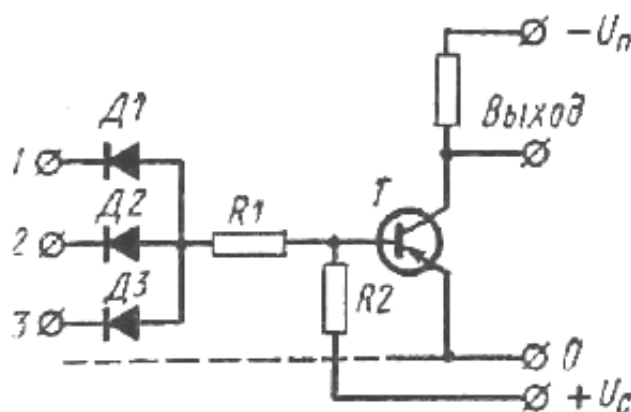


Рис. 3.33. Транзисторный логический элемент ИЛИ-НЕ

Достоинство потенциальной системы элементов состоит в ее приспособленности к интегральному исполнению, поскольку существует минимальная потребность в реактивных элементах или такой потребности нет вообще. В настоящее время систему потенциальных элементов составляют группы. Кратко рассмотрим каждую из этих групп.

Элементы типа РТЛ и РКТЛ (рис. 3.34). В качестве базовых элементов этих серий могут использоваться схемы, выполняющие логическую операцию ИЛИ-НЕ. Такая операция, известная под названием «элемент Пирса», обладает логической полнотой, поскольку на основе лишь ячеек, выполняющих эту операцию можно построить любое логическое устройство. Единственное отличие серий РТЛ и РКТЛ заключено в использовании

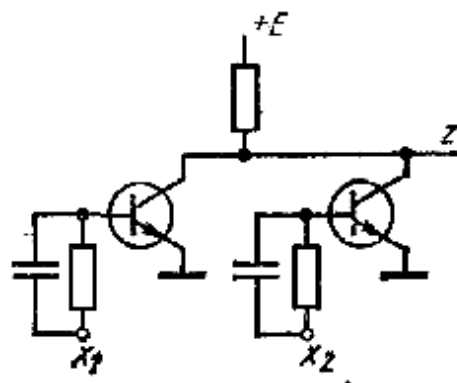


Рис. 3.34. Логический элемент ИЛИ-НЕ типа РТЛ и РКТЛ

конденсаторов, шунтирующих резисторы, что ускоряет переходные процессы, но усложняет изготовление монолитных схем. Резисторы играют роль элементов связи между транзисторами; в других схемах они могут входить в состав цепей, реализующих логические операции. Символически операция, выполняемая схемой, может быть представлена в виде:

$$z = \overline{x_1 \vee x_2}.$$

Элемент типа ДТЛ (рис. 3.35, а). Типичная ячейка И-НЕ «элемент Шеффера» для трех входных сигналов состоит из входной части (диоды и транзистор $T1$), выполняющей логическую функцию, и выходного каскада (транзисторы $T2 - T4$), увеличивающего нагрузочную способность и быстродействие. Операция «элемент Шеффера», как и «элемент Пирса», обладает логической полнотой и может служить основой для создания устройств с любой функциональной задачей. Символическое обозначение операции:

$$z = \overline{x_1 x_2 x_3}.$$

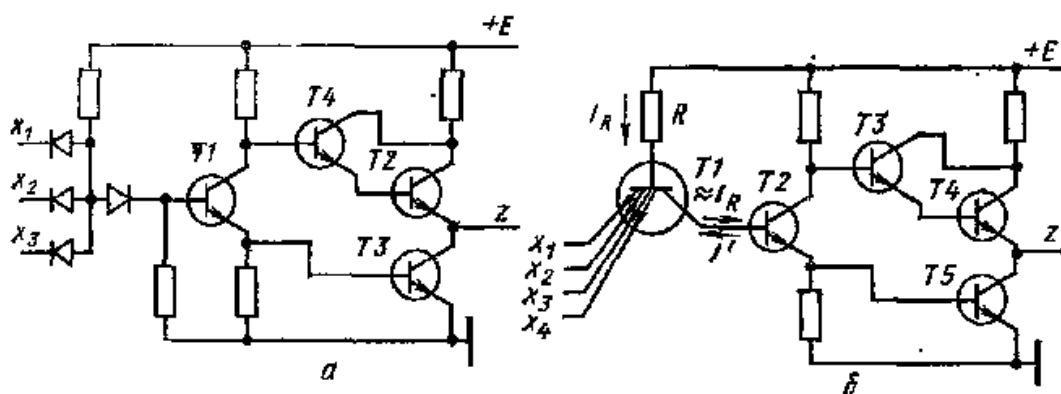


Рис. 3.35. Логические элементы И-НЕ: а – типа ДТЛ; б – типа ТТЛ

Пусть на одном или нескольких входах имеется логический нуль. При этом откроются соответствующие диоды, коллекторное питание подключится к источнику логического нуля, потенциал базы $T1$ упадет, и этот транзистор установится в состояние отсечки. При этом с коллекторной нагрузки $T1$ будет сниматься высокий потенциал, кодирующий единицу. Если же на всех входах окажутся единицы, то входные диоды будут заперты, ток потечет во входную цепь транзистора $T1$ через диод смещения, транзистор установится в состояние насыщения. При этом с коллекторной нагрузки $T1$ будет сниматься низкий потенциал, кодирующий нуль. Из этих рассуждений следует, что входная часть ячейки выполняет логическую операцию И-НЕ.

Состояние транзисторов в выходном каскаде таковы. Если транзистор $T1$ заперт, то заперт и транзистор $T3$. Транзистор $T2$ в это время насыщен и работает в режиме эмиттерного повторителя, т.е. на выходе схемы повторится напряжение коллектора $T1$. При этом сам транзистор $T2$ включен в качестве нагрузки в эмиттерный повторитель, функцию которого выполняет транзистор $T4$. Если же транзистор $T1$ насыщен, то насыщен и транзистор $T3$, на базу которого подан положительный потенциал с делителя напряжения. В то же время транзистор $T2$ оказывается запертым, так как напряжение на его базе ниже, чем на эмиттере.

Элементы типа ТТЛ (рис. 3.35, б). Эти элементы типичны для интегральных схем и на обычных дискретных компонентах не реализуются, так как входная логика построена на основе многоэмиттерных транзисторов. Ячейки И-НЕ состоят из входной части (транзисторы $T1$ и $T2$), а также выходного каскада, схема и назначение которого аналогичны разобранному выше при описании «элемента Шеффера». Символически операция, выполняемая ячейкой, может быть записана в виде:

$$Z = \overline{X_1 X_2 X_3}.$$

Пусть на все входы схемы поданы положительные сигналы, кодирующие единицу. В этом случае многоэмиттерный транзистор устанавливается в состояние активного инверсного включения, при котором в цепь эмиттеров, играющих роль коллекторов, передается незначительная часть тока I_R . Основная же часть тока поступает в базу транзистора $T2$, насыщая его. Активному инверсному включению $T1$ способствует следующее распределение потенциалов: самое высокое на эмиттерах, поскольку сигналы снимаются с запертых транзисторов предыдущих логических элементов; несколько ниже на базе из-за падения напряжения на резисторе R при протекании тока I_R ; еще ниже на коллекторе, соответствующее напряжению на базе насыщенного транзистора $T2$. Таким образом, при возбуждении всех входов системы единичными сигналами с транзистора $T2$ снимается низкий потенциал, кодирующий нуль. Выходным каскадом этот сигнал повторяется на общем выходе.

Если хотя бы на одном входе $T1$ есть логический нуль, то по этому входу транзистор устанавливается в состояние нормального (неинверсного) включения. При этом падает потенциал коллектора $T1$, транзистор $T2$ запирается, а с него снимается высокий потенциал, кодирующий единицу. Этот сигнал подтверждается на общем выходе схемы.

Элементы типа ТЛПТ. Система этих элементов обладает наиболее высоким быстродействием, так как работает в ненасыщенном режиме, что устраняет такой ограничивающий фактор, как время рассасывания в транзисторе. По схеме, приведенной на рис. 3.36, выполняются операции:

$$z_1 = x_1 \vee x_2 \vee x_3; \quad z_2 = \overline{x_1 \vee x_2 \vee x_3}.$$

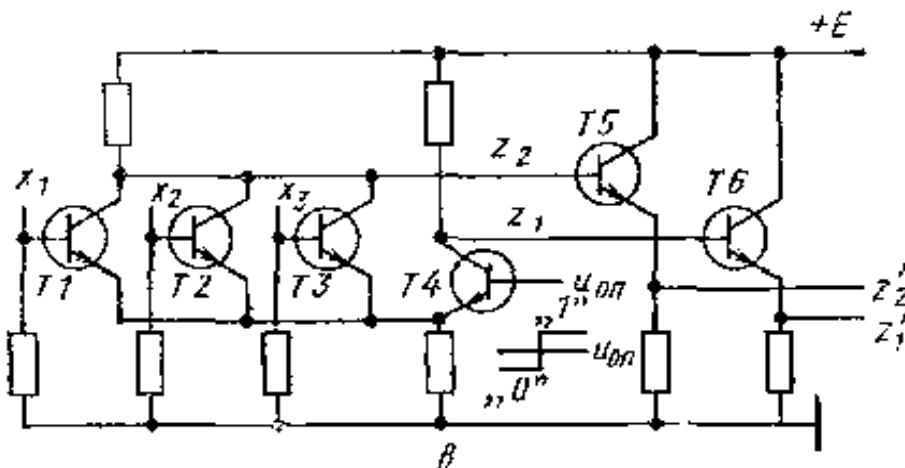


Рис. 3.36. Логический элемент ИЛИ, ИЛИ-НЕ типа ТЛПТ

Выходные эмиттерные повторители (сигналы z'_1 и z'_2) обеспечивают согласование выходных уровней с входными и высокую нагрузочную способность схемы.

Пусть на одном из входов имеется логическая единица, т. е. на базу соответствующего транзистора подан положительный потенциал по отношению к напряжению на эмиттере, которое в свою очередь определяется потенциальной характеристикой первоначально открытого опорного транзистора T_4 . Транзистор станет проводящим, потенциал всех эмиттеров возрастает, опорный транзистор T_4 окажется запертым, с выхода z_1 будет сниматься высокий уровень потенциала, а с выхода z_2 — более низкий. При нулевых сигналах на всех входах с выхода z_1 будет сниматься низкий уровень потенциала, а с выхода z_2 — высокий.

Элементы типа ТЛИП используются при построении больших интегральных схем. В объемной структуре коллекторы $p-n-p$ транзисторов могут быть совмещены с базами $n-p-n$ транзисторов, а базы $p-n-p$ — с эмиттерами $n-p-n$ транзисторов. Поэтому для системы ТЛИП может быть составлен лишь приближенный схемотехнический эквивалент. В основе работы элементов ТЛИП лежит принцип прямой инжекции неосновных носителей заряда в ключевой транзистор. На рис. 3.37 приведена схема для ячейки ИЛИ-НЕ на два входа, реализующая операцию $z = \overline{x_1 + x_2}$.

Транзисторы T' и T'' имеют одинаковые напряжения между базами и эмиттерами, они всегда включены и обладая одинаковыми характеристиками, питаются от общего источника тока mI . У ключевых транзисторов $T1$ и $T2$ выполнено по несколько коллекторов, т. е. выходов с каждого транзистора. Управление ключевыми транзисторами осуществляется посредством переключения токов на входах. При $x_1 = 0$ ток, проходя через T' , замыкается через входную цепь и не поступает на базу $T1$, который оказывается запертым, а $x_2 = 1$ (из-за подключения к выходу следующей логической ячейки). При $x_1 = 1$ ток, проходя через T'' , втекает в базу транзистора $T2$, насыщая его и обеспечивая на коллекторе $x_2 = 0$. Связав вместе m коллекторов, получим общий выход, с которого снимается сигнал, соответствующий операции ИЛИ-НЕ. Степень интеграции для ячеек типа ТЛИП достигает несколько тысяч элементов на один кристалл.

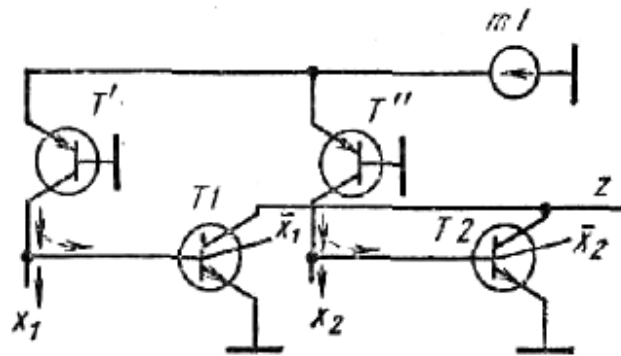


Рис. 3.37. Ячейка ИЛИ-НЕ типа ТЛИП

Конструктивным оформлением той или иной из перечисленных групп элементов является серия интегральных микросхем. В состав серии входит некоторый набор модификаций различной степени интеграции, позволяющий строить любые логические устройства. Рассмотренные примеры функциональных схем предполагали для наглядности использования микросхем низкой степени интеграции. Между тем в системах ЧПУ предпочтительно использование элементов средней и большой степени интеграции. Например, известны схемы, позволяющие на полупроводниковой пластине с площадью менее одного квадратного сантиметра или в объеме полупроводника, меньшем трети кубического сантиметра вместить многовходные и многофункциональные логические элементы.

3.5.2. Триггеры и регистры

Наиболее распространенными ячейками памяти одного двоичного разряда являются триггеры. По функциональным возможностям триггеры подразделяют на: триггеры с установочным запуском (*RS*-триггеры); триггеры задержки (*D*-триггеры); счетные (*T*-триггеры); комбинированные (*TV*-, *RST*-триггеры); универсальные (*JK*-триггеры) и др.

Простейший *RS*-триггер, построенный на четырех трехвходовых элементах И-НЕ, приведен на рис. 3.38. По входу *R* триггер устанавливается в нулевое состояние ($Q=0; \bar{Q}=1$); по входу *S* триггер устанавливается в единичное состояние ($Q=1; \bar{Q}=0$); при одновременной подаче сигналов на входы *R* и *S* состояние триггера лишено определенности. Поэтому такая ситуация недопустима.

Функциональная структура *D*-триггера (рис. 3.39) содержит элементы И-НЕ и *RS*-триггер с инвертированием сигналов на входе. Пусть на *D*-вход подан единичный сигнал. Тогда при отсутствии синхронизирующего *C* обоих входах *RS*-триггера окажутся единичные сигналы, в силу чего триггер будет хранить предыдущую информации. С приходом сигнала *C* на *R*-входе окажется единица, а на *S*-входе нуль, и в триггере будет записано $Q = 1$. Пусть теперь значение сигнала на *D*-входе нулевое. И в этом случае при отсутствии синхронизирующего сигнала на обоих входах *RS*-триггера окажутся логические единицы, т. е. триггер будет хранить предыдущую информацию. С приходом сигнала *C* на *S*-входе появится единица, а на *R*-входе установится нуль, и в триггере будет записано $Q = 1$. Таким образом, в *D*-триггере записывается значение сигнала на информационном входе *D* при подаче синхронизирующего сигнала *C*.

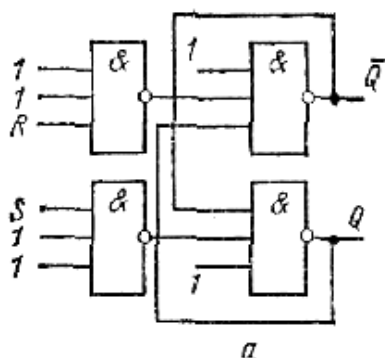


Рис. 3.38. Структурная схема *RS*-триггера

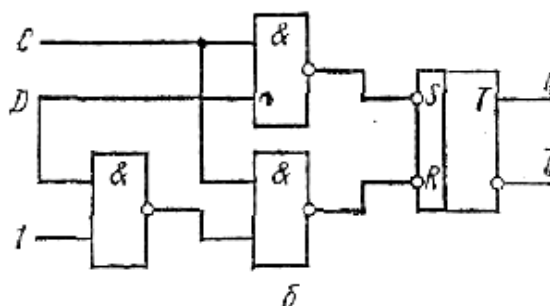


Рис. 3.39. Структурная схема *D*-триггера

В функциональную структуру T -триггера (рис.3.40) входит D -триггер и элемент задержки. С каждым очередным тактом на входе T -триггера будет изменять свое состояние на противоположное:

$$Q_i = 1; Q_{i+1} = 0; Q_{i+2} = 1; Q_{i+3} = 0 \text{ и т.д.}$$

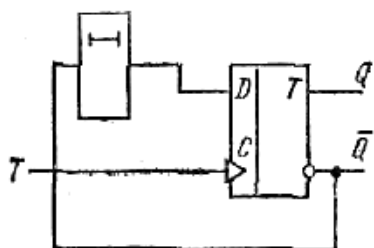


Рис. 3.40. Структурная схема T -триггера

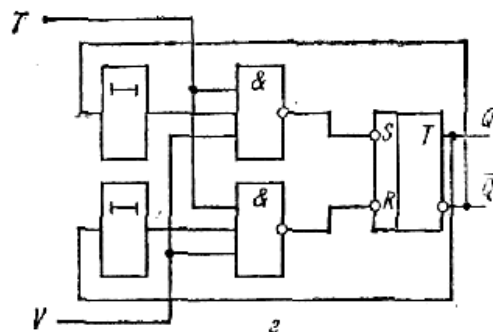


Рис. 3.41. Структурная схема TV -триггера

TV -триггер (рис. 3.41) работает как обычный счетный T -триггер в том случае, если на дополнительный V -вход подана единица. При этом триггер будет изменять свое состояние всякий раз с подачей тактового сигнала T . Если же $V = 0$, то переключение триггера запрещается.

На рис. 3.42 показана структура комбинированного RST -триггера, построенная на шести элементах И-НЕ. Триггер имеет установочные R - и S -входы, а также счетный T -вход. Причем входы 1 и 2 могут быть использованы, если $T = 0$, а входы 3 и 4 – если $T = 1$. При работе в счетном режиме:

$$R = 0, S = 0, R = 1, S = 1.$$

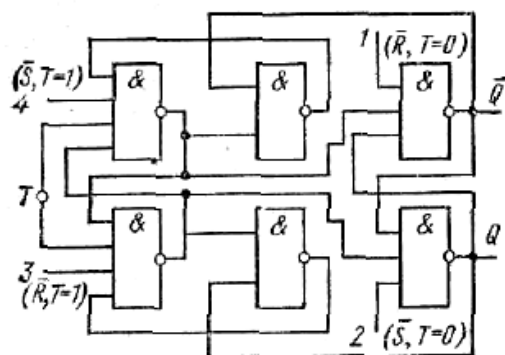


Рис. 3.42. Структурная схема комбинированного RST -триггера

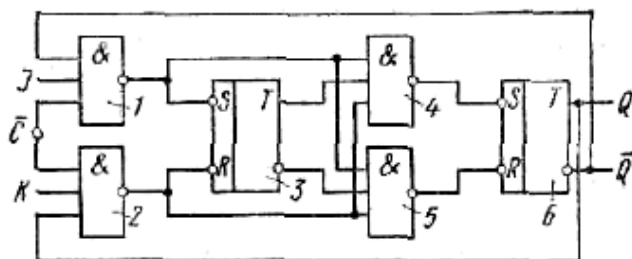


Рис. 3.43. Структурная схема универсального JK -триггера

Структура *JK*-триггера представлена на рис. 3.43. Триггер имеет четыре характерные ситуации. В первой $J = K = 0$. На выходе элементов 1 и 2 будут удерживаться единичные значения сигналов независимо от тактового сигнала на входе C . По этой причине триггер на тактовый сигнал реагировать не будет. Во второй ситуации $J = 0, K = 1$. В этом случае Q_{i+1} станет равным нулю. Пусть перед этим $Q_i = 1$. Тогда еще до поступления тактового сигнала в триггере 3 будет записан нуль, а с появлением тактового сигнала единицы появятся на выходе элементов 2 и 5. В результате в триггере 6 будет записано $Q_{i+1} = 0$. Заметим, если во второй ситуации $Q_i = 0$, то и $Q_{i+1} = 0$, т. е. состояние в триггера сохранится. В третьей ситуации $J = 1, K = 0$. При этом в триггере будет записано $Q_{i+1} = 1$. Пусть перед этим $Q_i = 0$. Тогда еще до поступления тактового сигнала в триггере 3 будет записана единица, а с появлением тактового сигнала единицы появятся на выходе элементов 1 и 4, в результате чего в триггере 6 будет записано $Q_{i+1} = 1$. Заметим, что если в третьей ситуации $Q_i = 1$, то и $Q_{i+1} = 1$, т. е. состояние триггера сохранится. В четвертой ситуации $J = K = 1$, и триггер работает в счетном режиме от тактовых сигналов. Таким образом, *JK*-триггер является универсальным (имеет установочные и счетные входы) и работает с двумя ступенями запоминания, что защищает выходную информацию от смены ситуаций на входе.

Для хранения многоразрядных двоичных чисел предназначены регистры, основными разновидностями которых являются параллельные и последовательные регистры сдвига.

Основными компонентами структуры параллельного регистра (рис. 3.44, *a*) является набор триггеров (по объему соответствует числу двоичных разрядов) и входная логика. В регистре записано слово $A = \alpha_n \dots \alpha_{i+1} \alpha_i \alpha_{i-1} \dots \alpha_1$, являющееся последовательностью двоичных разрядов α , каждому из которых соответствует определенное состояние своего триггера. В регистр принимается слово $B = \beta_n \dots \beta_{i+1} \beta_i \beta_{i-1} \beta_1$ в одной из двух модификаций. Первая модификация представляет собой простое изображение слова, поступающего поразрядно на входы S установки триггеров в единичное состояние:

$$B' = \beta'_n \dots \beta'_{i+1} \beta'_i \beta'_{i-1} \beta'_1.$$

Вторая модификация представляет собой парафазное изображение слова, когда на S -входы триггеров поступает прямое слово:

$$B'' = \beta''_n \dots \beta''_{i+1} \beta''_i \beta''_{i-1} \beta''_1.$$

А на R -входы триггеров поступает инверсное слово (одновременно с прямым словом, поступающим на S -входы):

$$\bar{B}'' = \bar{\beta}_n'' \dots \bar{\beta}_{i+1}'' \bar{\beta}_i'' \bar{\beta}_{i-1}'' \dots \bar{\beta}_1''.$$

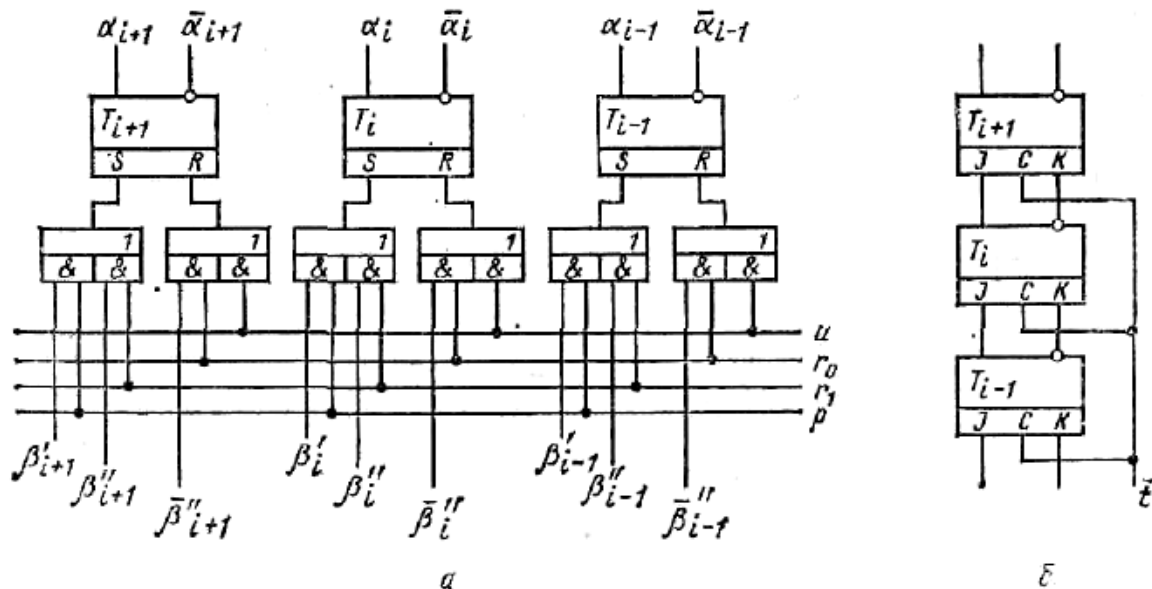


Рис. 3.44. Регистры: a — параллельный; b — последовательный

Параллельный регистр универсален в том смысле, что пригоден к приему слов как в прямом, так и в парафазном изображении. Для этого предусмотрены каналы управления: p — сигнал приема слова в прямом изображении; r_1 — сигнал приема прямого слова парафазного изображения; r_0 — сигнал приема инверсного слова парафазного изображения; u — сигнал установки регистра в нулевое положение. Комбинируя сигналами управления, можно выполнить операции со словами A , B' , B'' . Прием слова в прямом изображении осуществляется подачей сигнала u , а затем с некоторой задержкой — сигнала p . Парафазный прием слова производится одновременной подачей сигналов управления r_0 и r_1 . Операция $A \vee B''$ осуществляется при $r_1 = 1$. Операция $A \cdot B''$ выполняется подачей управляющего сигнала $r_0 = 1$.

На рис. 3.44, b показан последовательный регистр, построенный на JK -триггерах. Двоичное число записывается в регистр путем последовательного сдвига тактирующего сигнала до тех пор, пока не произойдет совмещение с разрядной сеткой. При отсутствии тактового сигнала входные ступени запоминания триггеров принимают информацию с предыдущего

разряда. С приходом тактового сигнала информация из входной ступени переписывается в основную ступень запоминания. Таким образом, очередной тактовый сигнал перемещает двоичное число на один разряд по направлению к старшему или младшему в зависимости от характера связей.

3.5.3. Блоки для осуществления арифметических операций

Рассмотрим структурную схему блоков, осуществляющих арифметические операции сложения, вычитания, обратного сложения, накопления импульсов, сложения и вычитания сигналов в импульсной форме.

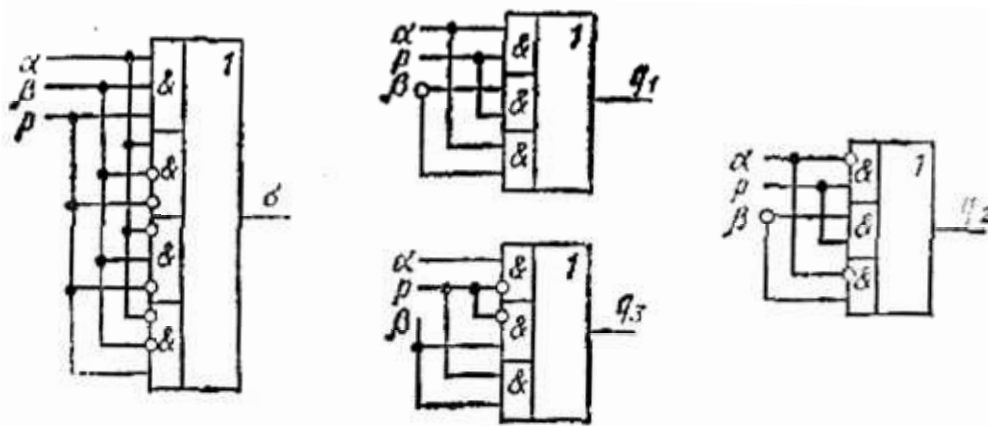


Рис. 3.45. Структура одного разряда универсального сумматора

Арифметические операции сложения двоичных слов ($A + B$), вычитания ($A - B$), обратного сложения ($-A + B$) могут осуществляться в универсальном сумматоре, один разряд которого приведен на рис. 3.45. Входы разряда: α и β , перенос из предыдущего младшего разряда p . Выходы разряда: разрядная сумма σ и перенос в следующий по старшинству разряд q . Разрядная сумма σ зависит от модуля разрядных чисел и наличия единицы переноса из младшего разряда, но не зависит от вида операции (табл. 3.2). В то же время возникновение единицы переноса в старший разряд определяется еще и видом операции. Поэтому структура разряда сумматора включает четыре блока. В одном из них формируется разрядная сумма соответственно логической функции, показанной в табл. 3.2, независимо от типа операции. В трех других блоках формируются переносы q_1 , q_2 , q_3 , соответствующие типу арифметической операции. Естественно, что для конкретной выбранной операции к старшему разряду подключается только один из этих трех блоков.

Таблица 3.2

Состояния разряда сумматора

Входы			Выходы			
Слагаемые		Перенос	Сумма	Переносы при		
				Сложении	Вычитании	Обратном сложении
α_k	β_k	ρ_k	σ_k	q_1	q_2	q_3
0	0	0	0	0	0	0
0	1	0	1	0	1	1
1	0	0	1	0	0	1
1	1	0	0	1	0	1
0	0	1	1	0	1	0
0	1	1	0	1	1	0
1	0	1	0	1	0	0
1	1	1	1	1	1	1

Пр и м е ч а н и е. Индекс k указывает на разряд числа

Широко распространенной формой сигнала в системах ЧПУ является некоторая последовательность единичных импульсов, называемая унитарным кодом. Для накопления и запоминания числа этих импульсов используются двоичные счетчики. Один из таких счетчиков на JK -триггерах представлен на рис. 3.46. Старшинство разрядов увеличивается на рисунке слева направо. Импульсы поступают по каналу $x_{вх}$ ко всем разрядным триггерам одновременно. Поскольку в младшем разряде всегда $J = K = 1$, триггер этого разряда работает под действием входных импульсов в счетном режиме. Во всех остальных разрядах в исходном состоянии $J = K = 0$, поэтому под действием первого импульса в счетчике будет записано 10000. Теперь во втором разряде, как и в первом, окажется $J = K = 1$, и второй импульс осуществит переключения в двух младших разрядах одновременно. При этом в счетчике будет записано 01000, а состояние разрядных JK -входов будут такими же, как и в исходном положении.

Следовательно, третий импульс запишет единицу только в младшем разряде, и в счетчике установится состояние 11000 и т. д. Таким образом, число входных импульсов запоминается в счетчике в двоичной форме.

Весьма важную группу арифметических устройств составляют реверсивные счетчики. Импульс на входе в такой счетчик располагает признаком знака и в зависимости от знака может либо пополнять, либо уменьшать содержимое счетчика. Распознавание знака осуществляется подачей управ-

ляющих импульсов на разные входы (вход сложения или вход вычитания), подачей «знаковой» команды на обслуживающую счетчик логическую схему одновременно с приходом управляющего импульса на единственный вход. Пример структуры такого счетчика приведен на рис. 3.47.

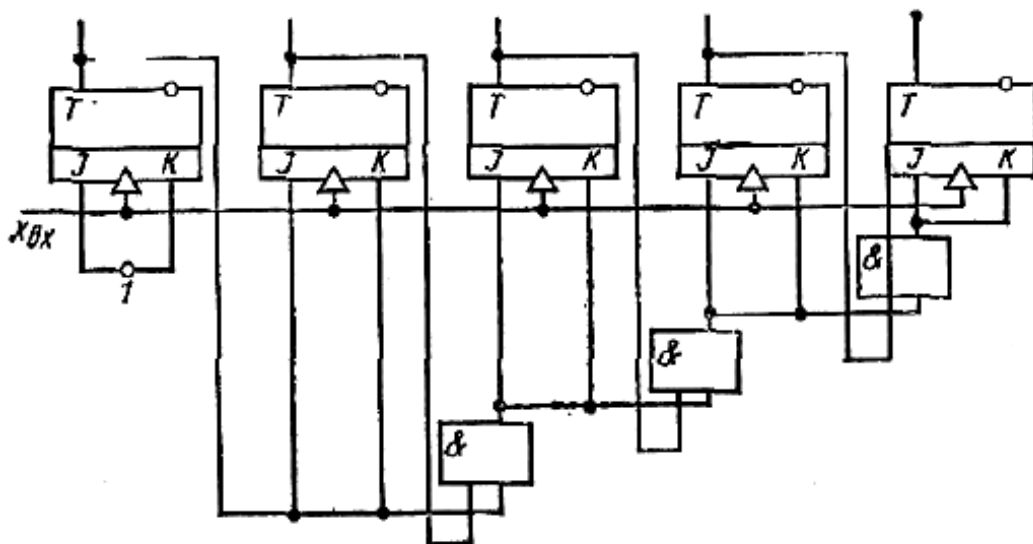


Рис. 3.46. Двоичный счетчик унитарных импульсов

Пусть потенциальный единичный сигнал подан на шину «+», а управляющие импульсы поступают по каналу $x_{вх}$. В этом случае реверсивный счетчик работает точно также, как обычный двоичный счетчик унитарных импульсов, и в счетчике последовательно накапливаются двоичные числа 0001, 0010, 0011, ... Пусть после третьего импульса знак управляющего сигнала изменится, т. е. потенциальный единичный переключится на шину «-». При этом во всех разрядах, кроме первого, станет $J = K = 0$, и очередной управляющий импульс запишет в счетчике 0010, из чего видно, что объем счетчика уменьшится на единицу. Теперь состояние входов в двух младших разрядах будет $J = K = 1$, и очередной управляющий импульс вызовет переключение только в этих разрядах. Как результат возникает состояние 0001, при этом видно, что произошло уменьшение объема на единицу и т. д.

В рассмотренном примере реверсивный счетчик собран на нескольких микросхемах малой степени интеграции. На рис. 3.48 этот же счетчик выполнен в виде одной реальной микросхемы средней степени интеграции. Каждый из четырех разрядов (выходы разрядов имеют номера 3, 2, 6, 7) построен на базе JK -триггера. Характер работы счетчика определяется

тем, на какой из счетных входов (4 или 5) подаются управляющие импульсы: по входу 4 осуществляется сложение (в это время на входе 5 необходимо поддерживать высокий потенциал); по входу 5 производится вычитание (при высоком потенциале на входе 4).

Четыре информационных D-входа (15, 1, 10, 9) позволяют вносить в счетчик информацию параллельно, причем перенос в разряды осуществляется подачей положительного импульса на вход 11 предварительной записи с некоторым запаздыванием по отношению к информационным сигналам. По R-входу 14 реверсивный счетчик устанавливается в нуль.

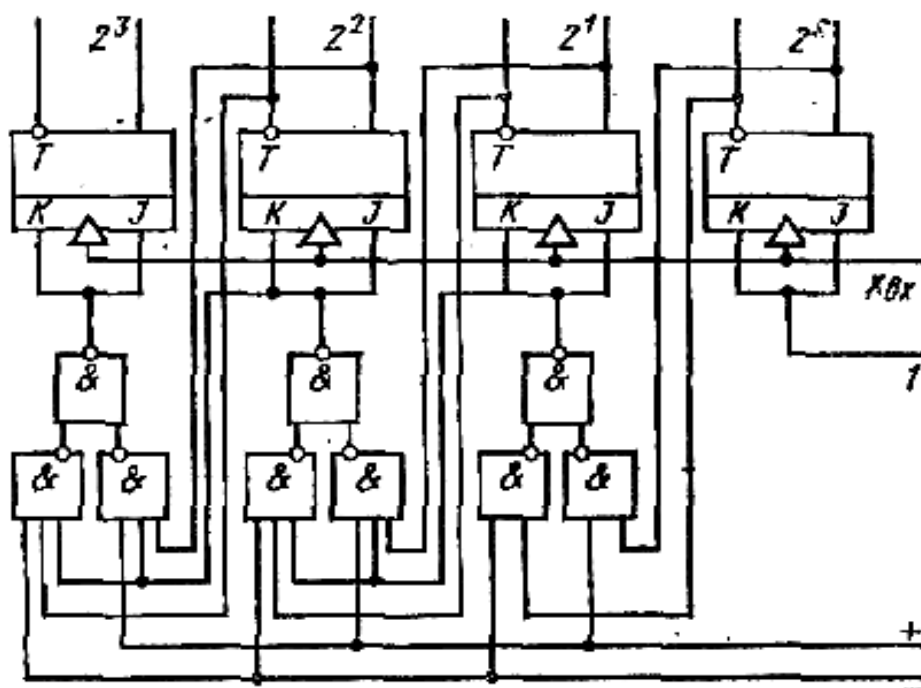


Рис. 3.47. Структурная схема реверсивного счетчика

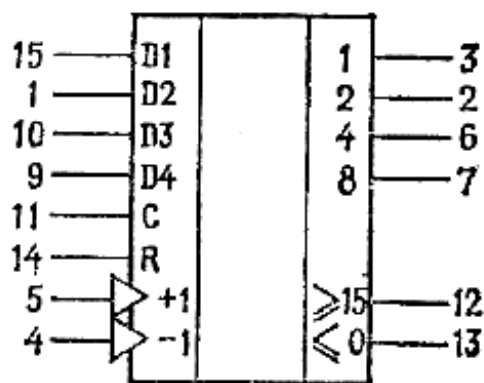


Рис. 3.48. Интегральная микросхема четырехразрядного реверсивного счетчика

Для построения счетчиков с большей разрядностью используют выходы прямого 12 и обратного 13 переноса. С выхода прямого переноса импульсы переноса передаются на складывающий счетный вход следующего каскада. Аналогично, импульсы обратного переноса подаются на вычитающий счетный вход следующего каскада.

Рассмотрим еще одну интегральную микросхему средней степени интеграции – модуль оперативного запоминающего устройства (ОЗУ) с произвольной выборкой емкостью в 64 бита (рис. 3.49). Это устройство организовано в 16 четырехразрядных слов. ОЗУ имеет встроенный стробируемый по входу 2 дешифратор четырехразрядного двоичного кода адреса $A_1 A_2 A_3 A_4$. Вход стробирования несет функцию запрета: при подаче на вход логической единицы не может быть произведено считывание из матриц или запись в матрицу ОЗУ. Запись осуществляется по четырем каналам 4, 6, 10, 12 после разрешения записи по входу 3.

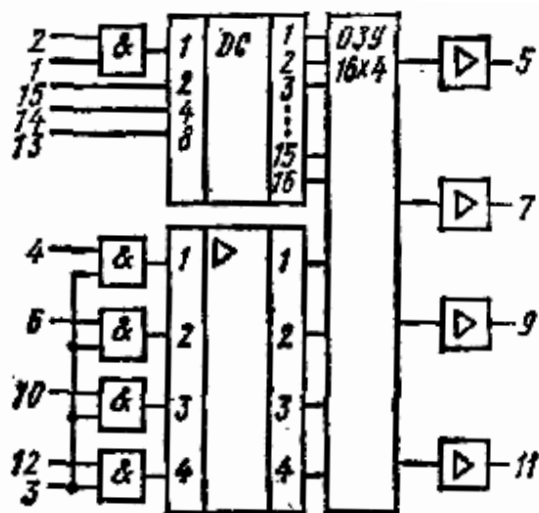


Рис. 3.49. Интегральная микросхема (модуль ОЗУ)

Считывание производится по четырем входным выводам после подачи соответствующего адреса и разрешения выборки путем снятия запрета. Запоминающим элементом одного бита ОЗУ является RS-триггер.

Дальнейшее увеличение интеграции в элементной базе станочных систем управления связано с применением микропроцессоров, построенных на больших интегральных схемах (БИС), и микро-ЭВМ, построенных на базе микропроцессоров.

3.5.4. Шифраторы и дешифраторы

Необходимость в шифровании возникает чаще всего при преобразовании десятичного кода в двоичный, а надобность в дешифрации при обратном преобразовании. Простейшие шифраторы строятся на базе диодных матриц, состоящих из вертикальных каналов входа и горизонтальных каналов выхода. Необходимые диодные связи между каналами входа и выхода могут быть установлены с помощью так называемых «переключа-тельных функций».

Пусть, например, необходимо спроектировать шифратор для четырех двоичных разрядов на выходе. Запишем соответствие десятичных чисел двоичным: $0 \rightarrow 0000$, $1 \rightarrow 0001$, $2 \rightarrow 0010$, $3 \rightarrow 0011$, ... Из этой записи следует, что единица в младшем двоичном разряде выпадает в том случае, если на входе появляются числа 1, или 3, или 7, или 9, ...; единица во втором двоичном разряде должна быть в том случае, если на входе появляются десятичные числа 2, или 3, или 6, или 7, или 10, ... и т. д. Подобные рассуждения позволяют составить переключательную функцию в виде:

$$\begin{aligned} 2^0 &= 1 \vee 3 \vee 5 \vee 7 \vee 9 \dots; & \bar{2}^0 &= 0 \vee 2 \vee 4 \vee 6 \vee 8 \vee 10 \dots; \\ 2^1 &= 2 \vee 3 \vee 6 \vee 7 \vee 10 \dots; & \bar{2}^1 &= 0 \vee 1 \vee 4 \vee 5 \vee 8 \vee 9 \dots; \\ 2^2 &= 4 \vee 5 \vee 6 \vee 7 \vee 12 \dots; & \bar{2}^2 &= 0 \vee 1 \vee 2 \vee 3 \vee 8 \vee 9 \dots; \\ 2^3 &= 8 \vee 9 \vee 10 \vee 11 \vee 12 \dots; & \bar{2}^3 &= 0 \vee 1 \vee 2 \vee 3 \vee 4 \vee 5 \dots \end{aligned}$$

Таким образом, переключательная функция представляет собой набор логических операций ИЛИ, которые и осуществляются с помощью диодных связей.

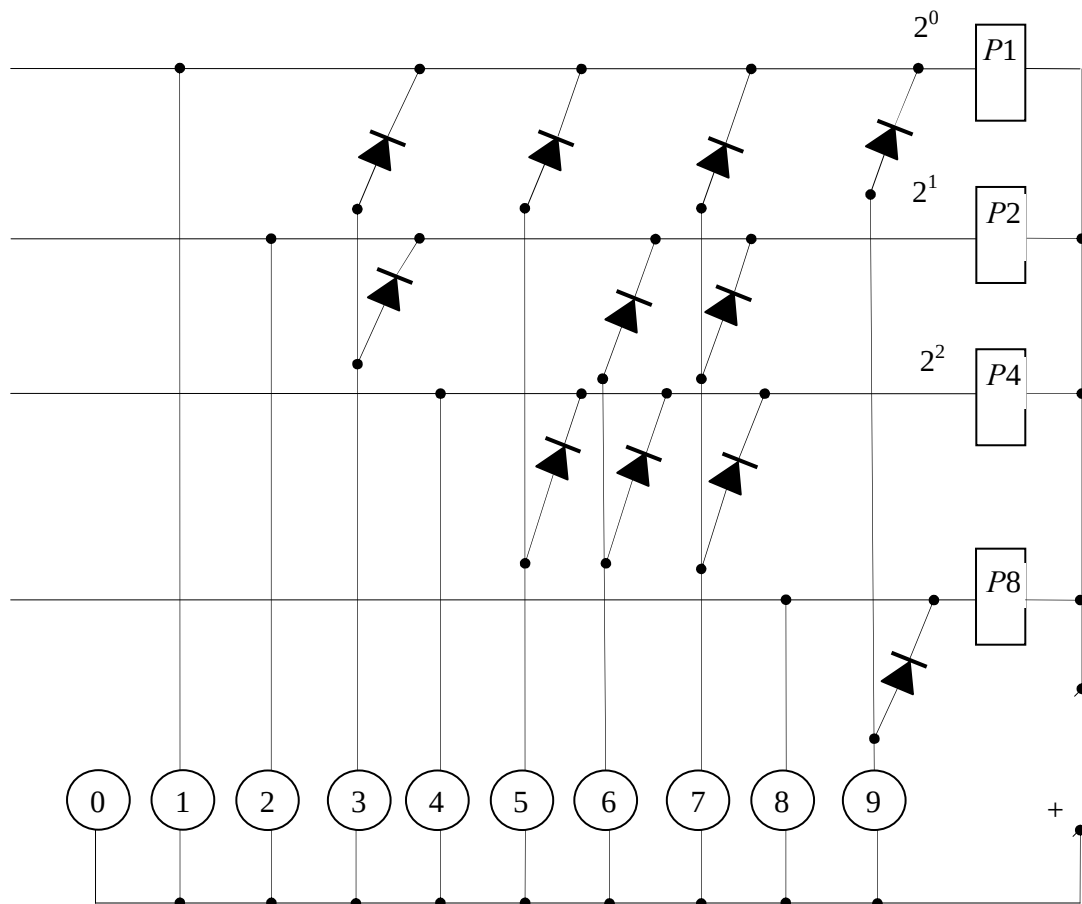


Рис. 3.50. Фрагмент схемы релейного шифратора

В современных станках с ЧПУ ввод управляющей программы в систему управления может осуществляться программно, аппаратно и программно-аппаратно. При программном вводе управляющей программы в качестве основного, визуального программноносителя используется перфолента. Исходная информация записывается на перфоленту посредством релейного шифратора например, устройством Брест-1Т и др. На рис. 3.50 показан фрагмент релейного шифратора, обеспечивающий запись числовой информации.

При нажатии на клавишу любого десятичного числа включаются соответствующее «весовое» реле или их комбинация, означающие это число в двоичной системе счисления. Каждое реле (P_1, P_2, P_4, P_8) обеспечивает работу соответствующего пуансона устройства перфорации ленты. Диоды вентильного типа, соединяющие отдельные клавиши с комбинациями реле, исключают появление ложных сигналов на выходе схемы.

При записи и автоматическом чтении программы для введения контроля на четность или нечетность суммы единиц кодовой комбинации применяют модифицированный двоично-десятичный код, добавляя еще код, еще один вспомогательный знак (разряд).

Например, при контроле на нечетность кодовые комбинации выглядят следующим образом:

0 = (1)0000; 1 = (0)0001; 2 = (0)0010; 3 = (1)0011; 4 = (0)0100;
5 = (1)0101; 6 = (1)0110; 7 = (0)0111; 8 = (0)1000; 9 = (1)1001.

А при контроле на четность кодовые комбинации имеют вид:

0 = (0)0000; 1 = (1)0001; 2 = (1)0010; 3 = (0)0011; 4 = (1)0100;
5 = (0)0101; 6 = (0)0110; 7 = (1)0111; 8 = (1)1000; 9 = (0)1001.

В кодовых комбинациях в скобках добавлен вспомогательный разряд, равный 1, для получения соответственно нечетного в первом случае и четного во втором случае числа единиц в каждой комбинации.

За правильностью записи информации при такой модификации двоичного кода следит специальная схема (рис. 3.51). На схеме реле с индексом $P_{дон}$ обеспечивает работу пуансона перфоратора, пробивающего отверстие на контрольной дорожке перфоленты при контроле программы на нечетность записи. Контакты, контролирующие информацию, обозначены на схеме $K_1, K_2, K_4, K_8, K_{дон}$. Если в схеме поменять местами замыкающие и размыкающие контакты реле $P_{дон}$, то она может быть использована для контроля кодовых комбинаций на четность. Следует напомнить, что по стандарту на код ISO-7 bit предпочтительнее контроль на четность.

При аппаратном вводе программы шифрование управляющей программы осуществляется на базе диодных матриц, выполненных на интегральных элементах и встроенных непосредственно в систему управления. При смешанном, т. е. программно-аппаратном шифровании программы, возможно использование обоих вариантов.

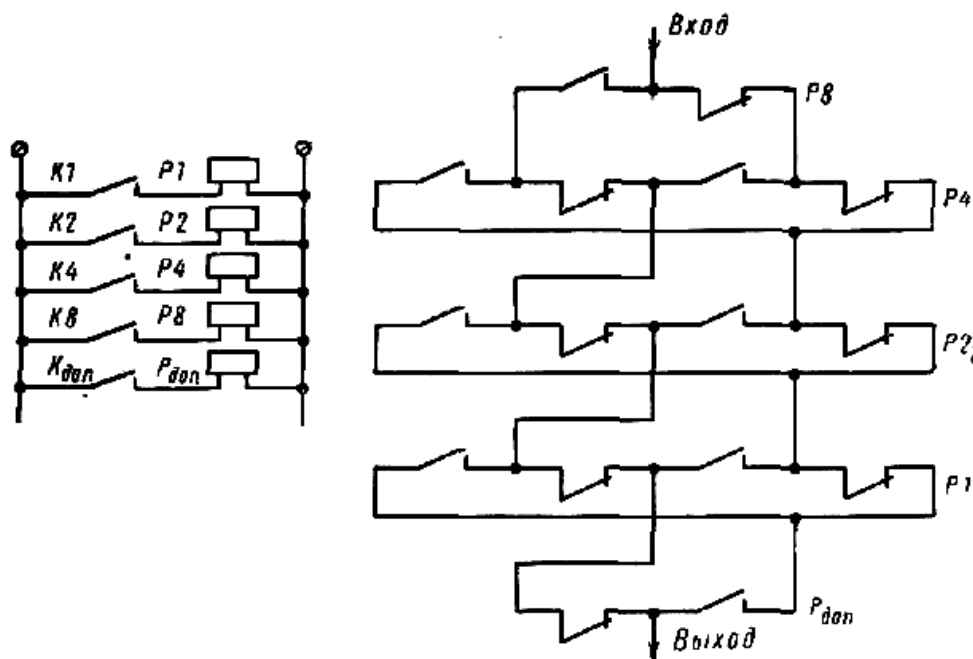


Рис. 3.51. Схема контроля числовой информации на нечетность (четность) единиц (сигналов) в кодовых комбинациях

Методика проектирования дешифратора аналогична рассмотренной методике проектирования шифратора. Записываем логическое соответствие выходов и входов в форме переключательной функции:

$$\begin{aligned}
 0 &= \bar{2}^0 \bar{2}^1 \bar{2}^2 \bar{2}^3; \quad 1 = 2^0 \bar{2}^1 \bar{2}^2 \bar{2}^3; \quad 2 = \bar{2}^0 2^1 \bar{2}^2 \bar{2}^3; \quad 3 = 2^0 2^1 \bar{2}^2 \bar{2}^3; \quad 4 = \bar{2}^0 \bar{2}^1 2^2 \bar{2}^3; \\
 5 &= 2^0 \bar{2}^1 2^2 \bar{2}^3; \quad 6 = \bar{2}^0 2^1 2^2 \bar{2}^3; \quad 7 = 2^0 2^1 2^2 \bar{2}^3; \quad 8 = \bar{2}^0 \bar{2}^1 \bar{2}^2 2^3; \quad 9 = 2^0 \bar{2}^1 \bar{2}^2 2^3.
 \end{aligned}$$

В отличие от схемы шифратора здесь по смыслу связей входов и выходов должны быть использованы логические операции И, которые в современных станках с ЧПУ осуществляются с помощью диодных матриц, выполненных на интегральных элементах. Однако для понимания сущности работы дешифратора более рационально воспользоваться релейной схемой (рис. 3.52), использовавшейся в пульте ППС-2 одного из первых

токарных станков с ЧПУ модели 1К62ПУ. Десять «весовых» реле $P0, P1, P2, P3, P4, P5, P6, P7, P8, P9$ десятичной системы счисления соединены в параллельную цепь посредством контактных групп $K1, K2, K4, K8$ «весовых» реле двоичной системы счисления. При срабатывании любого реле двоичной системы счисления его нормально замкнутые контакты размыкаются, а нормально разомкнутые – замыкаются. В результате этого включается цепь соответствующего реле десятичной системы счисления.

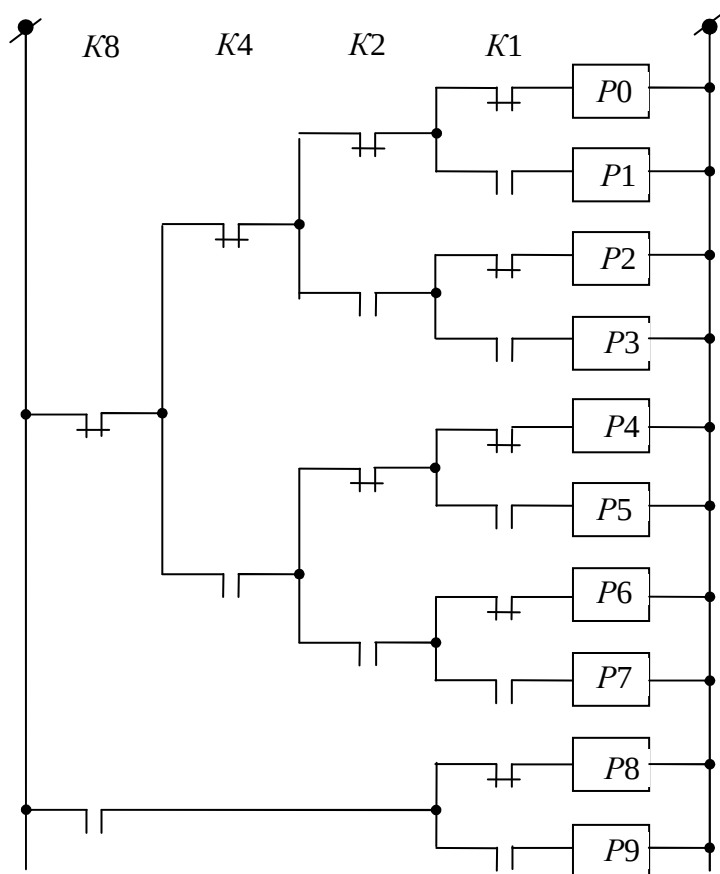


Рис. 3.52. Фрагмент схемы релейного дешифратора

На выходе этого реле (на его замыкающемся контакте) образуется сигнал десятичного числа. Этот сигнал через коммутатор поступает в соответствующую ячейку запоминающего устройства системы ЧПУ. Например, при срабатывании реле двоичной системы счисления, управляющего контактной группой $K1$, его нормально замкнутые контакты размыкаются, а нормально разомкнутые замыкаются. В результате замыкается цепь реле $P1$ десятичной системы счисления, и на его выходе образуется десятичный сигнал, соответствующий 1.

Аналогично в последова-

тельности, задаваемой реле двоичной системы счисления, на выходе схемы образуются сигналы, соответствующие остальным числам десятичной системы счисления.

3.6. Агрегаты устройств ЧПУ

3.6.1. Устройства считывания информации

Предназначены для ввода программы управления с физического программоносителя – перфоленты, магнитной ленты, магнитного диска в устройство ЧПУ. В современных системах ЧПУ устройство считывания

с перфоленты состоит из устройства протягивания перфоленты, фотоэлектрического считывающего устройства (ФСУ) и логической схемы управления ФСУ. На рис. 3.53 представлен один из типовых вариантов данного устройства. В этом устройстве транспортный ролик 1 непрерывно вращается электродвигателем (на схеме не показан) через понижающую передачу. При поступлении команды на протягивание ленты включается транспортный магнит 2, якорь 3 которого прижимает к ленте 4 прижимной ролик 5, и отключается тормозной магнит 6, в результате чего перфолента начинает разгоняться до скорости, определяемой скоростью вращения транспортного ролика 1. Время разгона зависит от коэффициента трения между лентой 4 и транспортным роликом 1 и от массы разгоняемого участка ленты, которая образует более или менее длинную петлю, выбираемую подпружиненными рычагами, и составляет величину порядка 4 – 5 мс. Торможение ленты осуществляется якорем 7 при включении тормозного магнита 6 и отключении транспортного магнита 2. Время торможения составляет 1,5 – 2 мс, что дает перебег ленты при торможении, не превышающий половины шага перфорации, т. е. 1,3 мм. Перфолента протягивается через оптический блок, состоящий из источника света 8, цилиндрической линзы 9, находящейся перед перфолентой, и блока чувствительных элементов (фотодиодов, или фоторезисторов) 10, находящихся сзади перфоленты. Осветительная система создает светящуюся полосу света (оптическую щель) шириной 0,3 – 0,5 мм и длиной равной ширине перфоленты. При движении ленты в моменты, когда оптическая щель через отверстия в перфоленте освещает блок светочувствительных элементов (ЧЭ) 10, на его выходах возникает параллельный код числа или знака, пробитого на данной строке перфоленты в виде соответствующей комбинации напряжений, которые после усиления и формирования подаются на информационный выход 11.

Как правило, устройство обеспечивает три режима работы.

1. Покадровое считывание информации, когда лента после поступления стартового сигнала движется до конца кадра, который перфорируется специальным знаком (в коде ISO-7 bit знаком LF). Это нормальный (рабочий) режим работы ФСУ в системе ЧПУ.

2. Построчное считывание информации (старт-стопный режим), когда лента после поступления стартового сигнала перемещается на одну строку и останавливается до поступления следующего стартового сигнала. Это режим обычно используется при наладке системы управления.

Обычно ФСУ имеют две бобины, приемную и подающую, на которые наматывается перфолента при ее транспортировании. Длина перфоленты, наматываемой на бобины, 200 – 250 м. При небольшой длине

перфоленты, обычно до 50 м, часто применяют ФСУ без бобин: перфолента вытягивается из специального кармана, находящегося под ФСУ. Используют также одну подающую бобину, а вместо приемной используется такой же карман.

3. Режим перемотки, при котором лента перемещается в обратном направлении непрерывно до начала программы, перфорируемого специальным знаком (в коде ISO-7 bit знаком %). Этот режим может осуществляться по-разному. Например, используется отдельный электродвигатель, вращающий бобину, с которой лента сматывается при нормальной работе и наматывается при перемотке. В другом варианте применяются два транспортных ролика, вращаемых в разные стороны одним и тем же электродвигателем через соответствующие передачи.

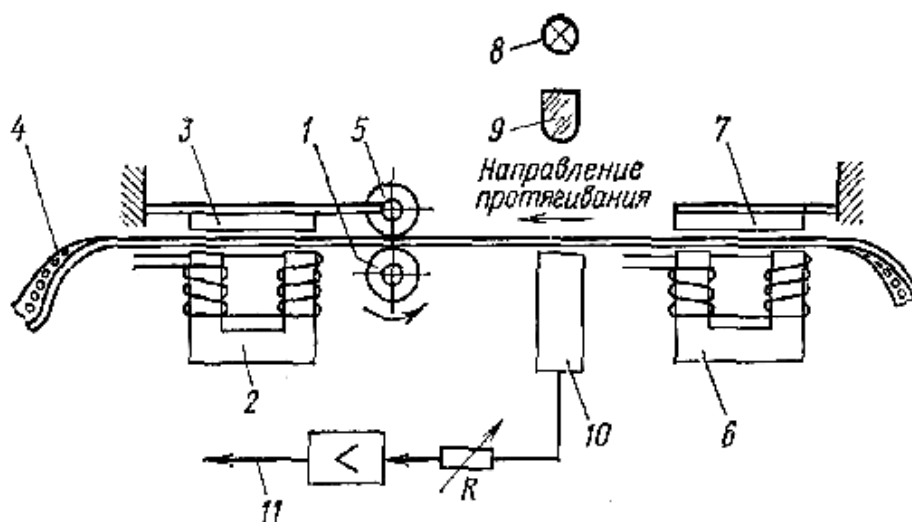


Рис. 3.53. Схема типового фотосчитывающего устройства

Логическая схема управления типового ФСУ (рис. 3.54) обеспечивает выдачу до восьми информационных сигналов по соответствующим каналам, а также выдает синхроимпульсы *СИ*, получаемые с транспортной (ведущей) дорожки перфоленты. При поступлении стартового сигнала от устройства управления он устанавливает в единицу триггер готовности *T*, и его выход снимает сигнал готовности для того, чтобы устройство управления не выдало сигнал на повторный пуск ФСУ. Этот же выход триггера включает транспортный магнит *ТМ*. Обмотка этого магнита входит в схему блокинг-генератора, включенного на напряжение 25 вольт, обеспечивающий мощный импульс тока в первый момент включения магнита. После того как импульс тока, созданный блокинг-генератором, закончился, ток,

В первом режиме работы для считывания каждой строки требуется отдельный сигнал. При этом остановка ленты происходит только в том случае, если в строке была полезная информация. Если на перфоленте имеются только отверстия транспортной дорожки, то лента будет двигаться до появления пробивки на какой-либо информационной дорожке. При этом продолжительность полезной информации определяется длительностью сигнала, создаваемого от-



173

верстиями транспортной дорожки. При остановке ленты опять возникает сигнал готовности. Во втором режиме работы ФСУ выполняет считывание информации, построчно останавливаясь после каждого отверстия транспортной дорожки независимо от того, есть ли полезная информация в данной строке. В третьем режиме работы ФСУ выполняет считывание информации при непрерывном движении перфоленты с номинальной скоростью до поступления сигнала останова, получаемого от устройства управления при появлении на ленте знака «Конец кадра» или «Конец программы».

Рассмотренная логическая схема ФСУ обеспечивает возможность переключения на 5, 6 и 7 каналов посредством переключателя $K6$, что позволяет использовать другие коды. Например, наиболее распространенным в США является код EIA, использующий только шесть дорожек. Пятая дорожка служит для осуществления контроля на нечетность пробивок в каждой строке. Восьмая дорожка – для обозначения конца кадра. С помощью этого кода можно закодировать 63 символа, что достаточно для систем ЧПУ. В ряде зарубежных систем ЧПУ применяют код ASCII, обеспечивающий возможность кодирования 127 символов, т.е. столько же, сколько в коде ISO-7 bit.

Первый режим работы обеспечивается за счет трехвходовой сборки (элемент ИЛИ с тремя входами), обозначенной G , которая при наличии трех сигналов – стартового, информационного и синхронизирующего – запирается. В результате на выходе сборки G возникает сигнал, который через цепочку инверторов и переключатель $K3$ сбрасывает в нуль триггер готовности T . Второй режим обеспечивается за счет заземления с помощью этого переключателя средней шины сборки G , что эквивалентно непрерывной подаче информационных импульсов на эту сборку от схем совпадения (элементов И). Третий режим обеспечивается тем, что триггер готовности может сбрасываться в нуль только внешним сигналом останова.

Схема, представленная на рис. 3.55, иллюстрирует магнитную запись и ее считывание.

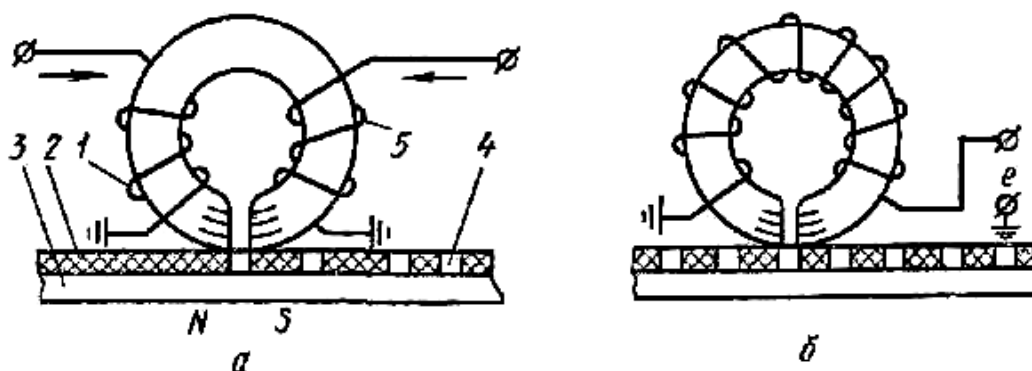


Рис. 3.55. Магнитная запись и ее считывание

Когда через обмотку 1 записывающей головки (рис. 3.55, *а*) проходит импульс постоянного тока, на ферромагнитном слое 2 ленты 3 возникают штрихи 4 поперечного намагничивания. При пропускании тока по обмотке 5 изменяется направление намагничивания и на ленте появляется штрих противоположной полярности. Запись обладает большой стойкостью. Она практически не изменяется под влиянием времени и колебаний температуры. Запись можно стирать, питая обмотку переменным током, и наносить снова.

При протягивании магнитной ленты с записью под считывающей головкой (рис. 3.55, *б*), магнитный поток в сердечнике головки резко изменяется, когда под ней проходит штрих поперечного намагничивания. Изменение потока вызывает в обмотке головки появление импульса ЭДС, которая далее в электронном блоке усиливается и преобразуется в управляющий сигнал.

Программа, записанная на магнитной ленте, может быть проверена на электронно-лучевых дисплеях и на специальных экранах графопостроителей, представляющих собой автоматические чертежные приборы, снабженные следящими приводами. Такие приборы в нужном масштабе вычерчивают запрограммированный контур.

3.6.2. Блоки ввода информации в запоминающее устройство

Управляющая информация с устройства считывания программы (УСП) вводится в запоминающее устройство (ЗУ) для дальнейшего ее использования. Функциональные схемы ввода информации при записи ее фиксированным кадром и при адресной записи приведены на рис. 3.56. Коммутаторы *К* предназначены для распределения сигналов, поступающих с УСП, по соответствующим элементам ЗУ.

При вводе информации, записанной фиксированным кадром, перфолента строка за строкой проходит через УСП. На приведенной схеме (рис. 3.56, *а*) в двоично-десятичном коде в той последовательности, в которой она была записана на перфоленте, переносится с помощью коммутатора в ячейки памяти. При этом кодовые комбинации поступают на все запоминающие устройства ЗУ, но благодаря работе коммутатора и использования в схеме элементов *И* информация будет введена лишь в те ячейки памяти (триггеры), к которым она относится. В данном примере сначала для координаты *X* значения тысяч, потом сотен, десятков, единиц, а затем в той же последовательности для координаты *Y*.

Схема ввода информации при адресной системе (рис. 3.56, б) отличается тем, что каждое ЗУ, имеющее свой адрес, снабжается коммутатором K , обеспечивающим запись фиксированной последовательности десятичных чисел, записываемых на перфоленте после соответствующего адреса. Поиск нужного ЗУ осуществляется адресным дешифратором $АД$ и логическими элементами $И$ с синхронизацией подачи сигнала от транспортной дорожки ленты.

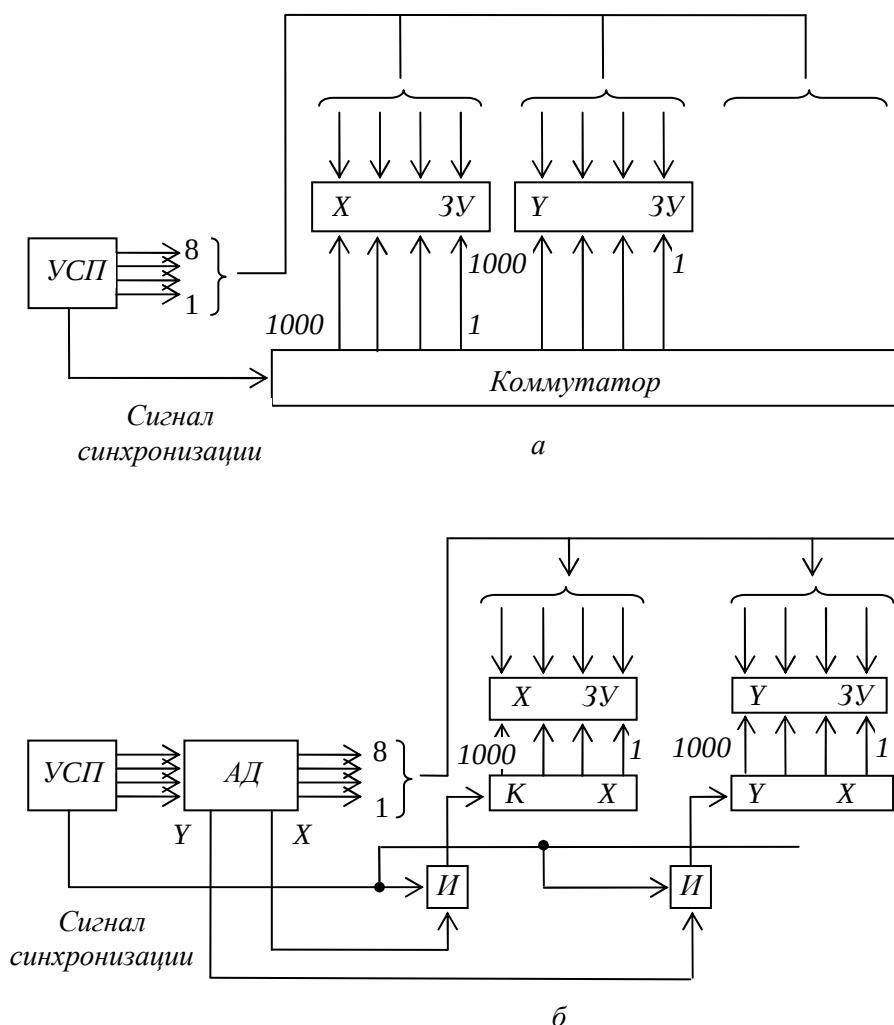


Рис. 3.56. Функциональные схемы ввода информации в блок памяти:
 а – для фиксированного кадра; б – для адресной системы кодирования

После записи в ЗУ блока информации она может поступить на станок для параллельной обработки. При этом все элементы памяти опрашиваются и с их выходов снимаются сигналы 0 или 1. Во время обработки станком одного блока информации происходит считывание с перфоленты следующей фразы, причем эта новая информация поступает в аналогичную схему второго комплекта ЗУ (в схемах не показано). После очередной обработки фразы все триггеры принимают состояние 0.

3.6.3. Интерполяторы

В параграфе, посвященном геометрической задаче, рассмотрена общая стратегия управления следящими приводами подач при обработке плоского контура в прямоугольной системе координат. Там же приведено кодированное описание элементарных участков (прямой, непараллельной осям координат, и дуги окружности), ограниченных опорными точками, в виде двух рабочих кадров управляющей программы. Информация рабочих кадров укрупнено описывает геометрическую задачу, но ничего не говорит о вариантах ее решения.

Рассмотрим ставшее классическим решение задачи. Предположим, что произведена линейная аппроксимация (рис. 3.57) криволинейного контура ломаной линией, состоящей из линейных отрезков L . При подготовке управляющей программы линейные отрезки L заменяют приращениями координат Δx_i и Δy_i . Эти приращения выражают количеством импульсов P_{xi} и P_{yi} , которые должны быть поданы в приводы подач станка по соответствующим координатам для получения перемещений Δx_i и Δy_i :

$$P_{xi} = \Delta x_i / \partial x_i; P_{yi} = \Delta y_i / \partial y_i,$$

Где ∂x_i и ∂y_i – цена (дискретность) импульсов по координатам соответственно X и Y .

Величины P_{xi} и P_{yi} кодируются на перфоленте.

Реализация рассмотренной задачи осуществляется специальным блоком, называемым интерполятором.

Интерpolator – это вычислительное устройство, которое по координатам начальной и конечной точки участка обрабатываемого контура рассчитывает координаты промежуточных точек внутри этого участка. Работая по программе, интерpolator вырабатывает последовательности импульсов (унитарный код). При этом за одно и тоже время по координате X будет выдано P_{xi} импульсов, а по координате Y – P_{yi} импульсов. В итоге инструмент будет перемещаться по ступенчатой траектории, близкой к линейному отрезку. Причем начальная и конечная точки этой траектории совпадут с соответствующими точками линейного отрезка, т. е. с опорными точками.

При выборе опорных точек необходимо учитывать величину получаемой огранки σ , значение которой не должно превышать 15 % от допуска на размер.

На рис. 3.58 приведена упрощенная блок-схема линейного двухкоординатного интерполятора, построенного на основе двоичных умножителей. С устройства ввода информации UB в регистры памяти P_{xi} и P_{yi} ,

построенные по двоичному принципу, вводятся коды приращений координат, а в устройство управления УГ генератором эталонных импульсов ГИ вводится информация, определяющая требуемое время отработки информации по прямой L , определяемое из выражения: $t_{omp} = L/s$, где s – установленная скорость подачи инструмента.

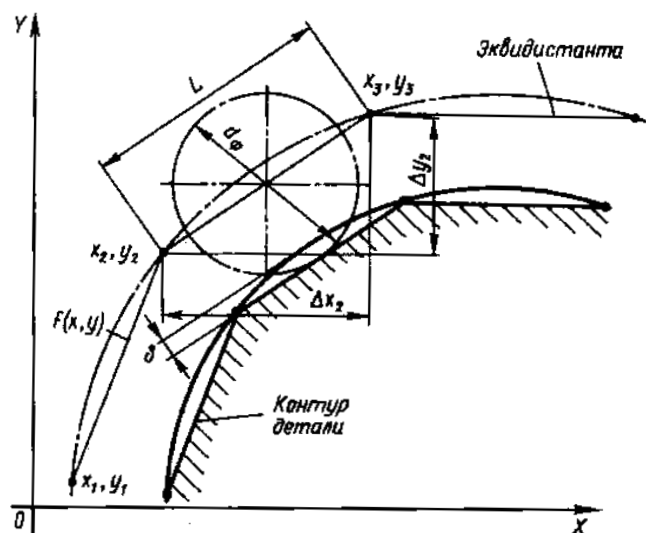


Рис. 3.57. Аппроксимация криволинейного контура

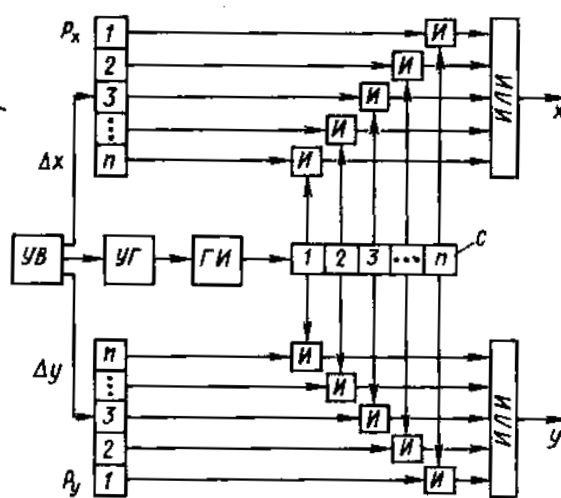


Рис. 3.58. Упрощенная блок-схема линейного интерполятора

Во время отработки каждого кадра программы двоичный счетчик C заполняется импульсами, поступающими от $ГИ$. В моменты совпадения кодов «1» в соответствующих разрядах двоичного счетчика и регистрах памяти P_{xi} и P_{yi} , соединенных между собой поразрядно схемами совпадения $И$, со схем сложения $ИЛИ$ по координатам x и y будут выдаваться управляющие импульсы.

Основной недостаток линейных интерполяторов – сложный и трудоемкий процесс программирования. Поэтому в современных системах используют более сложные линейно-круговые интерполяторы, содержащие проблемно-ориентированное вычислительное устройство, работающее по определенному алгоритму (или алгоритмам), и осуществляющие как линейную, так и круговую интерполяцию.

По принципу работы наиболее распространены метод интерполяции с оценочной функцией (на основе решения алгебраических уравнений) и метод цифровых дифференциальных анализаторов (на основе решения дифференциальных уравнений).

Рассмотрим метод линейной интерполяции с оценочной функцией с раздельными шагами по координатам. Пусть в относительной системе координат начало интерполируемого отрезка и начальная точка траектории интерполяции находятся в начале координат (рис. 3.59, а). Если координаты промежуточной точки траектории интерполяции обозначить $X_i Y_j$, то уравнение интерполируемого отрезка прямой может быть представлено в виде $Y_j / X_i = Y_k / X_k$, или $Y_j X_k - X_i Y_k = 0$.

Выражение $F_{ij} = Y_j X_k - X_i Y_k$ называют оценочной функцией.

Выше интерполируемой прямой $F = F_{ij} > 0$, ниже $F < 0$, на самой интерполируемой прямой $F = 0$.

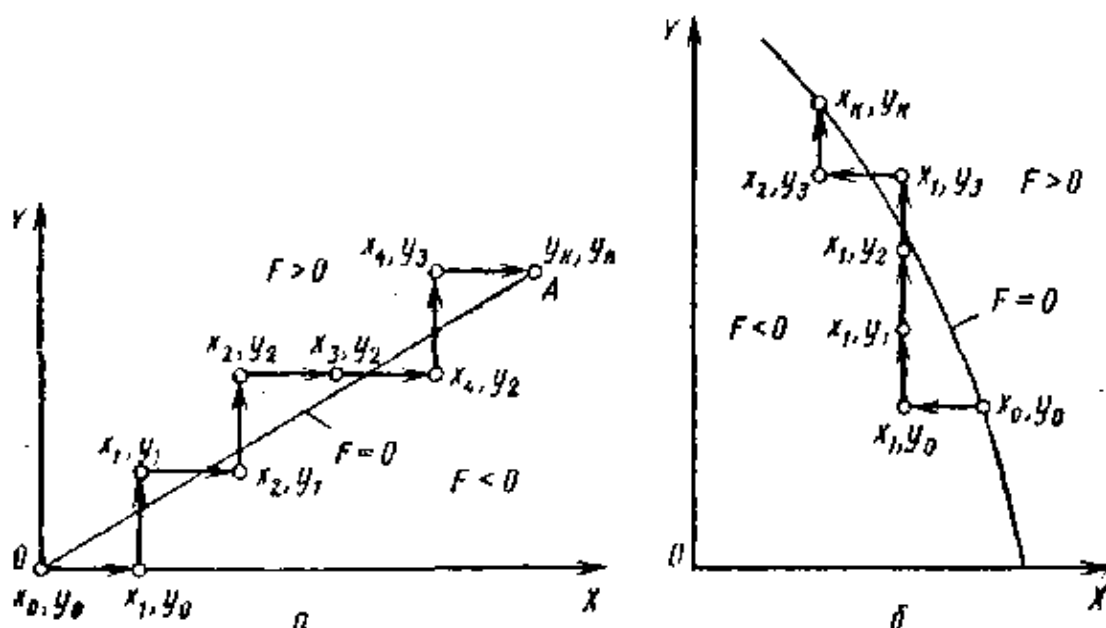


Рис. 3.59. Линейно-круговая интерполяция по методу оценочной функции:
а – интерполяция прямой; б – интерполяция дуги окружности

Таким образом, понятие оценочной функции непосредственно связано с алгебраическим уравнением интерполируемого отрезка.

После каждого шага величиной в одну дискрету интерполятор вычисляет значение оценочной функции и выдает импульс по той из осей, движение по которой приближает инструмент к интерполируемому отрезку. Следовательно, если промежуточная точка с координатами $X_i Y_j$ находится в области $F \geq 0$, шаг на одну дискрету осуществляется по оси X. Если же эта точка находится в области $F < 0$, управляющий импульс выдается по оси Y. Интерполяция продолжается до тех пор, пока траектория инструмента в виде дискретных шагов не достигнет конца интерполируемого отрезка.

При шаге по оси X из точки $X_i Y_j$ ее абсцисса увеличивается на единицу. Тогда:

$$X_{i+1} = X_i + 1;$$

$$F_{i+1,j} = Y_j X_k - X_{i+1} Y_k = Y_j X_k - (X_i + 1) Y_k = Y_j X_k - X_i Y_k - Y_k = F_{i,j} - Y_k. \quad (3.1)$$

При шаге по оси Y из точки $X_i Y_j$ ордината точки увеличивается на единицу. Тогда:

$$Y_{j+1} = Y_j + 1;$$

$$F_{ij+1} = Y_{j+1} X_k - X_i Y_k = (Y_j + 1) X_k - X_i Y_k = Y_j X_k - X_i Y_k + X_k = F_{ij} + X_k. \quad (3.2)$$

Так как начальное значение оценочной функции равно нулю, из зависимостей 3.1 и 3.2 следует, что во всех промежуточных точках ее значение определяется величинами X_k и Y_k конечной точки интерполируемого отрезка.

Круговую интерполяцию с раздельными шагами по координатам рассмотрим на примере отработки дуги окружности радиуса R с центром в начале координат, расположенной в первом квадранте (рис. 3.59, б). Интерполяция производится против часовой стрелки от точки с координатами $X_o Y_o$, к конечной точке $X_k Y_k$ интерполируемой дуги.

Оценочная функция промежуточной точки $X_i Y_j$ интерполируемой дуги окружности определяется на основе алгебраического уравнения окружности и имеет вид:

$$F_{ij} = X_i^2 + Y_j^2 - R^2.$$

Вне окружности $F = F_{ij} > 0$, внутри окружности $F < 0$, на самой окружности $F = 0$.

Из точки $X_o Y_o$ первый шаг делается по оси X в направлении «минус», следующий шаг – по оси Y . Если в дальнейшем промежуточная точка находится в области $F \geq 0$, следующий шаг делается по оси X , в области $F < 0$ – по оси Y .

При шаге по оси X абсцисса точки уменьшается на единицу, а при шаге по оси Y ордината увеличивается на единицу:

$$X_{i+1} = X_i - 1; \quad Y_{j+1} = Y_j + 1.$$

При этом:

$$F_{i+1,j} = X_{i+1}^2 + Y_j^2 - R^2 = (X_i - 1)^2 + Y_j^2 - R^2 =$$

$$= X_i^2 - 2X_i + 1 + Y_j^2 - R^2 = F_{ij} - 2X_i + 1. \quad (3.3)$$

$$F_{i,j+1} = X_i^2 + Y_{j+1}^2 - R^2 = X_i^2 + (Y_j + 1)^2 - R^2 =$$

$$= X_i^2 + 2Y_j + 1 + Y_j^2 - R^2 = F_{ij} + 2Y_j + 1. \quad (3.4)$$

Из зависимостей 3.3 и 3.4 следует, что значение оценочной функции во всех промежуточных точках определяются текущими значениями траектории интерполяции. Погрешность интерполяции не превышает одного шага.

Схема двухкоординатного линейно-кругового интерполятора (рис. 3.60) имеет пять полноразрядных регистров, в четыре из которых вводят координаты начальной и конечной точек x_n, y_n, x_k, y_k . Когда интерполируют прямую, $x_n = 0; y_n = 0$. Когда интерполируют дугу окружности, x_n, y_n, x_k, y_k — координаты начальной и конечной точек обработки относительно центра дуги.

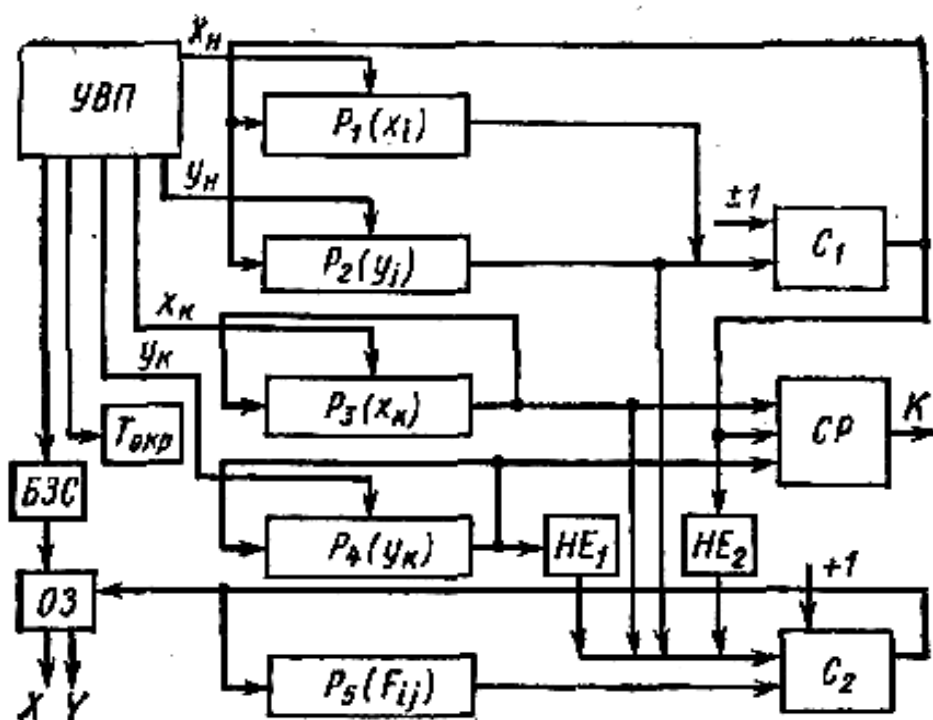


Рис. 3.60. Функциональная схема линейно-кругового интерполятора, работающего по методу оценочной функции

В регистрах P_1, P_2 хранятся значения текущих координат, равных перед началом работы x_n, y_n . Регистры P_3, P_4 непрерывно хранят значения конечных координат. Регистр P_5 хранит промежуточные значения оценочной функции, причем в начале работы $F_{00} = 0$. При отработке прямой в сумматоре C_1 при $F_{ij} \geq 0$ содержимое регистра P_1 складывается с единицей и сумма $x_{i+1} = x_i + 1$ опять возвращается в регистр. В сумматоре C_2 происходит алгебраическое сложение содержимого регистров — в данном случае P_5 и P_4 . Алгебраическая сумма $F_{i+1,j} = F_{ij} - y_k$ подается в регистр P_5 .

Блок *CP* сравнивает текущее значение координаты с конечным. Когда эти значения совпали, по обеим осям координат, подается сигнал *K* конца отработки кадра и вводятся от программы данные нового участка траектории обработки. В зависимости от знака оценочной функции блок оценки знака (*ОЗ*) выдает импульсы в блоки управления приводами осей координат *X* или *Y*.

При обработке окружности включается триггер $T_{окр}$, изменяющий режим работы интерполятора. В этом случае при $F \geq 0$ в сумматоре C_1 происходит вычитание единицы из содержимого регистра P_1 и определяется $x_{i+1} = x_i - 1$.

В сумматоре C_2 из содержимого P_5 вычитается удвоенное содержимое P_1 и к разности прибавляется единица. При этом определяется очередное значение оценочной функции, хранящейся в P_5 :

$$F_{i+1,j} = F_{ij} - 2x_i + 1.$$

Блок *CP* сравнивает значения $x_i + 1$ с x_k .

При $F < 0$ содержимое P_2 в сумматоре C_1 суммируется с единицей. Сумма $y_{j+1} = y_j + 1$ после этого возвращается в P_2 . Содержимое P_5 суммируется в C_2 с единицей и удвоенным значением содержимого P_2 и определяется:

$$F_{i,j+1} = F_{ij} + 2y_j + 1.$$

Блок *CP* сравнивает y_{j+1} с y_k . Блок задания скорости (*БЗС*) устанавливает нужную частоту интерполятора и, следовательно, заданную скорость подачи.

Применение цифровых дифференциальных анализаторов (*ЦДА*) основано на приближении:

$$\int_{t_0}^{t_n} x dt \approx \Delta t \sum_{i=0}^{n-1} x_i, \text{ где } \Delta t = \frac{t_n - t_0}{n}.$$

Интегратор *ЦДА* состоит из двух регистров и управляемого сумматора (рис. 3.61). Импульсом Δt содержимое регистра *A* (величина x) переносится в регистр *B*, что соответствует умножению $\Delta t x$. При заполнении регистра *B* возникает перенос Δy . Начальное значение x_0 предварительно устанавливается в регистр *A*. Сочетание нескольких интеграторов обеспечивает решение задачи интерполяции отрезка прямой и окружности, произвольно расположенной в пространстве.

Для движения по отрезку прямой *L* с постоянной результирующей скоростью v получим (рис.3.62, а):

$$v_x = \frac{dx}{dt} = v \cos \alpha; \quad \frac{\Delta x}{\Delta t} \approx v_x = \frac{v}{L} x_L; \quad \Delta x \approx \frac{v}{L} x_L \Delta t;$$

$$v_y = \frac{dy}{dt} = v \cos \beta; \quad \frac{\Delta y}{\Delta t} \approx v_y = \frac{v}{L} y_L; \quad \Delta y \approx \frac{v}{L} y_L \Delta t;$$

$$v_z = \frac{dz}{dt} = v \cos v; \quad \frac{\Delta z}{\Delta t} \approx v_z = \frac{v}{L} z_L; \quad \Delta z \approx \frac{v}{L} z_L \Delta t,$$

где $\cos \alpha = \frac{x_L}{L}$; $\cos \beta = \frac{y_L}{L}$; $\cos v = \frac{z_L}{L}$.

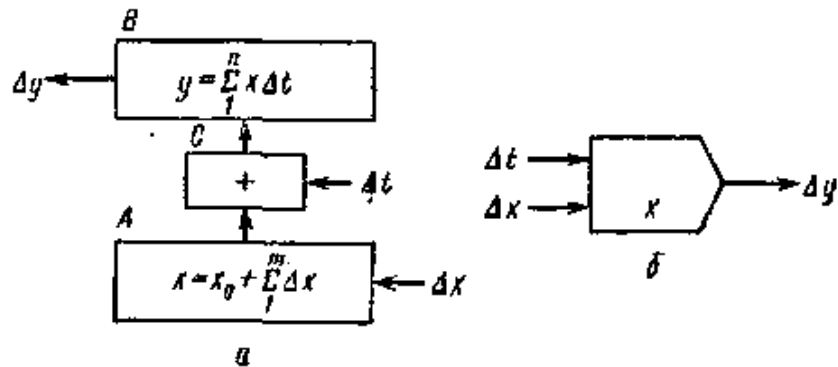


Рис. 3.61. Функциональная схема интегратора ЦДА:
а – структурная схема; б – схемное обозначение

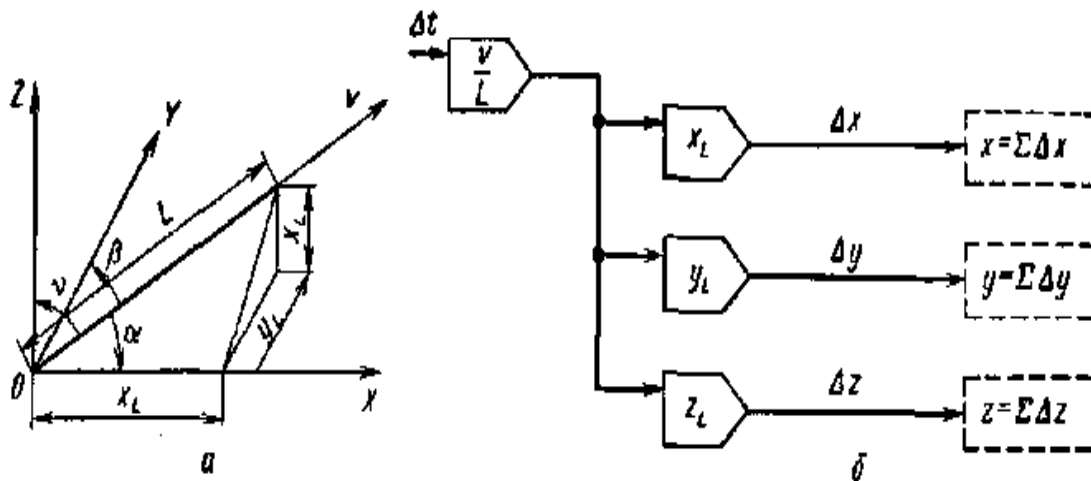


Рис. 3.62. Линейная интерполяция по методу ЦДА:
а – отрезок прямой в пространстве; б – блок-схема интерполятора

Эта система уравнений решается интеграторами по схеме рис. 3.62, б. Конец интерполяции определяется по сопоставлению выданного числа импульсов с величинами x_L , y_L , z_L , хранящимися в памяти устройства.

Окружность в пространстве, образованная пересечением сферы K с плоскостью E , может быть задана уравнением радиус-вектора $\bar{R}$ (рис. 3.63, *a*). Вектор скорости движения по окружности определится векторным произведением угловой скорости на вектор $\bar{R}$:

$$\bar{v} = \vec{\omega} \bar{R} = \begin{vmatrix} i & j & k \\ \omega_x & \omega_y & \omega_z \\ x_R & y_R & z_R \end{vmatrix},$$

где $|\omega_x| = \cos \alpha_E$; $|\omega_y| = \cos \beta_E$; $|\omega_z| = \cos \nu_E$; x_R, y_R, z_R — проекции вектора $\bar{R}$ на оси координат.

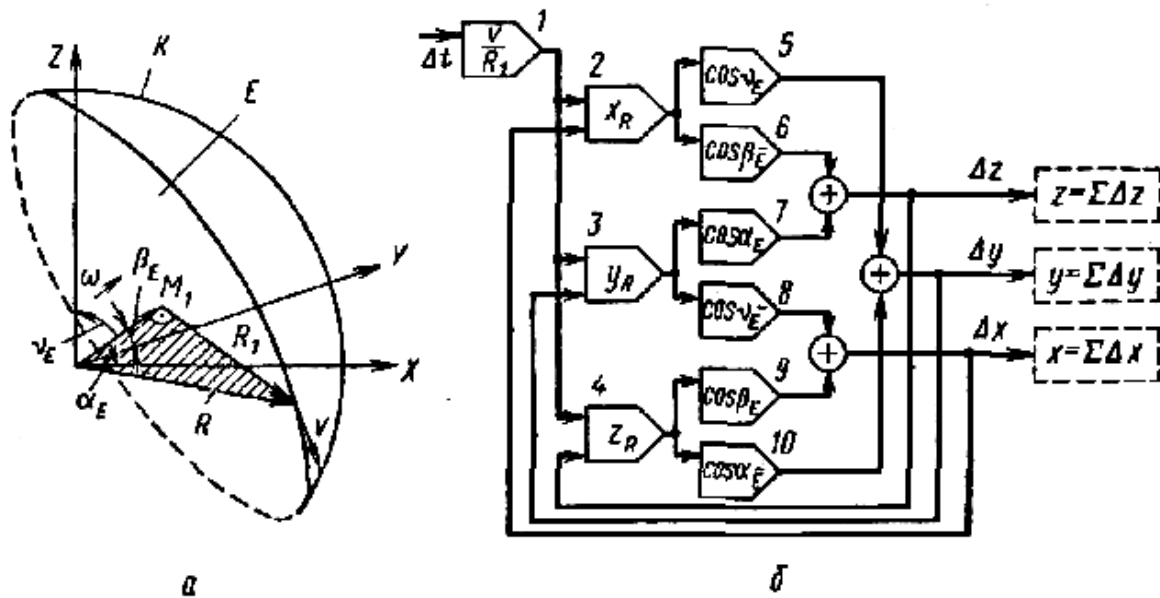


Рис. 3.63. Круговая интерполяция по методу ЦДА:
a — окружность в пространстве; *б* — блок-схема интерполятора

Для окружности в плоскости E с радиусом R_1 получим следующую систему уравнений при движении с постоянной скоростью $v = \omega R_1$:

$$\begin{aligned} \frac{\Delta x}{\Delta t} &\approx v_x = \frac{v}{R_1} (\cos \beta_E z_R - \cos \nu_E y_R); \\ \frac{\Delta y}{\Delta t} &\approx v_y = \frac{v}{R_1} (\cos \nu_E x_R - \cos \alpha_E z_R); \\ \frac{\Delta z}{\Delta t} &\approx v_z = \frac{v}{R_1} (\cos \alpha_E y_R - \cos \beta_E x_R). \end{aligned}$$

Эта система уравнений решается ЦДА по блок-схеме на рис. 3.63, б. Начальные значения вектора $\bar{R}$ по координатным осям устанавливаются в блоках памяти ЦДА. Трехкоординатная интерполяция является частным случаем объемной сферической интерполяции.

Если окружность лежит в плоскости $X - Y$, то $v_E = 0$, и система уравнений и схема интерполятора (рис. 3.64, а) упрощается:

$$\frac{\Delta x}{\Delta t} \approx v_x = -\frac{v}{R_1} y_R = -\omega y_R;$$

$$\frac{\Delta y}{\Delta t} \approx v_y = \frac{v}{R_1} x_R = \omega x_R.$$

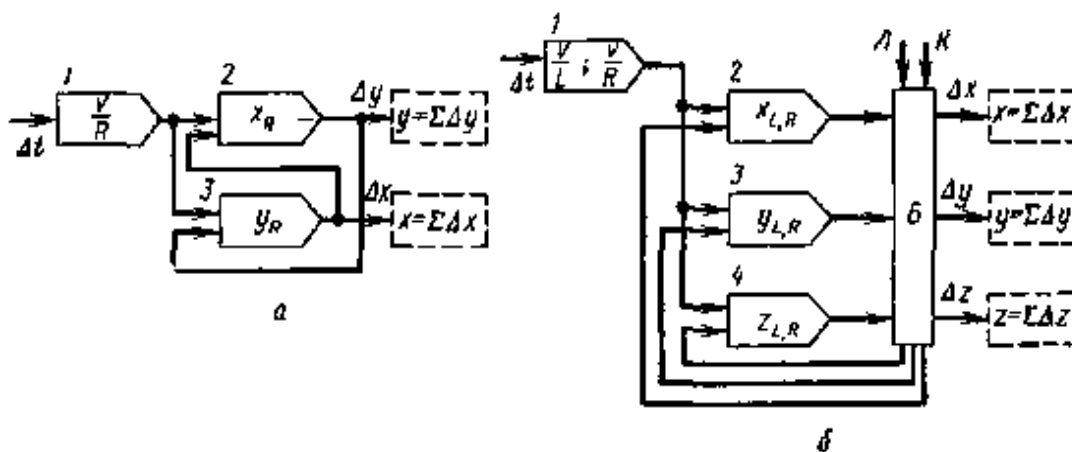


Рис. 3.64. Блок-схемы интерполяторов по методу ЦДА:

а – схема интерполятора в плоскости $X - Y$; б – линейно-круговой интерполятор

Объемная линейная и плоскостная круговая интерполяция могут выполняться общей схемой с определенными логическими переключениями (рис.3.64, б). Эти переключения осуществляются логическим блоком B по управляющим сигналам L (линейная интерполяция) и K (круговая интерполяция).

При выполнении интерполятора на основе ЦДА обеспечивается постоянство контурной скорости независимо от формирования движения приводом одной или нескольких координат одновременно. В устройствах с интерполяцией методом оценочной функции контурная скорость при переходе от одной координаты к двум или трем изменяется в отношении $1:\sqrt{2}$ и $1:\sqrt{3}$.

3.6.4. Синхронная следящая система

В современном машиностроении основным методом профилирования зубчатых и червячных колес, зубчатых секторов и реек, шлицевых валов является метод обката. В зубообра-

батывающих станках этот метод осуществляется станочным зацеплением, имитирующем в зависимости от вида режущего инструмента зацепление пары зубчатых колес, червячной или зубчато-реечной передачи. Воспроизводится станочное зацепление группой обката, у которой внутренняя связь (цепь обката) функционально связывает исполнительные органы группы, несущие инструмент и обрабатываемую заготовку. В станках с механическими связями кинематические группы, в том числе группа обката, по условиям компоновки содержат механические передачи, включая органы настройки на параметры исполнительных движений. Основным органом настройки, обеспечивающем синхронное движение исполнительных органов при заданном передаточном отношении ин-

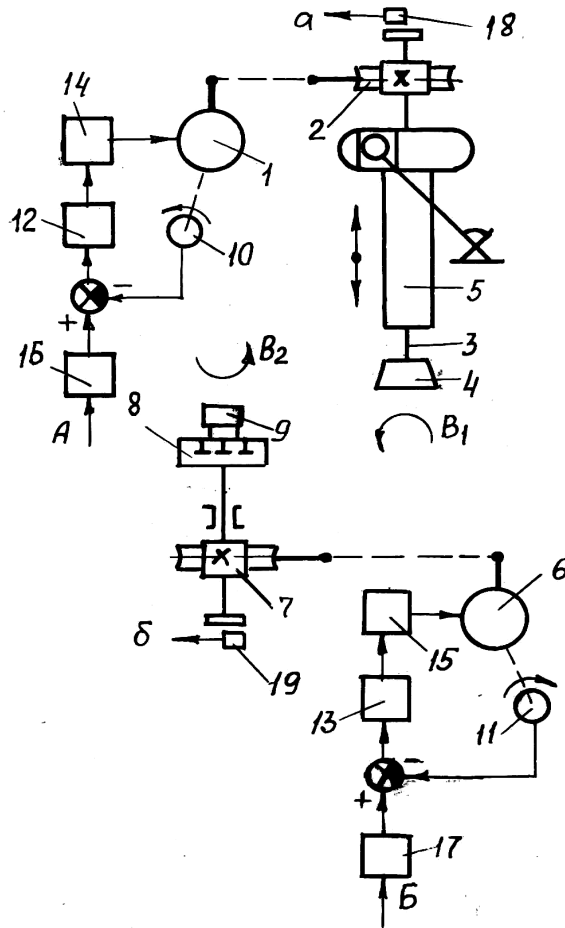


Рис. 3.65. Схема приводов зубодолбежного станка

струмент – заготовка, является гитара сменных зубчатых колес, расположенная во внутренней связи группы обката. Механические передачи этой связи являются основным источником погрешностей профиля зубчатых деталей. Поэтому на зубообрабатывающих станках с механическими связями обработка деталей более точных, чем 6-й квалитет точности, весьма проблематична. Это обстоятельство стало причиной поиска нетрадиционных технических решений на основе управляемых приводов. Техническое решение в этом направлении – замена механической внутренней связи системой отслеживающей синхронизации, выполненной по схеме задающая – ведомая координаты на базе высокомоментных управляемых электродвигателей постоянного тока и типовых интегральных схем. Рассмотрим одну из модифи-

каций такого решения на примере зубодолбежного станка. Электродвигатель 1 (рис. 3.65) задающей координаты посредством червячной передачи 2 соединен со шпинделем 3, несущим долбяк 4. Шпиндель 3 смонтирован в гильзе 5, совершающей при работе станка поступательно-возвратное движение скорости резания, воспроизводящее линию зуба, обрабатываемого колеса. Электродвигатель 6 ведомой координаты посредством червячной передачи 7 соединен с делительным столом 8, на котором устанавливают заготовки 9 нарезаемых зубчатых колес. В качестве электродвигателей 1 и 6 используются высокомоментные машины постоянного тока. В электродвигатели 1 и 6 встроены тахогенераторы 10 и 11, являющиеся датчиками обратной связи по скорости. Выходы тахогенераторов 10 и 11 соединены с входами регуляторов скорости соответственно 12 и 13. Возможны также контуры регулирования по току якоря. В этом случае регуляторы тока размещаются между регуляторами скорости 12 и 13 и усилителями мощности соответственно 14 и 15. На входах схем управления электродвигателей 1 и 6 установлены также регуляторы положения соответственно 16 и 17. В качестве регуляторов скорости используются типовые *ПИИ*-регуляторы, а в качестве регуляторов положения – типовые *ПИ*-регуляторы.

В качестве источника энергии для электродвигателя задающей координаты используется задатчик (на схеме не показан), выполненный в виде делителя напряжения, соединенного с входом регулятора положения 16 задающей координаты.

Связь шпинделя 3 (задающая координата) и делительного стола 8 (ведомая координата) с системой синхронизации осуществляется посредством импульсных измерительных преобразователей 18 и 19, установленных соответственно на шпинделе и делительном столе. Причем импульсный измерительный преобразователь 18 выполняет функцию датчика для делительного стола.

Схема системы отслеживающей синхронизации (рис. 3.66) содержит элемент *2И* 1, имеющий два аналоговых управляющих входа и два выхода. Вход элемента *2И* соединен с задатчиком делительного стола (импульсным измерительным преобразователем 18). Один выход этого элемента соединен с входом управляемого делителя частоты 2, а его выход – с управляемым умножителем частоты 3. Выходы делителя частоты 2 и умножителя частоты 3 объединены и соединены с входом импульсно-аналогового преобразователя 4 и первыми входами знакового дискриминатора 5 и фазового дискриминатора 6.

Вторые входы дискриминаторов 5 и 6 соединены с выходом счетчика 8, соединенного своим входом с импульсным измерительным преобразователем 19, установленном на делительном столе. Выход импульсно-аналогового преобразователя 4 соединен с первым входом сложения параллельного сумматора 7. Выход знакового дискриминатора 5 соединен с управляющими входами аналоговых ключей 10, управляемого положительным потенциалом, и 11, управляемого отрицательным потенциалом. Выход фазового дискриминатора 6 посредством импульсно-аналогового преобразователя 9 соединен с аналоговыми входами ключей 10 и 11. Выход ключа 11 соединен с вторым входом сложения параллельного сумматора 7, а выход ключа 10 – с входом вычитания этого сумматора. Выход параллельного сумматора 7 соединен с регулятором положения 17 ведомой координаты (рис. 3.65).

При наладке станка передаточное отношение долбяк – заготовка (параметр настройки «траектория») задается блоками установки коэффициента деления, или блоком установки коэффициента умножения, встроенными соответственно в управляемые делитель частоты 2 и умножитель частоты 3. Управляемые делитель частоты 2 и умножитель частоты 3 являются аналогами гитары сменных зубчатых колес, используемой во внутренней связи группы обката станка с механическими связями. Поэтому коэффициент деления или умножения вычисляется по правилам определения формулы настройки названной гитары. В общем виде:

$$i_x = c \frac{z_d}{z},$$

где i_x – коэффициент деления или умножения;

z_d – число зубьев долбяка;

z – число зубьев нарезаемого колеса;

c – коэффициент пропорциональности, зависящий от передаточных отношений червячных передач шпинделя и делительного стола.

В практике зубодолбления $z \geq cz_d \geq z$. Поэтому при $cz_d < z$ посредством элемента 2И 1 устанавливают связь импульсного измерительного преобразователя 18 с делителем частоты 2, а при $cz_d > z$ – с умножителем частоты 3. При $cz_d = z$ эта связь может устанавливаться посредством любого из этих блоков при условии установки коэффициента деления или умножения равным единице.

Круговая подача (параметр настройки «скорость») задающей координаты устанавливается посредством задания величины напряжения на выходе источника энергии электродвигателя этой координаты.

Схема отслеживающей синхронизации работает следующим образом. При включении электродвигателя 1 шпиндель 3 получает движение круговой подачи B_1 . Одновременно импульсный измерительный преобразователь 18 вырабатывает сигнал с частотой, пропорциональной круговой подаче B_1 . Этот сигнал через элемент $2И1$ поступает или на вход делителя частоты 2, или на вход умножителя частоты 3, где происходит его или деление, или умножение в соответствии с заданным коэффициентом. Сигнал с объединенного выхода делителя 2 и умножителя 3 частоты преобразуется в импульсно-аналоговом преобразователе 4 в напряжение, пропорциональное частоте входного сигнала, и с его выхода поступает на первый вход сложения параллельного сумматора 7. С выхода этого сумматора задающий сигнал поступает через регулятор положения 17, регулятор скорости 13 и усилитель мощности 15 на электродвигатель 6, который посредством червячной передачи 7 сообщает движение круговой подачи B_2 делительному столу 8. В результате такого прохождения сигнала от задающей координаты (шпинделя) к ведомой координате (делительному столу) обеспечивается профилирование зубьев нарезаемого колеса сложным двухэлементарным движением обката B_1B_2 .

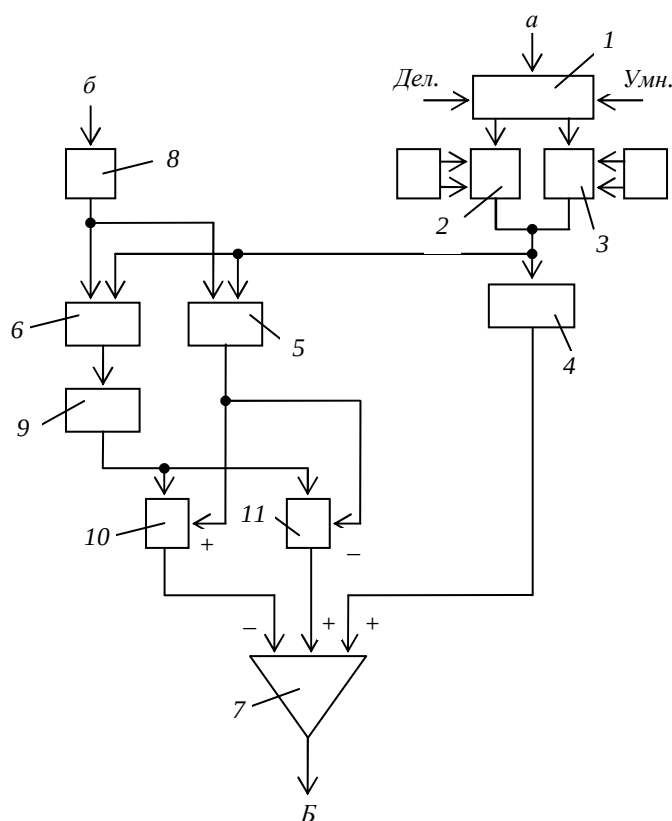


Рис. 3.66. Устройство отслеживающей синхронизации приводов по схеме задающая – ведомая координаты

Одновременно осуществляется коррекция задающего сигнала, действующего на выходе параллельного сумматора 7, обеспечивающая устранение девиации механики ведомой координаты. На вход счетчика 8 поступает с импульсного измерительного преобразователя 19 импульсный сигнал – аналог круговой подачи движения B_2 делительного стола. Этот сигнал с выхода счетчика 8 поступает на вторые входы знакового 5 и фазового 6 дискриминаторов, у которых на первых входах действует задающий сигнал с объединенного выхода делителя 2 и умножителя 3. В результате сравнения сигналов на выходе знакового дискриминатора образуется отрицательный потенциал при отставании делительного стола от заданного значения и положительный потенциал при его опережении. Этот потенциал поступает на управляющие входы ключей 10 и 11. Одновременно на выходе фазового дискриминатора образуется сигнал абсолютной погрешности, который после преобразования в аналоговую форму в импульсно-аналоговом преобразователе 9 поступает на аналоговые входы ключей 10 и 11. Этот сигнал поступает на параллельный сумматор 7 через один из ключей в зависимости от знака управляющего воздействия. При отставании делительного стола сигнал абсолютной погрешности поступает через ключ 11 на второй вход сложения параллельного сумматора, а при опережении этот сигнал поступает через ключ 10 на вход вычитания этого сумматора. В итоге в параллельном сумматоре происходит в зависимости от знака погрешности увеличение или уменьшение управляющего сигнала ведомой координаты, т. е. происходит его непрерывная, двухсторонняя коррекция относительно номинального значения.

Возможна также синхронизация приводов шпинделя и делительного стола, работающая по схеме равнозначных управляемых координат (рис. 3.67). Общим задатчиком для обеих координат – шпинделя и делительного стола – является генератор 1 эталонной частоты, соединенный с входами двух делителей частоты, из которых один состоит из счетчика 2 и блока 3 установки коэффициента деления, а другой - из счетчика 4 и блока 5 установки коэффициента деления.

Выход счетчика 2 соединен с входом импульсно-аналогового преобразователя 6 и первыми входами знакового дискриминатора 7 и фазового дискриминатора 8. Вторые входы обоих дискриминаторов соединены с импульсным измерительным преобразователем 18, установленном на шпинделе (рис. 3.65). Выход импульсно-аналогового преобразователя 6 соединен с первыми входами сложения параллельного сумматора 9. Выход знакового дискриминатора 7 соединен с управляющими входами аналого-

вых ключей 10 и 11, управляемых соответственно отрицательным и положительным потенциалами. Выход фазового дискриминатора 8 через импульсно-аналоговый преобразователь 12 соединен с аналоговыми входами ключей 10 и 11. Выход ключа 10 соединен с вторым входом сложения параллельного сумматора 9, а выход ключа 11 – с входом вычитания этого сумматора. Выход параллельного сумматора 9 соединен с входом регулятора положения 16 электродвигателя 1 привода круговой подачи шпинделя.

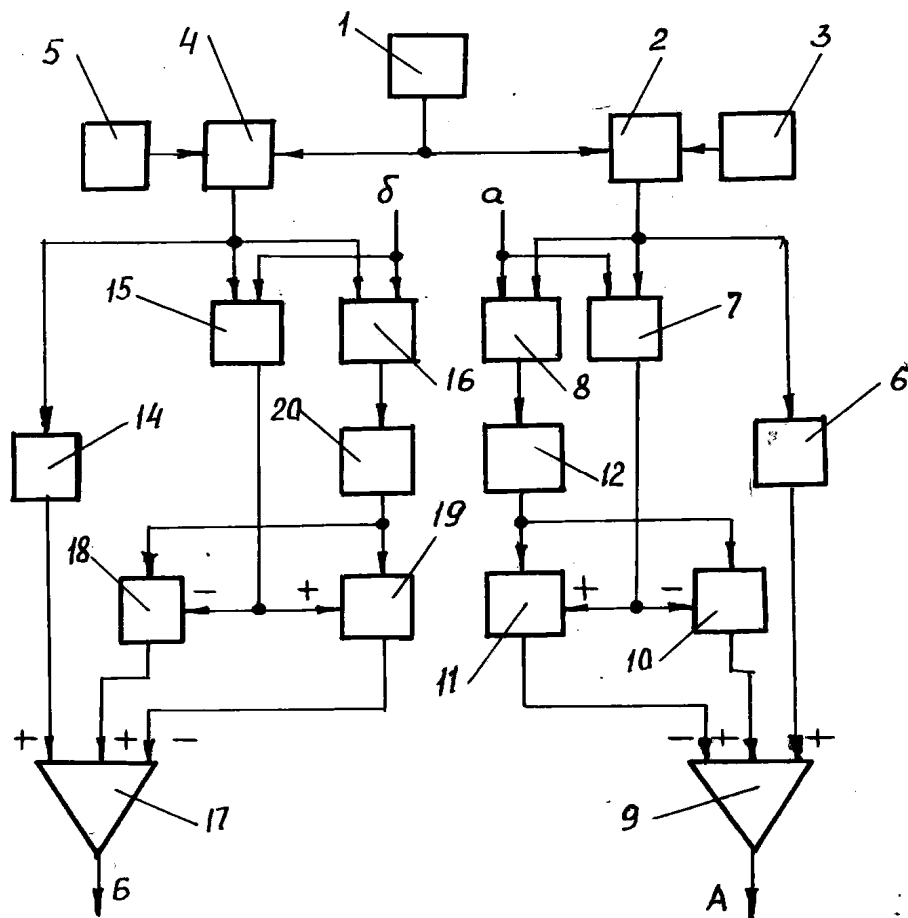


Рис. 3.67. Отслеживающая синхронизация исполнительных органов по схеме равнозначных координат

Выход счетчика 4 соединен с входом импульсно-аналогового преобразователя 14 и первыми входами знакового дискриминатора 15 и фазового дискриминатора 16. Вторые входы этих дискриминаторов соединены с импульсным измерительным преобразователем 19, установленном на делительном столе (рис. 3.65). Выход импульсно-аналогового преобразователя 14 соединен с первым входом сложения параллельного сумматора 17. Выход знакового дискриминатора 15 соединен с управляющими входами аналоговых

ключей 18 и 19, управляемых соответственно отрицательным и положительным потенциалами. Выход фазового дискриминатора 16 соединен с аналоговыми входами ключей 18 и 19 посредством импульсно-аналогового преобразователя 20. Выходы ключей 18 и 19 соединены соответственно с вторым входом сложения и входом вычитания параллельного сумматора 17. Выход этого сумматора соединен с регулятором положения 17 (рис. 3.65) электродвигателя 6 привода круговой подачи делительного стола.

При наладке станка посредством изменения частоты эталонного сигнала на выходе счетчика 2 устанавливается круговая подача долбяка (параметр настройки «скорость»). Это возможно как изменением частоты генератора 1, так и установкой коэффициента деления на блоке 3. Передаточное отношение долбяк – заготовка (параметр настройки «траектория») задается установкой соотношения коэффициентов деления на блоках 3 и 5. Это соотношение определяется из выражения:

$$\frac{i_{x3}}{i_{x5}} = c \frac{z_d}{z},$$

где i_{x3} и i_{x5} – коэффициенты деления частоты эталонного сигнала, устанавливаемые на блоках 3 и 5 делителей частоты обеих координат.

Система синхронизации работает следующим образом. Генератор 1 вырабатывает эталонный высокочастотный сигнал. Этот сигнал поступает на счетчики 2 и 4 делителей частоты, в которых происходит деление этого сигнала в соответствии с коэффициентами деления, установленными на блоках 3 и 5. Сигнал с выхода счетчика 2 преобразуется в импульсно-аналоговом преобразователе 6 в напряжение, пропорциональное частоте входного сигнала, и с его выхода через первый вход сложения – выход параллельного сумматора 9 поступает на вход регулятора положения 16 электродвигателя 1 (рис. 3.59), который сообщает движение круговой подачи B_1 шпинделю, несущему долбяк. Одновременно импульсный сигнал с выхода счетчика 4 преобразуется в импульсно-аналоговом преобразователе 14 в напряжение, пропорциональное частоте на его входе, и через первый вход сложения – выход параллельного сумматора 17 поступает на вход регулятора положения 17 (рис. 3.65) электродвигателя 6, который сообщает движение круговой подачи B_2 делительному столу с заготовкой нарезаемого колеса. В итоге такого прохождения задающего сигнала от общего задатчика к обеим координатам осуществляется воспроизведение профиля зубьев сложным движением $B_1 B_2$.

Одновременно следующим образом обеспечивается устранение девиации механических систем обеих координат посредством коррекции управляющих сигналов на выходах параллельных сумматоров.

На первых входах знакового 7 и фазового 8 дискриминаторов постоянно действует эталонный импульсный сигнал с выхода счетчика 2. На вторые входы этих дискриминаторов поступает сигнал с импульсного измерительного преобразователя 18, соответствующий значению действительной круговой подачи шпинделя. В дискриминаторах оба сигнала непрерывно сравниваются. В результате на выходе знакового дискриминатора 7 появляется отрицательный или положительный потенциал соответственно при отставании или при опережении шпинделем номинального значения круговой подачи. Этот сигнал поступает на управляющие входы ключей 10 и 11. Параллельно на аналоговые входы этих ключей поступает сигнал абсолютной погрешности с фазового дискриминатора 8 через импульсно-аналоговый преобразователь 12. Сигнал абсолютной погрешности поступает на второй вход сложения параллельного сумматора 9 через ключ 10 при отставании шпинделя или на вход вычитания этого сумматора через ключ 11 при опережении шпинделем номинального значения. В итоге в параллельном сумматоре происходит коррекция задающего сигнала, действующего на его первом входе сложения.

Аналогично в знаковом дискриминаторе 15 и фазовом дискриминаторе 16 сравнивается эталонный задающий импульсный сигнал с выхода счетчика 4 и сигнал – аналог действительной круговой подачи делительного стола с импульсного измерительного преобразователя 19. Сигнал абсолютной погрешности преобразуется в аналоговую форму в импульсно-аналоговом преобразователе 20 и поступает через ключи 18 или 19 в параллельный сумматор 17 для коррекции задающего сигнала, действующего на его первом входе сложения.

Использование в кинематической структуре группы обката управляемых электродвигателей обеспечивает практически бесступенчатый ряд круговых подач, что позволяет при назначении режимов обработки оптимизировать их выбор. А непрерывный контроль мгновенного положения исполнительных органов и внесение соответствующей поправки в управляющий сигнал обеспечивает адаптацию управления по круговой частоте.

3.6.5. Датчики обратной связи

В системах ЧПУ замкнутых по положению исполнительного органа используются импульсные, кодовые и фазовые датчики обратной связи (ДОС) – измерительные преобразователи, преобразующие перемещение исполнительного органа в электрический сигнал.

Импульсные датчики (импульсные измерительные преобразователи) преобразует перемещение исполнительного органа в унитарный код, т. е. в последовательность импульсов, число которых пропорционально перемещению исполнительного органа. Они изготавливаются или в виде линеек для непосредственного измерения поступательного движения исполнительного органа, или в виде диска для измерения углового положения вала исполнительного органа.

В системах ЧПУ наибольшее распространение получили фотоэлектрические ДОС (рис. 3.68). При поступательном движении линейки или вращении диска, на которых с постоянным шагом выполнены прозрачные штрихи, меняются световые потоки от источников света *ИС1* и *ИС2*, воспринимаемые чувствительными элементами (фоторезисторами) *ЧЭ1* и *ЧЭ2*. Эти элементы преобразуют световой поток в электрические сигналы. Логическая схема формирования импульсов отработки (СФИО) формирует из этого сигнала последовательность импульсов (рис. 3.69). *ЧЭ1* и *ЧЭ2* сдвинуты относительно друг друга на расстояние $(m + \frac{1}{4}) \tau$, где τ – шаг датчика, m – целое число. Это обеспечивает чувствительность СФИО к направлению движения исполнительного органа (ИО) в зависимости от которого импульсы отработки поступают на канал 1 или 2.

Электрические сигналы с выходов *ЧЭ1* и *ЧЭ2* после усиления соответственно в *У1* и *У2* поступают на триггеры Шмидта *T1* и *T2*. На выходе этих триггеров формируются последовательности прямоугольных импульсов, соответствующие положительной полуволне входных сигналов. Эти последовательности за счет принятого расположения чувствительных элементов сдвинуты относительно друг друга на $\frac{1}{4}$ периода их следования. На выходах дифференцирующих цепей *ДЦ1* и *ДЦ2* формируются короткие импульсы в моменты изменения логического сигнала на выходах триггера *T2* с нуля на единицу. Поскольку импульсы на выходе схемы совпадения *И1* могут появиться только тогда, когда на ее входах существуют единичные сигналы с *ДЦ2* и *T1*, то импульсы на выходе *И1* появляются только при условном направлении движения «Вперед», а на выходе схемы совпадения *И2* – только при условном направлении «Назад».

В современных растровых импульсных измерительных преобразователях, у которых линейка или диск выполнен на основе дифракционных решеток на одном сантиметре маски размещается несколько тысяч светопропускающих штрихов. Это обеспечивает высокую чувствительность ДОС к девиации движения ИО, что обеспечивает повышение точности формообразующей обработки, например, шага нарезаемой резьбы, шага зубьев зубчатых и червячных колес и т. п.

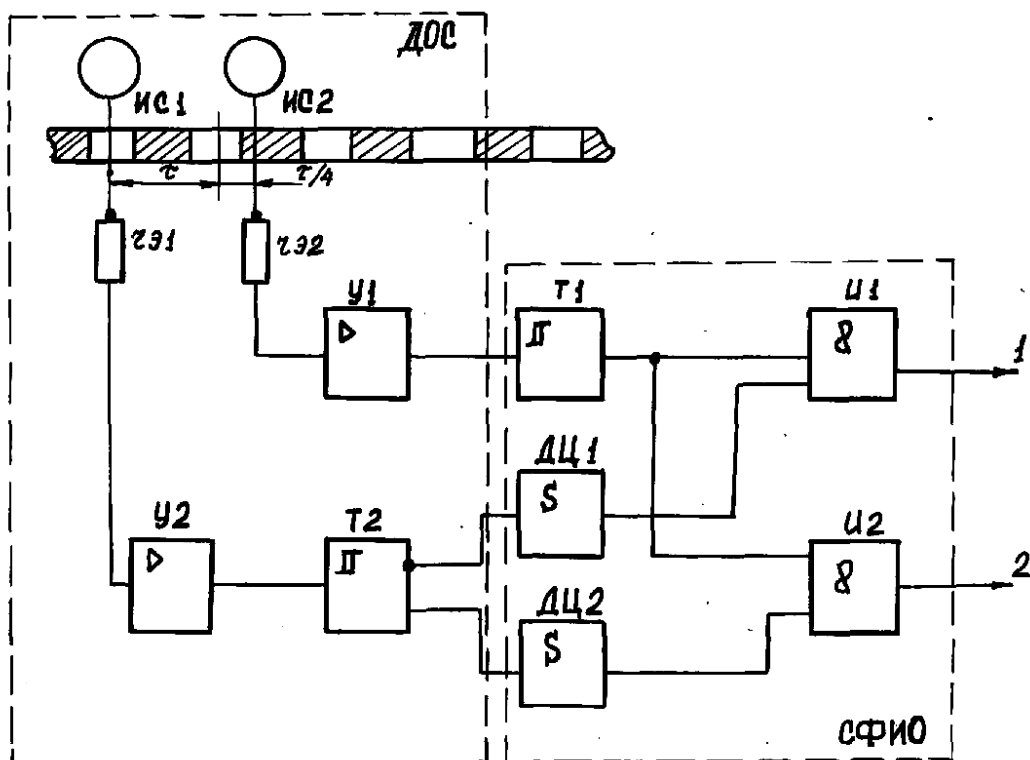


Рис. 3.68. Фотоэлектрический ДОС

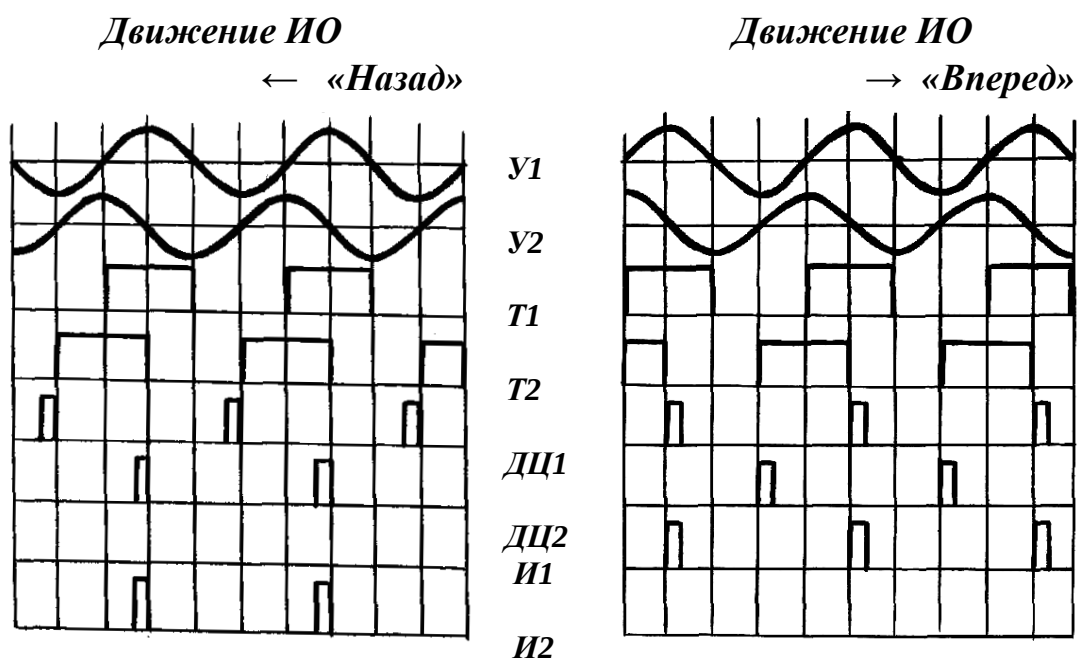


Рис. 3.69. Логическая схема формирования импульсов обработки

Кодовые датчики строятся в виде кодовых линеек или дисков. В этих датчиках каждому положению ИО соответствует определенная кодовая комбинация, являющаяся эквивалентом данного положения. Наибольшее

распространение в системах ЧПУ получили кодовые датчики с маской двоичного кода (рис. 3.70), так как и все другие блоки системы работают в двоичном коде. Воспроизведение информации в таком датчике осуществляется одновременно по всем разрядам с помощью ЧЭ $v_0 - v_4$. Однако если воспроизведение информации осуществляется на границе смежных кодовых комбинаций, то возможна значительная ошибка воспроизведения. Например, при смещении вправо ЧЭ v_3 вместо числа 7 может оказаться воспроизведенным число 15.

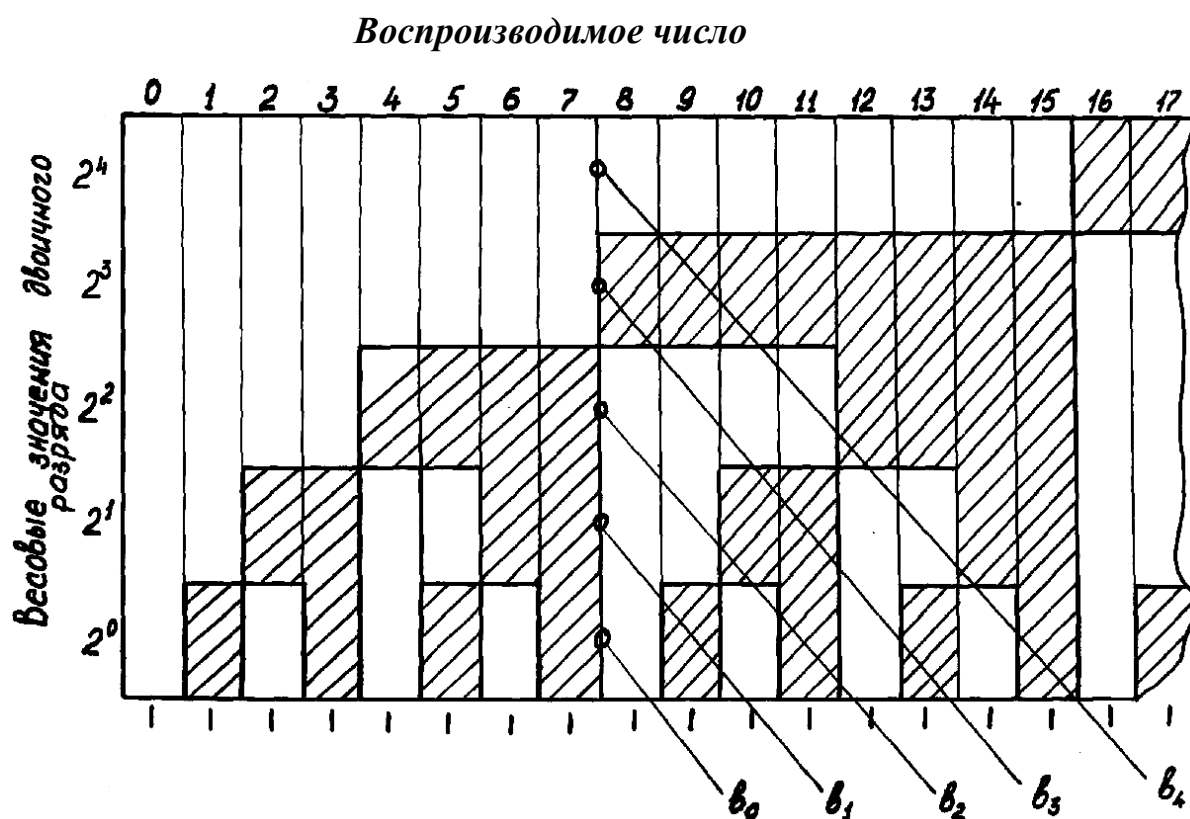


Рис. 3.70. Кодовый датчик с дискретизацией воспроизведения информации

Чтобы исключить большие ошибки при воспроизведении информации используют дискретизацию воспроизведения или V-образный способ воспроизведения. При дискретизации (рис. 3.70) воспроизведения предусматривается дополнительная шкала с ценой младшего разряда. На этой шкале нанесены прозрачные штрихи, расположенные строго по середине младшего разряда. Достоверная информация воспроизводится в моменты прохождения прозрачных штрихов с дополнительной шкалы на ЧЭ. Дискретизация значительно уменьшает вероятность появления ошибки воспроизведения, но полностью ее не устраняет.

Более радикальным способом исключения ошибки воспроизведения является V-образный способ воспроизведения (рис. 3.71), при котором в младшем разряде устанавливается один ЧЭ, а во всех других разрядах по два со сдвигом на полшага вправо и влево по отношению к ЧЭ предыдущего разряда. Кодовые комбинации формируются с помощью логической схемы выбора ЧЭ, которая работает по следующему принципу:

- если в предыдущем младшем разряде был воспроизведен сигнал логической единицы, то в последующем старшем разряде будет использована информация ЧЭ, обозначенного буквой b без штриха;
- если был воспроизведен сигнал логического нуля, то в последующем старшем разряде используется информация ЧЭ, обозначенного буквой b со штрихом.

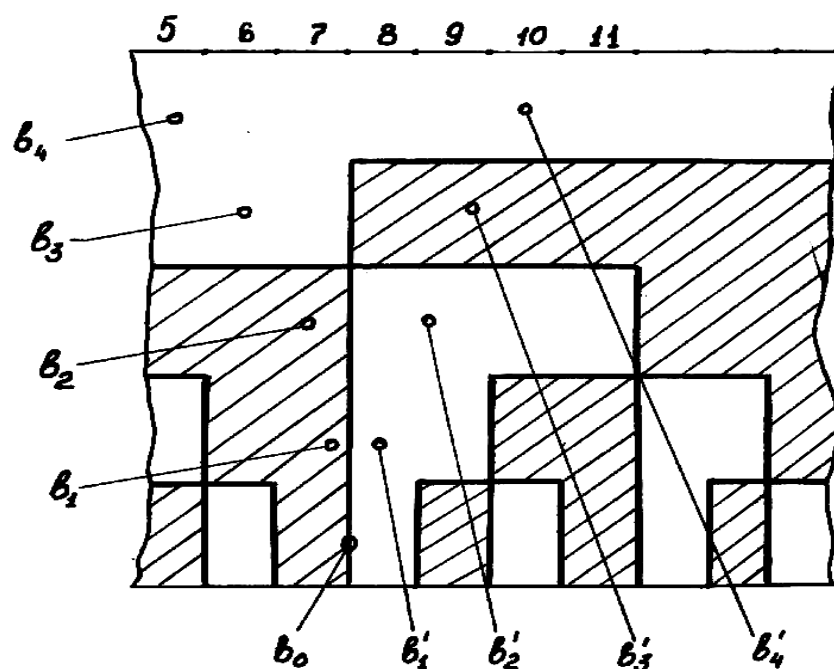


Рис. 3.71. V-образный способ воспроизведения информации

Пусть зачерненный участок кодовой маски воспроизводится сигналом логической единицы, а незачерненный – сигналом логического нуля. Тогда при воспроизведении, например, числа 7 будут использованы сигналы ЧЭ b_0 , b_1 , b_2 , b_3 , b'_4 . Благодаря такому способу ошибка воспроизведения не превышает единицы младшего разряда.

К недостатку V-образного способа по сравнению со способом дискретизации воспроизведения следует отнести использование большего почти в два раза количества ЧЭ и необходимость использования логической схемы выбора ЧЭ.

Фазовые датчики: вращающиеся трансформаторы, сельсины, индукосины используются в фазовращательном или амплитудном (трансформаторном) режимах работы. В отличие от следящих систем, используемых в других областях техники, в которых фазовые датчики типа сельсинов и вращающихся трансформаторов применяются в паре, например, сельсин-датчик и сельсин-приемник, в системах ЧПУ устанавливается только один датчик. Его ротор жестко соединен с ИО станка.

Сельсин – специальная синхронная машина малой мощности. Различают сельсины с контактными кольцами и бесконтактные. В системах ЧПУ в качестве фазовых датчиков используют бесконтактные сельсины, отличающиеся повышенной надежностью (рис. 3.72).

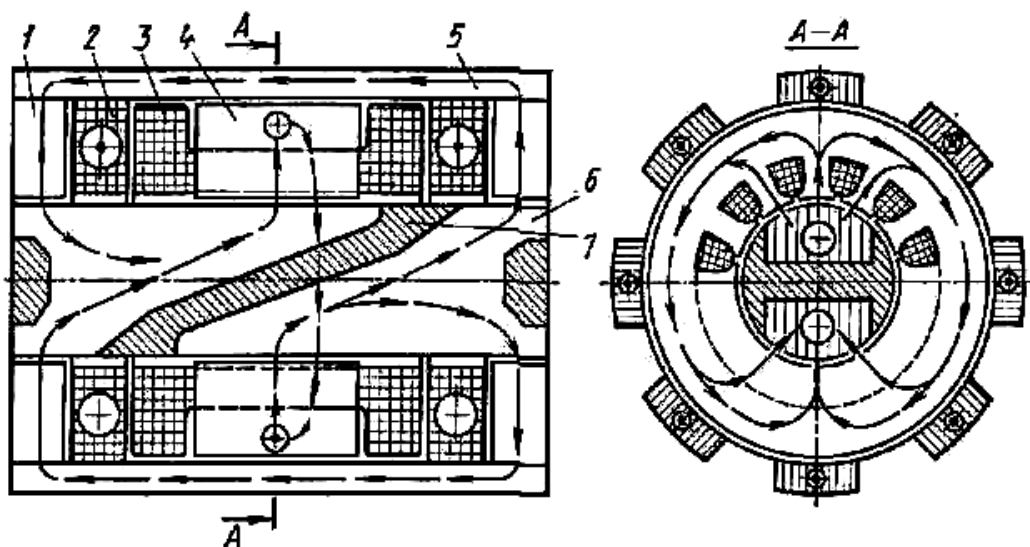


Рис. 3.72. Бесконтактный сельсин

На статоре сельсина размещены обмотки 2 и 3. Обмотка 2 выполнена в виде двух кольцеобразных катушек, соединенных согласно и последовательно. Эта обмотка является измерительной. Обмотка 3 состоит из трех катушек, размещенных на кольцевом магнитопроводе 4 и сдвинутых на 120° . Ротор 6 собран из листовой стали и разделен на две части немагнитной прослойкой 7. Части 1, 4, 5 магнитопровода статора также выполнены из листовой стали.

При питании обмотки 3 синусоидальным током от источников, синусоидальные напряжения которых сдвинуты на 90° , создается круговое вращающееся магнитное поле. В измерительной обмотке индуцируется ЭДС, фаза которой определяется положением механической оси сельсина и, следовательно, исполнительного органа.

Вращающийся трансформатор (ВТ) представляет собой маломощную двухфазную электрическую машину переменного тока (рис. 3.73), у которой при вращении ротора взаимная индукция между обмотками статора и ротора изменяется синусоидально с высокой степенью точности. Количество обмоток может быть различным, однако чаще применяют ВТ с двумя взаимно перпендикулярными обмотками на статоре и роторе. Например, типовым вращающимся трансформатором, применяемым в станках с фазовым устройством ЧПУ, является трансформатор типа ВТМ (рис. 3.74). Погрешность такого ВТ оценивается отклонением амплитуды выходного напряжения от синусоиды при вращении его ротора. Отклонению $\pm 0,3\%$ соответствует наибольшая угловая погрешность $\pm 15'$, имеющая место на углах, кратных 45° . Ток холостого хода 43 мА при напряжении 26 В и частоте 400 Гц соответствует входному сопротивлению 600 Ом индуктивного характера и реактивной мощности около 1 Вт. Недостатком обычных ВТ является ограниченный срок службы из-за наличия щеток и контактных колец на роторе.

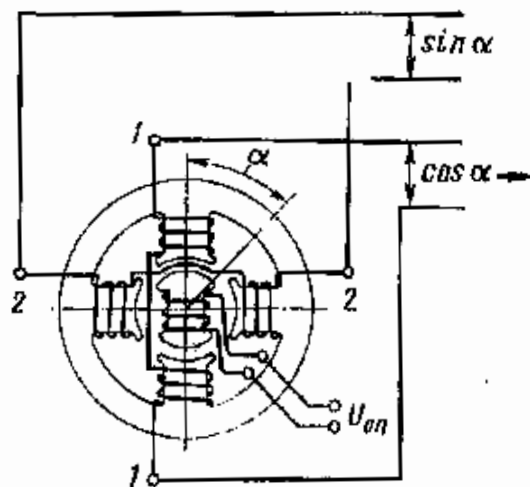


Рис. 3.73. Схема ВТ

Более сложны бесконтактные многополюсные ВТ, называемые редусинами. Редусины имеют зубчатый безобмоточный ротор и от 15 до 64 пар полюсов. На каждом полюсе статора имеется обмотка возбуждения и выходная обмотка. Обмотки возбуждения включены так, чтобы полярности соседних полюсов чередовались. Выходные обмотки соединены последовательно через полюс так, что образуются две выходные обмотки, на одной из которых получается сигнал переменного тока, амплитуда которого пропорциональна высокой степени точности $\sin(n\alpha)$, а на другой $\cos(n\alpha)$, где n — электрическая редукция; α — угол поворота ротора.

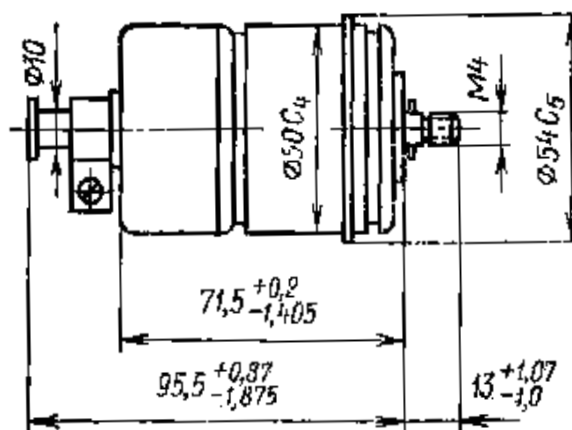


Рис. 3.74. Общий вид ВТ

Индуктосин по принципу действия и электрической схеме аналогичен ВТ. Линейный индуктосин (рис. 3.75) состоит из набора измерительных шкал 2 и ползуна 1, монтируемых на станке. Измерительная шкала 2 индуктосина, закрепленная на неподвижной части 3 станка, представляет собой стальные линейки, преимущественно, длиной 250 мм и толщиной порядка 10 мм, на которые на соответствующую изолирующую подложки нанесены зигзагообразные обмотки в виде полосок меди шириной около 1 мм с шагом 2 мм. Количество таких линеек выбирают в зависимости от величины хода ИО станка и их стыкуют так, чтобы они образовали одну измерительную шкалу необходимой длины. Ползун, укрепляемый на подвижной части станка, содержит две короткие обмотки, сдвинутые $\frac{1}{4}$ шага относительно друг друга. На эти обмотки подаются входные сигналы из устройства ЧПУ в виде синусоидальных напряжений. Выходной сигнал снимается с последовательно включенных обмоток линеек.

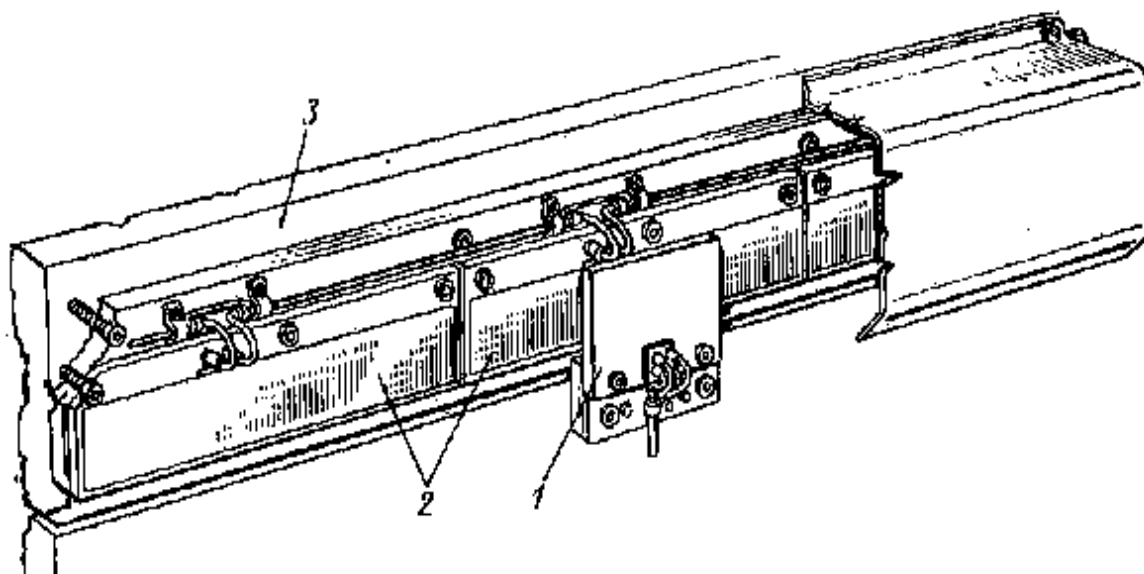


Рис. 3.75. Общий вид линейного индуктосина, смонтированного на станке

Эти две части индуктосина перемещаются относительно друг друга с небольшим зазором (0,2 – 0,3 мм). Такой индуктосин является циклическим измерительным прибором, так как измеряет положение только в пределах своего шага, т. е. в пределах 2 мм.

Печатная обмотка у индуктосинов средней точности имеет погрешность порядка $\pm 0,01$ мм у линейных и $\pm 10''$ у круговых. Более точные индуктосины имеют погрешность порядка $\pm 2,5$ мкм у линейных и $\pm 2''$ у круговых.

Общим свойством индуктосинов является сравнительная простота их изготовления при высокой точности, обеспечиваемой за счет усреднения ЭДС многих проводников. Повышение точности, которое при этом достигается, равно, по крайней мере, $\sqrt{N}$, где N – число проводников обмотки индуктосина, участвующих в генерировании выходного сигнала. Например, если активная часть ползуна линейного индуктосина имеет 64 проводника, разделенных на две обмотки, т. е. каждая обмотка имеет по 32 проводника, то повышение точности равно $\sqrt{32} = 5,6$ раза.

Индуктосины работают на частотах порядка 10 кГц при выходной мощности несколько милливольт. Это заметно усложняет схему, с которой работают индуктосины, что свою очередь приводит к возникновению помех.

Круговые индуктосины обычно выполняют в виде самостоятельных измерительных приборов для угловых перемещений со своими корпусами и подшипниками. Такой прибор встраивают в соответствующий узел станка, и его ось соединяют с осью, угловое перемещение которой измеряют, с помощью соответствующих муфт.

Индуктосин – устройство низкоомное, омическое сопротивление его выходных обмоток всего 1 – 2 Ом при очень малой индуктивности. При этом его выходной сигнал пропорционален току во входной обмотке и, следовательно, сдвинут по фазе на 90^0 относительно питающего напряжения. Поэтому для связи индуктосина со схемой применяются специальные согласующие трансформаторы. На выход индуктосина, т. е. на обмотку линейки, включается предварительный усилитель с коэффициентом усиления $10^2 - 10^3$.

Рассмотрим основные свойства и особенности двух режимов работы фазовых датчиков на примере ВТ. На статоре и роторе ВТ располагаются по две обмотки, сдвинутые относительно друг друга на 90^0 . Обычно обмотки статора используются в качестве первичных. В качестве измерительной используется одна из обмоток ротора, а вторая обмотка ротора замыкается на сопротивление, равное сопротивлению нагрузки измерительной обмотки.

При использовании ВТ в фазовращательном режиме первичные обмотки питаются от источников, синусоидальные напряжения которых сдвинуты относительно друг друга по фазе на 90^0 . В результате возникает круговое вращающееся магнитное поле. В измерительной обмотке индуцируется ЭДС, фаза которой определяется положением ротора ВТ (положением механической оси) а, следовательно, и положением ИО в пространстве. Сравнивая фазу этой ЭДС φ_0 с фазой φ_{np} напряжения, задаваемого программой, можно по разности $\varphi_{np} - \varphi_0$ определить значение углового рассогласования между заданным программой и истинным положением ИО.

В амплитудном режиме (рис. 3.76) напряжения на первичных обмотках и токи в них совпадают по фазе, а амплитуды их различны и задаются программой. Если требуемое положение ОИ определяется углом φ_{np} , то токи в первой и второй обмотках статора должны определяться напряжениями

$$i_1 = I_m \sin \varphi_{np} \sin \omega t = I_1 \sin \omega t ;$$

$$i_2 = I_m \cos \varphi_{np} \sin \omega t = I_2 \sin \omega t .$$

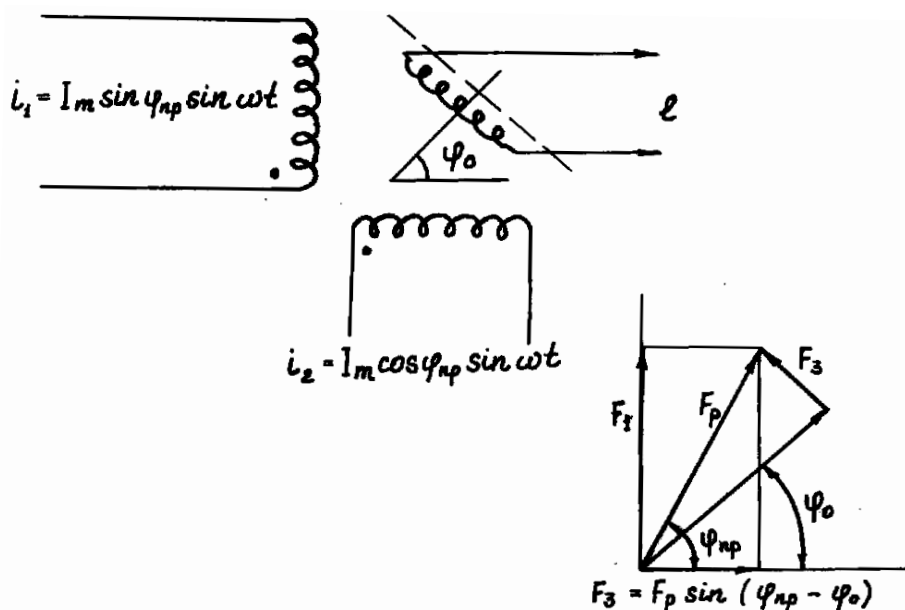


Рис. 3.76. Схема для вычисления трансформаторной ЭДС

Таким образом, создается пульсирующая намагничивающая сила, направление которой в пространстве определяется углом φ_{np} . Этот угол моделирует программное положение ИО, или, как принято называть, положение электрической оси. Синусно-косинусные зависимости получают-ся с помощью различных нелинейных преобразований.

Результирующая намагничивающая сила F_p , равная геометрической сумме намагничивающих сил первичных обмоток F_1 и F_2 , создает поток, пронизывающий вторичную обмотку под углом $\pi / 2 - (\varphi_{np} - \varphi_0)$, где φ_0 — положение оси, перпендикулярное оси вторичной обмотки. При этом эффективная составляющая вектора результирующей намагничивающей силы $F_{эф}$, создающая вторичную трансформаторную ЭДС, равна:

$$F_{эф} = F_p \sin (\varphi_{np} - \varphi_0),$$

а пропорциональная ей амплитуда ЭДС:

$$E = E_m \sin (\varphi_{np} - \varphi_0),$$

где E_m — амплитуда ЭДС в положении ротора, при котором направление результирующего магнитного потока совпадает с осью вторичной обмотки.

Современная тенденция в проектировании устройств ЧПУ – использование импульсных систем управления в которых в качестве ДОС используют импульсные измерительные преобразователи. В результате рассмотренные фазовые ДОС постепенно вытесняются из устройств ЧПУ. В частности сельсины и вращающиеся трансформаторы в настоящее время, по существу, уже не используются в системах ЧПУ обрабатываемых станков.

3.7. Исполнительные приводы станков с ЧПУ

3.7.1. Электродвигатели станков с ЧПУ

На начальном этапе развития систем ЧПУ в качестве исполнительных электродвигателей использовались электрические машины традиционного исполнения переменного тока – в основном трехфазные асинхронные электродвигатели с замкнутым ротором и двигатели постоянного тока с двумя обмотками возбуждения – роторной и статорной. Двигатели традиционного исполнения обычно имеют массивный пазовый ротор, обеспечивающий хороший отвод тепла от обмотки возбуждения. Однако массивный ротор существенно снижает быстродействие двигателя, что снижает качественные показатели работы станков с ЧПУ.

Для улучшения динамических свойств двигателей необходимо увеличивать отношение момента двигателя к собственному моменту инерции M/J . Двигатели с большим отношением M/J конструируют специально для станков с ЧПУ. Малоинерционные двигатели обеспечивают большое отношение M/J за счет снижения момента инерции вращающихся частей. Таким требованиям соответствует двигатель постоянного тока с дисковым, печатным ротором (рис. 3.77). У этого двигателя ротор 1 представляет собой диск из пластмассы, например эпоксидного стекла, с обеих сторон которого нанесена печатным способом роторная обмотка 2. Активная часть 3 этой обмотки пересекает магнитный поток, который проходит через полюсные наконечники постоянных магнитов 4, заключенных в подшипниковых щитах. Щетки 5 касаются непосредственно проводников печатной обмотки ротора. Момент инерции ротора этого электродвигателя из-за его малой массы весьма мал. Поэтому механические переходные процессы двигателя протекают быстро. Индуктивность обмотки ротора мала, что обуславливает быстрое протекание электрических переходных процессов, например, нарастание силы тока при форсировании разгона. Существен-

ным недостатком является малая постоянная времени нагрева. Уже через несколько минут после включения обмотка ротора достигает установившейся температуры. Из-за этого перегрузка двигателя по моменту может быть очень кратковременной.

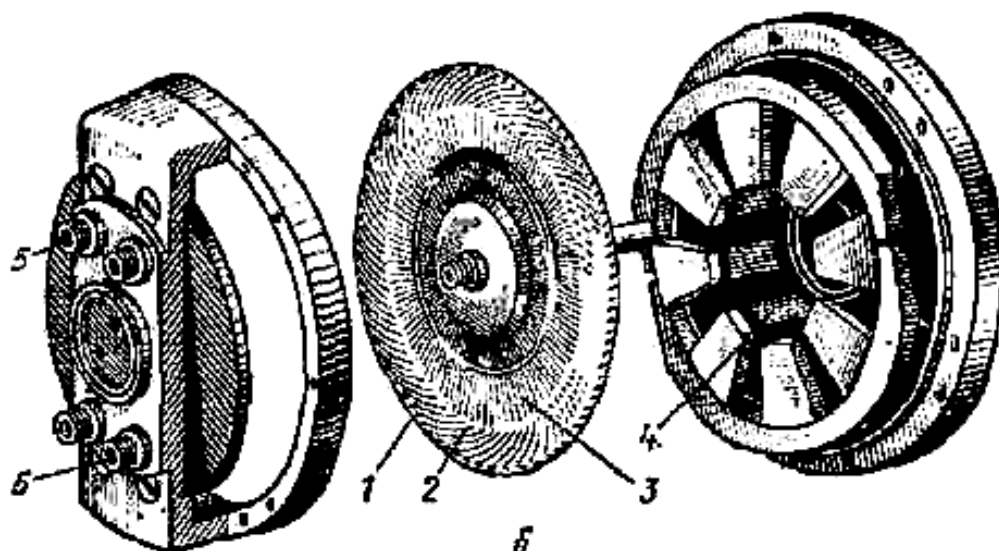


Рис. 3.77. Электродвигатель с печатным ротором

Двигатели с дисковым, печатным ротором выпускают на напряжение постоянного тока 6 и 12 вольт с номинальной мощностью в десятки ватт и номинальной частотой вращения $3000 - 3500 \text{ мин}^{-1}$. Управляют такими двигателями с помощью транзисторов.

В станкостроении применяют также малоинерционные двигатели с гладким ротором. В этих двигателях уменьшение момента инерции достигается в результате резкого увеличения отношения активной длины ротора к его диаметру, которое может достигать четырехкратной величины. Обмотка ротора размещается не в пазах, как в традиционных машинах, а на его гладкой внешней поверхности. Такая обмотка хорошо охлаждается, что позволяет увеличить ток ротора и динамический момент. Кроме того, беспазовая обмотка ротора имеет уменьшенную индуктивность, и, следовательно, меньшую электромагнитную постоянную времени. Двигатели обеспечивают такое же максимальное ускорение, как и малоинерционные двигатели с дисковым ротором.

Недостатком машины с малым диаметром ротора, а следовательно, и малым диаметром коллектора являются затрудненные условия коммутации, так как коммутируемая секция имеет увеличенное число витков и в ней возникает большая ЭДС.

Двигатели с гладким ротором выпускают на напряжение постоянного тока от 25 до 110 вольт с номинальной мощностью от 90 Вт до 6 кВт при номинальной частоте вращения 3000 мин^{-1} .

Малоинерционные двигатели требуют специального динамического согласования с механической системой станка. Если собственная частота двигателя и частота механической системы станка будут соизмеримы, это может привести к потере устойчивости всей системы электромеханического привода. Отсюда следует, что более рациональный путь повышения быстродействия двигателя связан с увеличением динамического момента при неизменном моменте инерции якоря машины. Двигатели такого типа получили название высокомоментных.

Существенной конструктивной особенностью высокомоментных двигателей является возбуждение от постоянных магнитов. Замена электромагнитного возбуждения магнитным исключает потери на нагрев обмотки возбуждения, на 10 – 15 % увеличивает КПД и уменьшает размеры двигателя. Применение постоянных магнитов позволяет построить многополюсную машину постоянного тока, что упрощает коммутацию и обеспечивает равномерное распределение магнитной индукции в зазоре. Двигатели обеспечивают равномерное вращение при частотах до $0,1 \text{ мин}^{-1}$. Электромагнитный момент двигателя зависит от величины магнитного потока и тока ротора: $M = c\Phi I_d$.

Двигатели с постоянными магнитами имеют более стабильное значение магнитного потока, чем традиционные двигатели постоянного тока с электромагнитным возбуждением. Однако во избежание размагничивания при протекании по ротору больших токов намагничивающая сила постоянного магнита должна быть достаточно велика. Это обстоятельство определяет конструкцию магнитной системы высокомоментных двигателей. Магниты из сплава альнико имеют большую длину по оси намагничивания. Высокое значение индукции позволяет получить достаточный магнитный поток при малом сечении магнита. Такие магниты, располагают тангенциально по отношению к окружности ротора (рис. 3.78, а) и снабжают их полюсными наконечниками из магнитомягкого материала.

Ферритовые (керамические) магниты, напротив, имеют очень малую длину, поскольку создают высокую напряженность поля и имеют большую площадь сечения. Эти магниты сами образуют полюсы магнитной системы (рис. 3.78, б). Низкая стоимость ферритовых магнитов и достаточно простая конструкция двигателя обеспечили их широкое распространение. В современных двигателях используют преимущественно ферритовые магниты на основе редкоземельных элементов. Удельная энергия их существенно выше, чем у сплавов альнико.

Высокомоментные двигатели относительно тихоходны. Обычно номинальная частота вращения составляет 1000 мин^{-1} . Она может быть повышена до 2000 мин^{-1} за счет кратковременной форсировки напряжения ротора. Эти двигатели допускают 6 – 10-кратную перегрузку по моменту при низких частотах вращения. Они не нуждаются в промежуточном редукторе и их можно устанавливать непосредственно на тяговый вал (ходовой винт) механизма подачи.

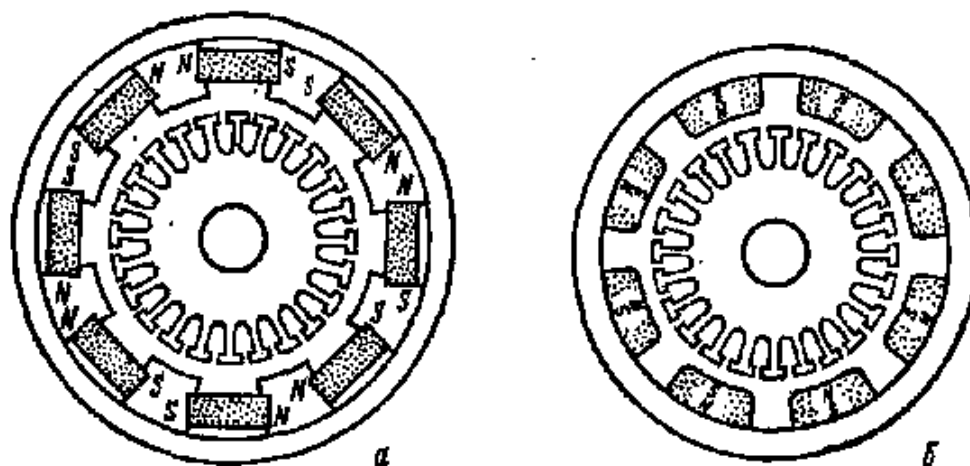


Рис. 3.78. Система возбуждения высокомоментных электродвигателей с использованием магнитов: *а* – из сплава альнико; *б* – керамических магнитов

Типичная конструкция высокомоментного двигателя с ферритовыми магнитами приведена на рис. 3.79. Ферритовые сегменты 1 многополюсной магнитной системы располагаются в цилиндрическом корпусе 2 и охватывают якорь 3. На валу двигателя расположен коллектор 4 со щетками 5. Двигатель снабжен электромагнитным тормозом 6 и встроенным тахогенератором 7. Для осуществления обратной связи по перемещению предусмотрен резольвер 8, который связан с валом двигателя прецизионной повышающей передачей 9.

В станочном оборудовании, например, в приводах подач современных станков фрезерной группы используются также высокомоментные двигатели с полым ротором, в который при сборке станка встраивают шариковую гайку тягового вала – передачи винт-гайка с телами качения.

Дальнейшим развитием исполнительных двигателей постоянного тока являются вентильные бесконтактные электродвигатели, в которых коммутация осуществляется полупроводниковыми приборами. Это позволяет отказаться от коллектора и щеток и, следовательно, существенно улучшить динамические свойства машины. Обмотка ротора расположена на непод-

вижной части двигателя – статоре, а на роторе расположены постоянные магниты, создающие поток возбуждения. Как и в обычном двигателе, обмотка ротора разделена на секции, которые подключают к шинам сети через полупроводниковые ключи, выполненные на транзисторах или тиристорах. На рис. 3.80, *а* ключи условно изображены в виде диодов. На схеме для упрощения рисунка обмотка содержит только восемь секций, которые коммутируются 16 ключами.

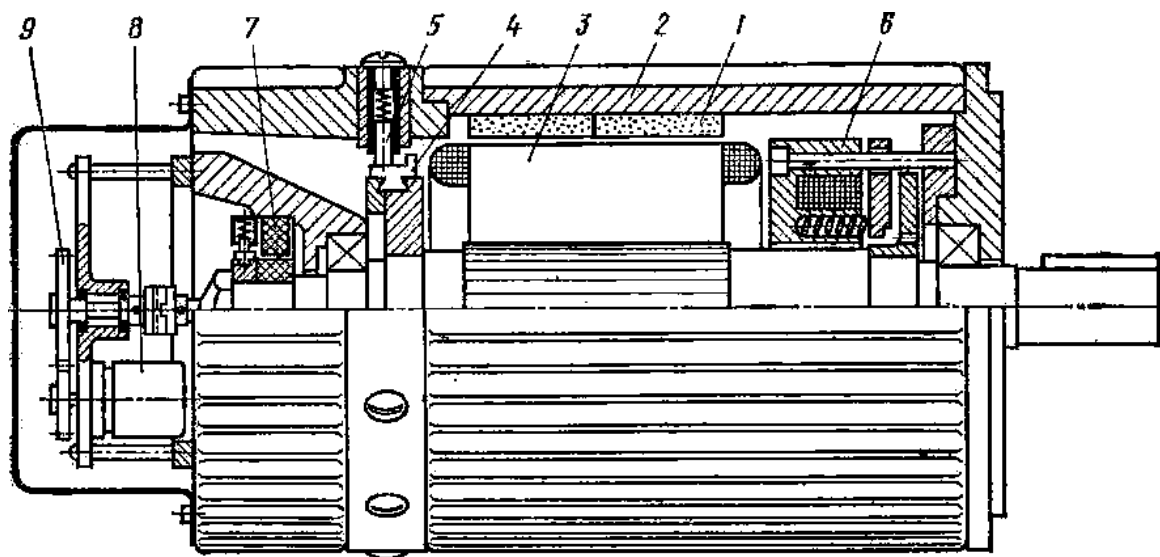


Рис. 3.79. Высокомоментный электродвигатель постоянного тока

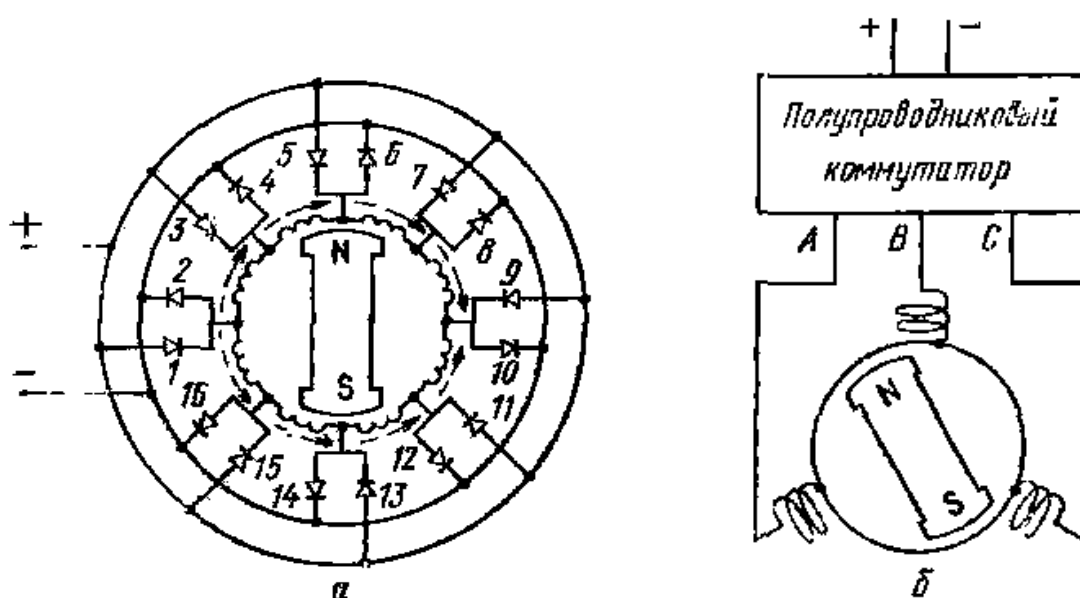


Рис. 3.80. Схемы вентильных двигателей постоянного тока:
а – с коммутацией посредством полупроводниковых ключей;
б – с трехфазной статорной обмоткой

Пусть в некоторый момент времени открыты ключи 1 и 10, расположенные по поперечной оси относительно потока возбуждения. Ток в цепи ротора проходит по пути, обозначенному штриховыми стрелками. В результате взаимодействия этого тока с потоком возбуждения ротор придет во вращение. Для того чтобы это вращение было непрерывным, секции ротора должны последовательно переключаться. Когда якорь повернется на 45^0 , необходимо открыть ключи 3 и 12, затем ключи 5 и 14 и т. д. Для этого используют специальный бесконтактный датчик положения ротора, который вырабатывает управляющие импульсы в те моменты времени, когда необходимо переключить секции обмотки.

Недостатком такой конструкции является большое число полупроводниковых ключей, которое вдвое превышает число коммутируемых секций обмотки. Поэтому чаще используют другую схему (рис. 3.80, б), в которой обмотка выполнена трехфазной, как в двигателях переменного тока. С помощью полупроводникового коммутатора (инвертора), управляемого в функции поворота ротора по сигналам датчика положения, в такой обмотке создается вращающееся магнитное поле. Вращающий момент возникает в результате взаимодействия этого поля с полем ротора. Внешне машина напоминает синхронный бесконтактный двигатель. Однако наличие датчика положения ротора приводит к тому, что частоту вращения двигателя можно регулировать посредством изменения напряжения в цепи ротора, а не путем изменения частоты задающего генератора, управляющего инвертором (как в синхронной машине).

В ряде вариантов исполнительного привода подачи и в приводах вспомогательных механизмов используют шаговые электродвигатели (ШД). Эти двигатели изготавливают двух видов: маломощные для использования в качестве серводвигателей (преобразователей унитарного кода в угол поворота механического задатчика для гидроусилителя крутящего момента) и силовые для непосредственного привода исполнительных органов. По принципу действия ШД представляет собой дискретный синхронный двигатель с активным статором и реактивным зубчатым ротором (якорем). Шаг и число зубцов на роторе и полюсах статора выбираются так, чтобы между зубцами ротора и зубцами полюса, который в данный момент не возбужден, существовал сдвиг на $1/3$ зубцового шага. Обмотки каждой пары противоположащих полюсов соединяются последовательно и образуют одну фазу.

В рассматриваемом примере (рис. 3.81) полюсные башмаки 1–6 статора одной секции двигателя завершаются зубцами по три на каждом башмаке (т. е. всего 18), причем шаг зубца составляет $1/20$ окружности. Таким образом, в статоре как бы «не хватает» двух зубцов. Один из «недостающих» шагов равномерно распределен в шести зазорах между полюсными башмаками. Другой шаг «набирается» за счет того, что оси равномерно (через 60°) расположенных по окружности башмаков оказываются смещенными относительно соседних на целое число шагов и еще на $1/6$ шага. Отметим, что роторная секция располагает ровно 20 зубцами того же шага. Шесть статорных обмоток секции образуют три пары полюсов.

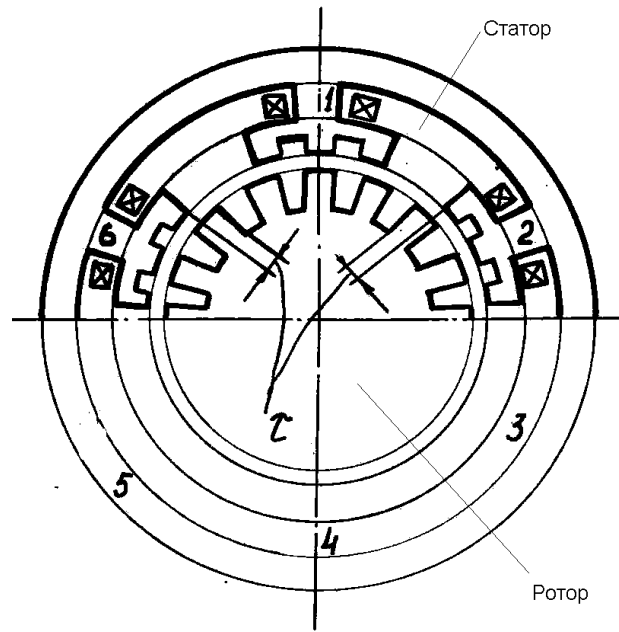


Рис. 3.81. Схема шагового двигателя

На приведенной схеме показано положение ротора, соответствующее возбужденному состоянию полюсов 1 и 4, когда ток протекает по первой фазе с обмотками, расположенных на этих полюсах. Если эту фазу отключить и подать ток во вторую фазу с обмотками на полюсах 2 и 5, то ротор повернется на $1/3$ зубцового деления по часовой стрелке. При возбуждении полюсов 3 и 6 ротор повернется на такой же угол против часовой стрелки.

Дискретность угла поворота ротора (шаг на импульс) связан с числом тактов коммутации:

$$\alpha_{ш} = 360^\circ / z_p \kappa ,$$

где z_p – число зубцов реактивного (пассивного) ротора;
 κ – число тактов коммутации.

Электрический шаг связан с механическим обычным для электрических машин соотношением:

$$\alpha_{э} = z_p \alpha_{ш} = 360^\circ / \kappa .$$

Цену шага можно уменьшить вдвое. Для этого, не отключая первой фазы, необходимо также включить ток во вторую фазу, т.е. возбудить полюсы 2 и 5. Тогда ротор повернется на половину основного шага. Затем необходимо, чтобы ток протекал через вторую фазу, затем через вторую и третью (возбуждены полюсы 2 и 5, а также 3 и 6), затем через третью и т. д.

Уменьшение дискретности угла поворота достигается также в многостаторных конструкциях двигателей, в которых секции статоров развернуты друг относительно друга на часть зубцового деления. В этом случае дискретность уменьшается в количество раз, равное числу секций.

Важной характеристикой ШД является его приемистость. Различают частоту приемистости, под которой понимают наибольшую частоту управляющего сигнала, при которой ШД начинает работать, не пропуская на одного шага. Обычно максимальная частота рабочего режима «равномерного» движения в несколько раз превышает частоту приемистости. Поэтому выход ШД на максимальную скорость осуществляется при плавном или ступенчатом нарастании частоты. Это относится также к режиму снижения скорости и остановки. Закономерность нарастания и спада частоты формируется в программно-задающей части системы управления.

Динамические показатели ШД повышаются при увеличении числа фаз и тактов коммутации. Однако при этом усложняется конструкция двигателя и возрастает число силовых усилителей в схеме управления. Поэтому принимают число фаз не более 6. Число тактов определяется схемой управления и зависит от последовательности включения обмоток фаз. Обычно число тактов принимают равным удвоенному числу фаз. Современная тенденция в системах ЧПУ – использование силовых ШД.

Приемистость ШД различных поколений составляет 800 – 2000 Гц, максимальная частота 1200 – 40 000 Гц. Мощность ШД различных моделей колеблется от нескольких Вт до 2,5 кВт и более. Шаг на выходном валу чаще всего не превышает $1,5^\circ$.

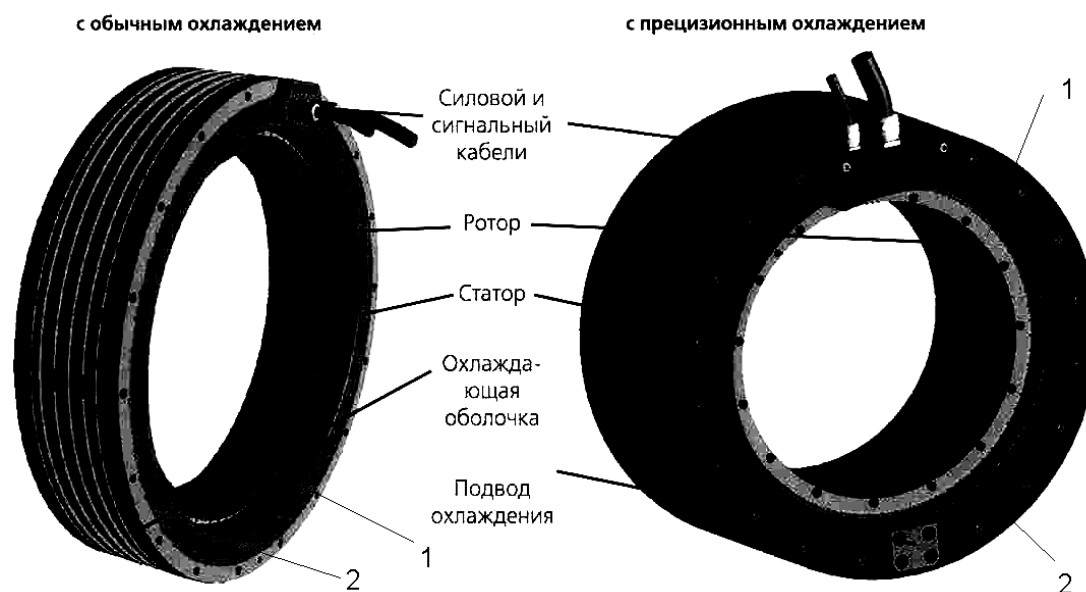


Рис. 3.82. Круговые встраиваемые двигатели серии 1FW6

По-прежнему наиболее дешевым, надежным и экономичным в эксплуатации электродвигателем, сохраняющим примерно постоянную скорость при изменениях нагрузки от холостого хода до номинальной, является трехфазный асинхронный двигатель с короткозамкнутым ротором. Недостатком таких двигателей традиционного исполнения является массивный ротор, снижающий быстродействие двигателя, что неприемлемо для современных станков с ЧПУ. Данный недостаток устранен в круговых встраиваемых электродвигателях серии 1FW6 фирмы Siemens (Рис. 3.82). Двигатели данной серии состоят из пустотелого ротора 1 и статора 2 и обеспечивают: экстремальную динамику и высокий момент поворота; высочайшую точность; простой монтаж; незначительный износ компонентов привода благодаря бесконтактной передаче движущей силы.

Области использования: поворотные столы без передаточных механизмов; круговые оси с полым валом большого диаметра; мехатронные и инновационные решения.

Двигатели данной серии устанавливаются непосредственно в исполнительные органы станка без дополнительных механических передач. Таким образом, электродвигатель становится частью исполнительного органа станка. Это позволяет повысить динамику станка и устранить такие явления в приводе как люфты. Круговые двигатели совместно с системой управления Simodrive 611 digital/universal образуют оптимальную согласованную линейную структуру непосредственного привода, удовлетворяющую требованиям современного станкостроения.

Двигатели выпускаются в двух исполнениях: с обычным охлаждением и прецизионным охлаждением с колебанием температуры $\pm 2^{\circ}\text{C}$. Серия содержит 24 типоразмера с минимальным и максимальным диаметром статора в пределах от 230 до 730 мм при номинальном моменте от 100 до 4150 Нм. Управление круговой частотой вращения – частотное посредством силового полупроводникового преобразователя, входящего в комплект системы управления.

3.7.2. Регулируемый привод главного движения

В приводах главного движения (движения скорости резания) станков с ЧПУ преимущественно применяют регулируемые приводы с двигателем постоянного тока и тиристорным преобразователем напряжений. Необходимая мощность привода главного движения изменяется в функции частоты вращения шпинделя. При этом номинальная мощность полностью не используется при высоких и низких частотах вращения. На универсальных

станках до $1/3$ диапазона регулирования мощность возрастает примерно пропорционально частоте вращения и регулирование привода необходимо производить с постоянным моментом. Затем мощность достигает максимума и после этого незначительно снижается при наибольшей частоте вращения. На этом участке привод можно регулировать с постоянной максимально допустимой мощностью. Таким образом, привод главного движения станка нуждается в двухзонном регулировании.

Регулирование с постоянной максимально допустимой мощностью осуществляется посредством изменения тока возбуждения при неизменном напряжении на роторе. При этом частота вращения изменяется вверх от номинальной в небольшом диапазоне, который определяется коммутационными возможностями двигателей постоянного тока. В том случае, когда диапазон по технологическим требованиям необходимо увеличить, вводят дополнительную коробку скоростей. При использовании современных электродвигателей постоянного тока дополнительная коробка обычно содержит одну группу (блок), состоящую из двух или трех передач с автоматическим переключением с помощью электромагнитных муфт. Для регулирования с постоянным максимально допустимым моментом необходимо изменять напряжение на роторе при неизменном возбуждении на статоре. Частота вращения при этом регулируется вниз от номинала и диапазон регулирования может быть достаточно большим. Обычно необходимо иметь $R_M = \text{const} = 1:20$. В многооперационных станках этот диапазон может быть значительно увеличен из-за необходимости точного позиционирования шпинделя при смене инструмента. Привод шпинделя переключается на малую ползучую скорость, при которой обеспечивается высокая точность остановки.

В большинстве станков для обеспечения двигательного и тормозного режимов и реверсирования шпинделя привод должен работать во всех четырех квадрантах координатной плоскости $\omega - M$. В этом случае привод главного движения должен иметь два тиристорных преобразователя: один для питания цепи ротора, другой – для цепи возбуждения. Соответственно с этим образуется два контура регулирования (рис. 3.83). При этом во избежание нежелательных режимов работы, например, при пуске при пониженном возбуждении, в современных приводах главного движения применяют двухзонное зависимое управление.

При зависимом управлении магнитный поток остается номинальным до тех пор, пока частота вращения двигателя меньше основной. Затем повышение частоты вращения обеспечивается путем ослабления магнитного потока. Схема управления имеет один задатчик скорости общий на обе зо-

ны регулирования. Система управления напряжением ротора ($ТП1$ – тиристорный преобразователь этой цепи) имеет замкнутый контур по скорости двигателя с регулятором скорости $РС$ и подчиненный ему контур тока с регулятором тока $РТ$. Непосредственно с силовым тиристорным преобразователем $ТП1$ связана система импульсно-фазового управления ($СИФУ1$).

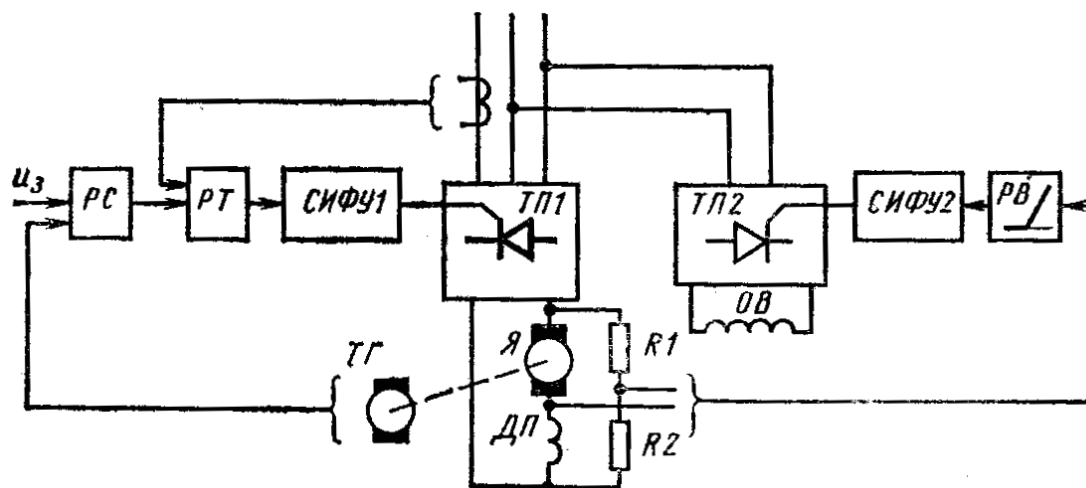


Рис. 3.83. Схема тиристорного привода главного движения с зависимым управлением

Система управления током возбуждения связана с системой управления напряжением ротора через ЭДС двигателя. Сигнал, пропорциональный ЭДС, снимается с диагонали тахометрического моста, образованного ротором двигателя, обмоткой дополнительных полюсов $ДП$ и резисторами $R1$, $R2$. Этот сигнал подается на ПИ-регулятор возбуждения $РВ$, имеющий зоны насыщения, и далее через $СИФУ2$ управляет работой тиристорного преобразователя $ТП2$, питающего обмотку возбуждения двигателя. Так как мощность возбуждения весьма невелика, здесь применяют упрощенный однофазный преобразователь, иногда преобразователь, выполненный по однофазной мостовой схеме.

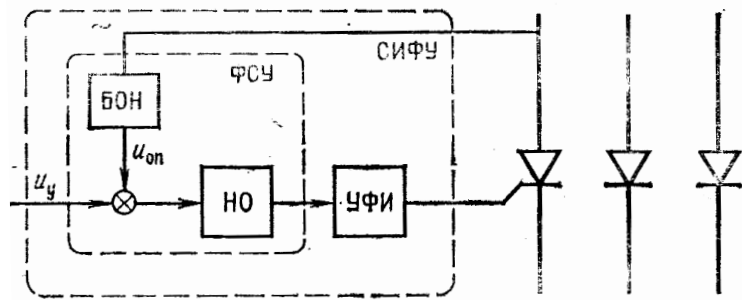
Кроме сигнала, пропорционального ЭДС двигателя, на вход регулятора $РВ$ подается опорное напряжение, соответствующее номинальной частоте вращения двигателя. До тех пор пока частота вращения меньше номинальной, регулятор находится в состоянии насыщения, и по обмотке возбуждения протекает номинальный ток. При больших частотах вращения регулятор вступает в работу и начинает уменьшать поток возбуждения двигателя. Совместное действие регуляторов скорости и возбуждения приводит к тому, что во второй зоне регулирования ЭДС все время остается неизменной. Поэтому систему регулирования возбуждения считают контуром регулирования ЭДС, зависимым от контура скорости.

Рассмотрим структуру *СИФУ*. Ее назначение – преобразование непрерывного сигнала в импульсный сигнал управления, фаза которого изменяется пропорционально входному воздействию. Поскольку угол управления α отсчитывается от момента естественного открывания тиристора, работа *СИФУ* должна быть согласована с напряжением питания тиристорного преобразователя. Управляющие импульсы должны иметь достаточную мощность и высокую крутизну, необходимую для четкого открывания тиристорov.

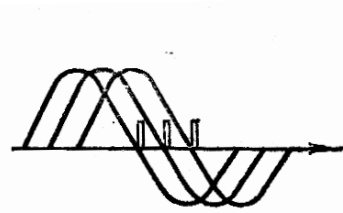
На рис. 3.84, *а* представлена принципиальная схема построения *СИФУ*, позволяющая осуществлять как вертикальное, так и горизонтальное управление. При вертикальном управлении управляющее напряжение поступает на вход фазосдвигающего устройства *ФСУ*, в котором сравнивается с опорным напряжением, вырабатываемым блоком опорного напряжения *БОН*. При этом график опорного напряжения перемещается по вертикали (рис. 3.84, *б*) При равенстве напряжений на выходе нуль-органа *НО* появляется сигнал, который проходит через блок усиления и формирования импульсов *УФИ* и поступает на управляющий электрод тиристора.

При горизонтальном управлении *ФСУ* не имеет узла сравнения, а периодическое опорное напряжение смещается по фазе (по горизонтали) под действием управляющего сигнала (3.84, *в*). Для этого используют фазосдвигающие схемы с управляемыми элементами. Системы горизонтального управления практически не используют в тиристорном электроприводе, так как они весьма чувствительны к колебаниям опорного напряжения и имеют существенные нелинейные искажения.

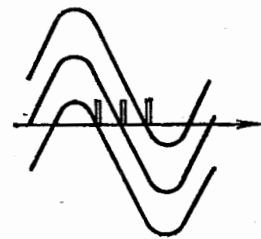
Важнейшим узлом *СИФУ* является блок опорного напряжения. В простейшем случае в качестве опорного напряжения можно принять синусоиду, как это показано на рис. 3.84, *б* и *в*, синхронизированную с напряжением питания тиристора. Однако для получения достаточной чувствительности *ФСУ*, т. е. для возможно большего изменения угла α при изменении управляющего напряжения, можно использовать только часть синусоиды, ограниченную углами примерно $\pm 60^\circ$. При синусоидальном опорном напряжении чувствительность *ФСУ*, характеризуемая производной da / du_y , где u_y – напряжение управления, является величиной переменной. Поэтому на практике обычно стремятся использовать пилообразное или треугольное опорное напряжение, обеспечивающее постоянную чувствительность в широких пределах изменения угла α .



а

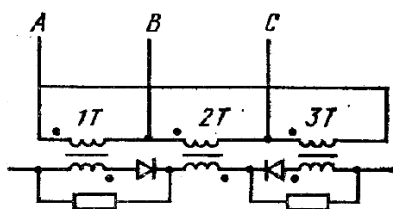


б

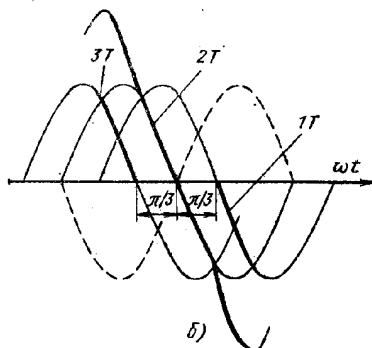


в

Рис. 3.84. Система управления тиристорами СИФУ:
а – блок-схема; б, в – графики напряжения соответственно при вертикальном и горизонтальном управлении

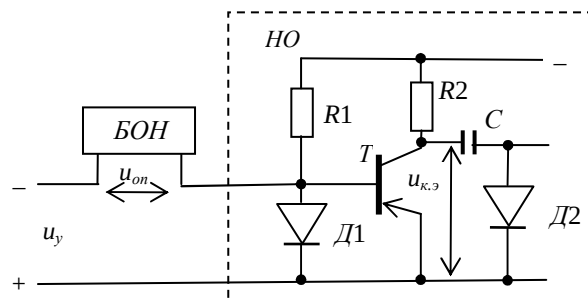


а



б)

Рис. 3.85. Генератор пилообразного напряжения: а – схема; б – график формирования вторичного напряжения



а

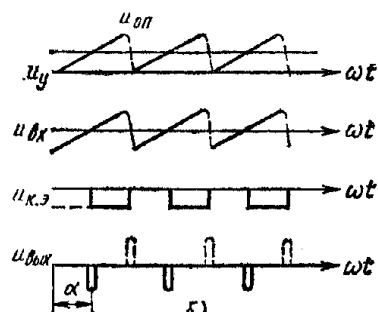


Рис. 3.86. Нуль-орган: а – схема; б – график образования выходных импульсов

На рис. 3.85, *а* представлена схема блока генератора пилообразного напряжения (БПН), используемого во многих приводах с вертикальным управлением. В БПН используют три трансформатора, первичные обмотки которых включаются треугольником в трехфазную сеть. Вторичные обмотки трансформатора включаются последовательно а напряжение на них суммируется. Основная часть опорного напряжения создается обмоткой трансформатора $2T$, фаза которого смещена на 180° относительно фазы первичного напряжения. Напряжение на вторичных обмотках трансформаторов $1T$ и $3T$ совпадает со своими первичными напряжениями по фазе. Кроме того, в обмотки $1T$ и $3T$ включены диоды таким образом, что в первом трансформаторе выпрямляется отрицательная полуволна напряжения, а в третьем – положительная. В результате суммирования выходное напряжения формируется из основной синусоиды и двух полусинусоид, сдвинутых по фазе на $\pm 60^\circ$, и имеет практически пилообразную форму (рис. 3.85, *б*).

Для управления мостовыми тиристорными преобразователями каждый трансформатор в БПН должен иметь шесть вторичных обмоток. Соединяя эти обмотки последовательно по три, как описано выше, можно получить две комбинации пилообразных напряжений для управления питания анодной и катодной группой тиристорных преобразователей. Внутри группы напряжения сдвинуты по фазе на 120° , а напряжения различных групп смещаются по фазе на 60° .

В качестве нуль-органов в *СИФУ* используют транзисторные пороговые элементы с большой крутизной характеристики. На рис. 3.86, *а* представлена упрощенная схема формирования сигнала в системе вертикального управления. Разность опорного напряжения u_{on} и напряжения управления u_y подается на базу транзистора T . До тех пор, пока u_{on} меньше u_y , потенциал базы отрицателен, транзистор открыт, и напряжение $u_{к.э}$ равно нулю. Когда $u_{on} = u_y$, транзистор закрывается, сопротивление его резко возрастает и на переходе коллектор – эмиттер появляется напряжение, которое остается примерно постоянным все время, пока u_{on} больше u_y . Это напряжение дифференцируется. В качестве дифференцирующего элемента используется конденсатор C и обратное сопротивление диода $D2$. При дифференцировании должны образоваться разнополярные импульсы на переднем и заднем фронте напряжения $u_{к.э}$. Положительные импульсы (рис. 3.86, *б*) соответствуют нерабочему участку кривой опорного напряжения и срезаются диодом $D2$, отрицательные – подаются на вход *УФИ*.

Выходное устройство *СИФУ* формирует и усиливает по мощности управляющие импульсы, поступающие от *ФСУ*. В качестве *УФИ* применяют ждущий блокинг-генераторы с насыщающим сердечником (рис. 3.87, *а*). В цепь коллектора транзистора T включена первичная обмотка w_1 трансфор-

матора Tr . Одна из вторичных обмоток w_2 является выходной, сигнал с нее поступает на управляющий электрод тиристора. Другая обмотка w_3 осуществляет положительную обратную связь, степень которой выше критической.

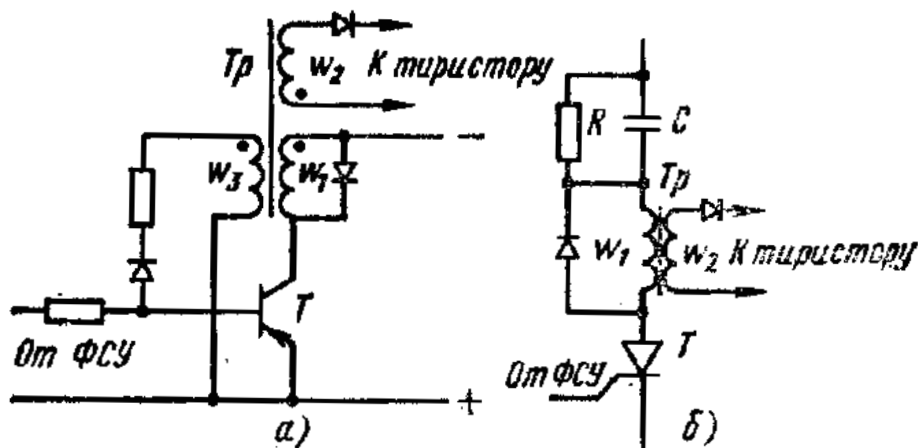


Рис. 3.87. Устройства формирования импульсов СИФУ:

а – ждущий блокинг-генератор; *б* – схема со вспомогательным тиристором

При отсутствии сигнала на базе транзистор T полностью закрыт. Сигнал, поступающий от $\Phi СУ$, вызывает лавинообразное возрастание коллекторного тока и появление напряжения на выходе трансформатора. Пока трансформатор не насыщен, это напряжение практически постоянно. После насыщения магнитный поток в трансформаторе становится неизменным и ЭДС во вторичных обмотках не наводится, степень положительной обратной связи уменьшается и транзистор закрывается. Такая схема позволяет получить мощный выходной импульс с крутым передним фронтом. Длительность импульса определяется временем перемagnetизации сердечника.

Применяют также схемы с вспомогательным тиристором. Вариант такой схемы приведен на рис. 3.87, *б*. При подаче управляющего импульса от $\Phi СУ$ тиристор T открывается и через первичную обмотку w_1 импульсного трансформатора Tr протекает ток, генерирующий мощный выходной импульс напряжением до 20 вольт при токе 500 мА. После зарядки конденсатора C его напряжение закрывает тиристор T .

Используют в основном два варианта построения тиристорного преобразователя. По первому варианту каждый тиристор имеет собственное СИФУ. По второму варианту группа тириستоров имеет общее СИФУ. В этом случае импульсы, вырабатываемые ФСУ, поступают на синхронизированный коммутатор, который осуществляет задержку импульсов и распределение их по управляющим электродам тиристоров.

манды пуска в прямом *B* или обратном *H* направлении открывается схема совпадения *И1* и импульсы от генератора тактовых импульсов *ГТИ* начнут поступать через ячейки *И2* и *И3* на коммутатор *K* и одновременно на вход вычитания реверсивного счетчика *Сч*. При отработке числа шагов, заданного программой, счетчик будет установлен в нуль и на выходе схемы *ИЛИ-НЕ* появится логическая единица. Триггер *T* установится в нулевое состояние, и дальнейшее поступление импульсов на счетчик и схему управления *ШД* прекратится. Скорость ШД может устанавливаться и изменяться в цикле позиционирования с помощью блока задания скорости, представляющего собой управляемый делитель частоты (на схеме не показан).

Рассмотренная схема может строиться по замкнутому циклу, т. е. с обратной связью. Тогда движение исполнительного органа *ИО* контролируется импульсным датчиком положения *ДИ*. В этом случае списывание со счетчика осуществляется импульсами датчика *ДИ* по каналу *б* при отключенном канале *а*. Однако построение замкнутых систем ЧПУ с *ШД* в настоящее время нецелесообразно, так как улучшенные качества таких систем легче достигаются при использовании регулируемых двигателей непрерывного действия, например, высокомоментных постоянного тока.

Схема управления *ШД* содержит коммутатор *K* (рис. 3.88) и усилитель мощности *УМ* в виде усилителей *У1*, *У2*, *У3*, которые включают и отключают обмотки двигателя (рис. 3.89). Коммутатор состоит из элементов логики и триггеров. Рассмотрим принцип его работы. Пусть триггеры *T2* и *T3* находятся в единичном состоянии, а триггер *T1* – в нулевом. Тогда открыт усилитель *У1* и ток проходит по обмотке первой фазы. В этом состоянии подготовлены к пропуску импульсов по одному входу ячейки *И21*, *И41*, *И51*, а по другому входу ячейки *И22*, *И32*, *И62*.

Если импульсы поступают по первому входу, то первый импульс через ячейку *И41* поставит триггер *T2* в «0», подтвердит состояние «1» триггера *T3* через ячейку *И51*. Таким образом, после прохождения первого импульса под током будут находиться фазы 1 и 2. Второй импульс пройдет через ячейки *И11*, *И41*, *И51*, поставит триггер *T1* в «1», подтвердит «0» триггера *T2* и «1» триггера *T3*. После второго импульса прекратится ток в фазе 1, а фаза 2 останется под током.

При прохождении шести импульсов по первому входу соблюдается порядок коммутации токов в фазах: 1 – 1, 2 – 2 – 2, 3 – 3 – 3, 1. Если импульсы поступают по второму входу, то они попадают на триггеры через схемы совпадения второй группы *И12*, *И22*, *И32*, *И42*, *И52*, *И62* и обеспечивают обратный порядок коммутации 1 – 1, 3 – 3 – 3, 2 – 2 – 2, 1.

3.7.4. Следящий электропривод подачи

По мере совершенствования устройств ЧПУ, увеличения жесткости и точности узлов станка возрастали требования к величине ускоренных ходов и быстродействию привода подачи. Скорость ускоренных ходов выросла до 10 – 12 м/мин. Одновременно для обеспечения высокой точности обработки величина дискреты уменьшена до 1 мкм. Такие параметры обусловили необходимость создания быстродействующего привода с высокой статической и динамической точностью. Указанным требованиям удовлетворяет следящий тиристорный привод с высокомоментным низкооборотным электродвигателем постоянного тока. Такой привод обеспечивает точное воспроизведение входного управляющего сигнала и преобразование его в механическое перемещение исполнительного органа.

На вход следящего привода (рис. 3.90) поступают управляющие импульсы от устройства ЧПУ 1. Число импульсов определяет величину перемещения, а их частота – необходимую скорость. Импульсный сигнал преобразуется в аналоговый в импульсноаналоговом (цифроаналоговом) преобразователе 2 и поступает на элемент сравнения 3 и на предварительный 4. В элементе сравнения 3 образуется сигнал рассогласования ε , пропорциональный разности заданного φ_z и фактического φ положения исполнительного вала привода (или исполнительного органа станка), определяемое с помощью измерительного преобразователя (датчика обратной связи) 8. Уместно отметить, что сравнение заданного и фактического положений может осуществляться также в импульсной или иной форме в зависимости от принятой схемы. Сигнал рассогласования поступает на предварительный усилитель 4, работающий в сторону уменьшения рассогласования, регулируемого привода. С выхода предварительного усилителя 4 управляющий сигнал через СИФУ 5 поступает на тиристорный преобразователь 6 и затем на регулируемый электродвигатель 7, преобразующий управляющее воздействие в механическое движение соответствующего исполнительного органа.

Основной характеристикой следящего электропривода является погрешность положения:

$$\varepsilon = \varphi_z - \varphi.$$

Отношение заданной скорости следящего привода к установившейся погрешности называют добротностью привода по скорости. Для уменьшения погрешности слежения регулируемый привод должен содержать токовые и скоростные обратные связи и корректирующие цепи.

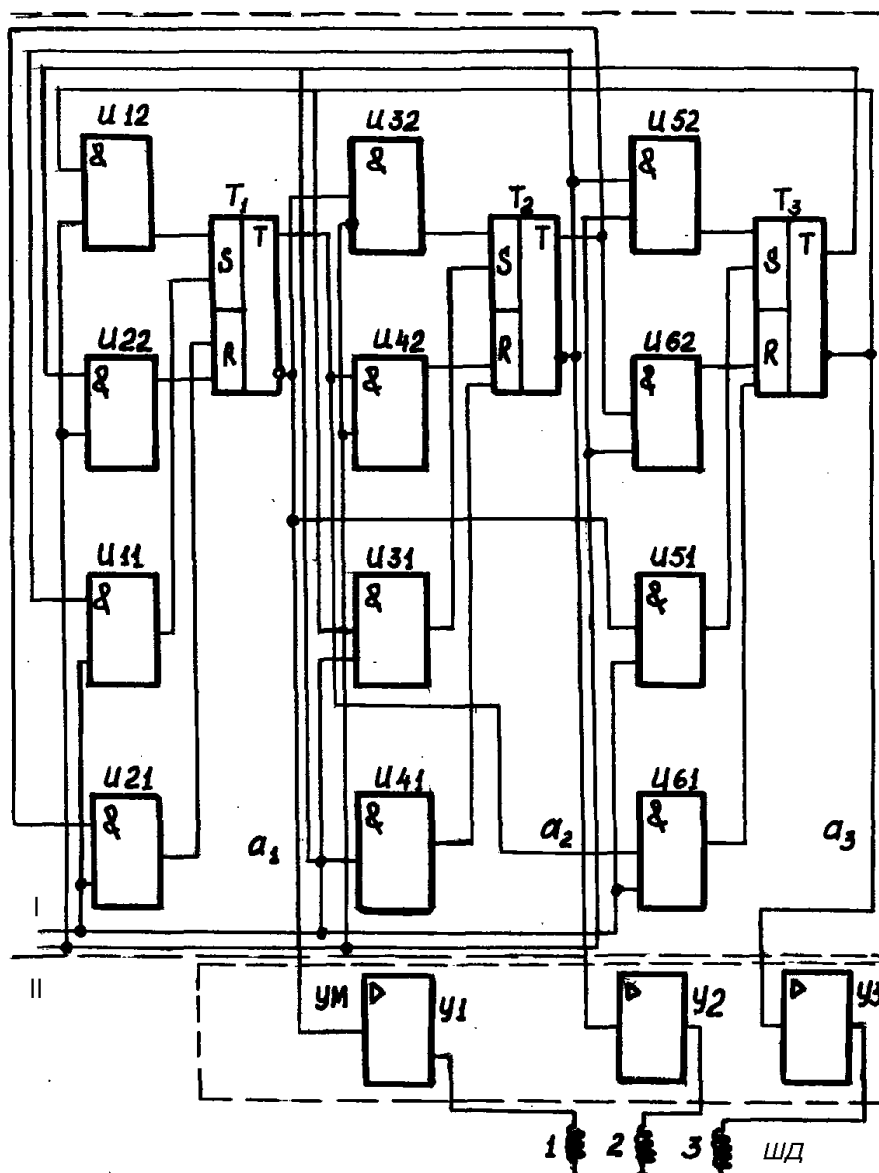


Рис. 3.89. Функциональная схема управления шагового двигателя

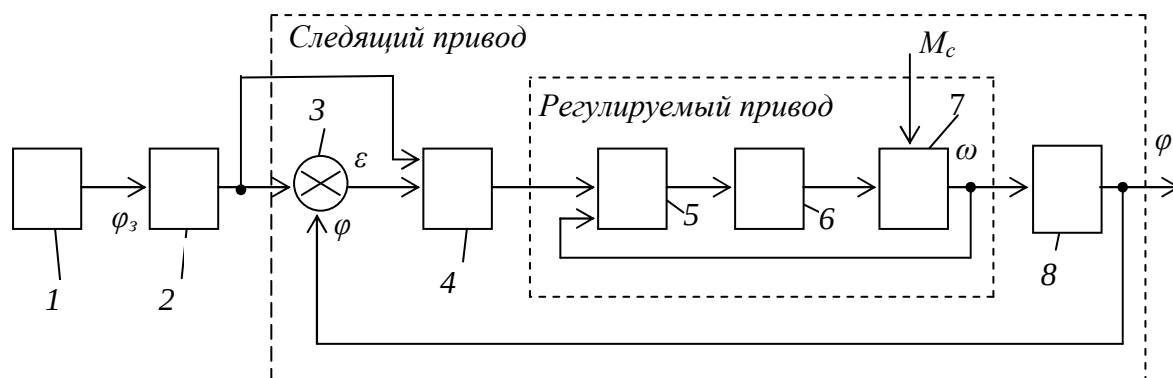


Рис. 3.90. Структурная схема следящего электропривода подачи

В заключение параграфа рассмотрим функциональную схему следящего привода одной координаты с импульсным кодовым датчиком положения для случая контурной обработки. Программная часть АСУ ЭП одной координаты (рис. 3.91) содержит внутренний аналоговый контур регулирования скорости с регулятором PC и внешний числовой (цифровой) контур регулирования положения. Сигнал ошибки по положению после преобразования его преобразователем «код – напряжение» $ПКН$ в аналоговое напряжение $U_{п.к.н.}$ воздействует на вход регулятора положения $РП$.

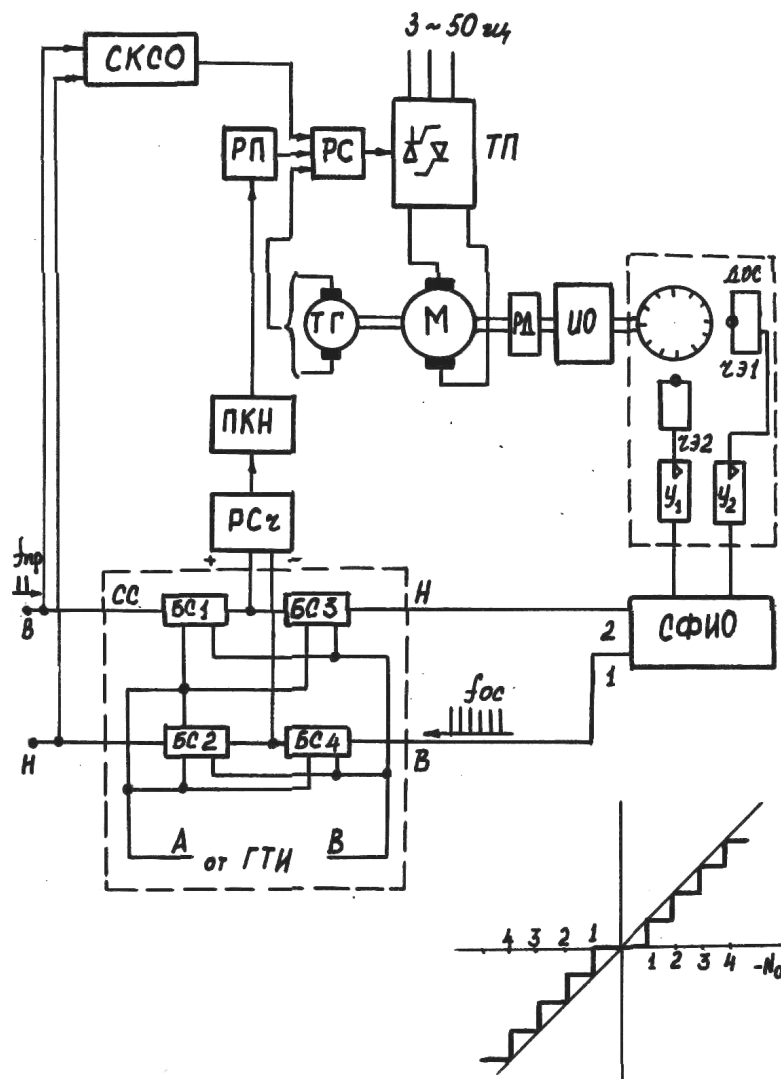


Рис. 3.91. Функциональная схема следящего привода с импульсным кодовым датчиком и преобразователем «код – напряжение»

Ошибка фиксируется реверсивным счетчиком $РСч$ как разность числа программных импульсов, поступающих от интерполятора, и импульсов отработки с $ДАС$ и $СФНО$. Интервалы между импульсами определяются

характером задания и отработки его электроприводом. Поэтому реален случай, когда импульсы задания и отработки совпадают по времени. Для исключения возможности неправильной работы РСч в результате одновременного поступления импульсов на оба его входа, предусмотрена схема синхронизации СС. Эта схема обеспечивает наличие обязательного временного интервала между импульсами, поступающими на входы сложения (+) и вычитания (–) счетчика.

Этот интервал составляет не менее половины периода тактовых импульсов, поступающих на СС от генератора тактовых импульсов ГТИ. Тактовые импульсы поступают на входы блоков синхронизации БС1 – БС в виде двух последовательностей А и Б частоты $f_{т.и.}$, сдвинутых относительно друг друга на половину периода. Программные импульсы синхронизируются импульсами последовательности А при движении «Вперед» блоком БС1, а «Назад» – блоком БС2. Импульсы отработки синхронизируются аналогично в БС3 или БС4 импульсами последовательности Б.

Схема БС1 (БС2) приведена на рис. 3.92, а его работа поясняется временными диаграммами рис. 3.93. Поступивший на схему в произвольный момент времени программный импульс будет задержан и появится на выходе одновременно с поступлением ближайшего за ним импульса последовательности А.

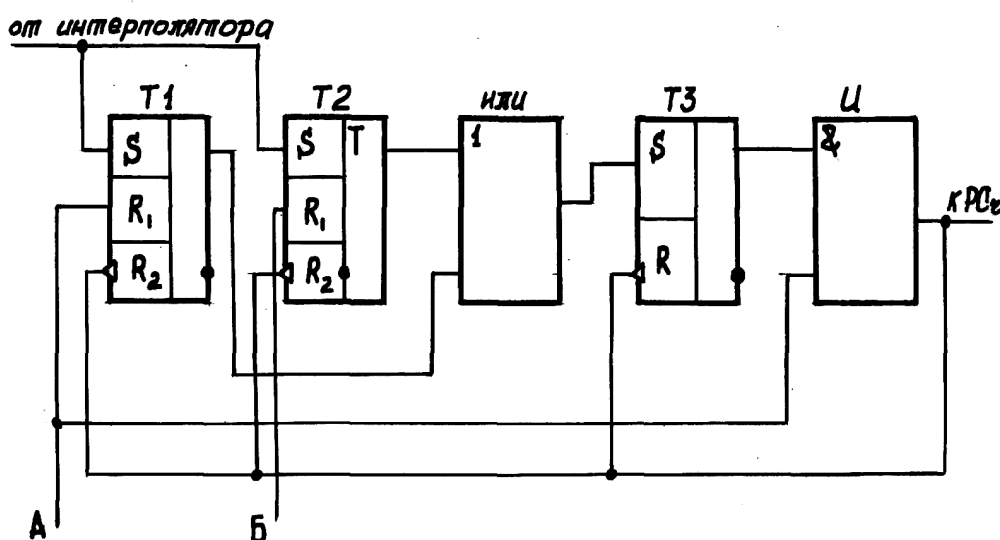


Рис. 3.92. Структурная схема блока синхронизации БС1 – БС2

Логическая часть схемы построена на RS-триггерах с отдельными входами. При отсутствии входных импульсов нулевые состояния триггеров Т1 и Т2 подтверждаются тактовыми импульсами соответственно А и Б.

Входной импульс, если он не совпадает по времени с тактовыми (в моменты времени t_0 и t_1), ставит триггеры T_1 и T_2 , а через элемент *ИЛИ* также и триггер T_3 в единичное состояние. Триггер T_3 открывает элемент *И* по потенциальному входу, и очередной тактовый импульс из последовательности A проходит на выход, устанавливая также триггер T_3 по цепи обратной связи в исходное нулевое состояние, при котором элемент *И* оказывается закрытым, а значит все последующие тактовые импульсы последовательности A не попадут на выход. Если входной импульс совпадает с тактовым импульсом последовательности B (момент времени t_2), то триггер T_2 может не изменить своего состояния. В этом случае триггер T_3 управляется только сигналом от триггера T_1 . И наоборот, при совпадении входного импульса с тактовым последовательности A (момент времени t_3) триггер T_3 изменит состояние только триггера T_2 . Аналогичным образом работает $БС4$ ($БС3$), но импульс отработки появляется на его выходе в момент поступления ближайшего за ним импульса последовательности B . Поскольку импульсы последовательностей A и B сдвинуты относительно друг друга, одновременное поступление программных импульсов и импульсов отработки на $РСч$ исключается. Время запаздывания импульса на выходе по отношению к входному изменяется в пределах:

$$\tau_3 = \Delta\tau \pm (\Delta\tau + 1/f_{m.u.}),$$

где $\Delta\tau$ – собственное время запаздывания, обусловленное суммарным временем срабатывания элементов схемы.

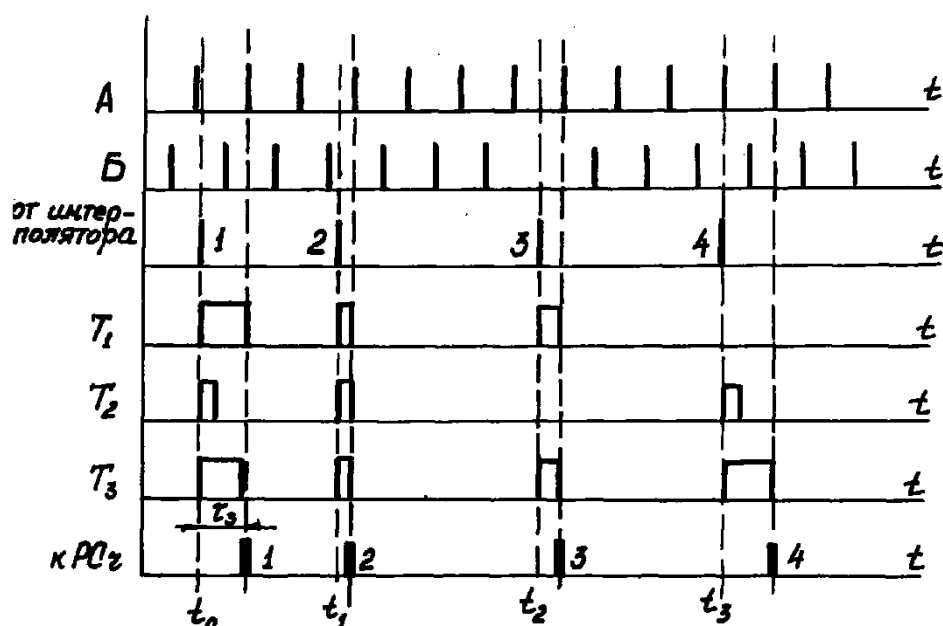


Рис. 3.93. Временные диаграммы формирования управляющего воздействия

Время запаздывания уменьшается с повышением частоты тактовых импульсов $f_{т.и}$, которая выбирается на порядок выше максимального значения частоты программных импульсов $f_{пр}$ и импульсов отработки $f_{о.с.}$. Поэтому оно мало влияет на динамические характеристики электропривода, лишь незначительно увеличивая сумму малых постоянных времени. При реверсе возможен режим, когда от интерполятора импульсы идут уже по каналу $H(B)$, а ИО движется еще в направлении «Вперед» («Назад»). Тогда одновременно на один вход РСч работают БС1 и БС3 (БС2 и БС4).

Преобразователь «код – напряжение» ПКН преобразует ошибку, вычисленную РСч, в дискретном виде в управляющее напряжение постоянного тока $U_{п.к.н.}$. На рис. 3.94 приведена схема ПКН, которая состоит из реализованной в виде микросхемы резисторной матрицы типа $R - 2R$ с ключами $K_1 - K_n$. Ключами управляют соответствующие разряды РСч $2^0 - 2^{n-1}$. Операционные усилители ОУ1 и ОУ2 работают в режиме суммирования токов. Схема обеспечивает симметричную характеристику ПКН относительно исходного состояния РСч $N_0 = 100...000$, при котором его старший разряд 2^{n-1} установлен в единичное состояние, а все младшие разряды $2^0 - 2^{n-2}$ находятся в нулевом состоянии. Положение ключей $K_1 - K_n$ соответствует исходному состоянию РСч (ключи условно для удобства понимания принципа работы изображены в виде контактных элементов).

Чтобы обеспечить значение $U_{п.к.н.} = 0$ при исходном состоянии РСч, на вход ОУ2 подан дополнительный компенсирующий сигнал $-U_{он.}$. Этот сигнал не зависит от состояния счетчика и подается от источника опорного напряжения через резистор смещения $R_{см} = 2^n R$.

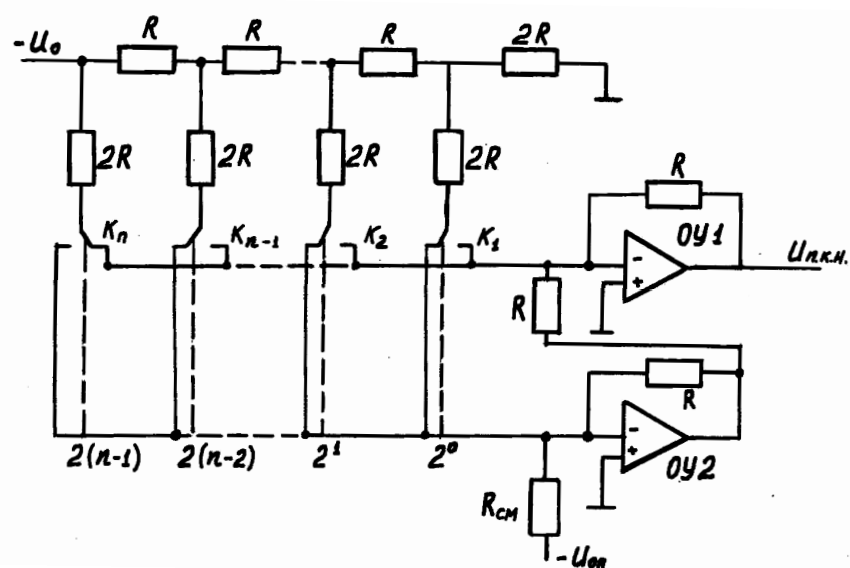


Рис. 3.94. Структурная схема преобразователя «код – напряжение»

Изменение выходного напряжения $ПКН$, соответствующее изменению на единицу числа в $РСч$ равно $U_{on} / 2^{n+1}$. Для произвольного числа $РСч$ выходное напряжение $ПКН$ определяется по отношению:

$$U_{п.к.н.} = \frac{U_{on}}{2^n} N_{сч} (1) - \frac{U_{on}}{2} N_{сч} (0) - \frac{U_{on}}{2^n},$$

где $N_{сч} (1)$ и $N_{сч} (0)$ – соответственно числа, определяемые значениями тех разрядов $РСч$, которые находятся только в единичном или только нулевом состоянии.

Схема компенсации скоростной ошибки $СКСО$ формирует аналоговый сигнал, пропорциональный частоте входных импульсов и представляет собой импульсно-аналоговый преобразователь типа «частота – напряжение». Задаваемая скорость по координате пропорциональна частоте входных импульсов. Поэтому для электропривода $СКСО$ выполняет роль формирователя сигнала, пропорционального входной скорости, т. е. производной от основной входной величины – перемещения.

3.8. Адаптивное управление процессом обработки

3.8.1. Общие сведения об адаптивном управлении

Если построить систему управления так, чтобы использовать информацию о параметрах резания, то коррекция исходной управляющей программы, обеспечивающей принцип «как сделать» возможна по дополнительным каналам обратной связи автоматически. Для подобной системы управления характерна адаптация к изменяющимся условиям обработки, а управляющая программа приобретает характер задания типа «что сделать». При этом само задание в большей или меньшей степени освобождается от конкретных инструкций статической настройки; в идеале оно формирует только цель управления, в соответствии с которой инструкции выполняются автоматически либо оперативно видоизменяются. Значение обратной связи через оператора практически исчезает.

Характер задания типа «что сделать» можно называть динамической настройкой. Таким образом, **динамическая настройка** представляет собой этап управления точностью обработки непосредственно в условиях резания, когда искажению точности способствуют деформационные, тепловые и динамические процессы. В основе указанных процессов лежат различные физические явления – упругие и контактные деформации, трение, изнашивание, вынужденные колебания, автоколебания, а также неравномерность припуска и микротвердости материала обрабатываемых загото-

вок от сечения к сечению. Однако влияние любых факторов на точность обработки проявляется в конечном счете через размерные связи станочной системы. Под действием этих факторов происходят изменения размеров и относительных поворотов поверхностей. В итоге возникают отклонения от заданной при статической настройке точности относительного положения и движения инструмента, баз станка и обрабатываемой заготовки. Эти отклонения носят переменный характер и изменяются случайно или по определенному закону в функции времени, в функции координат.

Таким образом, размеры деталей являются функциями не только начальной установки и статической настройки, а также и динамической настройки. Исходя из этого, достижение повышенной точности возможно посредством автоматического управления в рамках начальной установки, статической и динамической настроек, т. е. при адаптивном управлении процессом резания. Причем управление какого-то одного вида может устранять как собственные погрешности, так и погрешности управлений других видов. Таким образом, качество (точность) обработки является управляемым показателем технологического процесса, а достижение качества - компонентом технологической задачи ЧПУ. Из изложенного следует способ решения той части технологической задачи, которая относится к управлению качеством по принципу «что сделать» (рис. 3.95).

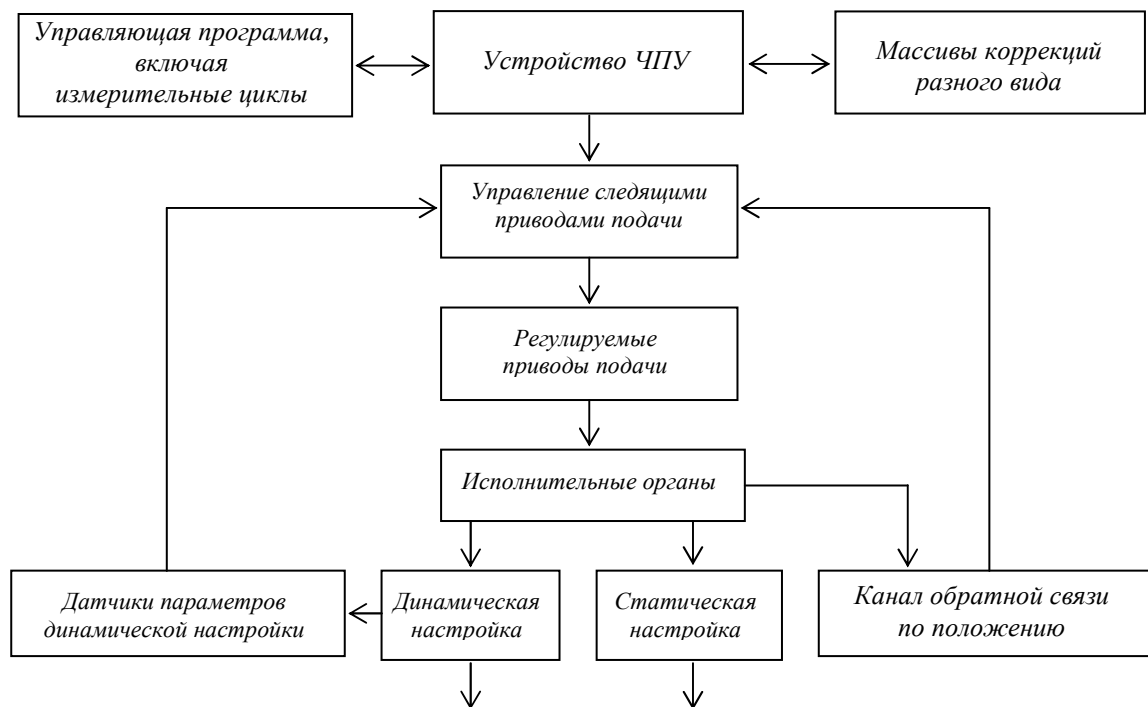


Рис. 3.95. Способ решения технологической задачи, связанной с управлением качеством обработки при адаптивном управлении

В процессе резания измеряют параметры динамической настройки с помощью датчиков силы резания и крутящего момента на шпинделе, датчиков температуры и вибраций, датчиков деформаций и смещений и др. Такая информация при соответствующей ее обработке позволяет управлять динамической настройкой. Так как управление точно осуществляется через приводы подач, технологическая задача на определенном этапе пересекается с геометрической задачей.

Системы управления, реализующие рассмотренный способ управления процессом резания принято называть **адаптивными предельного регулирования**.

Другая часть технологической задачи связана с управлением эффективностью (экономичностью) обработки.

Обычно под экономичным режимом резания понимают такой период стойкости и соответствующие ему параметры режима резания, при которых стоимость операции будет наименьшей. Запись критериев оптимальности основана на известных зависимостях между скоростью резания, подачей, глубиной резания и периодом стойкости инструмента.

Для чистовых операций период стойкости инструмента может быть менее важным, чем точность достигаемого размера и чистоты поверхности. Однако для черновых операций необходимо снимать наибольшее количество материала в единицу времени. Таким образом, проблема управления с целью установления экономических режимов резания актуальна именно в отношении черновых операций. Математическая формулировка этой проблемы может быть различной. Например, оптимизация процесса резания посредством максимизирования отношения объема снимаемого металла к износу инструмента или оптимизация процесса резания посредством минимизирования отношения затрат к объему снимаемого металла за период стойкости инструмента и т. д.

Проблему оптимизации чаще всего сводят к определению оптимальных режимов резания (скорости резания и подачи). Однако сходные методы могут быть привлечены к оптимизации переходных процессов, допусков, последовательности переходов. Таким образом, принцип оптимальности можно сформулировать следующим образом: для конкретного варианта технологического процесса необходимо определить такие значения исходных технологических параметров, которые обеспечили бы наибольшую эффективность процесса при соблюдении ограничений по качеству обработки, производительности, техническим, технологическим и организационно-техническим возможностям станка.

Системы управления станками, обеспечивающие поиск и поддержание технологических параметров рабочего процесса, удовлетворяющих критерию оптимизации и действующим ограничениям, называют **адаптивными оптимального регулирования**. При этом различают поисковые и беспойсковые системы оптимального управления. Поисковые системы определяют оптимальный режим резания с использованием пробных управляющих воздействий, а беспойсковые – лишь на основе текущих вычислений.

В станках с ЧПУ преимущественное применение в силу простоты реализации и эксплуатации нашли адаптивные системы типа предельного регулирования.

Обобщенная структурная схема адаптивного управления, объединяющая оба типа рассмотренных систем, показана на рис. 3.96. Блок (модуль) адаптивного управления может быть частью устройства ЧПУ, а также может быть автономным устройством. При этом в любом случае устройство ЧПУ управляет технологическим процессом через приводы подачи, скорости резания, автоматики. Таким образом, только адаптивное управление способно снизить отрицательное влияние действующих на технологический процесс возмущений, а также отрицательные последствия несовершенной управляющей программы.

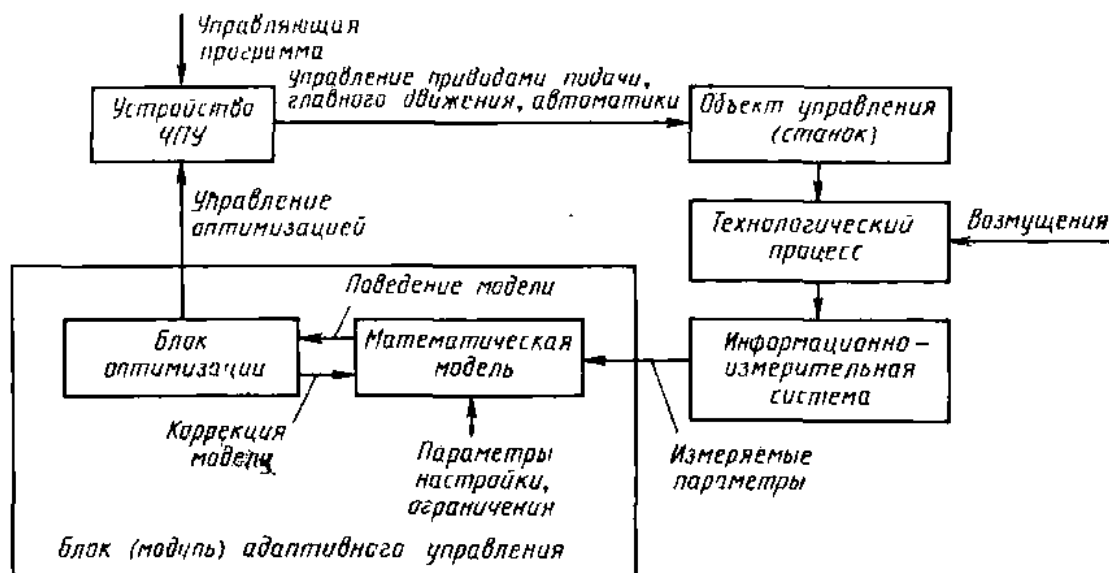


Рис. 3.96. Обобщенная структурная схема адаптивного управления

Измеряемые параметры зависят от искомых технологических. Как правило, измеряют силу резания, мощность, износ инструмента и т. п. К параметрам настройки относятся коэффициенты уравнений, определяющих математическую модель. Ограничения составляют систему неравенств,

каждое из которых устанавливает пределы варьирования измеряемых и искомых параметров. Математическая модель связывает критерий оптимальности с искомыми технологическими и измеряемыми параметрами. Блок оптимизации, действуя в соответствии с некоторым постоянным или выбираемым алгоритмом, находит такие значения искомых технологических параметров, которые обеспечивают критерию оптимальности максимум или минимум. При этом учитываются необходимые ограничения.

3.8.2. Средства получения информации о ходе процесса резания

С практической точки зрения наибольший интерес представляют составляющие силы резания, крутящий момент, мощность резания, износ инструмента, текущий размер обработки.

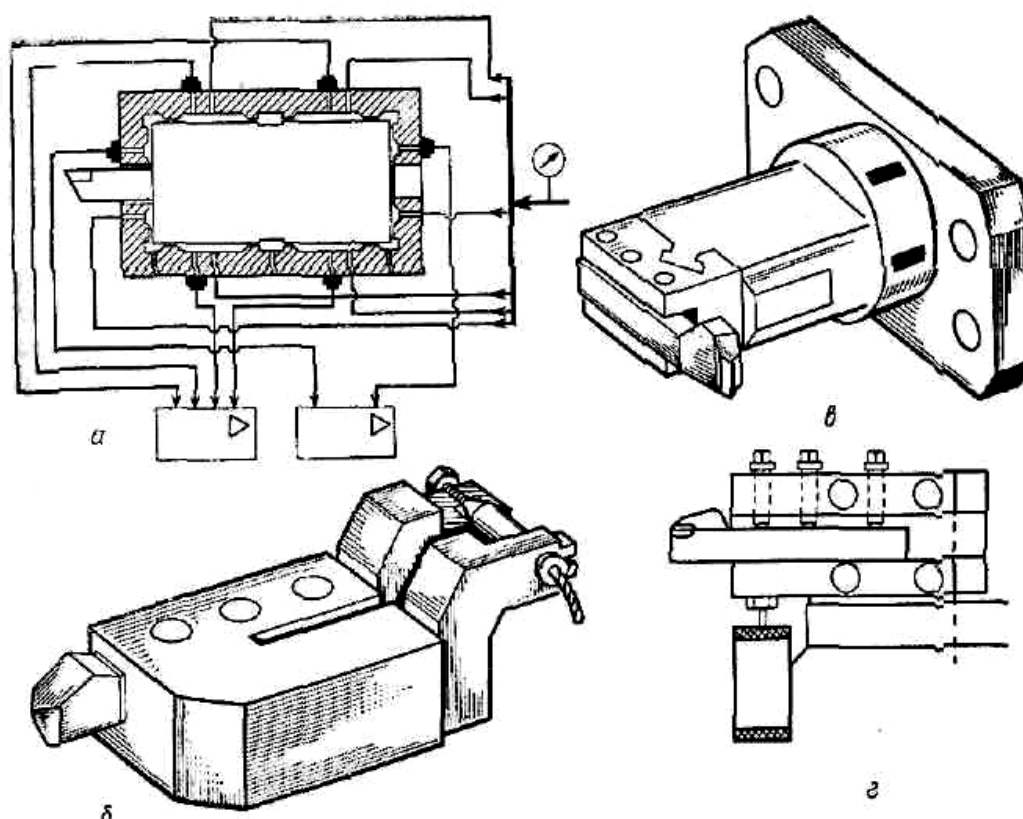


Рис. 3.97. Динамометрические резцедержатели токарных станков

Средства измерения составляющих сил резания проектируют обычно как однокомпонентные, реже – двухкомпонентные датчики, в которых осуществляется двойное преобразование: измеряемая силовая характеристика преобразуется в перемещение или деформацию некоторого упруго-

го элемента, а затем посредством измерительного преобразователя в электрический сигнал. Общий коэффициент усиления при этом есть произведение податливости упругого элемента на коэффициент усиления измерительного преобразователя, откуда возникает соблазн повышать податливость упругого элемента для достижения необходимой высокой чувствительности динамометрического узла в целом. Однако это допустимо лишь до тех пор, пока жесткость упругой системы измерительного устройства не вносит заметного изменения в баланс упругих перемещений станочной системы. Как правило, эта жесткость должна быть не менее чем на порядок выше жесткости наиболее податливых элементов станочной системы.

На рис. 3.97 показаны некоторые конструкции динамометрических резцедержателей токарных станков. Представляют практический интерес резцедержатели с гидростатической разгрузкой инструмента (рис. 3.97, *а*), в которых о величине составляющей P_y силы резания можно судить по перепаду давления в передних и задних гидростатических карманах, а о величине составляющей P_z – по перепаду давления в верхних и нижних карманах. Давление измеряется с помощью полупроводниковых датчиков, чувствительные элементы которых связаны с карманами. Резцедержатель, показанный на рис. 3.97, *б*, закрепляют на суппорте таким образом, что его часть с резцом оказывается консольной. Установочный винт этой части воздействует на сердечник индуктивного датчика перемещений при всех изменениях величины и направления силы резания. Упругими, т. е. динамометрическими элементами конструкций по рис. 3.97, *в*, *г* являются собственные неослабленные корпуса резцедержателей. Причем в первом случае (рис. 3.97, *в*) использованы наклеенные тензорезисторы, а во втором случае (рис. 3.97, *г*) – индуктивный датчик перемещений.

При фрезерной обработке для выделения управляющих воздействий по координатам X и Y приходится отдельно измерять составляющие P_x и P_y силы резания, например с помощью накладного двухкоординатного динамометрического стола (рис. 3.98). Две прямоугольные плиты (верхняя и нижняя) соединены между собой четырьмя сменными упругими элементами, жесткость которых зависит от их диаметра, и, следовательно, ею можно варьировать при различных условиях обработки. Под действием силы резания верхняя плита смещается относительно нижней, что регистрируется двумя индуктивными датчиками. Диаметр упругих элементов подбирают таким образом, чтобы их жесткость была в 20 – 50 раз выше жесткости фрезы, и в этом случае податливость измерительного устройства слабо сказывается на общей жесткости обрабатывающей системы и ее виброустойчивости.

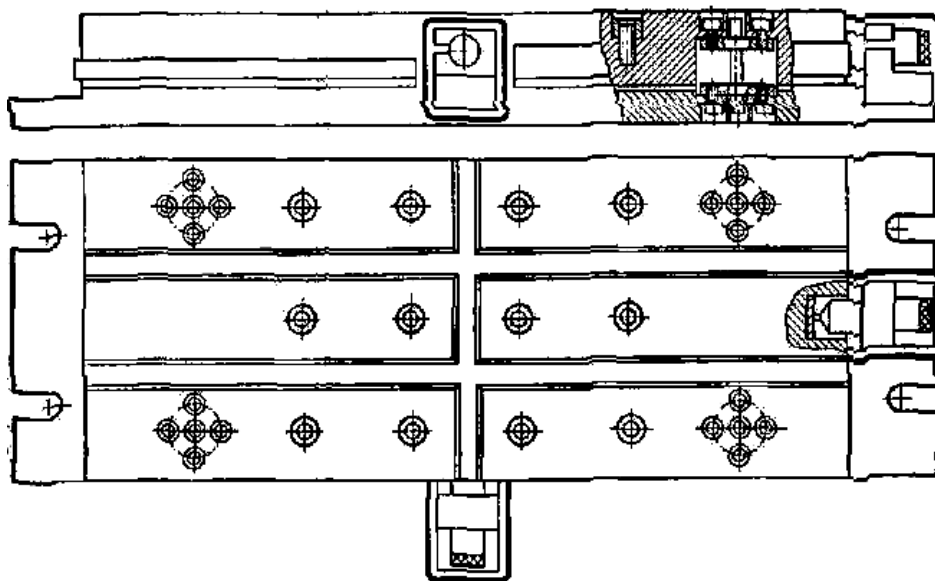


Рис. 3.98. Динамометрический стол фрезерного станка

Средства измерения крутящего момента. Наиболее пригодными для шпинделей металлорежущих станков являются магнитоупругие датчики. Достоинство таких датчиков заключается в том, что не нужны токосъемные устройства с вращающегося шпинделя, а сама конструкция шпиндельного узла при встройке датчика практически не претерпевает изменений. Датчик представляет собой кольцевую электромагнитную систему, через центральное отверстие которой свободно проходит шпиндель (рис. 3.99, *а*). Электромагнитная система (смотрите развертку на рисунке) имеет цепь возбуждения, расположенную в плоскости $A - A$ статора датчика, и измерительную цепь, представляющую собой набор катушек на Π -образных магнитопроводах, размещенных вдоль оси датчика таким образом, что магнитные потоки замыкаются через воздушный зазор и вращающийся шпиндель в плоскостях, совпадающих с его осью. Катушки цепи возбуждения включены так (рис. 3.99, *б*), чтобы было обеспечено чередование полюсов. Поэтому магнитные потоки цепи возбуждения замыкаются через шпиндель по кольцу от полюса к соседнему полюсу в плоскости $A - A$. Таким образом, магнитные оси цепей возбуждения и измерительной взаимно перпендикулярны, и поток сцепления с катушками измерительной цепи равен нулю. При приложении крутящего момента в силу деформации кристаллической решетки ферромагнитного материала шпинделя вектор магнитного потока возбуждения отклоняется от направления, перпендикулярного магнитной оси измерительной цепи. В итоге появляются составляющие магнитных потоков, замыкающиеся через Π -образные магнитопроводы и наводящие в измерительных катушках ЭДС, пропорциональную величине крутящего момента.

Средняя чувствительность датчика без усилителя составляет 1–8 мВ/(Нм), постоянная времени измерений имеет порядок 0,002 сек. При несущей частоте 800 Гц. Чувствительный элемент лучше всего изготавливать из сталей 38ХМЮА и 30Х13.

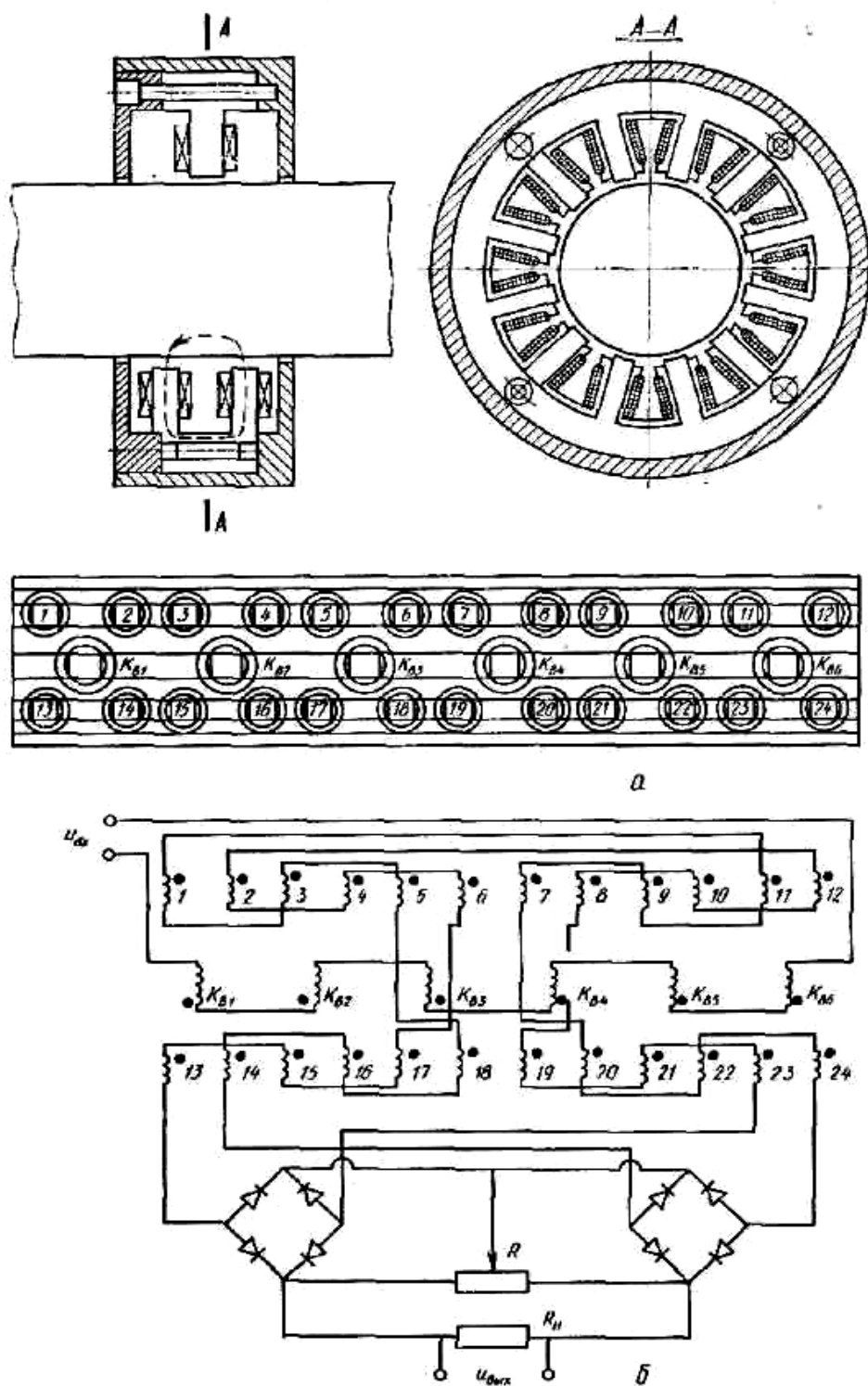


Рис. 3.99. Магнитоупругий датчик крутящего момента: *а* – конструкция и развертка электромагнитной системы; *б* – схема включения катушек

Средства измерения мощности резания. С высокой степенью достоверности о мощности резания можно судить по активной мощности, забираемой приводным асинхронным двигателем из сети. Датчик активной мощности может быть выполнен на базе ваттметрического узла с трансформаторами тока и напряжения. После перемножения мгновенных значений тока и напряжения сигнал на выходе датчика оказывается пропорциональным $IU \cos \varphi$, т. е. активной мощности P_a . Схема, приведенная на рис. 3.100, состоит из двух одинаковых однофазных блоков. В этой схеме производятся операции:

$$[(k_1 U + k_2 I)^2 - (k_1 U - k_2 I)^2] \approx P_a.$$

Последовательность операций такова: сложение и вычитание сигналов, пропорциональных соответственно напряжению и току, выполняется во входных цепях выпрямительных мостов; операции возведения в степень осуществляются нелинейными полупроводниковыми резисторами НПП1 – НПП4, а окончательное вычитание в каждом из однофазных блоков происходит на резисторах R3 – R6. Выходное пульсирующее напряжение сглаживается фильтром L1 – C1 – C2.

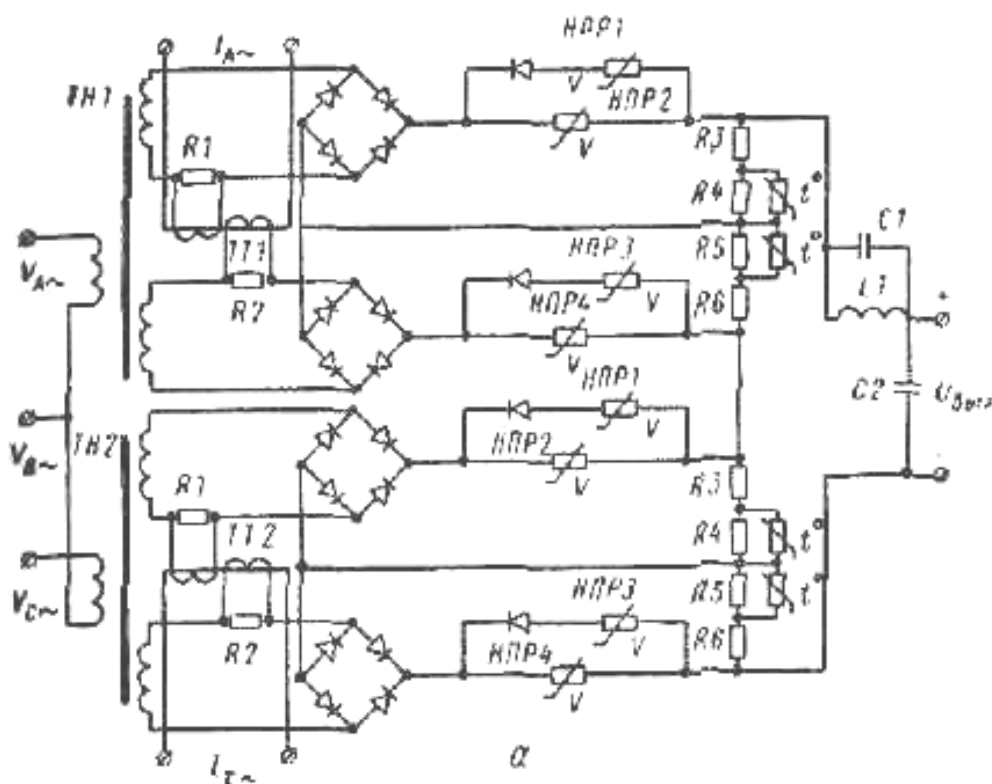


Рис. 3.100. Датчик мощности резания при использовании асинхронного двигателя

Средства измерения температуры в зоне резания. Информация о температуре в зоне резания станка, оснащенного автоматической системой управления, в одних случаях представляет самостоятельный интерес,

в других – для оценки износа инструмента. Из всех методов определения температуры практическое распространение в станках получил способ измерения термо-ЭДС естественной термопары «инструмент – деталь» или так называемого «термоэлемента резания». Термоэлемент резания описывается вольт-амперной характеристикой (рис. 3.102, а), где 1 – «истинная» вольт-амперная характеристика с учетом лишь внутреннего сопротивления $R_k = \operatorname{tg} \alpha$ контакта «деталь – инструмент»; 2 – характеристика при точении цельным твердосплавным резцом и при использовании токосъемника с детали с сопротивлением $R_t = \operatorname{tg} \alpha' - \operatorname{tg} \alpha$; 3, 4 – вольт-амперные характеристики, получаемые при точении различными резцами с механическим креплением пластин»; $U_{\min}$ – напряжение между резцом и токосъемником при максимальном токе, снимаемое с нагрузочного резистора R_n измерительной цепи; $I_{\max} = U_{\min} / R_n$ – максимальный регистрируемый ток.

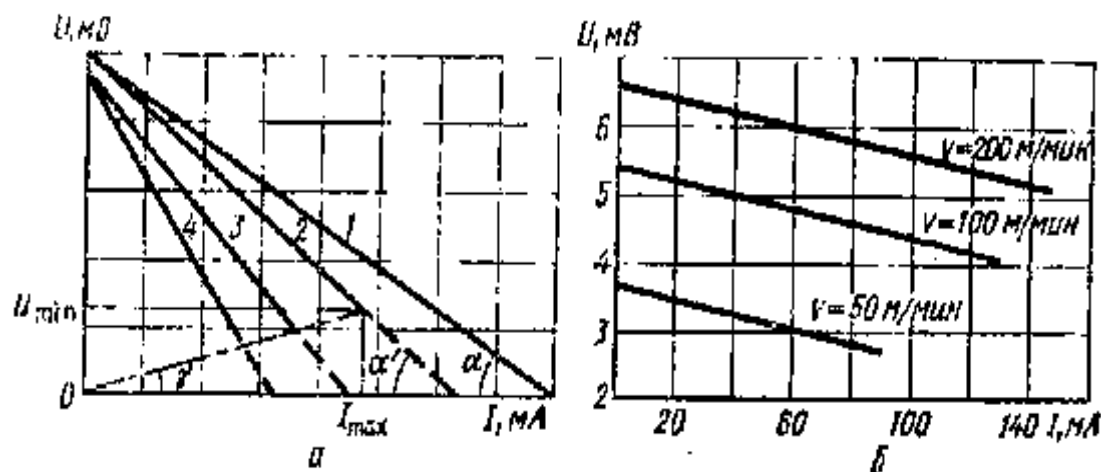


Рис. 3.102. Вольт-амперные характеристики термоэлемента резания:
а – смещение характеристики при изменении сопротивления в измерительной цепи;
б – смещение характеристики с изменением скорости резания

Скорость резания в наибольшей степени влияет на температуру контакта и вызывает изменение термо-ЭДС. Вольт-амперная характеристика (рис.3.102, б) при этом смещается параллельно самой себе (экспериментальные данные получены при точении стали 45 без СОЖ с подачей 0,1 мм/об и глубиной резания 2 мм).

Вольт-амперная характеристика более информативна, чем термо-ЭДС, так как изменения ее характеристик при вариациях припуска и подачи монотонны. Поэтому в качестве измерительного сигнала во многих случаях более удобно использовать не термо-ЭДС E , а электрическую

мощность P термоэлемента (удвоенная площадь треугольника между вольт-амперной характеристикой и осями координат). При этом вводят понятие и определяют электрическую мощность резания:

$$P_{рез} = P_{к.з} - P_{тр},$$

где $P_{к.з}$ – мощность в режиме квази-короткого замыкания;

$P_{тр}$ – мощность термоэлемента трения (имеющего свою вольт-амперную характеристику), определяемая при трении резца по задней поверхности без резания.

Значения $P_{к.з}$ и $P_{тр}$ определяют по формулам:

$$P_{к.з} = \frac{E^2 I_{\max}^{\bullet}}{E - U_{\min}^{\bullet} - I_{\max}^{\bullet} R_{тр}}; \quad P_{тр} = \frac{E_{тр}^2 I_{\max}^{\bullet\bullet}}{E_{тр} - U_{\max}^{\bullet\bullet} R_{тр}},$$

где $U_{\min}$ и $I_{\max}$ – параметры вольт-амперной характеристики.

Значение параметра $P_{рез}$ для различных обрабатываемых материалов находятся в относительном соответствии с рядом обрабатываемости машиностроительных сталей. Эта особенность может быть предусмотрена при построении адаптивной системы в виде заложенных в структуру коэффициентов обрабатываемости, которые позволят переходить с одной марки или партии обрабатываемого материала на другую.

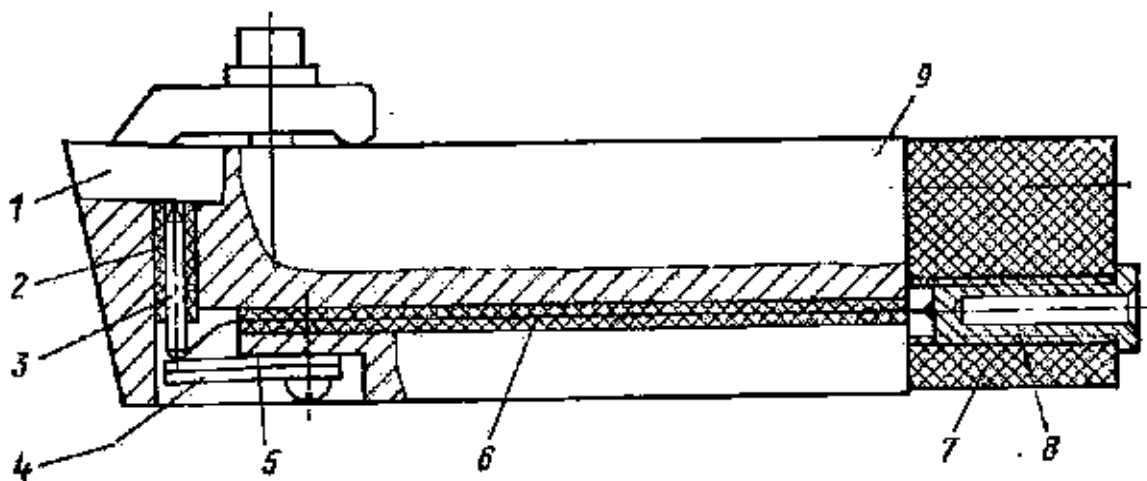


Рис. 3.103. Резец со встроенным термоэлементом

Конструктивное решение термоэлемента резания может быть различным, в том числе со встроенной термопарой, так как показано на рис. 3.103. Резцовая пластинка 1 из твердого сплава механически крепится к державке без электрической изоляции. Твердосплавный стержень 3 изолирован кера-

мической втулкой 2 от корпуса 9 прокладкой 5 из стеклотекстолита от поджимающей стержень пружины 4. Стержень связан с латунной штекерной втулкой 8 с помощью проволоки из компенсационного материала (никеля или алюминия). Компенсационный провод от корпуса изолирован (изоляция 6), штекерная втулка закреплена в текстолитовом кронштейне 7.

Средства измерения износа инструмента. Стойкость инструмента в ходе обработки можно оценивать либо посредством прямого измерения величины износа (что очень непросто), либо косвенно по силовым параметрам резания или температуре в зоне резания. Рассмотрим пример, в котором износ измеряют непосредственно посредством ультразвукового датчика (рис. 3.104), определяющего изменение вследствие износа расстояния между датчиком 1 и деталью 4. Принцип работы самого датчика состоит в измерении времени прохождения импульса. Расстояние L измеряется непрерывно. Датчик 1 размещен в

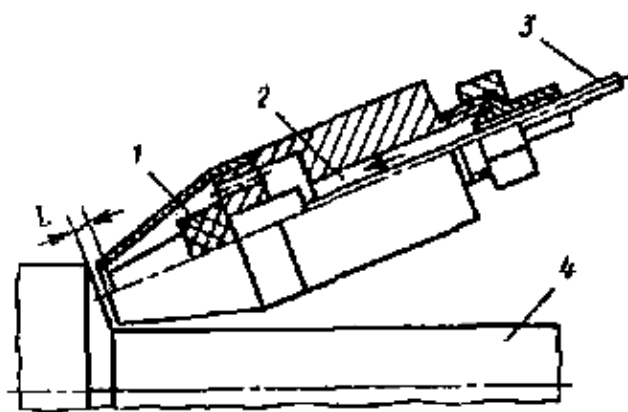


Рис. 3.104. Ультразвуковой датчик измерения износа инструмента

специальном сопле, через которое поступает охлаждающая жидкость, предохраняющая вибратор датчика от нагрева. Электрический кабель 3 питания проходит через трубопровод 2 охлаждающей жидкости. Диаметр датчика порядка 8 мм, его вибратор работает на частоте 8 МГц. Результаты измерения используют следующим образом: фиксируют временные интервалы, за которые величина износа переходит через заранее установленные пороговые значения W_1 , W_2 и т. д. Развитие износа во времени τ может быть представлено следующим образом:

$$\frac{W_1}{W_2} = \left(\frac{\tau_1}{\tau_2} \right)^{m/n}.$$

За несколько измерений могут быть определены коэффициенты m и n , причем особое значение имеет коэффициент m , позволяющий внести эмпирическую определенность в известное выражение для стойкости T :

$$C_v = v T^m s_v^y t_v^x,$$

где v , s , t — соответственно скорость резания, подача, глубина резания;
 C_v , y_v , x_v — постоянные коэффициенты из нормативов на режимы резания.

Наибольшее распространение получили косвенные методы оценки износа, основанные на предварительно установленных зависимостях износа от разнообразных факторов. В ряде исследований показано, что износ W может быть разделен на механический или абразивный W_1 , вызываемый выкрашиванием и истиранием инструмента равномерно распределенными в заготовке твердыми включениями, а также на физико-химический W_2 , обусловленный окислительными, диффузионными и адгезионными процессами. В основе которых лежит взаимодействие компонентов материала инструмента и детали. Это отражается следующей формулой:

$$W = W_1 (L, \sigma) + W_2 (\theta, \tau),$$

где L – общая длина пути резания;
 σ – сопротивляемость инструмента механическому истиранию;
 θ – температура на режущей кромке;
 τ – время резания.

При обработке с небольшими температурами или при сравнительно легких условиях резания основное значение имеет первая составляющая формулы. Для ее оценки, как правило, достаточны измерения силовых параметров резания, так как по мере увеличения фаски износа по задней поверхности составляющие силы резания растут. В определенной же зоне режимов резания связь температуры и стойкости может оказаться очень сильной, и тогда для суждения о текущей стойкости достаточно измерить температуру в зоне резания. При этом для получения наиболее полной информации о стойкости конкретного инструмента целесообразно использовать следующие сигналы, вызываемые термоэлектрическими явлениями: E_0 – начальное значение термо-ЭДС; $\tau_{ст}$ – время переходного процесса стабилизации ЭДС термоэлемента; E_τ – текущее значение термо-ЭДС.

Таким образом, в различных конкретных воплощения контур системы адаптивного управления, передающий косвенную информацию о состоянии инструмента, содержит либо датчики, измеряющие силовые параметры резания, либо датчики, измеряющие температуру в зоне резания, либо (реже) и те, и другие датчики в зависимости от характера заранее установленной экспериментами корреляционной связи износа и физических факторов процесса резания.

Средства измерения текущих размеров деталей. Наиболее мощным источником повышения точности обработки является информация об истинных размерах детали. Получить такую информацию непосредственно в процессе резания очень сложно даже для простейших деталей. При этом большинство деталей в процессе резания вообще невозможно измерить: это тех-

нологически нежесткие детали с неплоскими поверхностями, детали сложной формы с большим числом определяющих координатных точек и др. В этом случае информация об истинных размерах может быть получена либо на холостом ходу, либо с помощью контрольно-измерительных машин с ЧПУ.

Структурная схема комплекса, в котором результаты измерений готового изделия на холостом ходу использованы для корректировки программ показаны на рис. 3.105. Посредством ЭВМ рассматривается исходная программа обработки и измерительная программа, исходная программа вводится в устройство ЧПУ и обрабатывается первая деталь. Затем в шпиндель устанавливается измерительная головка, которая обходит в относительном движении профиль изделия по измерительной программе. Сигнал с измерительной головки непрерывно поступает в устройство регистрации и по командам опроса преобразуется в цифровую форму. Далее эта информация вводится в ЭВМ вместе с исходной программой, после чего формируется скорректированная программа. Подобный метод используется на высокоточных станках с ЧПУ для обработки сложных деталей.

Контрольно-измерительная машина с ЧПУ является внешним по отношению к станку оборудованием. Тем не менее, она может исполнять роль своеобразного агрегата адаптивной системы управления процессом обработки. При использовании контрольно-измерительной машины задача измерения и задача коррекции программы решаются с помощью информации о теоретическом профиле детали, фактической траектории относительного движения исполнительных механизмов контрольно-измерительной машины, показаниях измерительной головки.

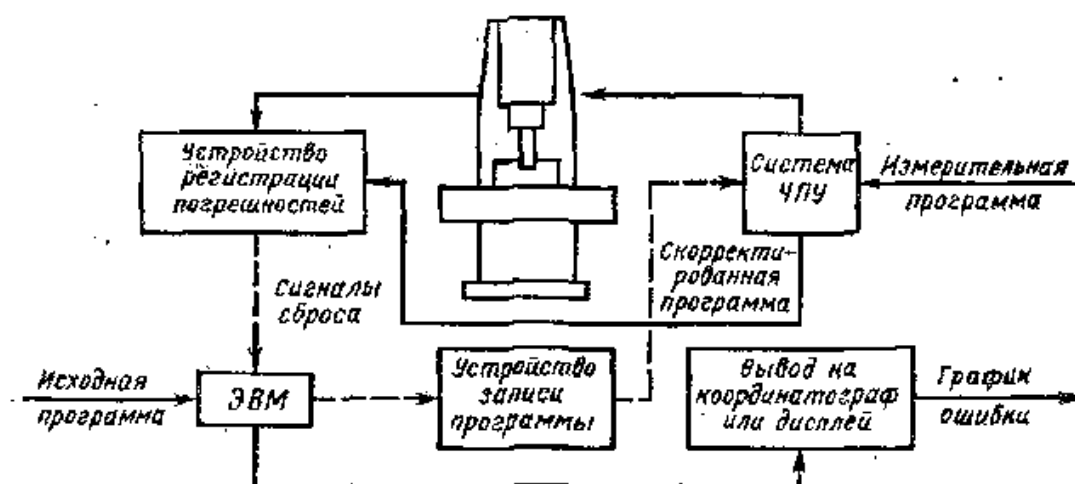


Рис. 3.105. Структура измерения точности изделия непосредственно в рабочей позиции и использование результатов измерения для коррекции управляющей программы

На рис. 3.106 показана структурная схема контрольно-измерительной машины для объемного (трехмерного) измерения детали 1, расположенной на столе 2. Координатные исполнительные приводы 3, 4, 5 управляются от программного блока 7. Текущие положения стола 2 (x_i и y_i), корпуса 6 (z_i') и щупа (z_i'') регистрируются датчиками 8.

Для каждой пары координат x_i и y_i в блоке 9 вычисляется теоретическая координата z_i , затем z_i' , z_i'' , z_i''' передаются в блок 10, в котором рассчитывается погрешность σ_i . Эта погрешность по каналу связи передается в систему ЧПУ станка для коррекции управляющей программы.

Программа перемещения стола составлена таким образом, чтобы щуп контактировал с деталью только в контрольных точках. При этом в каждой контрольной точке перемещение по оси Z осуществляется до тех пор, пока щуп не займет нулевое положение. В этот момент и подается команда на снятие показаний с датчиков. Погрешности обработки оценивают в различных случаях по разному – или в направлении одной координаты, или по нормали к измеряемому плоскому контуру. В первом случае для измерения используются обычные датчики перемещения с аналоговым выходным сигналом. Во втором случае используют специальные измерительные головки, ориентация чувствительных элементов которых в плоскости нормали производится посредством самоустановки или принудительно по программе.

На рис. 3.107, а показана самоустанавливающаяся измерительная головка. Диск 1 ее измерительного стержня 2 контактирует с деталью, а верхняя грибообразная часть стержня – с индуктивным датчиком 3 перемещения. Сам измерительный стержень вывешен на мембране 4, что исключает трение без смазки при измерительных перемещениях.

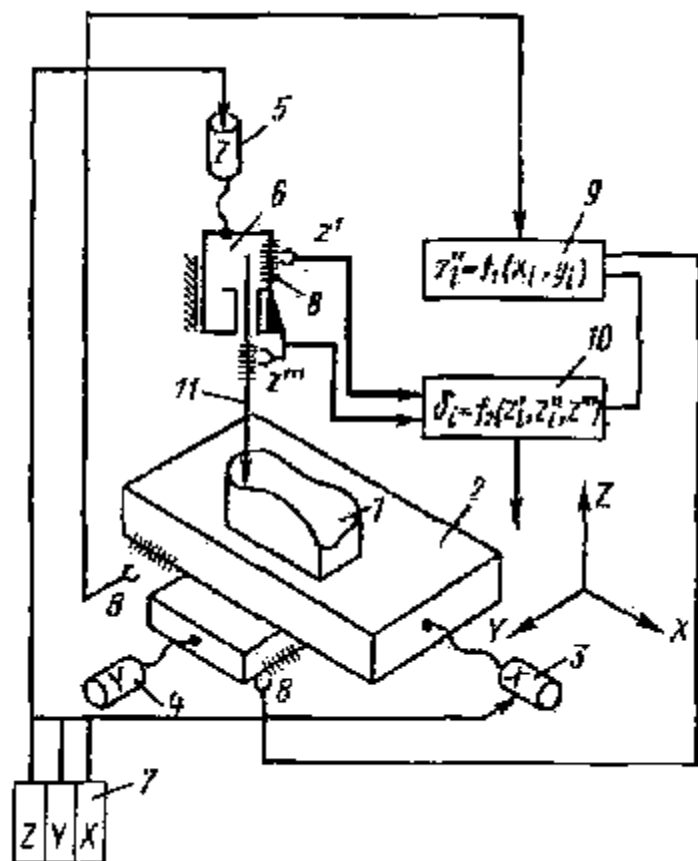


Рис. 3.106. Структурная схема контрольно-измерительной машины с ЧПУ

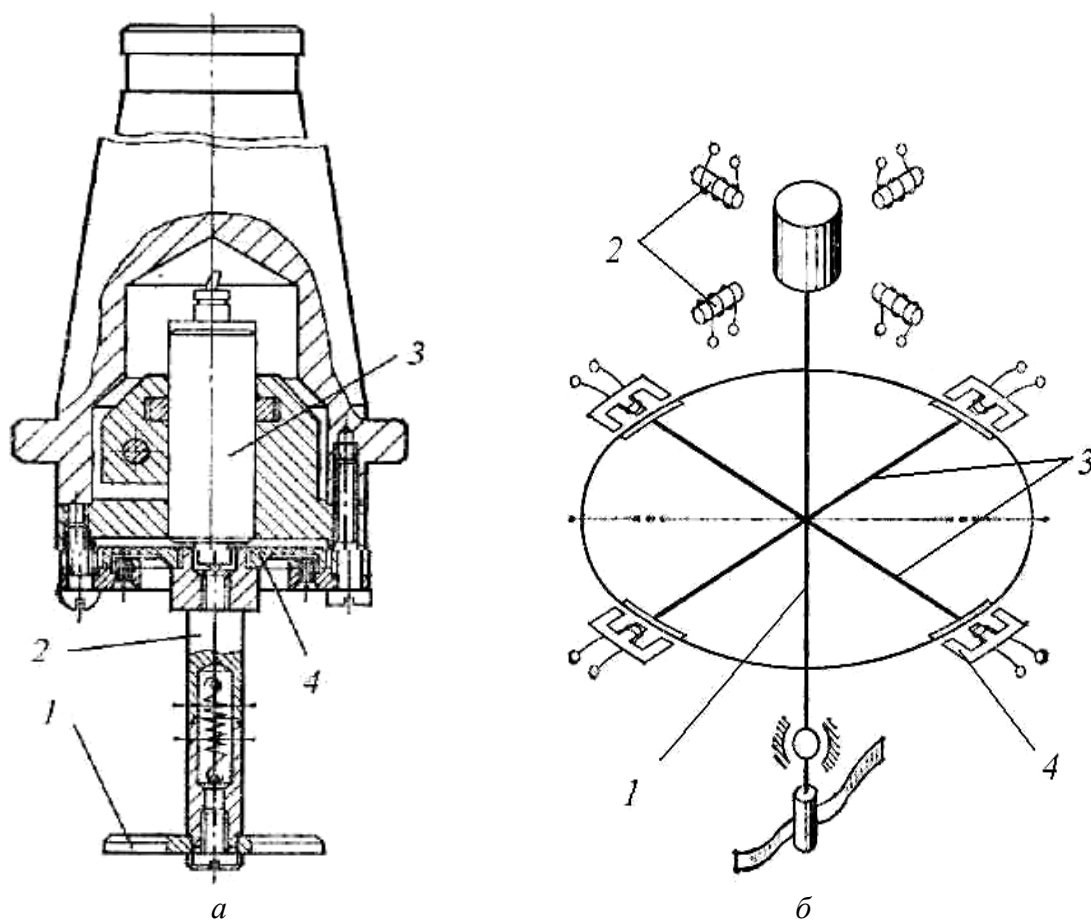


Рис. 3.107. Измерительные головки: *а* – самоустанавливающаяся;
б – с принудительной ориентацией

У измерительной головки с принудительной ориентацией (рис. 3.107, *б*) измерительный рычаг 1 устанавливается в пространстве с помощью двух пар соленоидов 2 таким образом, что его ось и нормаль к измеряемому профилю оказываются в одной плоскости и остаются в ней при всех смещениях рычага, обусловленных погрешностями обработки. На рычаге размещены якоря 3 двух дифференциальных индуктивных датчиков 4 перемещения, сигналы которых пропорциональны составляющим вектора отклонения.

3.8.3. Системы адаптивного предельного регулирования

Системы этого класса решают различные частные задачи увеличения эффективности обработки, причем в конкретном техническом исполнении выступают как системы стабилизации, следящие или программного регулирования. Системы стабилизации могут быть предназначены для поддержания на установленном уровне силы резания, крутящего момента, мощности резания посредством управления скоростью

подачи; постоянства скорости резания, вычисляемой как величина, пропорциональная произведению скорости вращения шпинделя на текущий диаметр обработки; постоянства положения инструмента посредством регулирования его статической настройки и др.

Мероприятия по стабилизации силы резания, крутящего момента, мощности резания способствуют улучшению качества обработки, сокращению времени резания и вспомогательных перемещений, увеличению стойкости инструмента, повышению точности.

Автоматические следящие системы используют для управления положением детали или инструмента, компенсации упругих деформаций обрабатывающей системы или погрешностей кинематических цепей, управления статическими и динамическими характеристиками станочной системы. Конечной целью при этом является повышение точности деталей.

Отличительные характеристики систем программного регулирования: эти системы всегда замкнуты по процессу резания; закон изменения управляющего воздействия известен заранее, он представляет собой в некотором смысле оптимальную зависимость, установленную аналитически или экспериментально от выходных координат; структура системы содержит простейшее вычислительное устройство (иногда это просто нелинейный преобразователь), предназначенный для расчета оптимальных управляющих воздействий в соответствии с текущими значениями выходных параметров.

Практическое распространение среди систем предельного адаптивного управления получили решения, обеспечивающие конкретную стойкость инструмента посредством регулирования скорости подачи (например, для токарных и фрезерных станков); постоянную скорость резания посредством регулирования скорости вращения шпинделя (например, при торцовом и фасонном точении); повышение точности формы нежестких деталей посредством программного регулирования силы резания (например, в продольном сечении при токарной обработке) и др.

На рисунке 3.108 приведена структура системы управления процессом резания на токарном станке с ЧПУ. В состав функциональной схемы входят датчики $D1$ и $D2$ силы резания и мощности, задающие устройства $ZY1$ и $ZY2$ силы резания и мощности, сравнивающие устройства $CY1$ и $CY2$, генератор тактовых импульсов $ГТИ$, исполнительное устройство $ИУ$. Сигнал U_1 , пропорционален фактической (мгновенной) силе резания P_ϕ , а сигнал U_2 соответствует заданной силе резания P_z . Сигнал U_3 пропорционален фактической (мгновенной) мощности N_ϕ , а сигнал U_4 соответствует заданной мощности N_z . Сигналы A , B , C на выходе сравнивающих уст-

ройств двоично кодированы, причем $A = 0$ и $B = 0$ при $P_\phi = P_3$; $A = 1$ и $B = 0$ при $P_\phi > P_3$; $A = 0$ и $B = 1$ при $P_\phi < P_3$; $C = 1$ (блокировка ИУ и запрет увеличения s_i) при $N_\phi = N_3$. Исполнительное устройство ИУ представляет собой комбинацию реверсивного счетчика для импульсов ГТИ и дешифратора, декодирующего коэффициенты k_i . Если $A = 0$, $B = 0$, $C = 1$, то счетчик суммирует импульсы ГТИ, что приводит к увеличению подачи. Если $A = 1$, $B = 0$, $C = 1$, то счетчик работает на вычитание, что приводит к снижению подачи. В структуру устройства ЧПУ входят блоки: ГС – генератор скорости; РД – ручной делитель; Ин – интерполятор. Для поддержания постоянной оборотной подачи ГС синхронизирован с импульсными сигналами, поступающими от фотоэлектрического датчика шпинделя.

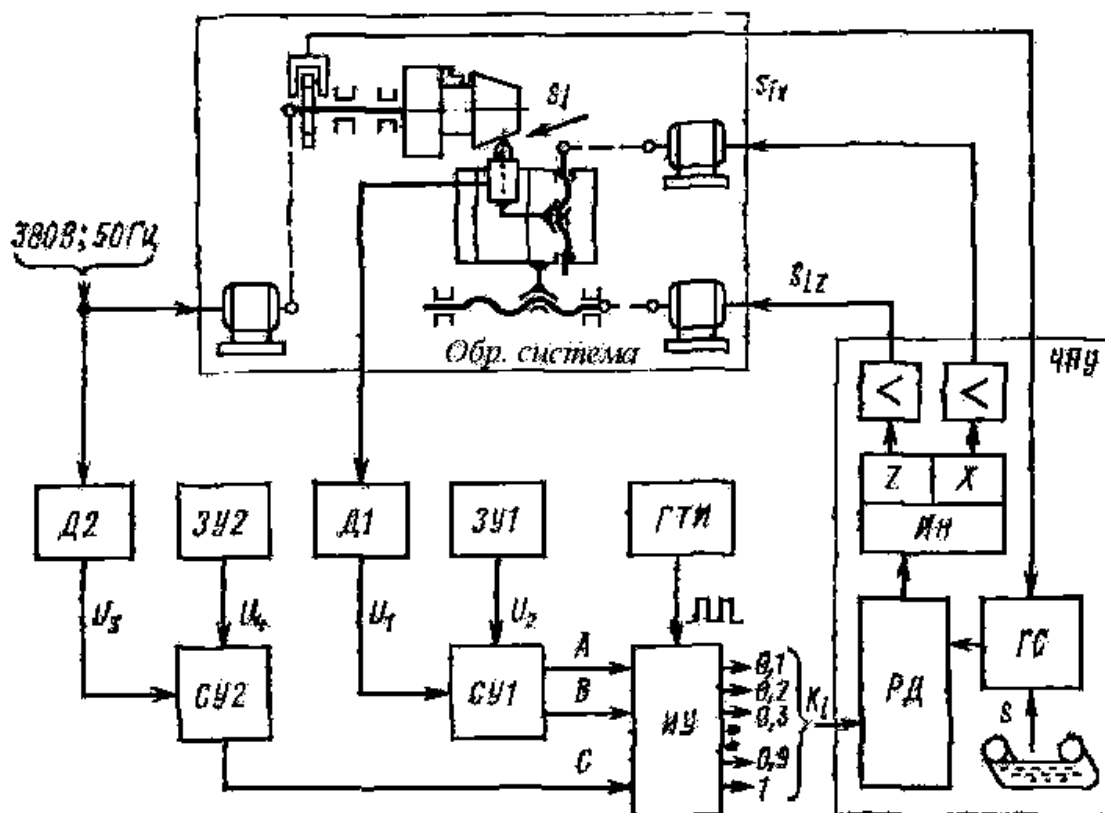


Рис. 3.108. Структура системы адаптивного предельного регулирования процесса резания на токарном станке с ЧПУ

В рассмотренном примере использована одноконтурная система автоматического адаптивного предельного регулирования. Во многих случаях системы автоматического управления процессом резания строят как двухконтурные для того, чтобы добиться одновременно увеличения производительности и точности. При этом один из контуров может быть стабилизирующим, а другой – следящим.

3.8.4. Системы адаптивного оптимального регулирования

Структура схемы адаптивного предельного регулирования при управлении станком с ЧПУ обычно вырисовывается по мере выбора критерия эффективности процесса обработки (экономического, точностного и др.), а также ограничений, в пределах которых использование критерия имеет смысл, конкретных методов разработки математической модели, алгоритмов оптимизации работы станка в соответствии с принятым критерием и наложенными на него ограничениями, технических средств адаптивного управления и их размещение в системе ЧПУ.

Получить теоретическую модель процесса обработки теоретическим путем, как правило, невозможно. Поэтому при разработке модели эффективны методы многофакторного планирования эксперимента. Отметим также то обстоятельство, что информационно-измерительная система (рис. 3.96) является непрерывно работающим экспериментатором, а вычислительный блок оптимизации способен выполнять расчеты, требуемые при построении модели методами планирования эксперимента. В связи с этим блок оптимизации может автоматически вносить необходимые коррекции в математическую модель.

Рассмотрим подход к построению системы адаптивного управления на примере фрезерной обработки. В качестве искомых технологических параметров примем подачу s и частоту вращения n шпинделя. Это значит, что оптимальный режим будем искать на плоскости (s, n) , называемой производственной характеристикой станка.

Определим оптимальный режим как такую точку на плоскости производственной характеристики станка, которая соответствует минимуму приведенных затрат θ_{min} . Аналитическое выражение для минимума приведенных затрат находят в виде аналитико-эмпирической функции:

$$\theta_{min} = f(B, h, n, s),$$

где B и h – соответственно ширина и глубина фрезерования, причем эти параметры являются по своему смыслу возмущениями;

n и s – регулируемые параметры, оптимальное соотношение которых требуется отыскать.

В процессе оптимизации режима фрезерования необходимо учитывать ограничения. Так, наименьшая частота вращения n_{min} не может быть меньше некоторого значения, так как в зоне очень низких частот ухудшаются условия стружкообразования. В других случаях n_{min} может определяться нижней границей диапазона регулирования привода. Ограничения на n_{max} устанавливают из тех соображений, что при высоких частотах наблюдаются быстрое изнашивание и разрушение инструмента из-за чрезмерного нагревания режущих кромок. Кроме того, n_{max} может быть верхней границей диапазона регулирования привода.

Следовательно:

$$n_{max} \geq n \geq n_{min}.$$

Наибольшая подача на зуб $s_{z\ max}$ определяется требованиями к чистоте, а в ряде случаев и прочностью инструмента. Наименьшая подача на зуб зависит от технологических требований. Таким образом,

$$s_{z\ max} \geq s_z \geq s_{z\ min}.$$

Ограничения по скорости подачи складываются из регулировочных возможностей привода:

$$s_{max} \geq s \geq s_{min}.$$

Допустимый крутящий момент $M_{\epsilon p}$ на шпинделе определяется прочностью инструмента или механизмов станка и деформацией станочной системы: $M < M_{\epsilon p}$. Максимальная мощность N_{max} на шпинделе обусловлена возможностями привода.

В итоге все ограничения могут быть разделены на конструктивные и технологические группы (рис. 3.109, а), выделяющие допустимую область на плоскости производственной характеристики, а также и на технологические ограничения по силовым параметрам резания (рис. 3.109, б), т. е. по мощности и крутящему моменту на шпинделе. Ограничения, указанные на рис. 3.109, а, создают на плоскости производственной характеристики технологическую зону (заштрихована), а ограничения, указанные на рис. 3.109, б, образуют в пределах этой зоны четыре области, из которых допустима только третья. Эту область следует рассматривать вместе с функцией θ_{min} , которая представлена семейством кривых (рис. 3.110).

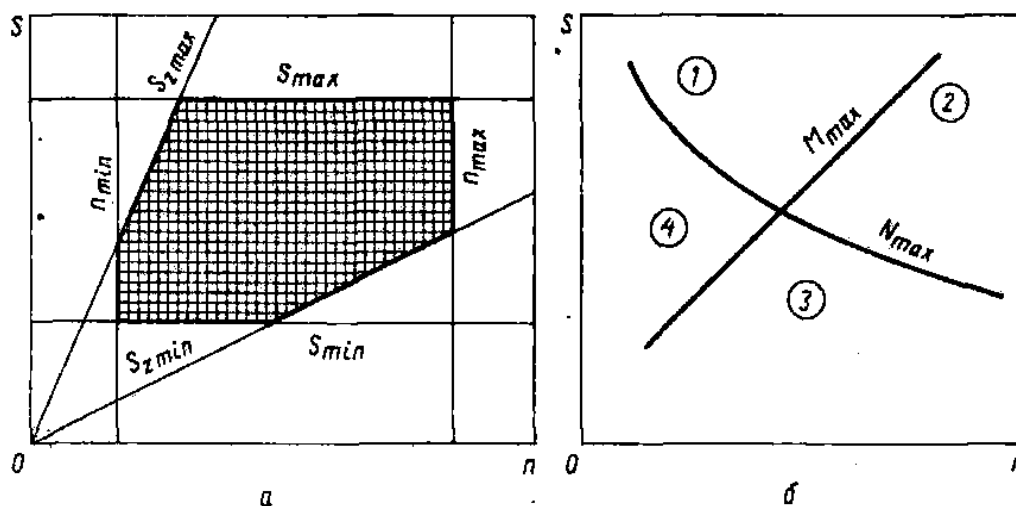


Рис. 3.109. Отображение принципов адаптивного оптимального управления фрезерованием на плоскости производственной характеристики станка:

- а – введение технологических и конструктивных ограничений;
- б – введение ограничений по силовым параметрам резания

При поиске оптимума необходимо удостовериться, на какой из кривых, составляющих семейство θ_{min} , находится текущая рабочая точка. Это делается с помощью информационно-измерительной системы и математической модели (рис. 3.96). Затем в работу вступает блок оптимизации.

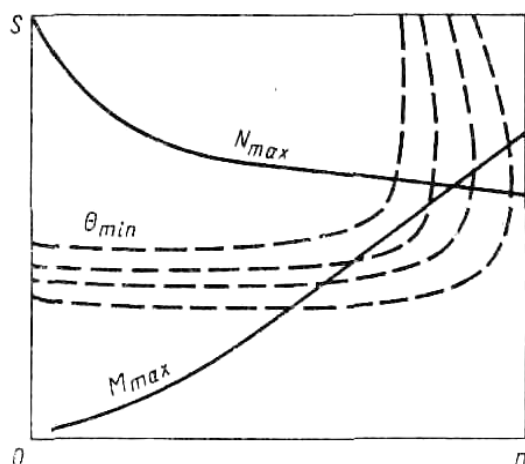


Рис. 3.110. Семейство линий, отражающих минимум приведенных затрат

Стратегия оптимизации представлена в виде алгоритма (рис. 3.111). Прежде всего устанавливается положение рабочей точки относительно области конструктивных и технологических ограничений. Если эта точка находится вне технологической области, подаются команды на введение ее внутрь области. А если эта точка находится в пределах технологической области, то с помощью датчиков мощности и вращающего момента регистрируется положение рабочей точки относительно четырех областей 1 – 4 (рис. 3.109).

Далее подаются команды на достижение оптимальной точки. Процедура повторяется с некоторой частотой сканирования.

На рис. 3. 112, а показаны направления управляющих команд, выдаваемых блоком адаптивного управления, для всевозможных исходных положений рабочей точки. А на рис. 3.112, б представлена ситуация, в которой технологическое ограничение по S_{max} не позволяет достичь максимальной мощности.

Подобная задача решена в адаптивной системе оптимального управления фирмы «Bendix» (рис. 3.113).

В основу работы этой системы управления положен критерий производительности:

$$П = \frac{\mu}{a + \frac{a\tau + b}{W_0} v},$$

где $П$ – производительность обработки;

μ – скорость съема металла;

a – норма накладных расходов;
 τ – время смены инструмента;
 b – величина амортизации инструмента;
 v – скорость износа инструмента;
 W_0 – максимально допустимый износ инструмента.

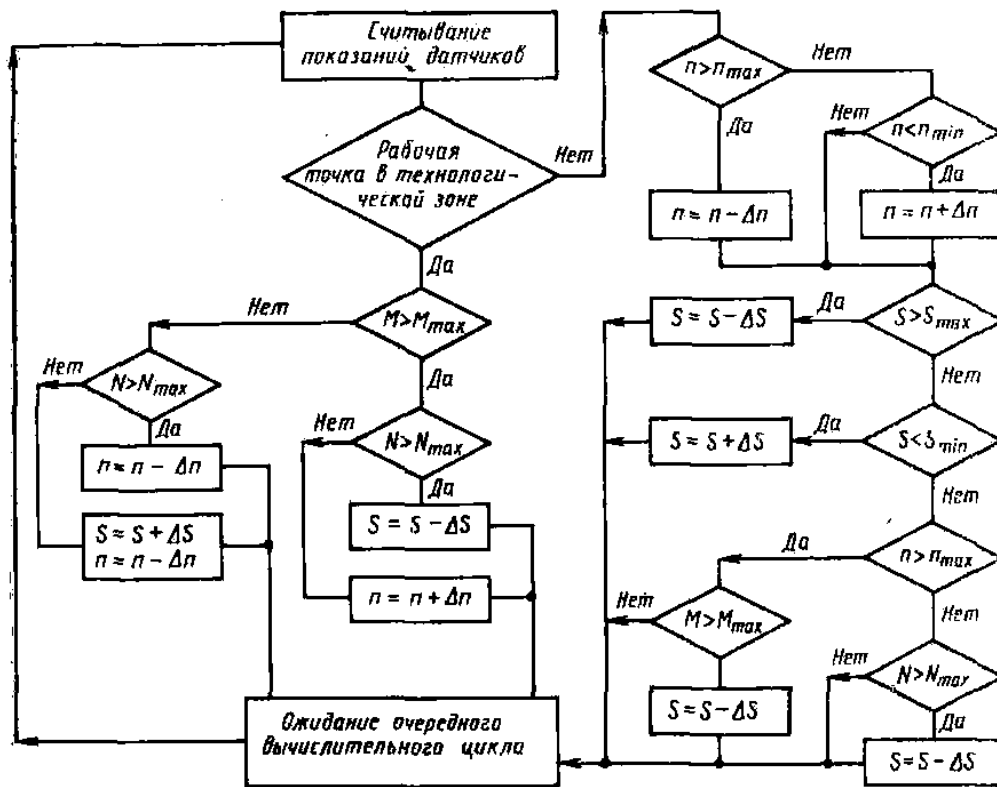


Рис. 3.111. Алгоритм стратегии достижения оптимальной рабочей точки на плоскости производственной характеристики станка

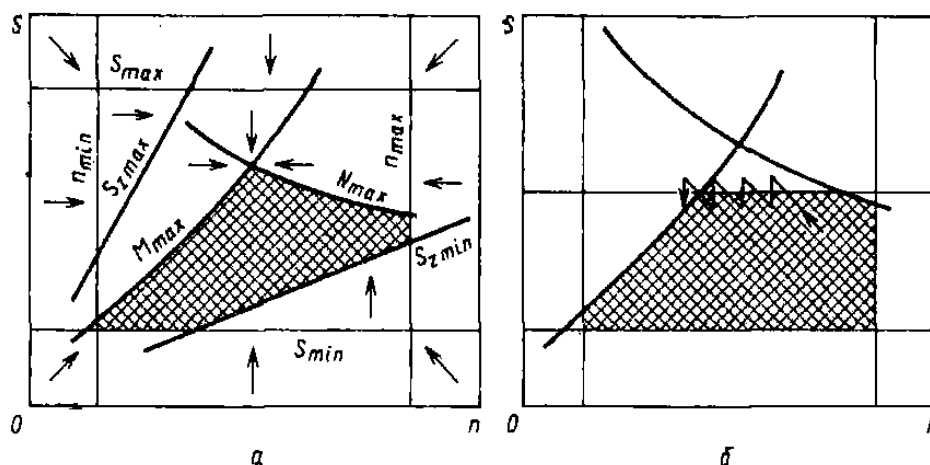


Рис. 3.112. Автоматический поиск оптимального режима фрезерования на плоскости производственной характеристики: а – направления действия управляющих команд для различных исходных положений рабочей точки; б – отражение ситуации, когда одно из ограничений препятствует достижению максимальной мощности

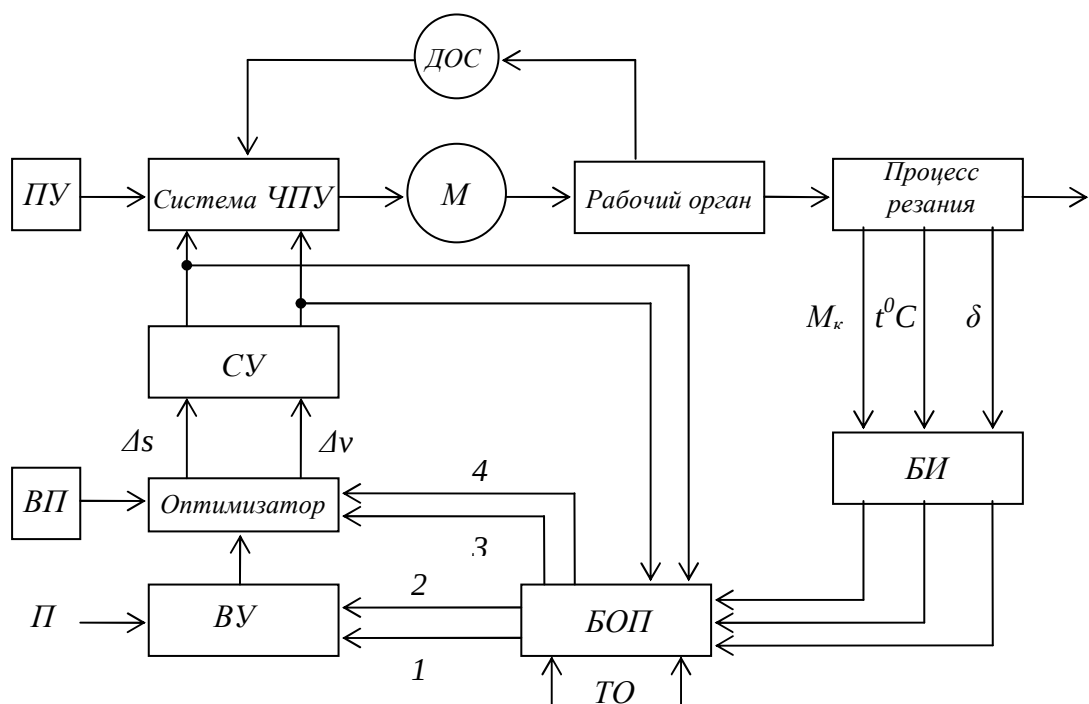


Рис. 3.113. Структурная схема адаптивной системы оптимального регулирования

Система управления, на основе измеряемых параметров $M_{кр}$, температуры в зоне резания t^0 и уровня вибрации δ , поступающих в блок измерений $БИ$ и далее в блок обработки показателей $БОП$, используя заданную математическую модель и алгоритм поиска и варьируя значениями v и s , определяет оптимальное значение показателя производительности Π . Вычислительное устройство $ВУ$ и оптимизатор, получая значения скорости износа инструмента по каналу 1, скорости съема металла по каналу 2, технических ограничений $ТО$ по каналу 3 и параметров процесса резания по каналу 4 вырабатывают при Π_{opt} корректирующие сигналы Δv и Δs , подаваемые через согласующее устройство $СУ$ в систему ЧПУ.

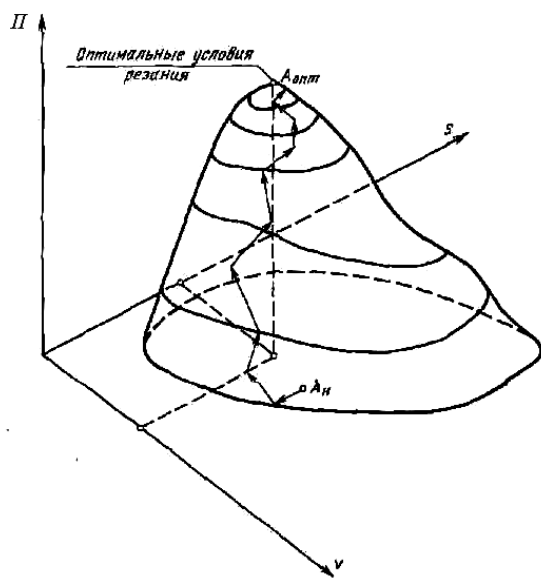


Рис. 3.114. Схема поиска оптимального значения критерия производительности

Функция критерия производительности Π может быть представлена как функция v и s и изображена в виде трехмерной поверхности, имеющей вид контурного холма (рис. 3.114) с разными уровнями значения Π , вершина которого определяет оптимальное значение Π_{opt} , а также оптимальные условия резания (точка A_{opt}).

Поскольку оптимальное значение Π заранее неизвестно, то в начале процесса обработки начальное значение Π (точка A_n на рис. 3.114) может находиться в любом месте поверхности.

Далее ВУ системы управления, построенное на основе соответствующего метода поиска экстремума (например, метод градиента, метод проб и ошибок), изменяет параметры процесса резания v и s в направлении повышения величины Π до его оптимального значения в точке A_{opt} .

3.9. Микропроцессорные системы ЧПУ

3.9.1. Структура микропроцессора

При рассмотрении блоков для осуществления арифметических операций было отмечено, что дальнейшее увеличение интеграции в элементной базе станочных систем управления связано с применением микропроцессоров, построенных на больших интегральных схемах (БИС), и микро-ЭВМ, построенных на базе микропроцессоров.

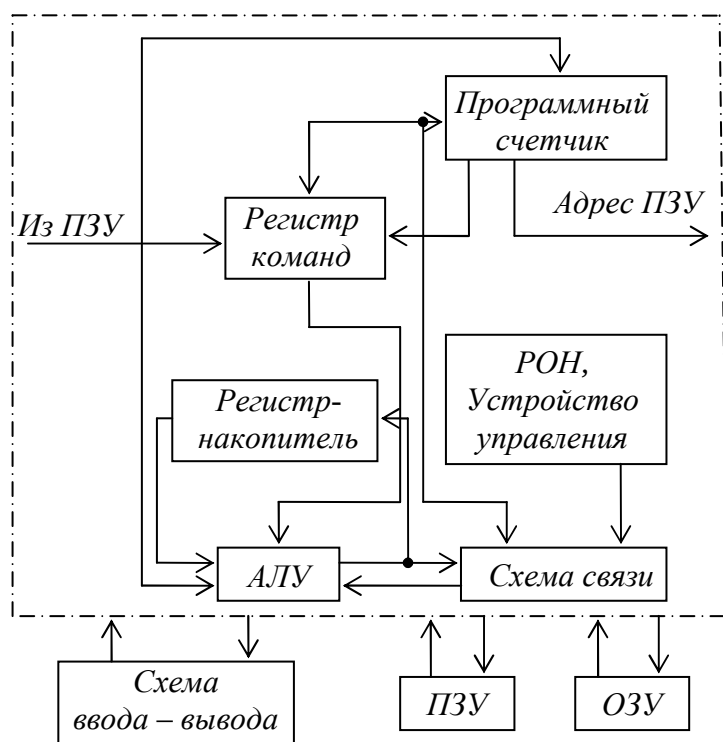


Рис. 3.115. Упрощенная структура микропроцессора

Создание микропроцессоров, как универсальных блоков переработки информации, разрешило противоречие между бесконечной вариацией конкретных задач управления и высокой стоимостью разработки специальной БИС, обеспечивающей выполнение конкретной задачи управления.

Микропроцессор объединяет один или несколько кристаллов БИС и состоит из АЛУ, устройства управления, реги-

стров, триггеров, информационных каналов. Принципиально микропроцессор не отличается от обычного процессора ЭВМ. Упрощенная структура микропроцессора приведена на рис. 3.115. Микропроцессор включает различные регистры внутренней памяти:

- регистр команд, запоминающий команды, т. е. несущий в себе информацию о состоянии вычислительного процесса в данный момент времени;
- программный счетчик, запоминающий и выдающий адрес следующей команды, которая должна быть считана в постоянном запоминающем устройстве ПЗУ;
- регистр-накопитель, обеспечивающий место для выполнения операции по текущей команде;
- регистры общего назначения (РОН) или регистры сверхоперативной памяти, используемые для переадресации в процессе обработки данных с целью повышения быстродействия (операции обмена информацией с регистрами РОН относятся к числу наиболее быстрых).

Информация, поступающая в регистр команд из ПЗУ, дешифруется в устройстве управления. Далее АЛУ микропроцессора выполняет эту команду. Если микропроцессор вырабатывает информацию для запоминания, то она передается в оперативное запоминающее устройство ОЗУ. Передача двоично-кодированных сигналов осуществляется по информационным шинам – от внешних запоминающих устройств ЗУ через устройство управления – к регистру-накопителю, программному счетчику, регистру команд. Устройство управления опрашивает программный счетчик для выявления адреса следующей команды; декодирует двоичные числа, определяющие адрес во внешних ЗУ; передает по шинам нужный адрес; выбирает из ПЗУ команду и помещает ее в регистр команд, формирует очередной адрес в программном счетчике.

3.9.2. Поколения микропроцессоров

Существует несколько поколений микропроцессоров. Для первого поколения характерны: разрядность 4 – 8 бит; низкое быстродействие; *p*-канальная МОП – технология изготовления БИС; передача информации и адресов по одной шине и, как следствие, большое число мультиплексоров и де-мультиплексоров; значительное число вспомогательных схем (15 – 20).

Для второго поколения микропроцессоров характерны: разделение шины данных и шины адресов; различная адресация (прямая, косвенная, относительная, индексная, непосредственная); направленные прерывания, прямой доступ к памяти; широкий набор команд; малое число вспомогательных

интегральных схем; n -канальная МОП – технология; высокое быстродействие (порядка 2 – 20 мкс). Пример такого микропроцессора приведен на рис. 3.116. Он изготовлен в виде одной БИС. Этот 12-разрядный микропроцессор содержит общий асинхронный канал для внутренних и внешних передач информации и адресов; внутренне ПЗУ с управляющей микропрограммой, встроенный генератор тактовых импульсов; восьмиуровневую систему прерываний с автоматическим возбуждением прерванной программы; параллельное АЛУ со схемой сквозного переноса и пятью рабочими регистрами.

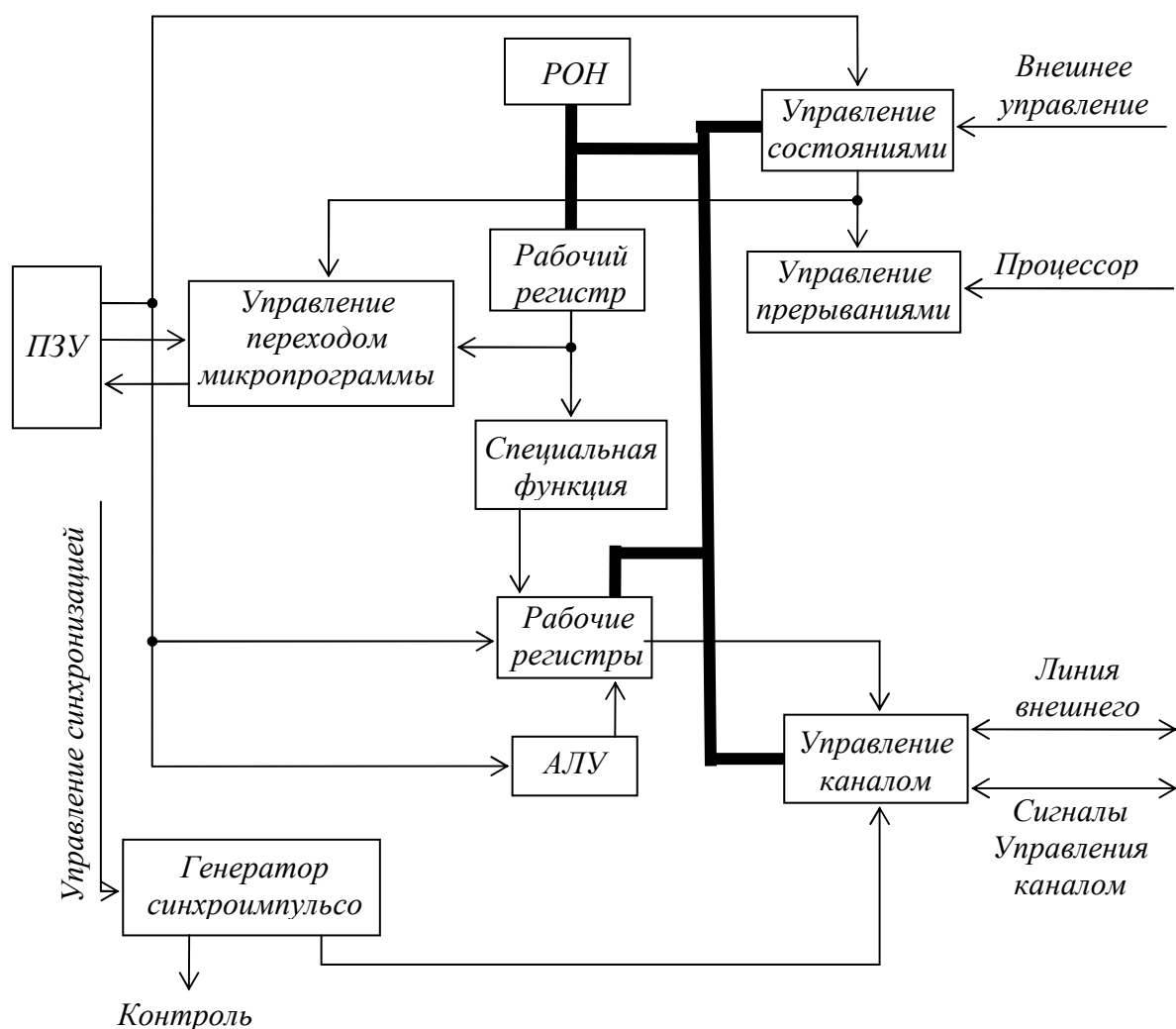


Рис. 3.116. Пример структуры микропроцессора второго поколения

К третьему поколению относятся многокристальные микропрограммируемые секционные микропроцессоры, выполненные на биполярных БИС, используемые вместе со стандартными ЗУ и системами ввода – вывода, или в составе микропроцессорных семейств. Принцип секциониро-

вания состоит в том, что существует возможность формировать желаемую длину слова. Соединение секций позволяет получать слова размером в 16 и 32 бита. Достоинство микропрограммирования в гибкости, т. е. в возможности для пользователя модифицировать или расширять набор команд, чтобы приспособить их к конкретной задаче, либо увеличить производительность. Структурная схема микропроцессорной секции приведена на рис. 3.117.

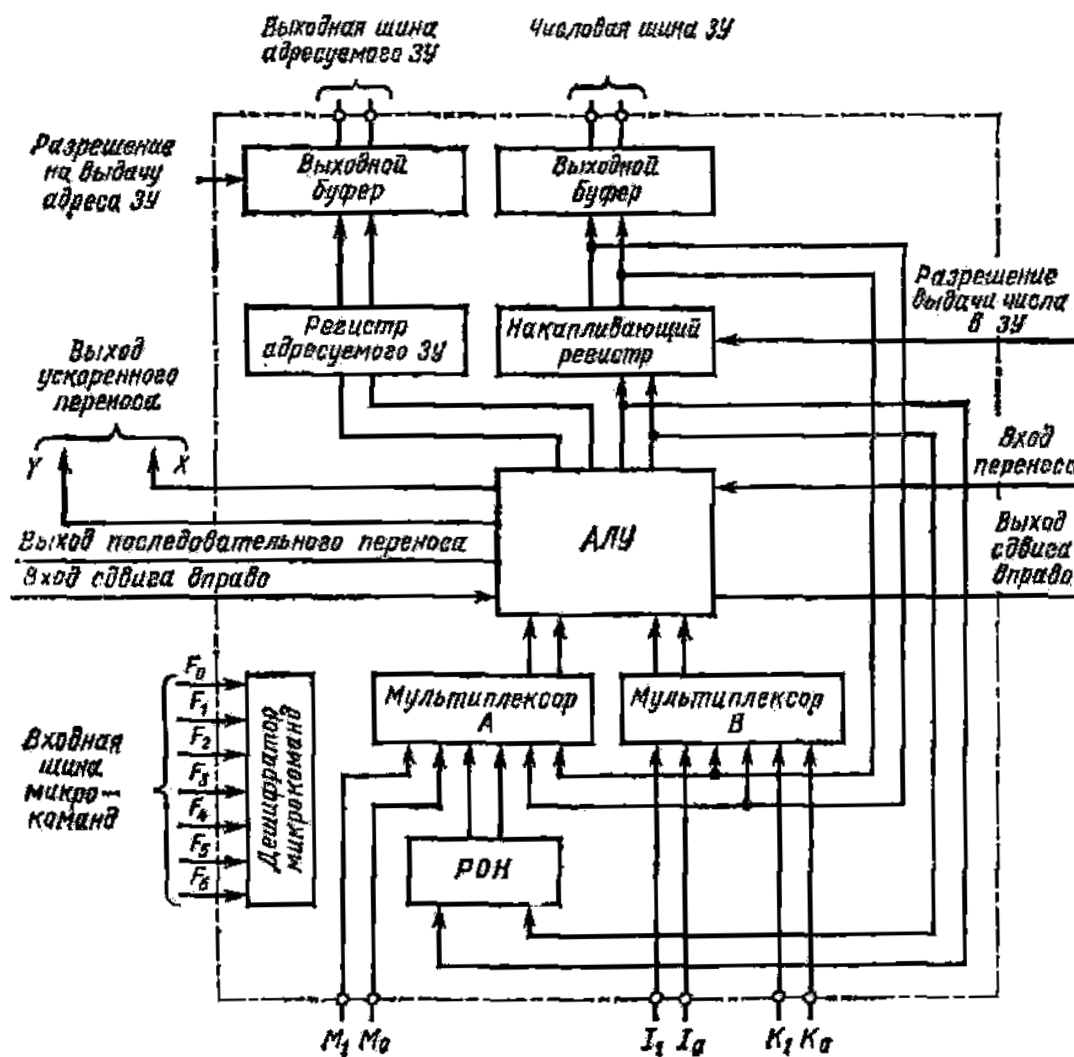


Рис. 3.117. Пример структуры микропроцессора третьего поколения

Каждый модуль представляет собой двухразрядную секцию с пятью независимыми шинами. Три входные шины (M , I , K) можно использовать различными способами. Так, шина K может служить для ввода микропрограммной маски или буквенных значений, а по шинам M и I могут загружаться данные из внешнего ЗУ или устройства ввода – вывода. По выходной шине поступает информация из накапливающего регистра. Другая вы-

ходная шина связана с регистром адресного ЗУ. Шина микрокоманд $F0 - F6$ управляет работой секции, выбирая операнды и операции. АЛУ под действием дешифратора микрокоманд может выполнять широкий набор арифметических и логических операций, например, порядка 40. Микропроцессорная секция выдает стандартные сигналы для ускоренного переноса. Кроме того, секция оснащена независимыми линиями входа и выхода, переноса, входа и выхода сдвигаемого хода.

3.9.3. Микро-ЭВМ

Микро-ЭВМ состоит из микропроцессора, устройства ввода – вывода, схем сопряжения, ЗУ, блока питания, схем синхронизации. По своей структуре микро-ЭВМ (рис. 3. 118) идентична мини-ЭВМ, но в то же время имеет и специфические особенности: микро-ЭВМ реализована на небольшом наборе специализированных БИС и вспомогательных интегральных схем и размещена на одной или двух платах; микро-ЭВМ представляет собой часть системы управ-

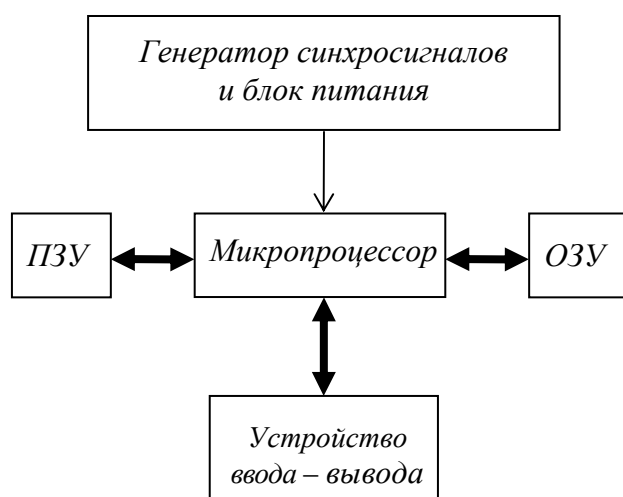
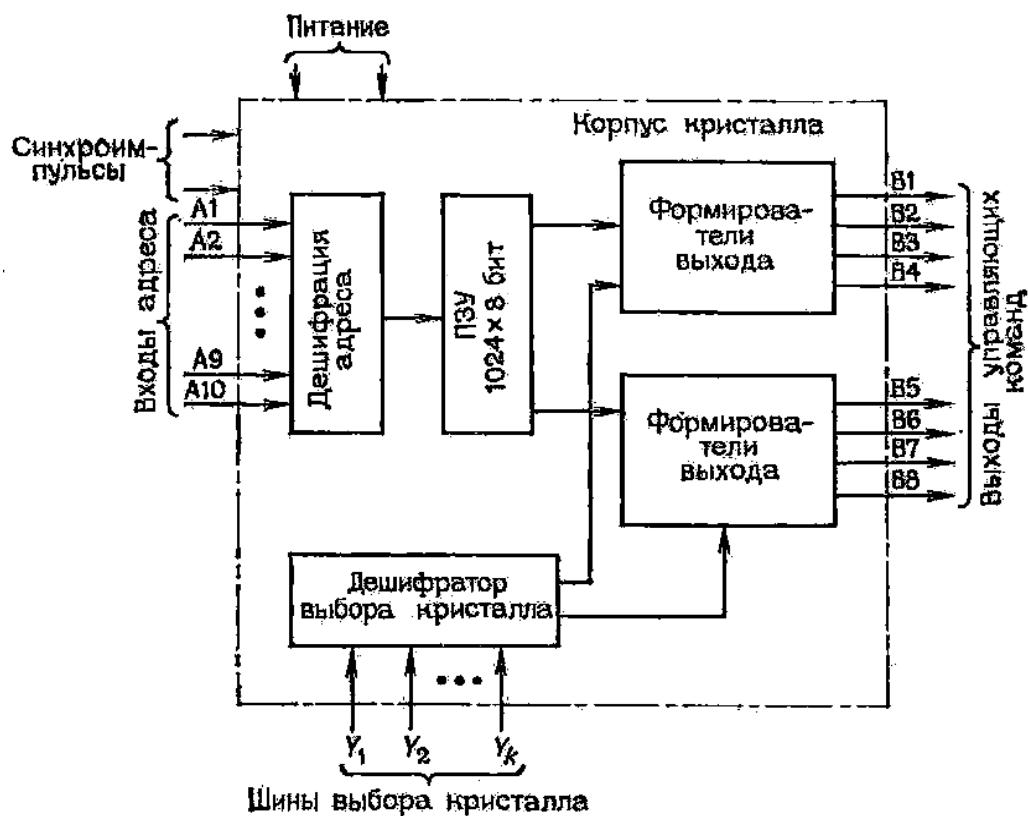


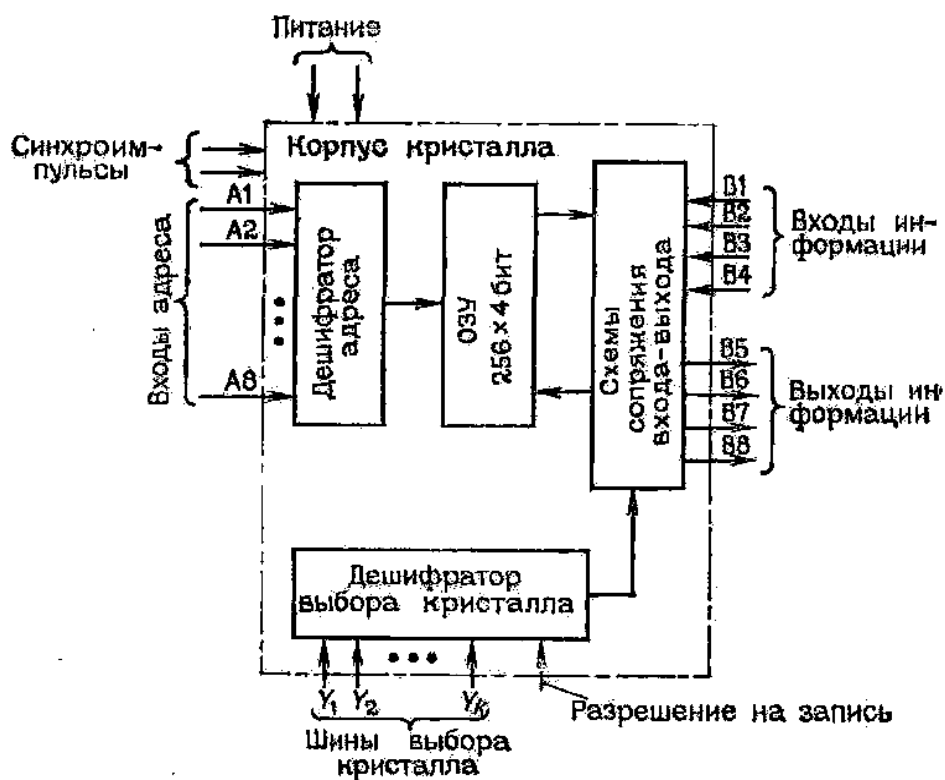
Рис. 3.118. Упрощенная схема микро-ЭВМ

ления, например, часть устройства ЧПУ, поэтому чаще она не имеет собственного корпуса. Микропроцессор в микро-ЭВМ выполняет роль центрального обрабатывающего и управляющего устройства: выбирает из ЗУ команды управления, дешифрует, интерпретирует их; осуществляет временное запоминание и поиск данных; организует обмен информацией с внешними устройствами; синхронизирует взаимодействие различных узлов.

Программы микро-ЭВМ и списки неизменной информации хранятся, как правило, в ПЗУ. При отладке программ, а также и тогда, когда объем ПЗУ невелик, используется программируемое ПЗУ (например, программирование и стирание электрическим путем). Структурная схема кристалла ПЗУ емкостью в 8 килобит показана на рис. 3.119, а. Одной из разновидностей ПЗУ являются программируемые логические матрицы, предназначенные для хранения и дешифрации микропрограмм. Оперативная память микро-ЭВМ – ОЗУ осуществляет временное хранение информации, которая может быть изменена в процессе работы. Структура ОЗУ для четырехразрядного микропроцессора приведена на рис. 3.119, б.



a



b

Рис. 3.119. Структурные схемы памяти микро-ЭВМ: а – кристалл ПЗУ емкостью 8 килобит; б – структура ОЗУ для четырехразрядного микропроцессора

Обычно микро-ЭВМ имеет в составе своих блоков как ОЗУ, так и ПЗУ. Если же нет необходимости запоминать большие объемы промежуточных результатов, то вместо ОЗУ могут быть использованы внутренние регистры микропроцессора. ОЗУ может выступать также в роли ПЗУ, т. е. хранить и программы, и массивы данных. В тех случаях, когда ведется обработка больших массивов информации, можно применять ЗУ на гибких магнитных дисках.

Связь микропроцессора с периферийными средствами осуществляется по одной или двум шинам (рис. 3.120, а). При этом, естественно, должна быть гарантирована передача информации в нужное место без наложения других сигналов. Схемы сопряжения согласуют по формату информацию, поступающую от периферии к микропроцессору и наоборот, а также координируют работу сопрягаемых устройств во времени. Координация достигается путем временного запоминания в триггерах и регистрах с последующей передачей микропроцессору. Структура схемы сопряжения показана на рис. 3.120, б. Информация передается по шинам от микропроцессора через группу триггеров, называемых фиксаторами. По сигналу управления микропроцессор выбирает нужную группу триггеров и присоединяет ее к различным периферийным устройствам. От периферийных устройств к микропроцессору информация передается через мультиплексор.

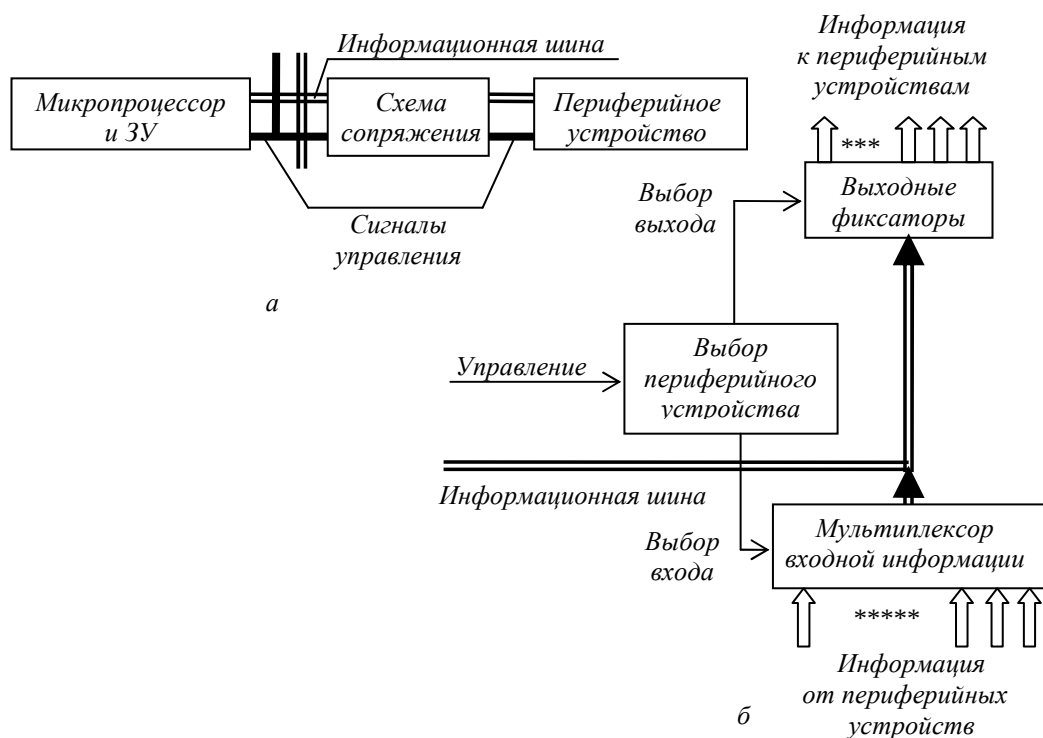


Рис. 3.120. Связь микропроцессора с периферийными устройствами:
а – структура связи; б – структура схемы сопряжений

3.10. Автоматизация вспомогательных функций

3.10.1. Виды вспомогательных функций в станках с ЧПУ

К вспомогательным функциям (операциям) относятся: переключения направления вращения и останов (в том числе в заданном угловом положении) шпинделя; переключение диапазонов скоростей привода главного движения и подачи; поиск и смена инструмента; установка и коррекция положения инструмента; установка рабочих органов в исходное положение; делительные движения, связанные с угловыми и линейными смещениями заготовки или инструмента в фиксированные положения; обеспечение зажима и разжима детали; фиксация и расфиксация подвижных узлов станка; включение и выключение системы смазки, охлаждения и др.

Каждая из вспомогательных операций выполняется функциональным автоматом, включающим двигательный, передаточный и исполнительный механизм с системой управления. В качестве примера рассмотрим схему шестипозиционной револьверной головки с горизонтальной осью вращения, которую используют в токарных станках с ЧПУ (рис. 3.121).

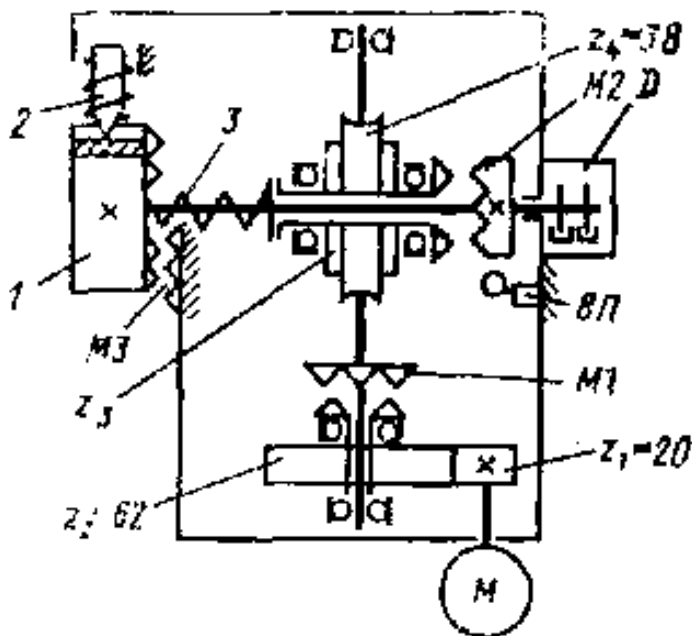


Рис. 3.121. Схема шестипозиционной револьверной головки станка с ЧПУ

При поступлении от устройства ЧПУ команды M06 на смену инструмента включается асинхронный электродвигатель M (АОЛ-12-4, 0,18 кВт, 1400 мин⁻¹). Для снижения пускового момента он соединен с механизмом револьверной головки зубчатой передачей z_1/z_2 и однозубой муфтой $M1$, которая включается после того, как ротор совершит три оборота (разгон до номинальной скорости). После включения муфты $M1$ начинает вращаться червяк z_3 . При вращении червячного колеса z_4 по часовой стрелке включается муфта обгона $M2$. Пружина 3 приподнимает револьверную головку 1 и выводит ее из зацепления с неподвижной полумуфтой $MЗ$. При сцеплении муфты $M2$ начинается поворот револьверной головки, положение которой контролируется бесконтактным датчиком D , выполненном на базе герконового реле.

Когда головка повернется в заданное программой (команды 701 – 706) положение, схема управления осуществляет реверсирование электродвигателя. При этом происходит точное позиционирование головки по упору 2, а при дальнейшем повороте двигателя – выключение обгонной муфты $M2$, которое вызывает осевое смещение ее подвижной части и сжатие пружины 3. Револьверная головка опускается и фиксируется зубчатой муфтой $M3$. Выключение электродвигателя происходит автоматически с помощью реле тока. Окончание цикла поворота револьверной головки определяется срабатыванием конечного микровыключателя $ВП$, который формирует сигнал исполнения команды T .

Последовательность работы револьверной головки удобно проследить по циклограмме, представляющей график переключений электродвигателя и отдельных механизмов во время цикла T_u (рис. 3.122).

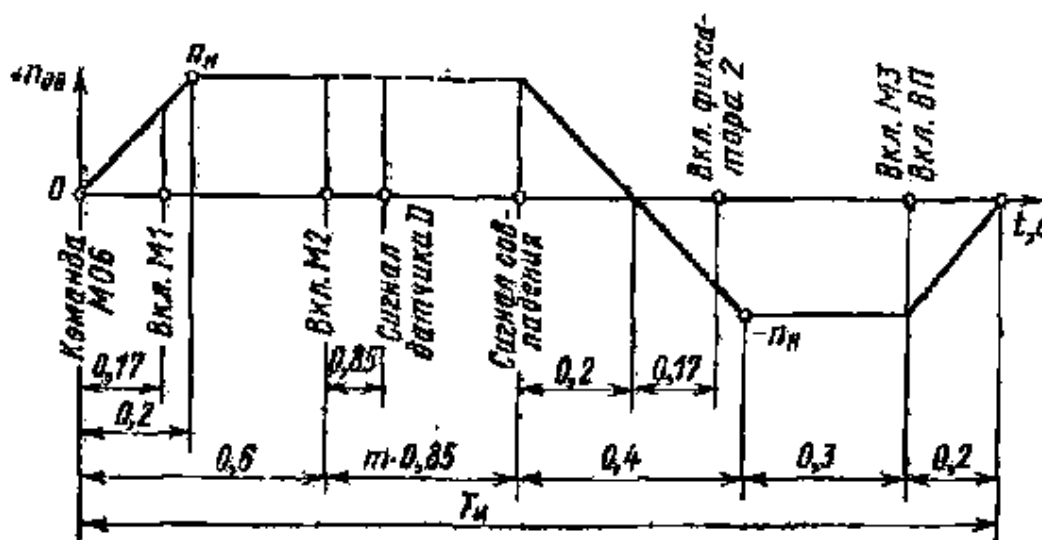


Рис. 3.122. Циклограмма работы револьверной головки станка с ЧПУ

3.10.2. Выбор параметров приводов вспомогательных механизмов

Автоматизированные приводы вспомогательных механизмов станков могут быть с постоянной или с регулируемой скоростью движения. Последние используют для точных делительных и установочных перемещений. Приводы вспомогательных движений должны обеспечивать высокую удельную мощность, характеризуемую отношением номинальной мощности двигателя к его массе; большое рабочее усилие (крутящий момент) на выходе; большую кратность пускового момента к номинальному; высокую надежность и удобство эксплуатации.

В наибольшей степени этим требованиям соответствуют гидроприводы поступательно-возвратного, вращательного и неполно-поворотного движений. Гидродвигатели на рабочее давление до $0,16 - 0,2 \text{ Н/м}^2$ при малых собственных размерах и массе обеспечивают большой крутящий момент. Эти двигатели можно использовать в механизмах без редуктора. Они обладают небольшими моментами инерции и моментом трогания, высоким быстродействием, широким диапазоном регулирования.

В электроприводах вспомогательных механизмов широко применяют двух- и трехфазные асинхронные электродвигатели. В быстродействующих механизмах используют электродвигатели постоянного тока, в том числе малоинерционные, высокомоментные, шаговые. Эти электродвигатели имеют большой пусковой момент, позволяющий выдерживать частые пуски и реверсирование, а также изменения нагрузки.

Характерной особенностью вспомогательных механизмов станков является отработка повторно кратковременных циклов, при которых двигатель работает в режиме многократного разгона-торможения. Мощность P_d электродвигателя определяется параметрами исполнительного механизма: статическим моментом $M_{м.с}$, КПД η_m и моментом инерции J_m нагрузки. При этом в случае кратковременного режима работы нагрев электродвигателя не ограничивает его наибольшей мощности $P_{d.мах}$.

В повторно-кратковременном режиме необходима проверка электродвигателя на перегрузку по эквивалентному моменту $M_{d.э}$ из условия его нагрева. При использовании быстродействующих приводов можно

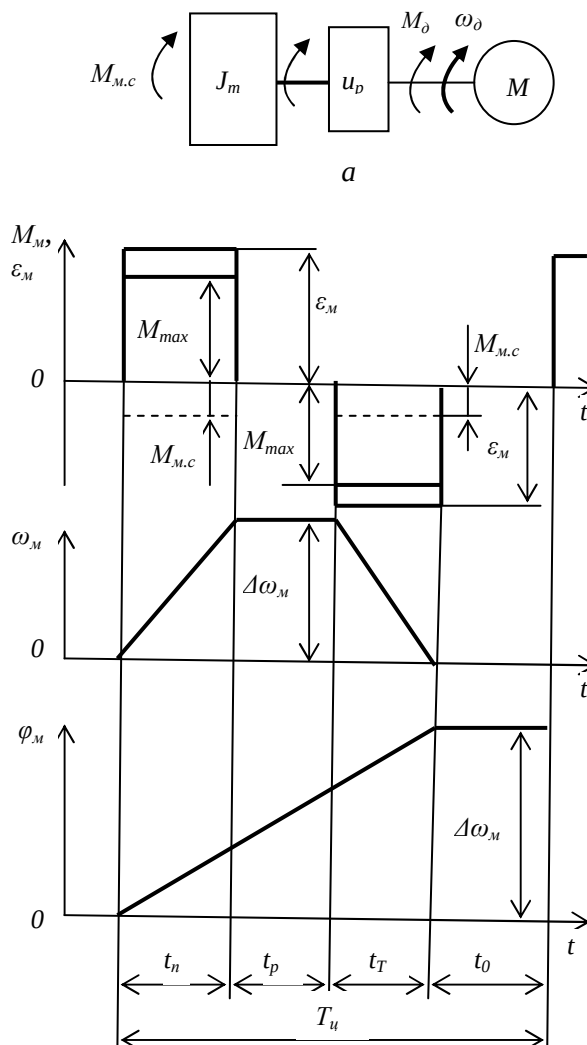


Рис. 3.123. Расчетная схема к выбору привода:
а – расчетная модель; б – характеристики цикла движения вспомогательного механизма

считать, что в расчетной схеме механизма приведенные значения параметров нагрузки $M_{м.с.}$, η_m , J_m постоянны (рис. 3.123, а). Если принять, что скорость ω_m механизма изменяется по линейному закону, а управляющий сигнал представляет собой единичную функцию, то при ограничении скорости $\omega_{д.мах}$ и ускорения $\varepsilon_{д.мах}$ электродвигателя цикл работы механизма характеризуют следующие параметры (рис. 3.123, б): график $\omega_m = f(t)$ изменения скорости – треугольный или трапециидальный; закон перемещения (управлении); время $T_{ц}$ цикла работы. Значения параметров движения механизма находят при этих условиях из соотношения:

$$\Delta\omega_m = \frac{2\Delta\varphi_m}{t_y(1+\xi)},$$

где $\Delta\omega_m$ – наибольшее изменение скорости входного вала механизма;

$\Delta\varphi_m$ – угол поворота входного вала механизма, соответствующий наибольшему перемещению его исполнительного устройства;

$\xi = t_1 / t_y$ – коэффициент, характеризующий график скорости $\omega_m = f(t)$;

$t_y = t_n + t_p + t_T$, здесь t_n , t_p , t_T – соответственно время пучка, работы с постоянной скоростью и торможения механизма ($t_n \approx t_T$).

Наибольшие значения момента $M_{м.мах}$ и $P_{м.мах}$ на приводном валу механизма, а также эквивалентные значения момента $M_{м.э}$ и мощности $P_{м.э}$, ограничиваемые условиями нагрева двигателя, находятся из соотношений:

$$M_{м.мах} = \frac{4\Delta\omega_m J_m}{t_y^2(1-\xi^2)(1-\kappa_m^2)};$$

$$P_{м.мах} = M_{м.мах} \Delta\omega_m;$$

$$M_{м.э} = M_{м.с} \sqrt{\left(\frac{1-\xi}{\kappa_m^2} + \xi\right) \frac{t_e}{T_w}};$$

$$P_{м.э} = M_{м.э} \Delta\omega_m,$$

где $\kappa_m = \frac{M_{м.с}}{M_{м.мах}}$ – коэффициент, характеризующий нагрузочную диаграмму механизма;

$T_{ц} = t_y + t_0$, здесь t_0 – время остановки между очередными включениями механизма.

Двигатель при кратковременном режиме работы механизма выбирают по наибольшей мощности $P_{д.мах}$ из условия:

$$P_{д.мах} = M_{д.мах} \omega_{д.н} \geq P_{м.мах} / \eta_m,$$

где $M_{д.мах}$ – наибольший вращающий момент;

$\omega_{д.н}$ – номинальная скорость электродвигателя (по паспорту).

При повторно-кратковременном режиме работы механизма выбор электродвигателя осуществляется по его номинальной мощности $P_{д.н}$ из условия:

$$P_{д.н} = M_{д.н} \omega_{д.н} \geq P_{мэ} / \eta_{м,,}$$

Где $M_{д.н}$ – номинальный момент электродвигателя (по паспорту).

Передаточное отношение u_p редуктора выбирают из условия согласования электродвигателя и исполнительного механизма по скорости.

3.10.3. Программное управление вспомогательными функциями

Информационными входными сигналами вспомогательных функций станков с ЧПУ являются обычно кодовые двоично-десятичные числа, задаваемые адресами M , S , T . Каждое значение кодового числа закреплено за определенной командой. Например, команда $M06$ обеспечивает выполнение частного цикла смены инструмента, а совокупность команд от $M36$ до $M41$ задает диапазоны скоростей главного движения или движения подачи посредством переключения кинематических (электронных) связей в приводах станков. Для работы функционального автомата (ФА), осуществляющего вспомогательную функцию, требуются входные осведомительные сигналы измерительно-преобразовательных устройств (датчиков), характеризующие выполнение заданных команд отдельными механизмами и обеспечивающие их взаимодействие (последовательность работы, взаимные блокировки) в общем автоматическом цикле станка.

Выходные сигналы ФА обеспечивают непосредственное управление приводами, автоматическими переключателями, пускателями, электромагнитными муфтами и другими исполнительными устройствами. Операционное устройство, представляющее исполнительную часть ФА, реализует необходимые действия над информационными входными сигналами с помощью логических схем, дешифраторов, реверсивных счетчиков, сумматоров, регистров, а также осуществляет цифроаналоговое преобразование выходных сигналов.

Управляющее устройство реализует алгоритм работы ФА в соответствии с входными осведомительными сигналами или командами прямого задания последовательности операций от ФА более высокого уровня, например, микропрограммного автомата устройства ЧПУ.

Рассмотрим основные схемы связи устройств ЧПУ с вспомогательными механизмами станков и схемы управления их циклами работы. Сопряжение устройства ЧПУ со станком может быть осуществлено с помощью релейной схемы автоматики, представляющей собой функциональный

автомат связи с жестким алгоритмом работы (рис. 3.124). Числовые данные, необходимые для описания вспомогательных функций станка, вводят в схему из устройства ЧПУ в двоично-десятичном коде и затем дешифруются. Управляющее устройство ФА связи реализуется в процессе проектирования самой схемы автоматики станка. В некоторых случаях применяют многофункциональные схемы, которые с помощью автоматических переключателей могут быть настроены на один из возможных циклов станка.

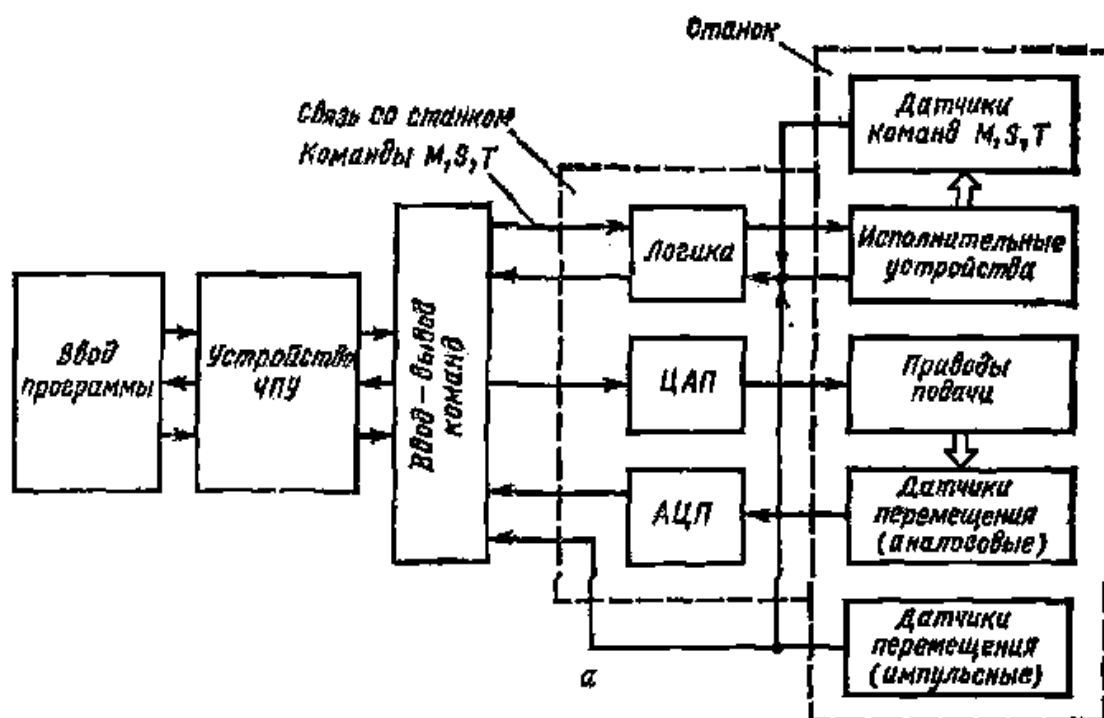


Рис. 3.124. Сопряжение устройства ЧПУ со станком посредством релейной схемы электроавтоматики

Общий алгоритм работы всех ФА связи задается управляющим устройством ЧПУ, реализованным в виде постоянного запоминающего устройства или специальной логической схемы. Числовые характеристики вспомогательных функций вносятся с программноносителя в оперативную память (регистры) в соответствии с их адресами. Выход чисел из регистра ФА связи со станком может быть осуществлен до начала отработки основных функций, запрограммированных в данной фразе, либо после их выполнения.

В первом случае заданные рабочие перемещения начинают обрабатываться с приходом ответа о выполнении вспомогательной функции, например команды M03 – включения вращения шпинделя. Действие вспомогательных команд может распространяться только на время отработки фразы, в которой

они записаны (например, команды M06 смены инструмента), либо до отмены их последующей командой с таким же адресом (например, команды M03 – M04 включения вращения шпинделя). Начало и продолжительность действия вспомогательных команд определяется, таким образом, управляющим устройством ЧПУ в соответствии с их адресом и кодовым значением.

Релейные схемы электроавтоматики станков не соответствуют современному техническому уровню устройств ЧПУ, выполненных на интегральных схемах и микропроцессорах. Заменить релейные ФА связи более надежными устройствами можно следующими способами: бесконтактными логическими схемами с жестким алгоритмом работы; дополнительным программным обеспечением процессора в устройстве ЧПУ; специализированными микро-ЭВМ, выполняющими логические действия и получившими название программируемых автоматов или командоаппаратов (ПК); комбинированием программного и схемного решений.

Схема связи станка с устройством ЧПУ – ЭВМ приведена на рис. 3.125. В блок сопряжения со станком входят: узел приема и выдачи дискретных сигналов; узел приема и выдачи аналоговых сигналов с аналого-цифровым и цифро-аналоговым преобразователями; узел формирования и выдачи сигналов управления приводами подачи станка.

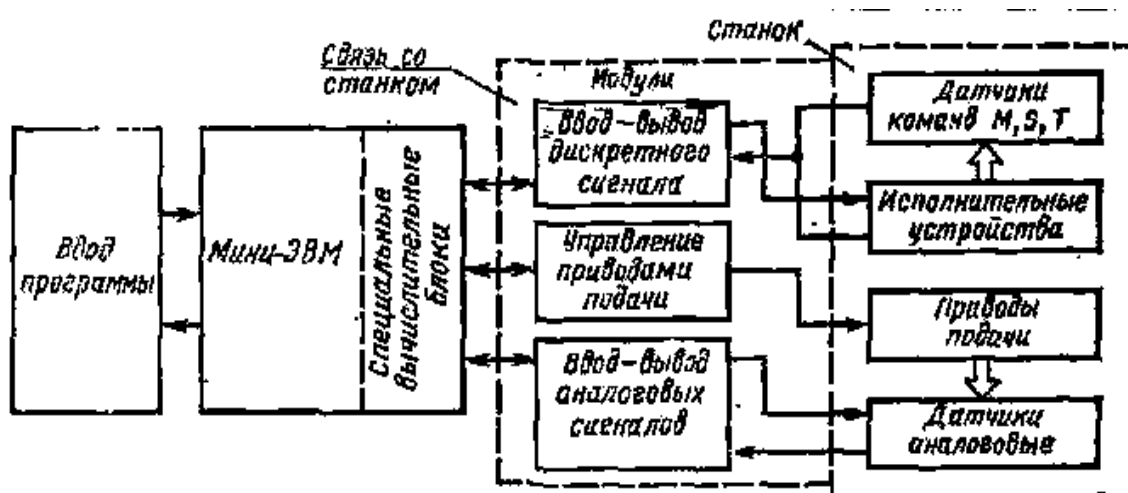


Рис. 3.125. Сопряжение устройства ЧПУ со станком посредством универсальных устройств на базе типовых модулей связи

Наиболее универсальными устройствами связи станков с ЧПУ и управления их циклами работы являются ПК, которые заменяют реле, контакторы и электронные схемы, реализующие логические и простые арифметические операции (рис. 3.126). Основным принципом работы ПК

является циклическое считывание входных двоичных сигналов, поступающих от устройства ЧПУ и измерительно-преобразовательных датчиков станка. Все логические, арифметические операции и управление работой ПК осуществляет его центральный блок процессора.

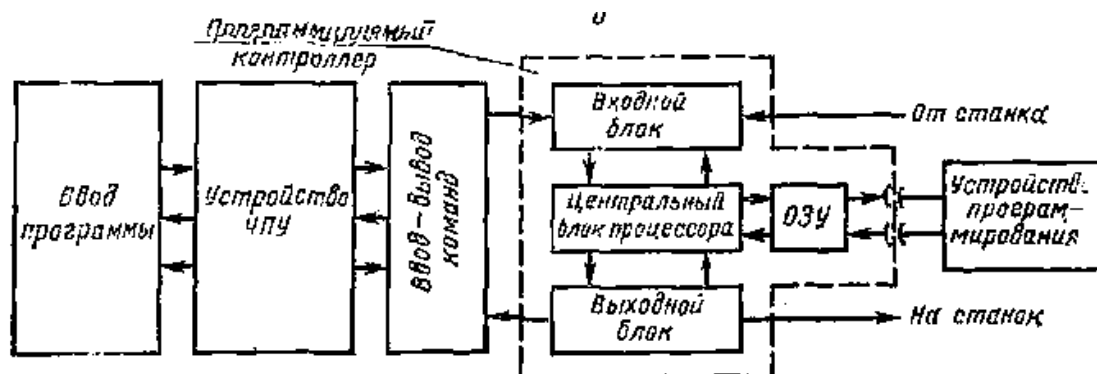


Рис. 3.126. Сопряжение устройства ЧПУ со станком посредством программируемого контроллера

3.10.4. Связь электронных схем управления со станком

Электронные схемы управления станками требуют согласования с силовыми исполнительными органами и измерительно-преобразовательными устройствами станка. Гальваническая развязка цепей переменного тока осуществляется с помощью трансформаторов. Для развязки цепей постоянного тока можно использовать реле на герконах, оптроны, импульсные усилители с трансформаторной развязкой.

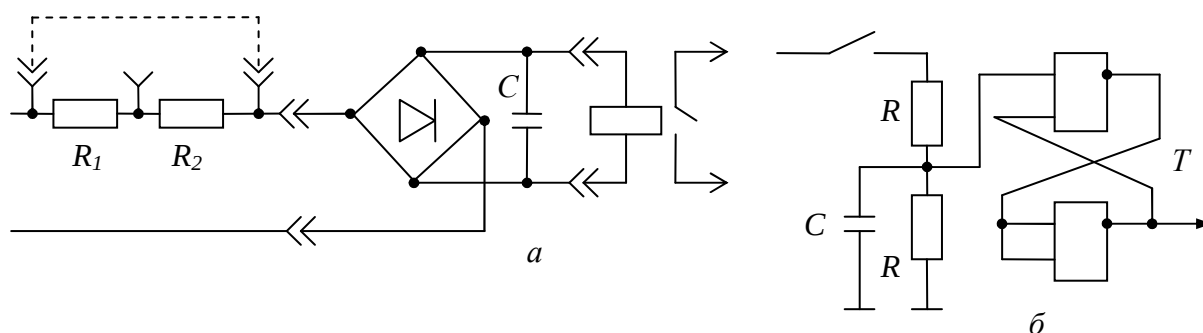


Рис. 3.127. Схемы гальванической развязки для входов постоянного тока:
а – универсальный вход на герконовом реле; б – вход с фильтром и триггером

Обычно входные цепи ПК выполняют универсальными для работы как с сигналами постоянного, так и с сигналами переменного тока с различными уровнями напряжения. На рис. 3.127, а приведена схема универсаль-

ного входа, выполненного на герконовом реле. Настройка на требуемый род тока и уровень напряжения (5,24 или 110 В) осуществляется с помощью гнезд и перемычек со штекерами, которые позволяют изменить схему, включая или выключая добавочные резисторы и выпрямительный мост.

Для уменьшения влияния на работу электронных схем помех, вызванных работой контактов силовой аппаратуры и реле на герконах, например, в устройстве путевого переключения, используют специальный фильтр (цепь RC) и входной триггер Т (рис. 3.127, б).

Выходные цепи электронных схем управления также выполняют универсальными, рассчитанными на сигналы переменного и постоянного тока с разными уровнями напряжения. Выходы на постоянном токе должны обеспечивать его наибольшие значения, равные 0,3 или 2 А по каждому из каналов при номинальном напряжении 24 В, а блоки переменного тока – соответственно 2 и 10 А при напряжении 110 В. Выходные цепи электронных схем управления чаще строят на транзисторных или тиристорных усилителях, работающих в ключевом режиме, либо на тиристорных с оптическим управлением (силовых оптронах).

Выходные сигналы переменного тока обычно формируют в полупроводниковом ключе, который представляет собой два включенных навстречу друг другу тиристора, самовыключающихся при прохождении тока через ноль (рис. 3.128, а). Для выходов постоянного тока при использовании обычных тиристоров необходимы специальные цепи гашения. Одна из схем гашения приведена на рис. 3.128, б. При включении вспомогательного тиристора 2Т конденсатор С разряжается через обмотку трансформатора Тр. Ток, проходящий через основной тиристор 1Т, кратковременно уменьшается до нуля, и тиристор 1Т гаснет. Конденсатор С заряжается от вспомогательного источника через резистор R.

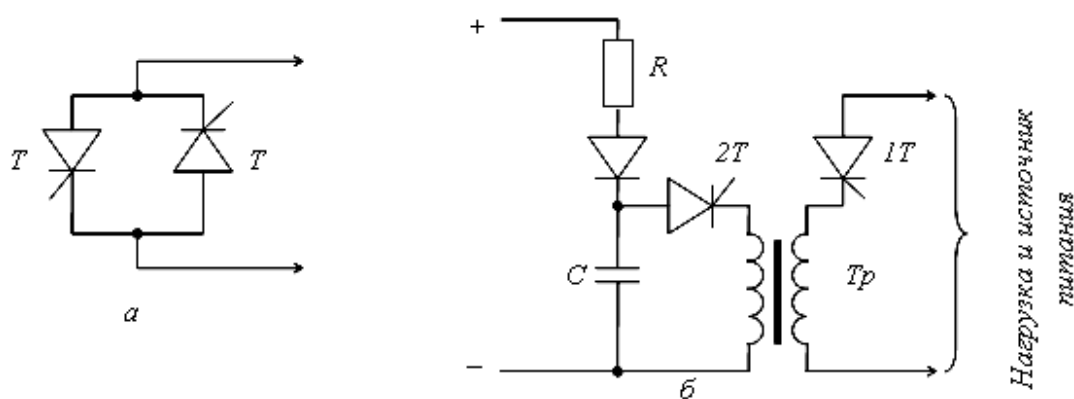


Рис. 128. Схемы тиристорных ключей выходных цепей:
а – переменного тока; б – постоянного тока

3.11. Позиционные устройства ЧПУ

3.11.1. Типовая структура позиционного устройства

Позиционные системы ЧПУ станками объединяют большую группу устройств, предназначенных для осуществления рабочих и установочных перемещений исполнительных звеньев по заданной, программе с необходимой, обычно весьма высокой, точностью. При всем многообразии позиционных устройств ЧПУ станками имеет место тенденция к унификации их основных агрегатов. Целесообразно различные, модификации позиционных устройств, которые отличаются набором функций, необходимых для управления конкретными станками, реализовать посредством ввода, исключения или некоторого изменения типовых агрегатов.

Рассмотрим один из сложных вариантов устройства ЧПУ, предназначенного для управления многооперационными станками расточно-сверлильно-фрезерной группы. Позиционные устройства ЧПУ этих станков позволяют производить как позиционирование, так и фрезерование параллельно осям координат; имеют до пяти управляемых по программе перемещений с одновременным управлением двумя перемещениями; обеспечивают автоматический поиск заданного инструмента в инструментальном магазине. Учет размеров инструментов осуществляется по номеру инструмента в шпинделе и обеспечивается набором на пульте коррекций полного размера инструмента или величины его коррекции. В системах обычно предусматривается три группы подготовительных G-функций: группа G40 учета знака коррекции размеров инструментов, группа G60 режимов позиционирования и группа G80 автоматических циклов. Каждая из подготовительных функций действует до отмены или замены соответствующей командой своей группы.

Позиционные устройства ЧПУ многооперационных станков имеют ряд наладочных режимов работы, включая проверку управляющей программы без отработки на станке; обеспечивают буквенно-цифровую индикацию всей отрабатываемой информации, допускают подключение дублирующего индикатора или дисплея и дистанционного пульта управления. Общая структурная схема таких позиционных устройств может быть сведена к шести типовым узлам (рис. 3.129). Каждый узел состоит из набора блоков, которые имеют различные модификации, зависящие от модификаций всей системы. Блоки объединяют в узлы с помощью узловых плат. Связь между узлами устройства осуществляется через общие кодовые шины и отдельные каналы связи. По кодовым шинам системы происходит обмен информацией между узлами. Время обращения узлов к кодовым шинам определяется в каждом узле по синхросигналам, которые поступают от узла обслуживания.

Управляющая программа задается либо с восьмидорожечной перфоленты через фотосчитывающее устройство, либо с пульта ручного ввода программы в коде ISO-7bit. В узле памяти код программы контролируется на четность и преобразуется в код 1–2–4–8–К, который распределяется по соответствующим регистрам блоков узла. В случае обнаружения ошибки во входном коде выдается сигнал «Запрет ввода», при котором прекращается дальнейший ввод программы в узел ввода и ее отработка на станке. Узел памяти является буферным накопителем информации, необходимым для непрерывного управления исполнительными органами станка. Запись слов в регистры памяти происходит со скоростью около 300 знаков в секунду синхронно с процессом чтения перфоленты, а считывание информации из регистров осуществляется в 100 – 200 раз быстрее, что обеспечивает непрерывность управления даже весьма быстроходными приводами.

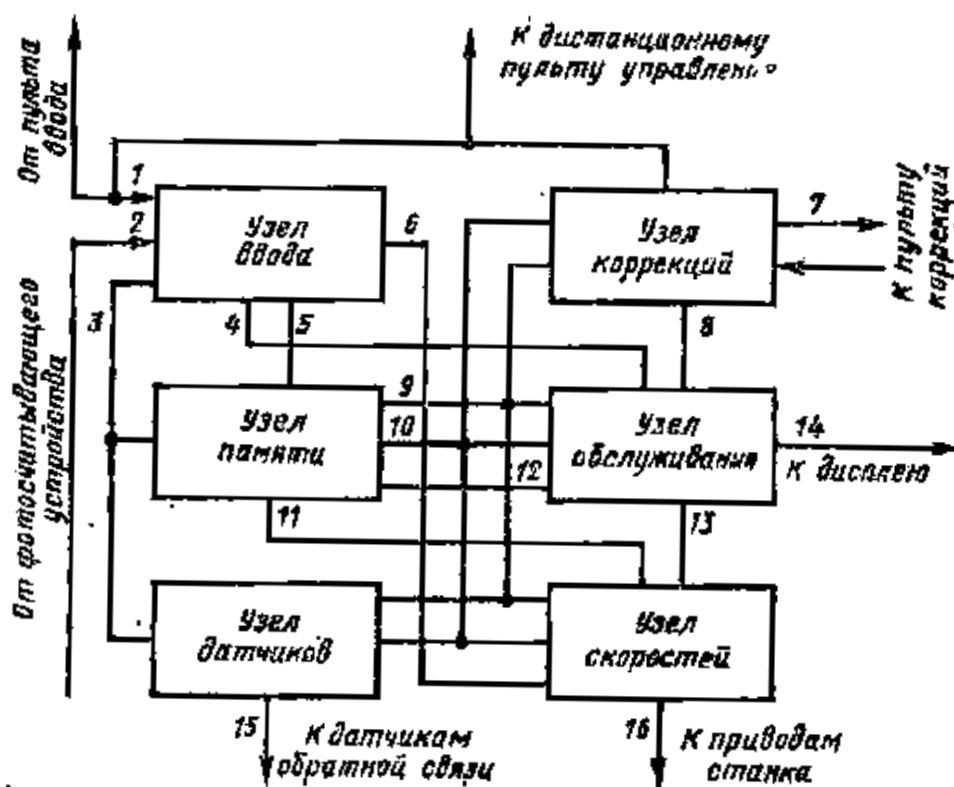


Рис. 3.129. Типовая структурная схема позиционного устройства ЧПУ

Основными функциями узла обслуживания являются выполнение вычислительных операций, выдача синхросигналов в виде циклической кодовой развертки и управление устройством индикации. Операции вычисления выполняются циклически с частотой 100 Гц по следующим адресам: пять координат, магазин инструментов, скорости подач по двум

группам координат и скорость главного привода. Все координаты станка могут быть произвольно объединены в две группы в соответствии с двумя каналами управления приводами; в одну группу, имеющую общий выход на приводы, обычно объединяются механизмы, одновременное перемещение которых нецелесообразно.

Для управления перемещением транспортера магазина инструментов предусматривается отдельный канал. По каждому адресу выполняется девять операций: пять операций сложения и сравнение результата сложения с четырьмя уставками. Блок вычислений узла обслуживания реализует следующий алгоритм:

$$P = D + (\pm H) + (-C) + (\pm K) + (\pm Z),$$

где P – величина рассогласования;

D – положение механизма относительно абсолютного нуля;

H – величина смещения начала отсчета;

C – величина третичного смещения по координате, т. е. смещение плоскости;

K – величина коррекции размера инструмента;

Z – запрограммированное перемещение относительно начала отсчета.

В результате сравнения величины P с величинами уставок U определяется знак суммы: $P + (-U1)$, $P + (-U2)$, $P + (-U3)$, $P + (-U4)$. Результаты вычислений выдаются в коде 1–2–4–8 в узел скоростей.

В узле скоростей из информации, поступающей по кодовым шинам системы и от узла обслуживания, выделяются сигналы выбора механизмов, сигналы скоростей и направления перемещения механизмов, вспомогательные команды M . Сигналы скоростей подачи выдаются либо командами на включение соответствующих ступеней торможения, либо кодом скорости. От станка в узел скоростей поступают эхо-сигналы «Готово» по каждому каналу управления, «Исполнение команды M », «Механическая ступень включена» и сигналы от магазина инструментов. По эхо-сигналам в узле формируется команда «Готово общее», сигнализирующая об окончании отработки задания и разрешающая автоматическую смену кадров программы.

Для позиционного управления приводами подач управляющей программой задается нужное положение исполнительного звена относительно установленного нуля отсчета и одна из подготовительных команд G60, учитывающих требования по изменению скорости в различных точках пути от исходного до заданного положения. Эти требования заключаются в том, чтобы обеспечить движение в заданную позицию и останов с необходимой точностью; большая часть пути должна быть пройдена на максимальной скоро-

сти перемещения «Ускоренный ход» или на скорости «Заданная скорость подачи», а в зоне торможения должен быть обеспечен оптимальный закон снижения скорости в функции от величины рассогласования. Обычно не задают все значения скорости в зоне торможения, а ограничиваются заданием только нескольких промежуточных значений из кривой оптимального торможения. Вычисление сигналов, задающих скорость движения при рассогласованиях, определяемых уставками $U_4 - U_1$, осуществляется автоматически: при рассогласовании, большем U_4 , выдается сигнал «Ускоренный ход», меньшем U_4 и большем U_3 – сигнал ступени F_3 и т. д. Величины уставок по пути $U_4 - U_1$ и по скорости $F_3 - F_1$ подбираются в системе в процессе наладки.

Задание скорости рабочего перемещения осуществляют адресом F и номером ступени скорости подачи, выраженным двухзначным десятичным числом. Весь диапазон изменения скорости подачи разбит на ряд фиксированных значений со знаменателем геометрической прогрессии 1,12 (реже 1,06); каждой ступени присвоен определенный номер. В зависимости от требований к точности отработки заданного размера в кадре должна быть задана кроме адреса F одна из команд $G60$. На управление приводами подач сигналы задания скорости выдаются в двоично-десятичном коде.

Получение полного диапазона частот вращения шпинделя достигается регулированием скорости электродвигателя постоянного тока и изменением передаточного отношения редуктора. Весь диапазон частот вращения шпинделя разбит на геометрический ряд фиксированных значений со знаменателем 1,12 (реже 1,06), и конкретная ступень задается адресом S и номером ступени в виде двухзначного десятичного числа. Кроме того, в кадре указывают вспомогательную команду M выбора механической ступени и направления вращения шпинделя.

В ходе обработки деталей часто встречаются повторения отдельных технологических операций, которые целесообразно выделить в отдельные технологические группы – автоматические циклы. Для существенного сокращения объема работ при программировании и уменьшения длины программноносителя в систему заранее заложена неизменная программа выполнения автоматических циклов. Для вызова нужного цикла достаточно задать команду группы $G80$.

Измерение положения механизмов относительно начала отсчета производится с помощью круговых фотоимпульсных датчиков обратной связи. Для этого в системе с фотоимпульсными датчиками применяют шестиразрядный счетчик, на выходе которого формируется двоично-десятичный код положения механизмов. Этот код сравнивается с задан-

ным положением, и в результате вырабатываются сигналы управления приводами подачи. Датчик положения магазина инструментов выдает номер инструмента в виде двух разрядов двоично-десятичного кода, который используется для управления магазином.

Автоматическое управление координатными перемещениями требует согласования измерительной системы станка с координатной системой обрабатываемой детали. Это согласование осуществляется установкой на станке для каждой координаты нуля отсчета: исполнительное звено станка выводится в нужное положение, затем на переключателях установки нуля набирается координата этого положения, которая фиксируется с помощью датчика по дисплею при нажатии кнопки «Установка нуля» на пульте коррекций.

Ниже приведены примеры структурной реализации основных узлов устройства ЧПУ.

3.11.2. Узел ввода устройства ЧПУ

Узел ввода обеспечивает: выбор режима (автоматический, покадровый или ручной ввод программы); управление станком местное или дистанционное от выносного пульта; пуск и остановку работы по программе; вызов автоматических циклов; управление перемоткой перфоленты, остановку на выбранном кадре; возможность зеркальной отработки; начальную установку при включении питания; индикацию готовности станка к работе. Пульт ввода имеет поле набора кадра и оперативные органы управления. Шифратор пульта представляет собой стандартную диодную схему. В узел ввода входят блок формирователей, блок коммутации и блок логики.

Блок формирователей связывает пульт ввода с остальными блоками и служит для преобразования сигналов с пульта во входные сигналы блоков, для устранения «дребезга» сигналов с контактов переключателей и для получения задержки фронтов сигналов, которая обеспечивает надежную запись кодовых сигналов в регистры памяти.

Все функции узла ввода реализуются блоками коммутации и логики. Независимо от способа задания программы исходная информация выдается из узла ввода в последовательном коде ISO-7bit и поступает в узел памяти для запоминания. Кроме того, специальные схемы блока логики формируют: такт разрешения для узла памяти; сигнал для счетчика автоматических циклов узла памяти в том случае, если в кадре есть команды группы автоматических циклов G80; сигнал разрешения отработки для узла скоростей. Формирование такта разрешения обеспечивается для всех символов кадра при движении перфоленты вперед, а при обратном движении такт разрешен только для символов ПС (конец кадра) и % (начало программы).

3.11.3. Узел коррекций

Оператор устанавливает переключателями на пульте коррекций необходимые величины сдвига нуля отсчета по всем программируемым координатам и величины размеров или коррекций (со своим знаком) размеров инструмента. Ввод размера инструмента или величины коррекции осуществляется по номеру инструмента, установленного в шпинделе. Узел коррекций можно комплектовать из блока логики *КЛ*, блока номера инструмента *КИ*, блока магистральных усилителей *КУ* и пульта коррекций *КП* (рис. 3.130).

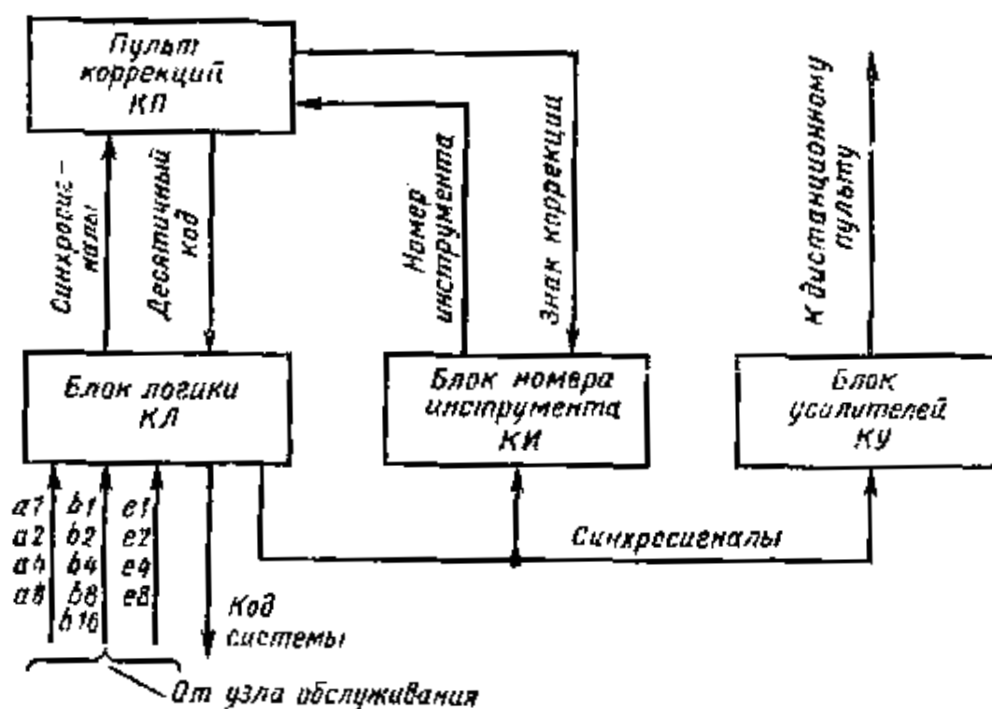


Рис. 3.130. Структура узла коррекций

Последовательное считывание числовой информации, установленной на пульте *КП*, обеспечивается с помощью синхронизирующих сигналов, которые формируются в блоке *КЛ* из кодов подциклов, тактов и подтактов, поступающих от узла обслуживания устройства ЧПУ. На пульт подаются сигналы номера в виде статического двухразрядного десятичного кода из блока *КИ*. Последовательность считывания чисел с переключателей пульта определяется последовательностью синхросигналов. Эти числа поступают на *КЛ* также в десятичном коде. В блоке логики *КЛ* они преобразуются в двоично-десятичный код и передаются в вычислительное устройство узла обслуживания.

Формирователь $\Phi 1$ блока логики (рис. 3.131) выдает сигналы записи в регистры номера инструмента T и команд учета знака коррекции $G40$ блока КИ. На шифратор подается с пульта КП десятичный код $0 - 9$, который преобразуется в двоично-десятичный $1 - 2 - 4 - 8 - K$. Разряд K является контрольным, дополняющим код до четного числа единиц. Десятичные разряды чисел поступают на шифратор последовательно во времени: с каждым тактом синхросигналов на одном из входов шифратора появляется «0», что соответствует определенной десятичной цифре. При одновременном появлении на входах шифратора двух цифр схема формирования сигнала ошибки CO устанавливает в шифраторе нерабочий код «31». На шифратор подается с формирователя $\Phi 2$ сигнал m' , связанный с сигналом отмены установок m и синхронизированный таким образом, что в нерабочие такты подача его на шифратор запрещена. Это условие необходимо для того, чтобы обеспечить прохождение по шинам системы контрольного теста. Когда на блок приходит сигнал отмены установок m , сигнал m' становится «0», и на выходе шифратора устанавливается «0». Сигналом n' , сформированным инвертором И-НЕ, на выходе шифратора устанавливается код «15». Сигнал n приходит с пульта, когда не выбран ни один из инструментов.

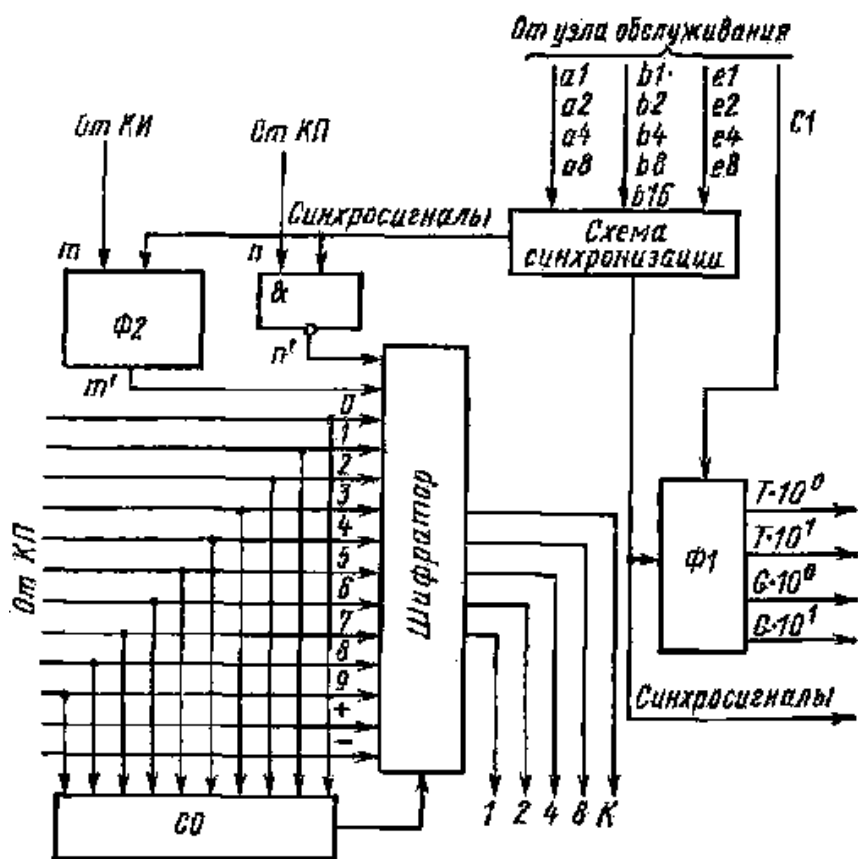


Рис. 3.131. Блок-схема логики узла коррекций

Блок номера инструмента *КИ* (рис. 3.132) состоит из четырех регистров *P1* – *P4*, дешифратора *ДШ1* команд *G40*, дешифраторов *ДШ2* и *ДШ3* номера инструмента, схемы формирования сигнала отмены установок *ОУ* и схемы знака коррекции по радиусу *ЗКР*. Регистрами *P1* и *P2* запоминаются разряды десятков и единиц команд *G40*. Запись в регистры разрешается сигналами $G10^1$ и $G10^0$, приходящими от блока *КЛ*. Регистр *P1* представляет собой триггер, вход которого соединен с кодовой шиной системы; «1» на выходе триггера соответствует цифре «5», «0» – цифре «4». Регистры *P2*, *P3*, *P4* выполнены на четырех триггерах. В *P3* и *P4* записываются разряды десятков и единиц номера инструмента. Схема *ОУ* формирует сигнал отмены установок $\bar{m}$, которым по соответствующим командам *G* отменяются либо коррекции инструмента, либо установки нулей по координатам. Схема *ЗКР* формирует сигналы знака коррекции в зависимости от своих команд *G* и от знака коррекции по радиусу, набранного на пульте коррекций. Блок *КУ* осуществляет связь узла коррекций с выносным пультом дистанционного управления. Пульт коррекций *КП* имеет секции установки нулей, размеров и коррекций размеров. Различные модификации систем содержат различный набор этих секций в пульте.

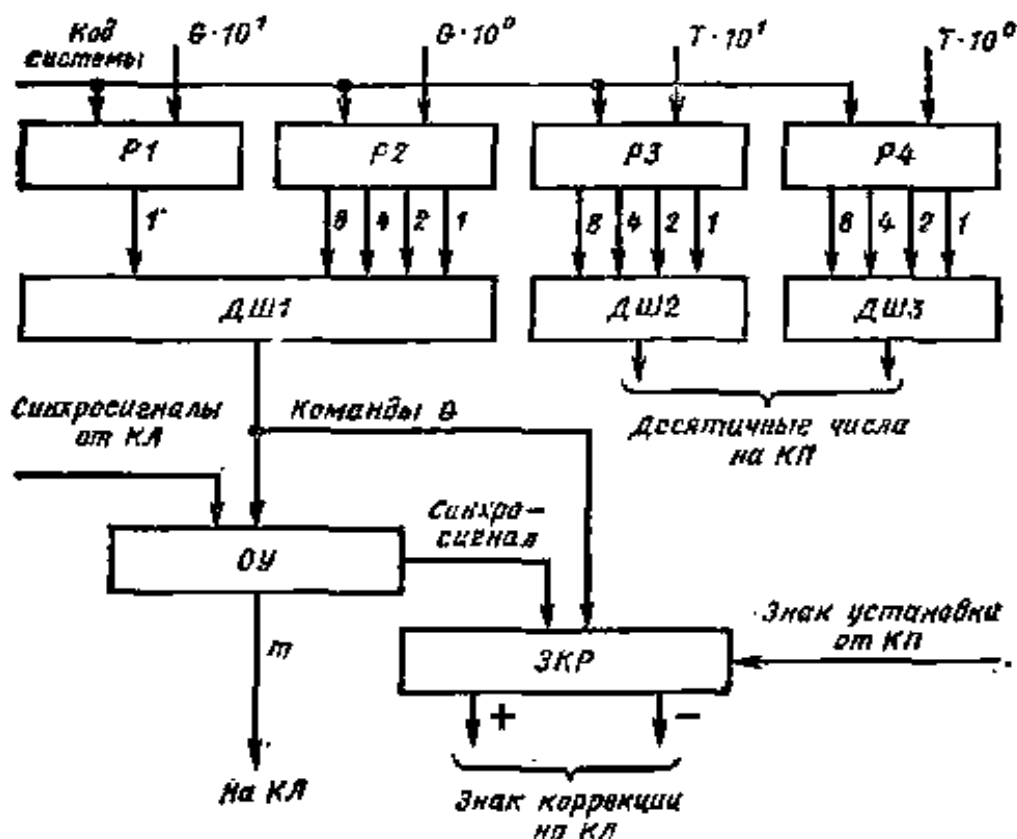


Рис. 3.132. Блок-схема номера инструмента узла коррекций

3.11.4. Узел памяти

Узел памяти предназначен для хранения заданного кадра управляющей программы. Информация кадра поступает от узла ввода, а выдается на кодовые шины системы последовательно во времени в соответствующие такты синхросигналов. Содержание находящейся в памяти программы индицируется на экране дисплея. Структура узла памяти

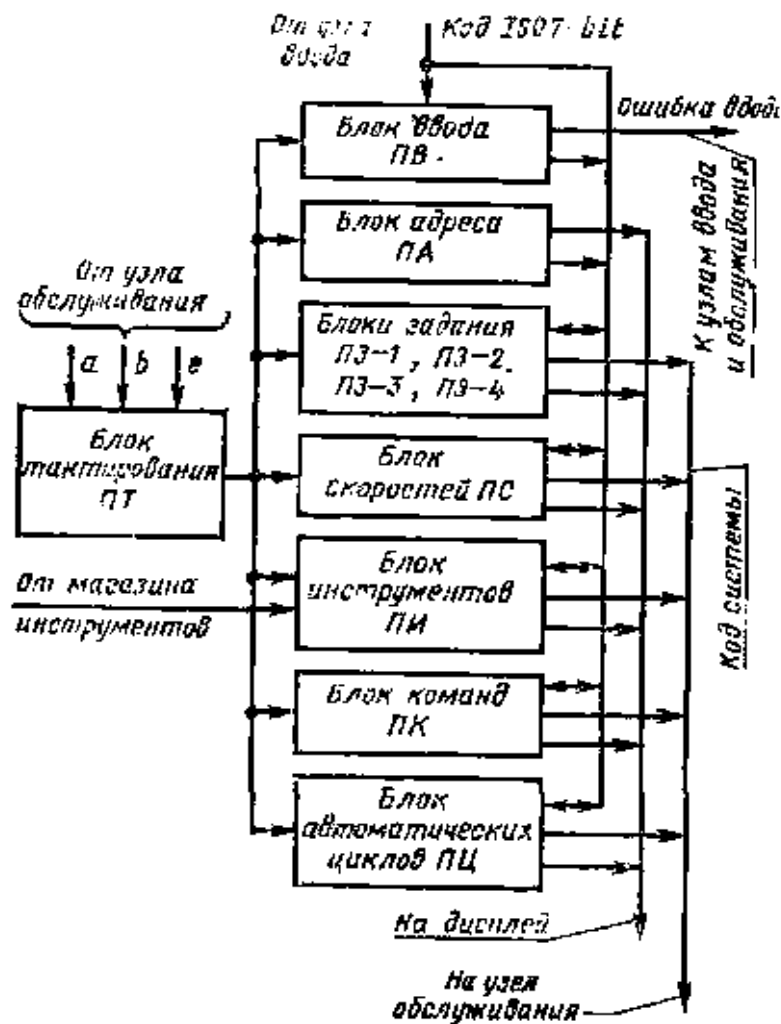


Рис. 3.133. Узел памяти

приведена на рис. 3.133. Блоки адреса и скоростей могут быть выполнены в разных модификациях в зависимости от технических требований: один или два канала управления, наличие автоматических циклов, автоматическое переключение частот вращения шпинделя и др.

Запоминание кадра программы производится адресным способом в последовательности расположения информации в кадре. Адреса расшифровываются в блоке ввода ПВ и подаются на остальные блоки узла. В этом же блоке формируются сигналы ввода числовой информации по данному адресу: сигналы

счетчика, такты букв и цифр. Буквенная информация вводится в регистр адреса (рис. 3.134), дешифруется и поступает в шифратор длины слова, где определяется, сколько числовых разрядов должно вводиться в узел памяти по данному адресу. После ввода адреса в регистр, счетчик ввода устанавливается в состояние, равное длине слова. По мере поступления на вход блока чисел сигналы тактов цифр подаются на счетчик, который последовательно переходит от начального состояния до нулевого. Дешифратор ввода выдает сигналы состояний счетчика, разрешающие ввод чисел в определенные разряды регистров по

конкретному адресу. Если к моменту прихода следующего адреса состояние счетчика отличается от нулевого, то формируется сигнал «Ошибка ввода», запрещающий дальнейший ввод программы. Аналогичный сигнал формируется при обнаружении ошибки схемой контроля кода программы на четность.

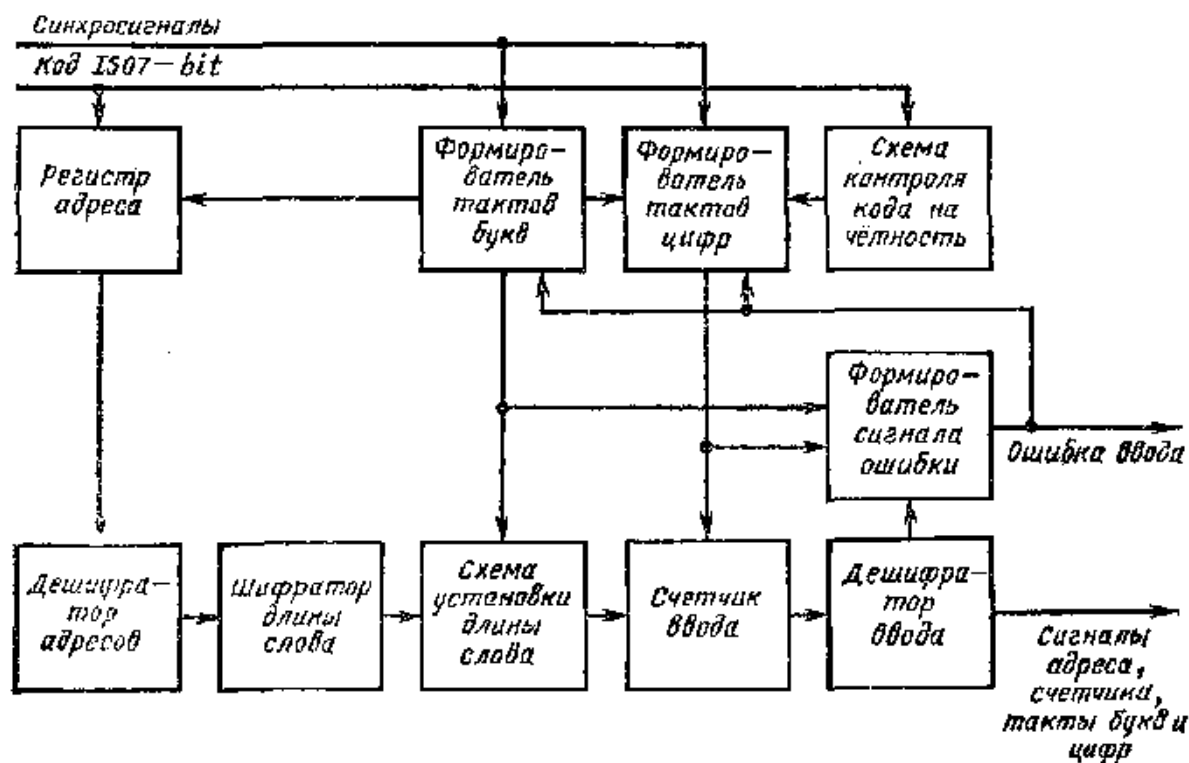


Рис. 3.134. Структура блока ввода узла памяти

Из двенадцати координатных адресов ($A, B, C, X, Y, Z, U, V, W, P, Q, R$), которые расшифровываются в блоке $ПВ$, обычно только шесть, определяющиеся типом станка, выводятся на блок адреса $ПА$. Условно обозначим эти адреса $K1, K2, K3, K4, K5, КП$, где $КП$ – обозначение плоскости, смещаемой по одной из координат в автоматических циклах.

Блок адреса $ПА$ (рис. 3.133) предназначен для запоминания и выдачи на индикацию адресов координат, а также для формирования сигналов вызова блоков задания $ПЗ$, в которых записывается числовая информация координат. В блоке $ПА$ координаты группируются по двум каналам управления. В первом канале могут быть сгруппированы, например, координаты $K1, K2, K3, K4, K5$, во втором канале – координаты $K1, K2, K4, K5, КП$. Задание на перемещение по координатам записывается в соответствующие блоки задания $ПЗ$: по адресу координаты первого канала – в блок $ПЗ-1$, второго канала – в блок $ПЗ-2$, автоматического цикла – в блоки $ПЗ-3$ и $ПЗ-4$. Адрес координаты формирует сигнал вызова нужного блока $ПЗ$, который в свою очередь выдает информацию о заданном перемещении на кодовые шины системы.

Запрограммированные величины скорости главного привода S и скорости подач F записываются в блоке скоростей $ПС$. Информация о заданных скоростях выдается по шинам системы на вычислительное устройство узла обслуживания и на дисплей. В блоке $ПС$ запоминаются также команды группы $G40$ знаков коррекции размеров инструментов.

Сведения об инструменте в виде кодов номеров инструмента в шпинделе, в носителе магазина и заданного программой хранятся в соответствующих регистрах блока $ПИ$. Перезапись информации в этих регистрах при смене инструмента производится командами, поступающими от магазина инструментов через узел скоростей.

Блок команд $ПК$ запоминает номер работающего кадра N , команды группы режимов позиционирования $G60$ и вспомогательные команды M .

Блок автоматических циклов $ПЦ$ включается в работу командами $G80$, при этом на шины системы вызывается информация, записанная в блоках задания автоматических циклов $ПЗ-3$ и $ПЗ-4$, а из $ПЦ$ выдаются команды $G60$ и M взамен команд блока $ПК$.

Блок тактирования $ПТ$ обеспечивает синхронную работу всех блоков узла памяти, формируя с помощью соответствующих схем синхронизации времязадающие синхросигналы из двоично-десятичных кодов подциклов $a1 - a8$, тактов $b1 - b16$ и подтактов $e1 - e8$, поступающих от узла обслуживания. Синхросигналы необходимы также для последовательного вывода информации из памяти на вычислительное устройство узла обслуживания и на дисплей.

Блоки узла памяти, осуществляющие запоминание информации, имеют одинаковую структуру. Основными элементами этих блоков являются регистры памяти и дешифраторы команд. На рис. 3.135 и 3.136 в качестве примеров приведены структурные схемы блоков задания $ПЗ$ и автоматических циклов $ПЦ$.

На вход блока $ПЗ$ поступают пять сигналов кода $1 - 2 - 4 - 8 - K$. Эти сигналы подаются на все разряды регистра, которые служат для поразрядной записи числа в двоично-десятичном коде с контрольным разрядом. Запись числа осуществляется следующими сигналами: «Адрес» – выбор номера блока задания, «Счетчик» – выбор разряда регистра, «Такт цифр» – определяет момент времени ввода информации в разряд регистра.

Выходные сигналы разрядов через схему коммутации поступают на кодовые шины системы. Моменты считывания информации для разрядов регистра распределены во времени и определяются формирователем сигналов считывания.

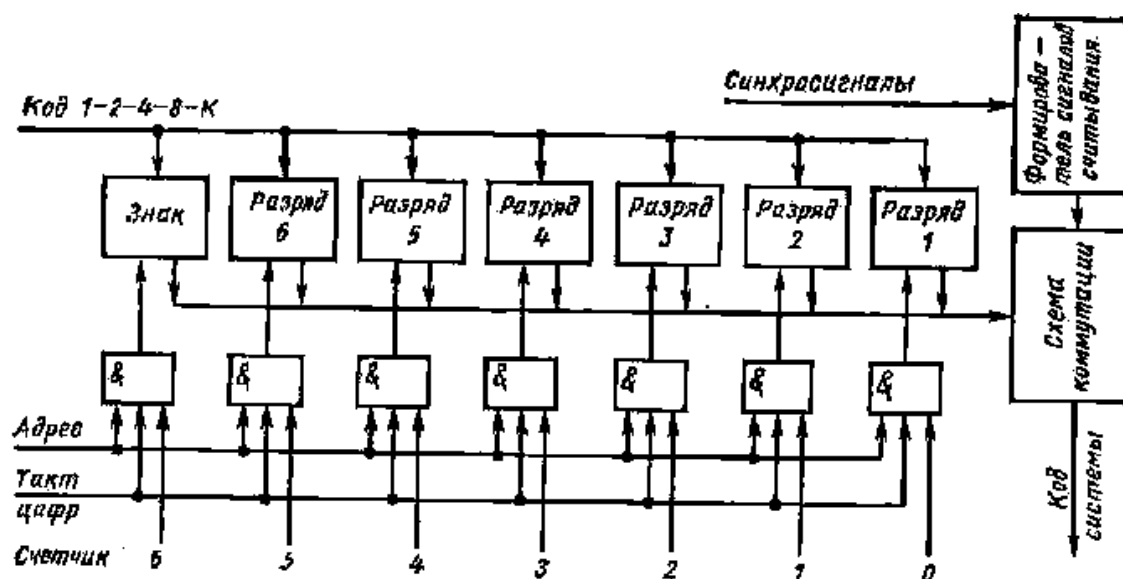


Рис. 3.135. Структура блока задания узла памяти

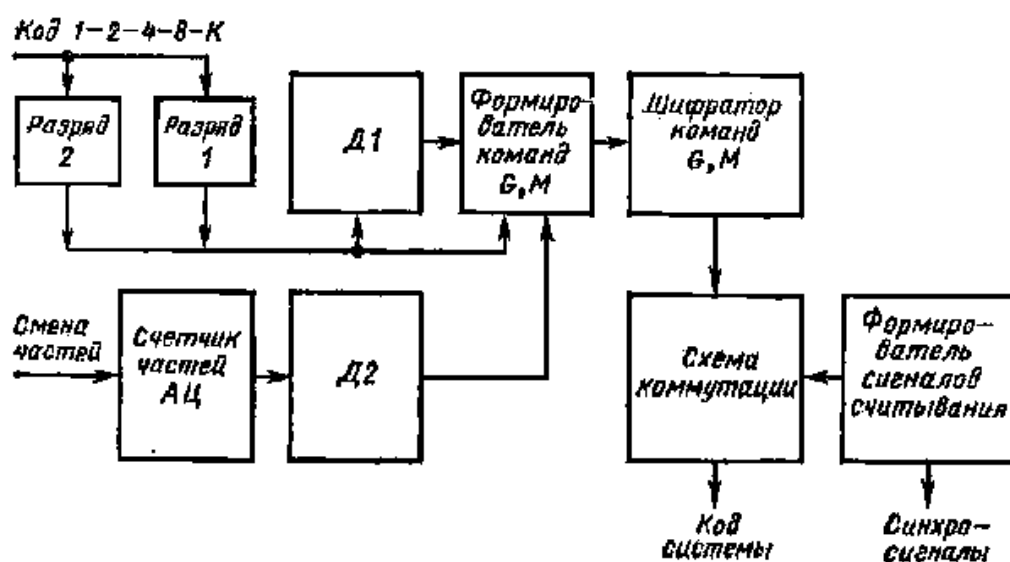


Рис. 3.136. Блок-схема автоматических циклов узла памяти

Команды G80 записываются в двухразрядный регистр команд блока автоматических циклов ПЦ. Дешифратор Д1 выдает номер автоматического цикла АЦ. Кроме того, сигнал «Смена частей» запускает счетчик частей АЦ, и дешифратор Д2 выдает номер части проводимого АЦ. Номер АЦ и номер его части поступают на формирователь команд G60 и M. Шифратор преобразует сформированные команды в код системы и по сигналам считывания через схему коммутации выдает этот код на шины системы. После выполнения механизмами станка команд данной части цикла на блок выдается сигнал «Смена частей», в счетчик записывается номер следующей части цикла, и формирователь выдает новые управляющие сигналы.

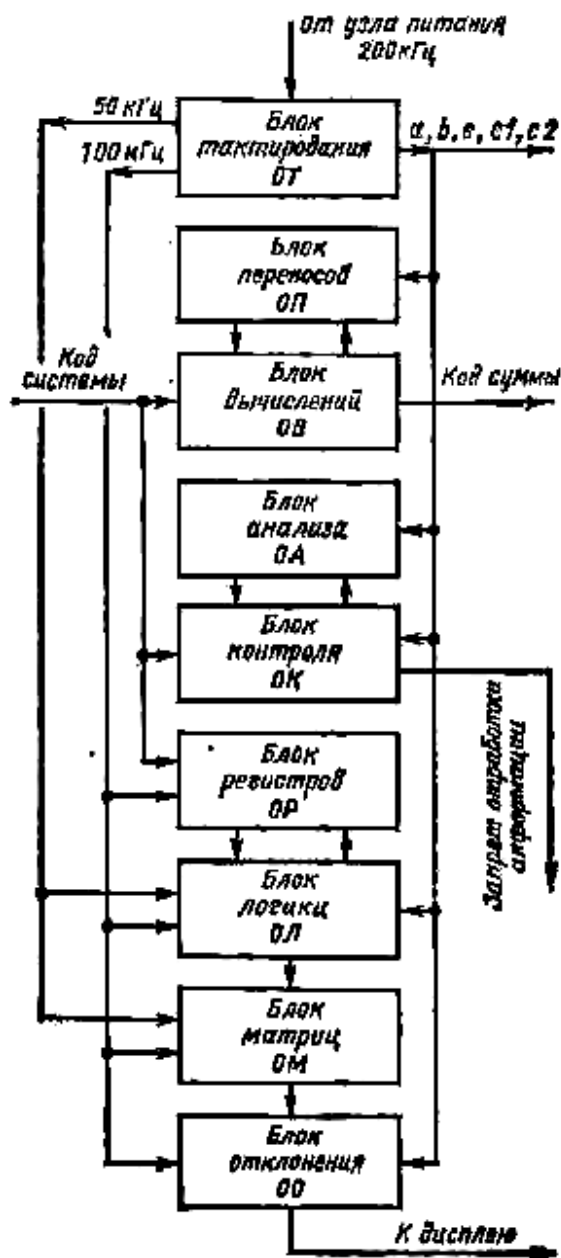


Рис. 3.137. Узел обслуживания

3.11.5. Узел обслуживания

Узел обслуживания выполняет в системе следующие функции: формирует частотные сигналы для циклических двоичных кодов управления и для узла датчиков; вычисляет величины рассогласования по координатам положений механизмов, коды скоростей главного привода и приводов подач, величины путевых уставок, величины рассогласования по номеру инструмента для перемещения магазина инструментов; выявляет ошибки в кодах, приходящих по шинам системы на вход вычислительного устройства; проверяет правильность вычислений, производимых вычислительным устройством, а также правильность формирования сигналов ошибок и двоично-десятичных кодов, соответствующих времени появления ошибок; определяет последовательность отображения информации и формирует токи отклонения для электронно-лучевого индикатора (дисплея).

В узел обслуживания входят блоки тактирования *ОТ*, переносов *ОП*, вычислений *ОВ*, анализа *ОА*, контроля *ОК*, регистров *ОР*, логики *ОЛ*, матриц *ОМ* и блок отклонения *ОО* (рис. 3.137).

Формирование блоком *ОТ* частотных сигналов показано на диаграмме, приведенной на рис. 3.138. Сигнал эталонного генератора частотой 200 кГц поступает от узла электропитания на вход блока тактирования. Схемы блока преобразуют этот сигнал в циклические двоичные коды управления, условно названные кодами подциклов, тактов и подтактов. Веса кодов обозначены так: подциклов – a_1, a_2, a_4, a_8 ; тактов – b_1 ,

$b2, b4, b8, b16$; подтактов – $e1, e2, e4, e8$. Для обеспечения работы узла обслуживания и узла датчиков блок *ОТ* вырабатывает еще четыре последовательности сигналов 50, установочные 50, 100 и 100 кГц промежуточные. Кроме того, *ОТ* формирует сигналы «Запись» $C1$ и «Перезапись» $C2$.

Исходя из удобства отображения информации на экране дисплея в системе принят последовательный по десятичным разрядам метод вычислений, реализованный на вычислителе комбинационного типа с регистром-накопителем. В состав вычислительного устройства входят блок вычислений *ОВ* и блок

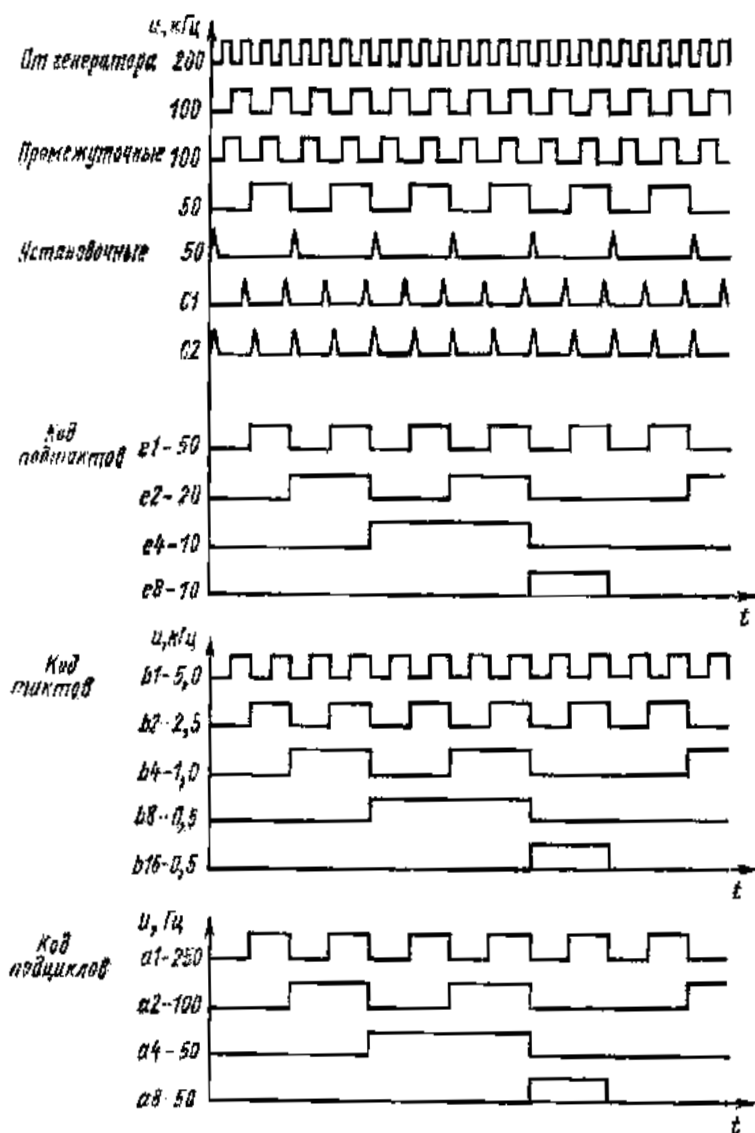


Рис. 3.138. Сигналы, вырабатываемые блоком *ОТ*

переносов *ОП*. Цикл вычислений состоит из 20 тактов. В тактах $B3 - B10$ производится вычисление в дополнительном коде, при этом определяется циклический перенос для сложения в обратном коде. В тактах $B11 - B18$ числа складываются в обратном коде с использованием циклического переноса. В каждом отдельном такте складываются одноименные разряды всех слагаемых, поступающих на вход схемы вычислений по подтактам. В подтактах $E0 - E4$ вычисляется сумма слагаемых. В подтактах $E5 - E8$ схема вычислений работает как кодовый компаратор. Подтакт $E9$ подготавливает схему к вычислениям в следующем десятичном разряде.

Контроль вычислений осуществляется путем проверки результата вычислений тестовых слагаемых, для чего используются такты $B0, B1$ и $B19$. Контролирующее устройство размещено в блоке анализа *ОА* и в блоке кон-

троля *ОК*. В пятиразрядном двоично-десятичном коде $1 - 2 - 4 - 8 - K$, входящем десятичными разрядами на вход вычислительного устройства, проверяется четность единиц в коде. Если это условие не выполняется, то вырабатывается сигнал ошибки хранения, который поступает на индикацию и в узел ввода. Чтобы обеспечить проверку кода на четность, в состав кода введен дополнительный контрольный разряд *K*. В системе принято закрепление кодов за символами (табл. 3.3).

Таблица 3.3
Система кодирования символов

1	2	4	8	K	Цифра	Знак	Кодовый плат	Адрес
0	0	0	0	0	0	+		%
1	0	0	0	1	1		K1	N
0	1	0	0	1	2		K2	G
1	1	0	0	0	3		K3	F
0	0	1	0	1	4		K4	S
1	0	1	0	0	5		K5	T
0	1	1	0	0	6		KП	M
1	1	1	0	1	7			
0	0	0	1	1	8			
1	0	0	1	0	9	—		
1	1	1	1	0	15			
1	1	1	1	1	31			

Если в блок задания узла памяти информация не записана, то на шинах системы в моменты времени, отведенные для работы этого блока, будет код 11111, который обычно называют кодом «31». Он содержит нечетное число единиц и схемой контроля будет воспринят как ошибочный. Поэтому в состав блока задания вводится схема, которая при отсутствии задания формирует код 01111 – код «15». Хотя этот код является вспомогательным, а не информационным, он позволяет обеспечить нормальную работу схем контроля. Блок анализа *ОА* из поступающих на его вход

кодов подциклов, тактов и подтактов формирует сигнал разрешения *M1*, который разрешает контроль информации только в те моменты времени, когда на шинах системы находится любой код, кроме кода «31».

Тест – это набор кодов, цифр и знаков, формируемых в блоке *ОК*, которые, поступая в определенной последовательности на вход вычислительного устройства, обрабатываются им, а результаты обработки возвращаются в блок *ОК* для сравнения с выходными кодами теста. Если код вычисленной величины отличается от выходного кода теста, схемы блока вырабатывают импульс, сигнализирующий о неисправности вычислительного устройства. Совпадение этого импульса с очередным сигналом разрешения *M2*, формируемым блоком *ОА*, фиксируется в блоке *ОК* как тестовая ошибка.

Кроме рассмотренных возможных видов ошибок в блок *ОК* поступает из узла памяти при наличии ошибки ввода соответствующий сигнал. Ошибка ввода сигнализирует о нарушении установленного порядка ввода информации в систему. Схемы, контролирующие вводимую информацию на четность и длину слова, расположены в блоке ввода узла памяти. Ошибка ввода

выдается блоком *ОК* на дисплей и как тестовая ошибка, и как ошибка хранения. Ошибки индицируются на местах тех символов, в которых они обнаружены. Одновременно выдаются на шины системы сигналы запрета дальнейшей обработки информации.

Структурная схема вычислительного устройства приведена на рис. 3.139. Дешифраторы тактов и подтактов формируют сигналы синхронизации. Регистр знака слагаемых управляет входным преобразователем кода. Знак «минус» в системе представлен кодом «9», знак «плюс» – кодом «0». Для распознавания знаков используется четвертый разряд кода системы 1 – 2 – 4 – 8 – *K*: при коде «9» на шине этого разряда будет сигнал «1», при коде «0» – сигнал «0». Запись знака в регистр производится стробом сигнала *C1* в тактах *B2* и *B19* в 0 – 4 подтактах. В такте *B2* записывается знак основной величины, участвующей в вычислении, а в такте *B19* – знак тестового слагаемого. Аналогично в регистр знака суммы записывается в такте *B10* знак результата основного вычисления, а в такте *B0* – знак тестовой суммы.

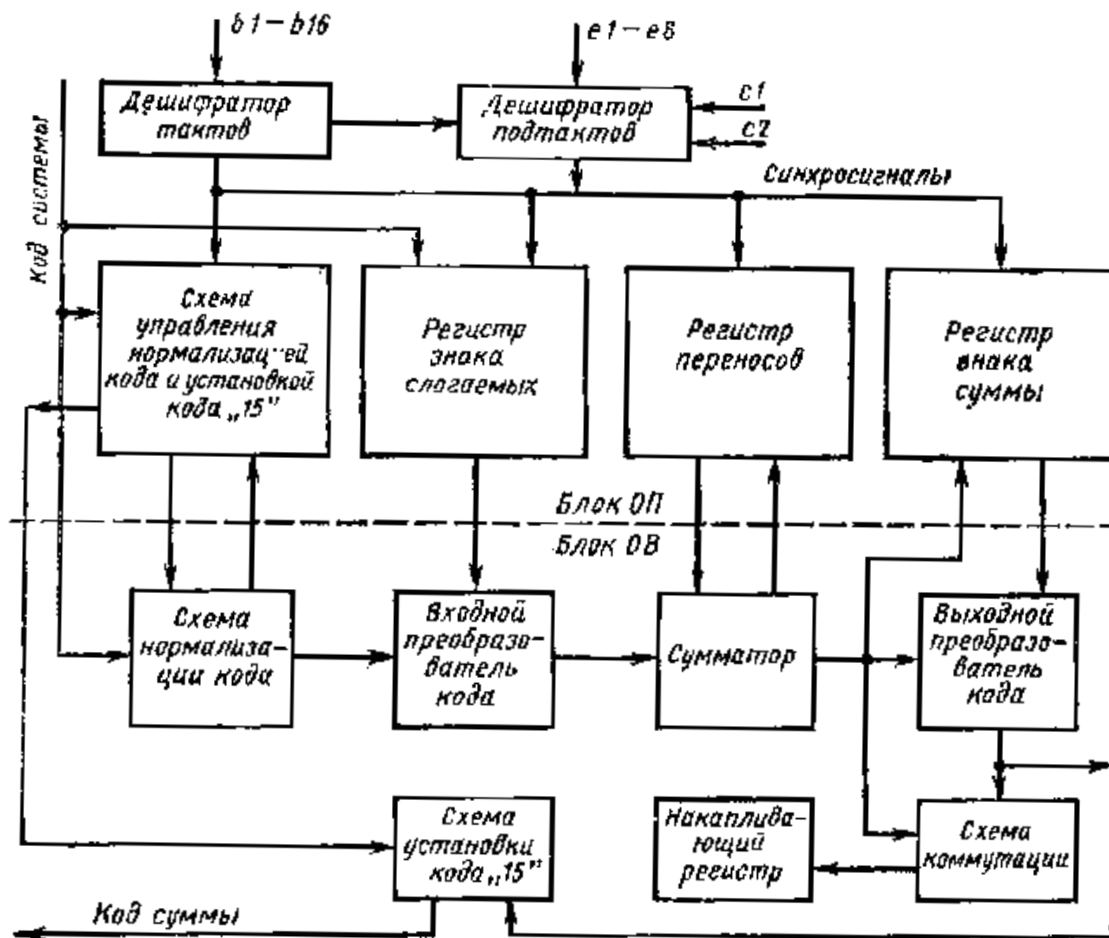


Рис. 3.139. Структура вычислительного устройства узла обслуживания

С помощью входного преобразователя кода отрицательные числа на входе сумматора представляются в обратном коде. Обратный код отрицательного числа, полученный на выходе сумматора, преобразуется в прямой код выходным преобразователем.

Регистр переносов служит для хранения разрядных переносов частичных сумм и выдачи их на сумматор с задержкой на один такт. Нормализация кода производится в тех тактах, когда на шины системы не подается информация, участвующая в вычислениях. Это – такты, в которых на шинах системы имеется нерабочий код «15» или «31», т. е. такты, когда подаются коды символов, коды знаков, когда знаки сумм выводятся на индикацию и т. д. В этих тактах происходит перезапись циклических переносов и вычисление кодов знаков сумм. Установка вспомогательного кода «15» производится в тактах, когда результаты вычислений не должны проходить на выходные шины блока *ОВ*, или в тактах, в которых на шинах системы имеется нерабочий код. Например, в такте *В2* в регистр знака слагаемых записывается знак основного слагаемого, и результат вычисления в этом такте не имеет смысла.

Блок *ОВ* реализует алгоритм: $P = D + (\pm H) + (-C) + (\pm K) + (\pm 3)$. Вычисления осуществляются последовательно по координатам в каждом подцикле, по одноименным десятичным разрядам в каждом такте и по величинам *Д*, *Н*, *С*, *К*, *З* в соответствующем подтакте.

Блоки *ОР*, *ОЛ*, *ОМ* и *ОО* вместе с электронно-лучевым индикатором символов составляют индицирующее устройство (рис. 3.140). Это устройство предназначено для формирования сигналов управления, необходимых для начертания на экране дисплея символов, соответствующих поступающим кодам. Оно позволяет индицировать всю информацию, вводимую в память системы, результаты обработки этой информации в рабочем режиме системы, а также контролировать уровни сигналов в различных точках схем при наладке или поиске неисправности в системе.

Двоично-десятичный код с входных и выходных шин сумматора поступает на вход двухтактных регистров *P1* и *P2*. Регистры позволяют выбрать из всего потока информации только ту, которая подлежит индикации, и производят задержку, необходимую для начертания символов на экране дисплея. Управление регистрами осуществляют сигналы *n1*, *n2*, *n3*, *n4*. С выхода регистров информация поступает на схему коммутации, которая в зависимости от режима индикации пропускает код символов либо с регистров, либо с блока логики (код символов *ч1*, *ч2*, *ч4*, *ч8*, вырабатывае-

мый по сигналам $d1$ и $d2$). Далее код символов поступает на дешифратор, преобразующий двоично-десятичный код в позиционный, сигнал которого и один из сигналов признаков $m1, m2, m3, m4$ возбуждают нужную матрицу. Считывание заложенной в матрицу программы осуществляется импульсами подтактов $E1 - E8$.

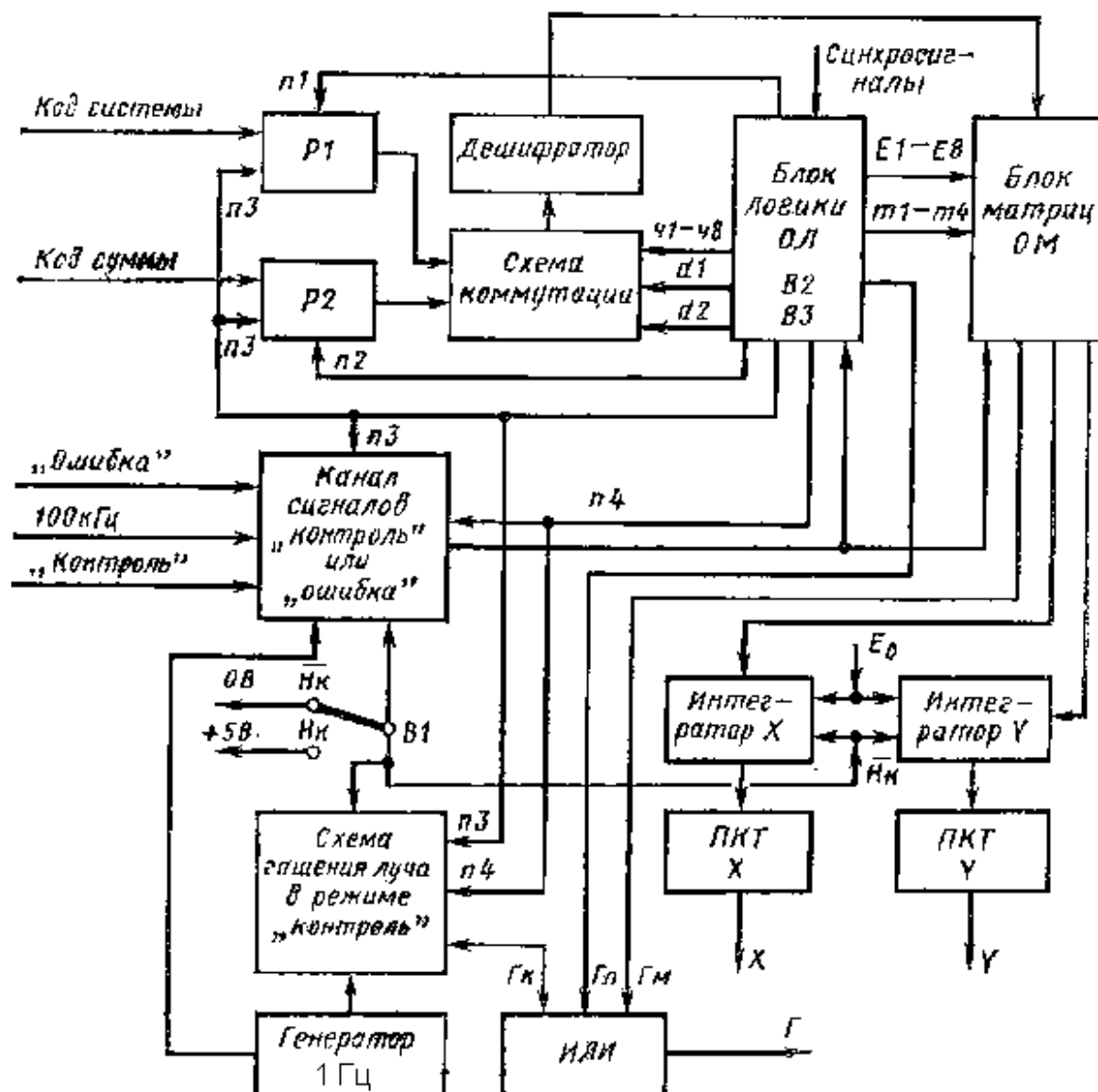


Рис. 3.140. Структура индицирующего устройства узла обслуживания

Сигналы с выхода матрицы преобразуются шифратором в импульсы, необходимые для управления ключами интеграторов. Интеграторы вырабатывают сигналы управления лучом электроннолучевой трубки. Начальная установка интегратора происходит по импульсу $E0$. Преобразователи код – ток $ПКТ$ преобразуют сигналы от интеграторов и коды, поступаю-

щие из блока логики, в сигналы отклонения по координате. Суммарные сигналы подаются на дисплей, где они усиливаются и воздействуют на отклоняющую систему электронно-лучевой трубки.

Для управления яркостью луча служит сигнал Γ , который формируется из сигналов гашения при начертании черты или точки Γ_l , при начертании символов Γ_m и при работе в режиме «Контроль» Γ_k . Переключатель режимов индикации $B3$ и переключатель выбора подтактов $B2$ расположены в блоке логики, а тумблер включения $B1$ режима «Контроль» – в блоке регистров. Режим «Контроль» используется при наладке системы для проверки уровней сигналов в отдельных точках схемы. Канал сигналов «Контроль» или «Ошибка» имеет в своем составе двухтактные регистры, аналогичные регистрам $P1$ и $P2$. Если переключатель $B1$ находится в положении H_k (нет режима «Контроль»), то по каналу может проходить сигнал ошибки, который модулируется частотой 1 Гц и попадает в блоки OM и OL . Во втором положении тумблера идет сигнал «Контроль», который разрешает работу только схем отклонения от вертикали и запрещает прохождение другой информации на преобразователи PKT .

3.11.6. Узел скоростей

Этот узел предназначен для формирования сигналов управления главным приводом, приводами подач, магазином инструментов и технологическими операциями. В структуру узла входят блоки: адресов CA , торможения CT , главного привода CG , подач CP , инструмента CI , усилителей CU (рис. 3.141).

В блок адресов выбираются из шин системы и запоминаются в нем коды адресов первого и второго каналов, код команды группы режимов позиционирования $G60$, код вспомогательных команд M . В блоке формируются и выдаются на шины системы коды путевых уставок и сигнал «Готово общее». Путевые уставки по координатам набираются установкой соответствующих переключателей на контактах разъема блока. Из памяти CA код адреса первого канала поступает на блок $CT-1$, а код второго канала – на блок $CT-2$. Расшифрованные адреса координат управляют выборкой из выходных шин сумматора и внесением в память информации о результатах сравнения рассогласования с путевыми уставками. В блоках CT по этим результатам, а также по командам группы $G60$ и результатам сравнения заданной скорости с уставками скорости формируются сигналы ступеней скорости привода и направления перемещения. Полученные сигналы координат, ступеней скорости и направлений выдаются через блок усилителей $CU-1$ на внешние разъемы системы.

При управлении приводами кодом скорости сигналы ступеней скорости управляют в блоке *СП* выдачей на шины системы уставок скоростей. Полученный код скорости подачи выдается с выходных шин сумматора, запоминается в регистрах блока *СП* и через блок усилителей *СУ-2* выдается на внешние разъемы. Уставки скорости по каналам отработки набираются установкой соответствующих переключателей на контактах разъема блока *СП*.

Управление главным приводом осуществляется выдачей из памяти блока *СГ* через блок усилителей *СУ* на выходные разъемы

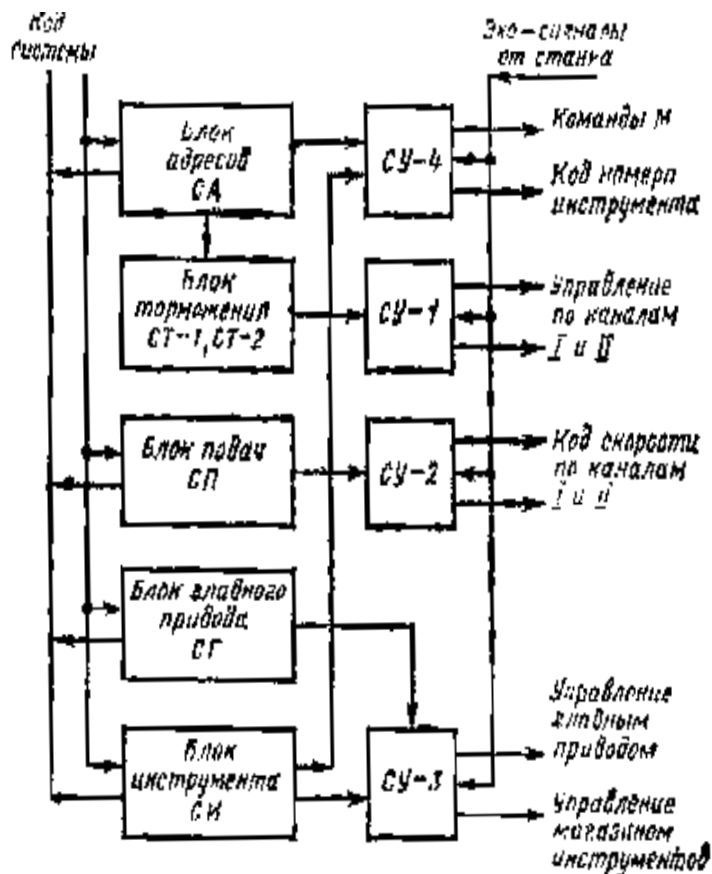


Рис. 3.141. Узел скоростей

системы сигналов включения механических ступеней скорости и кода электрических ступеней внутри механических диапазонов. Эти ступени определяются сумматором при сравнении заданного кода скорости с кодом механических и электрических уставок. Код уставок формируется и выдается на шины системы блоком *СГ*. Величина уставок набирается переключками на контактах разъема блока. Когда в устройстве не предусмотрено вычисление скорости главного привода, с памяти блока *СГ* выдается через блок усилителей *СУ-3* код скорости, вводимый с программносителя.

Управление магазином инструментов осуществляется сигналами направления и ступеней торможения. Поиск номера инструмента производится по кратчайшему пути. Сигналы управления формируются в блоке *СИ* и через *СУ-3* выдаются на внешние разъемы. Коды уставок для определения кратчайшего пути и ступеней торможения определяются блоком *СИ*. Величина уставок набирается переключками на контактах разъема этого блока. При отсутствии управления от устройства может выдаваться код номера инструмента на внешние разъемы с памяти блока *СИ* через *СУ-4*.

Код вспомогательных команд *М* выдается на выход устройства с памяти блока *СА* через блок усилителей *СУ-4*.

3.12. Системы ЧПУ с персональным компьютером

К настоящему времени сложилось понимание того, что современные системы ЧПУ должны в максимальной степени использовать достижения компьютерной технологии. В системах ЧПУ создаваемых с использованием компьютерной технологии принято выделять системную платформу PC (Personal computer) и прикладную компоненту NC (Numerical control, т. е. ЧПУ). Отсюда происходит и общее обозначение класса PCNC, т. е. системы ЧПУ с персональным компьютером. Класс PCNC так называемых «персональных систем управления» справедливо считается сегодня наиболее перспективным классом систем ЧПУ нового поколения.

3.12.1. Предпосылки создания систем класса PCNC

Современная управляемая производственная машина, например, металлорежущий станок содержит элементы механизации, электронной автоматизации и информационно-вычислительного обеспечения. Эти элементы образуют многоуровневую иерархическую систему, построенную таким образом, чтобы наиболее полно удовлетворить запросы пользователя. Каждый уровень отражает последовательное преобразование исходной машины в машину пользователя, т. е. в виртуальную машину. Рассмотрим процесс построения виртуальной машины на примере металлорежущего станка (рис. 3.142).

Технологические функции станка определены его рабочим процессом (нижний уровень на рис. 3.142). Параметры процесса образуют многомерное (по числу параметров) фазовое пространство. Механические узлы (второй уровень иерархии) материализуют это фазовое пространство (по возможности без дополнительных ограничений). Электромеханические приводы (третий уровень) воспроизводят в созданном пространстве допустимые фазовые траектории. Управляющие автоматы, называемые далее задачами ЧПУ (четвертый уровень иерархии), формируют программу для каждого привода. Система ЧПУ (пятый уровень) осуществляет координацию задач на основе общего задания, содержащегося в управляющей программе ЧПУ.

На пятом уровне завершается построение виртуальной машины в виде объекта, управляемого системой типа CNC. Выделение уровней позволило уточнить состав реализуемых функций, отделить функции собственно системы ЧПУ от функций управляющих автоматов. Ограниченные возможности системы CNC становятся очевидными при введении еще одного дополнительного уровня виртуальной машины.

Заметим, что системы ЧПУ создавались первоначально как управляющие машины, функционирующие в реальном масштабе времени, сигналы которых обращены в основном к управляемому объекту (станку). По мере возрастания роли диалоговых процедур, связанных с разработкой задания и анализом событий в объекте и в самой системе, становилась все более очевидной необходимость дополнительного привлечения мощных вычислительных ресурсов для работы с файлами и решения задач в машинном масштабе времени. Наилучшим техническим средством для этого может служить персональный компьютер (ПК), завершающий построение виртуальной машины. Подобная виртуальная машина и обеспечивает выполнение функций системы управления типа PCNC.

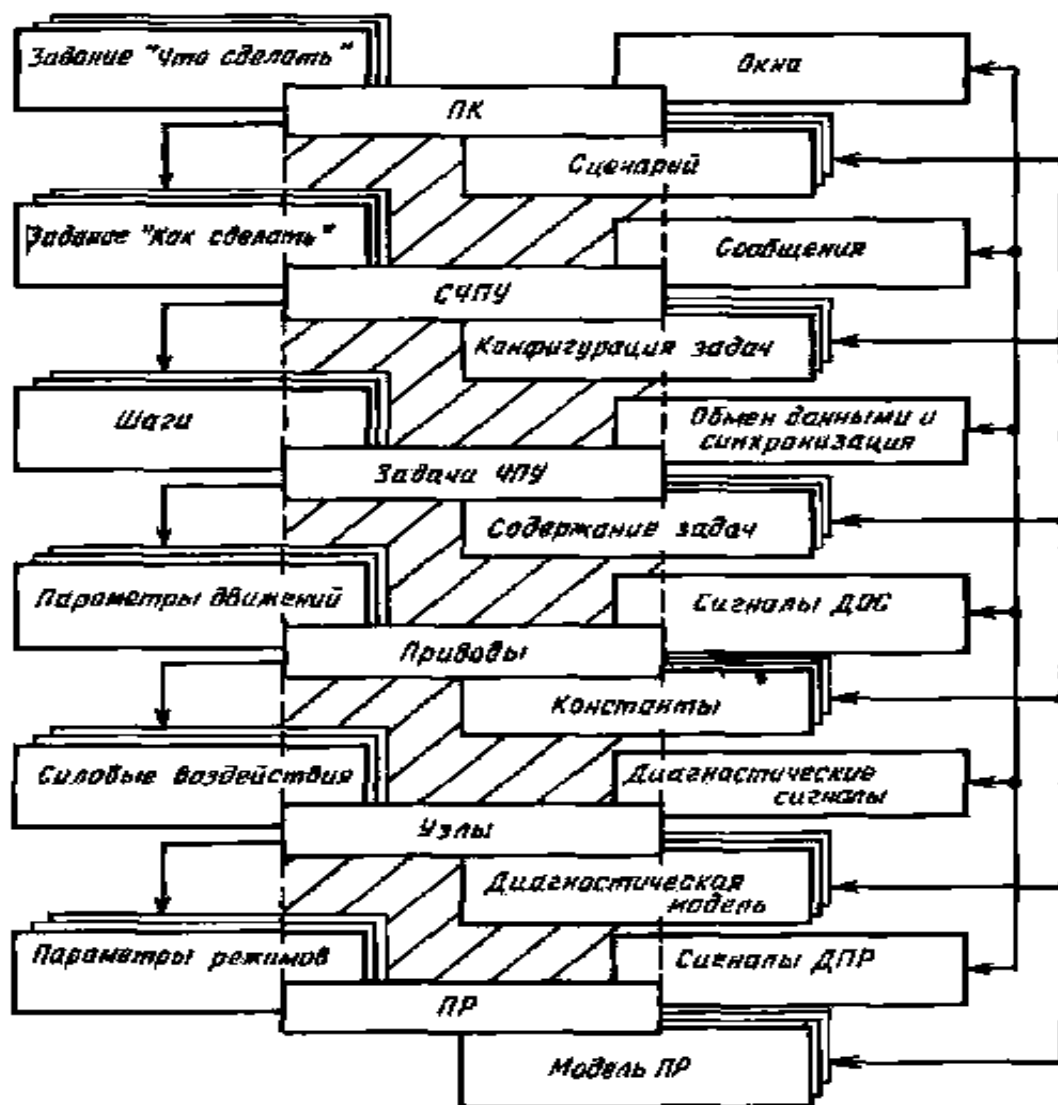


Рис. 3.142. Структура виртуальной машины для станка с системой управления типа PCNC: СЧПУ – система ЧПУ; ПР – процесс резания; ДДС – датчики обратной связи; ДПР – датчики процесса резания

Особенность такого управления состоит в том, что ПК поддерживает три рабочие моды (способа существования), которые могут быть совмещены (при некоторых ограничениях) во времени: управляющую моду, моду наблюдения и инструментальную моду.

Управляющая мода состоит в выполнении задания. ПК позволяет сформулировать это задание в виде «Что сделать», а отдельные уровни виртуальной машины вносят свой вклад в его выполнение (левый столбец на рис. 3.142).

Мода **наблюдения** состоит в поддержании информационной модели и осуществлении внутренних коммуникаций на основе принятой системы протоколов. Каждый уровень виртуальной машины предъявляет собственные запросы на информационное обеспечение (правый столбец на рис. 3.142). Конечному пользователю доступна обширная информация (в том числе и графическая), независимо выводимая в разные области экрана дисплея (так называемая работа в окнах).

Инструментальная мода состоит в привлечении резидентных инструментальных средств ПК для решения разнообразных проблем. Так, на верхнем уровне возможно дальнейшее развитие диалога, уже существующего в системе управления (на рис. 3.142 блок «Сценарий»). На уровне системы ЧПУ допускается редактирование связей и настройка конфигурации отдельных задач ЧПУ, реализованных в виде управляющих автоматов. На следующем, более низком уровне можно воспользоваться услугами собственно конструкторов задач, внося в эти задачи изменения и дополнения с помощью инструментальных языков пользователя (блок «Содержание задач»). На уровне приводов осуществляется их программная настройка, коррекция, заполнение массивов констант и параметров. На уровне механических узлов выполняется «обучение» диагностической модели конкретного станка. На уровне рабочего процесса (например, процесса резания) производится «обучение» (т. е. параметризация) модели каждой конкретной реализации такого процесса.

Взаимодействие отдельных уровней виртуальной машины осуществляется по типу автоматной сети. Под функциональным автоматом A будем понимать кортеж:

$$A = (OP, C, \{s\}, \{f\}),$$

где OP – операционный автомат;

C – управляющий автомат;

$\{s\}$ – множество управляющих сигналов, направленных от управляющего автомата к операционному;

$\{f\}$ – множество осведомительных сигналов, направленных от операционного автомата к управляющему.

Автоматная сеть для виртуальной машины с управлением типа PCNC показана на рис. 3.143.

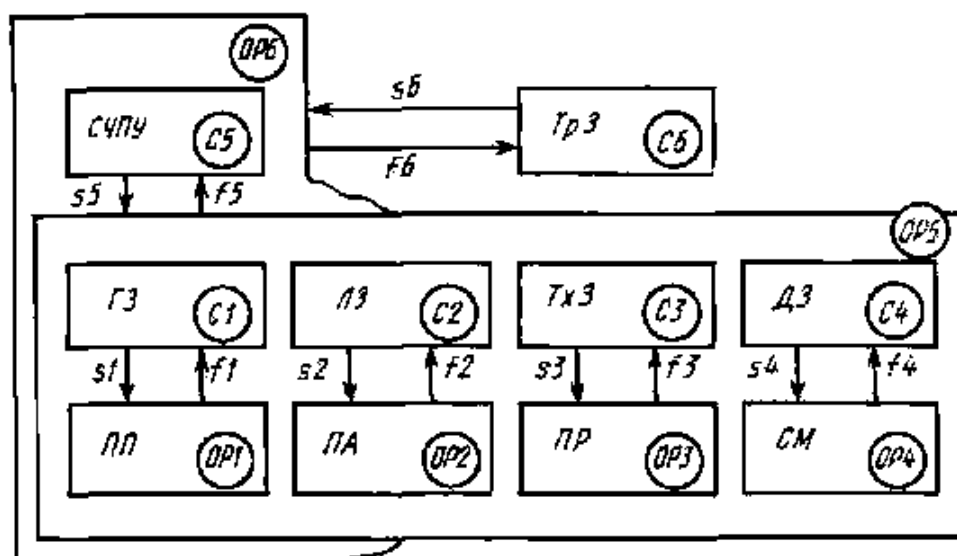


Рис. 3.143. Простая автоматная сеть для виртуальной машины с управлением типа PCNC: *ТрЗ* – терминальная задача; *ГЗ* – геометрическая задача; *ЛЗ* – логическая задача; *ТхЗ* – технологическая задача; *ДЗ* – диагностическая задача; *ПП* – приводы подачи; *ПА* – приводы автоматики станка; *ПР* – процесс резания; *СМ* – состояние машины; *С1* – *С6* – задачи ЧПУ

Отношения подчинения отдельных уровней виртуальной машины накладывают отпечаток и на структуру сети: отдельные функциональные автоматы являются операционными в составе автомата, находящегося на более высоком уровне иерархии.

Как было сказано выше, управляющие автоматы в структуре на рис. 3.143 являются задачами ЧПУ. Таким образом, возникают шесть задач: геометрическая (*С1*); логическая (*С2*); технологическая (*С3*), диагностическая (*С4*); задача «система ЧПУ» (*С5*); терминальная (*С6*). В конкретной ситуации первые четыре задачи могут присутствовать все вместе или в любой комбинации; пятая и шестая присутствуют обязательно.

Назначение перечисленных задач следующее. Геометрическая задача обеспечивает относительное перемещение детали и инструмента по некоторой траектории с конечной целью воспроизвести заданную чертежом геометрическую форму детали. Логическая задача управляет последовательно-параллельными циклическими действиями дискретных механизмов (автоматики станка), выполняющих на станке вспомогательные технологические функции. Технологическая задача оптимизирует рабочий процесс в фазовом

пространстве его параметров. Диагностическая задача идентифицирует состояние машины и обеспечивает (при необходимости) переход в безопасное состояние. Задача «система ЧПУ» осуществляет диспетчеризацию четырех указанных ранее задач и выделяет частные потоки заданий из единого задания для системы ЧПУ. Терминальная задача организует интерфейс системы ЧПУ с оператором и другими пользователями, а также с системой управления более высокого ранга в целях формирования пакета заданий ЧПУ, информации пользователей о состояниях других задач, а также развития виртуальной машины с помощью инструментальных средств.

Простая автоматная сеть может быть преобразована в иерархическую автоматную сеть (рис. 3.144). При этом использованы следующие обозначения: функциональные автоматы представлены прямоугольниками, а операционные и управляющие автоматы – кружками. Операционные автоматы, которые одновременно являются функциональными автоматами более низкого иерархического уровня, показаны в виде двойных кружков. Обозначения в фигурных скобках на дугах иерархической сети представляют собой так называемые автоматные связки, которые указывают на объединение операционного автомата более высокого иерархического уровня с функциональным автоматом более низкого иерархического уровня.

Иерархическая автоматная сеть является прообразом реализации современной системы управления типа PCNC.

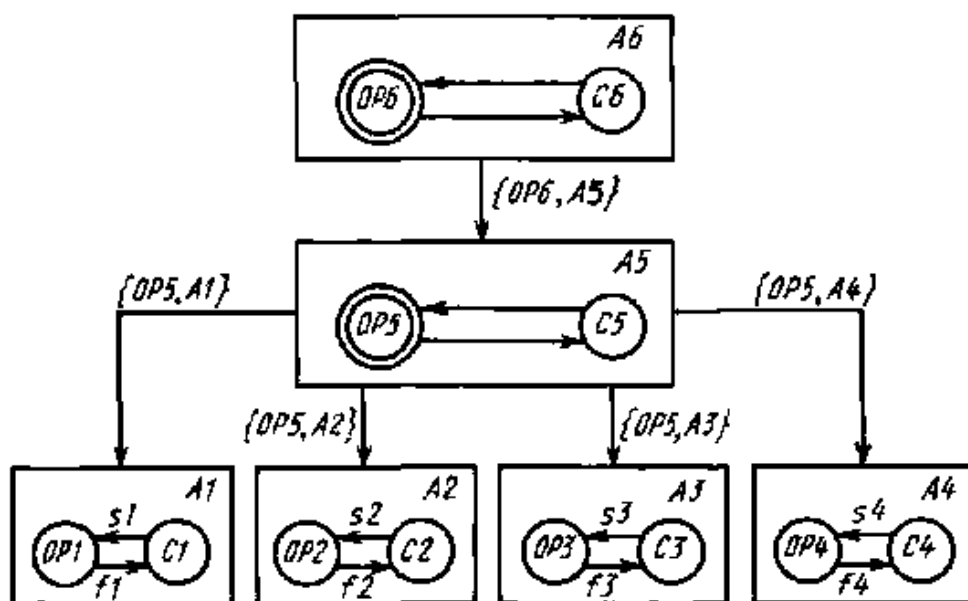


Рис. 3.144. Иерархическая автоматная сеть с управлением типа PCNC

3.12.2. Структура программно-математического обеспечения систем PCNC

При разработке программно-математического обеспечения (ПМО) стремятся к выделению крупных модулей-процессоров, решающих названные выше задачи ЧПУ. Помимо этого, организуют единую виртуальную шину, которая предоставляет процессорам достаточный набор коммуникационных услуг, не зависящих от внутреннего содержания каждой отдельной задачи.

Подобный подход обеспечивает построение гибкой и легко конфигурируемой системы управления, структура ПМО которой показана на рис. 3.145. Эта структура преимущественна по отношению к композиции автоматов иерархической автоматной сети с управлением типа PCNC, приведенных на рис. 3.144, и содержит прежние обозначения.

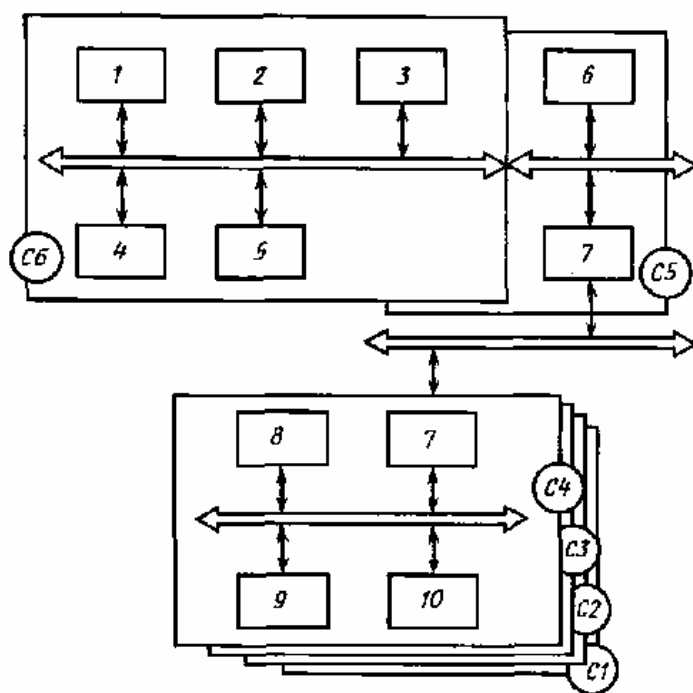


Рис. 3.145. Структура программно-математического обеспечения системы PCNC:
 1 – диалоговый процессор; 2 – процессор индикации; 3 – терминальный процессор;
 4 – виртуальный терминал; 5 – виртуальная внешняя память; 6 – сопроцессор ЧПУ;
 7 – виртуальный канал; 8 – процессор задачи ЧПУ; 9 – монитор задачи ЧПУ;
 10 – виртуальный объект; C1 – C6 – задачи ЧПУ

Большое место в структуре занимает группа модулей C6, принадлежащих терминальной задаче. Функции последней можно разделить на системные и прикладные. Носителем прикладных функций является терминальный процессор, а носителями системных функций – все остальные модули терминальной задачи.

Диалоговый процессор предлагает: меню функциональных клавиш, в том числе с последующим вводом информации оператором; меню с альтернативными предложениями; меню с альтернативными предложениями, в том числе с последующим вводом информации оператором; приглашение оператора к вводу информации. В состав процессора входят инструментальные средства диалога (библиотечные функции для создания меню, графический редактор), благодаря чему процессор обладает свойством саморазвития.

Виртуальный терминал предоставляет каждому процессору в составе системы PCNC возможность независимого вывода информации в окна дисплея, при необходимости с их перекрытием. Кроме того, он обеспечивает одинаковый набор обращений к адаптерам. Виртуальный терминал имеет собственные инструментальные средства, помогающие пользователю создавать свои символы для вывода информации.

Виртуальная внешняя память представляет собой базу данных, система управления которой позволяет процессорам обращаться к файлам УП, корректоров и параметров по логическому имени. Система управления поддерживает связь между файлами, организует их размещение в оперативной памяти, обеспечивает манипуляцию с файлом в памяти.

Процессор индикации осуществляет такие запросы к задачам, которые связаны с типом информации. Также он управляет приемом информации и ее размещением на экране дисплея.

Терминальный процессор служит для формирования пакета заданий, проверки и передачи его задаче С5 «Система ЧПУ». Последняя представлена двумя модулями: сопроцессором ЧПУ и виртуальным каналом. Сопроцессор выполняет в реальном масштабе времени сформулированные ранее функции диспетчеризации и выделения потоков заданий ведомым задачам. Виртуальный канал поддерживает протоколы и организует движение информации в коммуникационной среде системы PCNC.

Структура ведомых диспетчером задач С1 – С4 однотипна. Ядром задачи служит ее процессор, реализующий базовую прикладную функцию (геометрическую, логическую, технологическую, диагностическую). Модуль «виртуальный объект» является интерфейсом, связывающим процессор задачи с управляемым объектом, находящимся на станке. Монитор задачи ЧПУ управляет переходами между ее состояниями.

По отношению к ведомым задачам ведущая («система ЧПУ») пребывает в одном из двух состояний: наблюдение или управление. В состоянии наблюдения задача «система ЧПУ» анализирует статус или состояние других задач, сообщения или наборы данных. В состоянии управления задача «система ЧПУ» передает данные, параметры задания; захватывает или освобождает некоторый семафор ведомой задачи, запрашивает состояние семафора.

Ведомая пассивная задача способна принимать задание. Ведомая загруженная задача принимает атрибуты задания, выбирает задание из пакета для выполнения, заменяет или выгружает задание. Ведомая готовая задача может запустить задание или отказаться от его выполнения. Ведомая работающая задача способна остановить выполнение задания, а ведомая приостановленная задача может возобновить его выполнение. В любом состоянии ведомая задача поддерживает связь с ведущей для передачи статуса, сообщения данных, для приема данных и др.

3.12.3. Архитектура систем ЧПУ типа PCNC

Архитектура системы управления (рис. 3.146) определяет способ решения задач ЧПУ, которые существенно различны и поэтому требуют специфической организации вычислений.

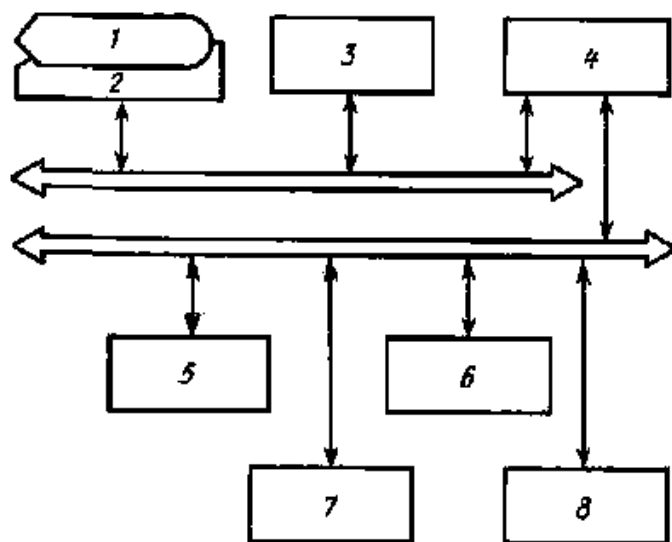


Рис. 3.146. Архитектура системы PCNC: 1 – экран; 2 – клавиатура; 3 – ПК (терминальная задача); 4 – сопроцессор реального времени (задача «система ЧПУ»); 5 – интерполятор (геометрическая задача); 6 – программируемый контроллер (логическая задача); 7 – монитор рабочего процесса (технологическая задача); 8 – эксперт-машина (диагностическая задача)

Терминальная задача относится к квазиреальному времени. Она требует больших объемов оперативной и внешней памяти, располагает мощным системным и инструментальным сопровождением, имеет доступ к стандартной периферии. Оптимальной программно-аппаратной средой для терминальной задачи может служить ПК в промышленном исполнении.

Задача «система ЧПУ» относится к реальному времени, поскольку осуществляет диспетчеризацию других задач реального времени. Это предъявляет соответствующие требования к ее операционной среде. Наилучшим вариантом реализации задачи является сопроцессор реального времени. Он должен обладать большой вычислительной мощностью, так как кроме основной функции диспетчеризации выполняет еще и фоновую, связанную с подготовкой графического файла для динамико-графического отображения рабочего процесса, протекающего в реальном времени. Поэтому для построения сопроцессора реального времени применяют наиболее совершенные, например, 32-разрядные микропроцессоры.

Геометрическая задача связана с вычислениями, циклически повторяющимися с высокой частотой и выполняемыми с большой точностью (интерполяционные расчеты, замыкание позиционных контуров следящих приводов и др.). Для ее реализации используют 32-разрядный микропроцессор и арифметический сопроцессор, спец-БИС или экономичную многопроцессную операционную систему реального времени.

Логическая задача предполагает выполнение битовых и байтовых операций. Оптимальной программно-аппаратной средой для логической задачи может служить программируемый контроллер.

Выделение технологической задачи означает, что за параметрами рабочего процесса ведется наблюдение, причем его результаты обрабатываются в основном программным путем. Полной реализации соответствующих алгоритмов препятствуют ограничения по производительности и объему памяти вычислителя, в связи с чем часть операций переработки информации может выполняться аппаратными средствами. Программно-аппаратную среду для решения технологической задачи обычно называют монитором.

Диагностическая задача с трудом поддается формализации, так как глубина диагностики в разных системах ЧПУ может сильно различаться. Известно, что наиболее эффективным диагностическим инструментом является экспертная система. Поэтому в качестве среды для решения диагностической задачи постулируют некоторую программно-аппаратную эксперт-машину. В простейшем случае диагностическая задача распределена по остальным и разделяет с ними их вычислительные ресурсы.

В целом система ЧПУ имеет гибкую и легко перестраиваемую конфигурацию, причем перестраиваться может как состав задач, так и их содержательная сущность. Наличие инвариантных компонентов в структуре отдельных модулей позволяет использовать для их разработки инструментальные средства и библиотеки готовых решений.

Сам факт наличия ПК в системе PCNC накладывает отпечаток на стиль общения с ней оператора. Особенности такого стиля: диалог с использованием универсальной клавиатуры, простых обращений к операционной системе для доступа к программным файлам и операций с большой памятью; обширная мнемоника и возможность привлечения функции «помощь»; эргономическое представление информации в окнах экрана, в том числе с перекрытием окон и многократным вложением информации; использование цветных графических изображений и пиктограмм; применение редакторов, позволяющих разрабатывать УП на языке высокого уровня.

Резидентная система автоматизированного программирования (САП) является естественной компонентой системы PCNC. САП включена в мощную оболочку, которая предоставляет графическое меню, поддерживает простую процедуру управления, гарантирует корректность словаря и синтаксиса при проектировании как самой детали, так и технологии ее изготовления, обеспечивает динамико-графическое моделирование УП ЧПУ, допускает прием чертежей, полученных посредством САПР для последующей разработки УП.

ВОПРОСЫ К ЭКЗАМЕНУ

1. Значение системы «человек – станок» в истории развития систем управления станочным оборудованием. Ручное управление станочным оборудованием. Механизация ручного управления.

2. Исторические этапы развития систем управления станочным оборудованием, от ручного управления до числового, и связь этих этапов с развитием других областей знаний.

3. Сущность понятий «станок – автомат» и «станок – полуавтомат». Конкретные примеры автоматов и полуавтоматов на основе знаний, полученных при изучении дисциплины «Станочное оборудование».

4. Поколения станков с ЧПУ. Право на существование каждого поколения этих станков на основе экономической целесообразности.

5. Сущность понятия «цикл обработки» и его структура. Влияние элементов структуры цикла на производительность и качество обработки.

6. Сущность понятия «система управления». Функциональное назначение составляющих ее устройств.

7. Классификация систем управления по информационным признакам. Источники информации, используемые в системах управления и их влияние на качество обработки деталей.

8. Сущность типовых блок-схем систем управления с различным количеством потоков информации.

9. Процесс преобразования информации чертежа (первичный источник информации) и технологии изготовления (вторичный источник информации) детали в циклы работы станков, оснащенных различными системами управления.

10. Сущность понятий «коэффициент автоматизации» и «коэффициент мобильности» станка. Конкретные примеры станков с различными системами управления.

11. Сущность цифровой индикации и особенности ее использования на различных этапах развития систем управления станочного оборудования.

12. Принцип работы временной системы управления и область ее использования. Конструктивные примеры физических программносителей этой системы. Параметры настройки, задаваемые на программносителях этой системы.

13. Структурные схемы временных систем управления 1, 2, 3 групп. Принцип их работы. Расчетные перемещения для органа настройки, согласующего цикл обработки с одним оборотом программносителя (распределительного вала). Связь сложности обрабатываемых деталей с конструктивными особенностями используемых временных систем управления.

14. Цикловая производительность автоматов и полуавтоматов, оснащенных временными системами управления. Связь математических выражений для цикловой производительности с эффективностью использования различных групп автоматов и полуавтоматов, оснащенных временными системами управления.

15. Методика проектирования цикла обработки на токарно-револьверном автомате. Методика разработки кулачков-программоносителей.

16. Методика проектирования цикла обработки на многошпиндельном токарном автомате последовательного действия.

17. Конструкция временной системы управления токарно-револьверного автомата модели 1Е140.

18. Конструкция временной системы управления многошпиндельного автомата последовательного действия модели 1Б240 – 6.

19. Значение изобретения копировальной системы управления для станкостроения. Две разновидности копировальных систем, различающиеся по принципу функционирования; их достоинства и недостатки; области предпочтительного использования.

20. Примеры схем прямого копирования: сущность функционирования, их достоинства и недостатки, и области и уровень использования в станках.

21. Схема системы следящего копирования и сущность следящего копирования. Достоинства и недостатки систем следящего копирования.

22. Обобщенная функциональная схема системы следящего копирования. Поведение следящей системы во время переходных и установившихся режимов работы. Основные показатели работы следящих систем.

23. Типы следящих копировальных систем. Примеры схем следящих систем. Предпочтительные области применения различных типов следящих систем, их достоинства и недостатки.

24. Схема следящей копировальной системы, работающей по методу включено-выключено: структура и принцип работы.

25. Схема следящей копировальной системы, работающей по методу слежения: структура и принцип работы.

26. Схема копировального устройства с индуктивным датчиком: структура и принцип работы.

27. Схема простой гидравлической следящей копировальной системы: структура и принцип работы.

28. Схема гидравлической следящей копировальной системы с зависимыми подачами в продольном и поперечном направлениях: структура и принцип работы.

29. Схема фотоэлектрической головки следящей копировальной системы: структура и принцип работы. Достоинства и недостатки фотокопировальной системы управления.

30. Диалектика перехода от ручного управления в системе «человек-станок» к системе циклового программного управления.

31. Функциональная схема системы циклового программного управления: структура, и назначение входящих в нее устройств.

32. Эскиз несложной детали типа валика и возможный цикл переходов при его обработке на токарном станке с цикловой системой управления.

33. Эскиз несложной корпусной детали и возможный цикл переходов при ее обработке в прямоугольном трехмерном пространстве на фрезерном станке с цикловой системой управления.

34. Назначение устройства задания и ввода программы систем циклового программного управления. Простой коммутатор и центральный командоаппарат. Примеры групп станков, в которых они используются.

35. Схема центрального командоаппарата, выполненного в виде штеккерной панели: конструкция и принцип работы.

36. Общая блок-схема системы циклового программного управления на примере токарного станка: структура и принцип работы.

37. Сущность циклового программного управления токарным станком с применением в качестве программноносителя перфоленты (станок с цикловым программным управлением профессора А. Л. Глейзера, 1948 г.). Схема центрального командоаппарата этого станка и ее сравнение со считывающими устройствами современных станков с числовым программным управлением.

38. Сущность аппроксимации криволинейного контура ломаной линией и принцип его ручного программирования. Недостатки такого решения геометрической задачи.

39. Блок-схема линейного интерполятора и принцип его работы.

40. Сущность решения геометрической задачи по методу оценочной функции на примере интерполяции прямой.

41. Сущность решения геометрической задачи по методу оценочной функции на примере интерполяции дуги окружности.

42. Сущность решения геометрической задачи на основе цифровых дифференциальных анализаторов на примере интерполяции прямой или дуги окружности.

43. Блок-схема системы отслеживающей синхронизации, функционирующей по принципу «задающая – ведомая координаты» и принцип ее работы.

44. Блок-схема системы отслеживающей синхронизации, функционирующей по принципу «равнозначные координаты» и принцип ее работы.

45. Функциональная схема импульсного измерительного преобразователя и принцип его работы.

46. Сущность устранения ошибки при считывании информации при использовании принципа дискредитации.

47. Сущность устранения ошибки при V-образном считывании информации.
48. Конструкция и принцип работы линейного индуктосина. Методику его работы в трансформаторном режиме.
49. Особенности конструкций регулируемых электродвигателей, используемых в станках с ЧПУ.
50. Схема тиристорного привода главного движения и принцип его работы.
52. Функциональная схема привода подачи с шаговым электродвигателем и принцип его работы.
53. Структурная схема следящего привода подачи с высокомоментным электродвигателем постоянного тока и принцип его работы.
54. Функциональная схема следящего привода с импульсным датчиком и преобразователем «код – напряжение» и принцип его работы.
55. Способ решения технологической задачи, связанной с управлением качеством обработки при адаптивном управлении.
56. Обобщенная структурная схема адаптивного управления процессом резания.
57. Сущность системы адаптивного предельного регулирования процесса резания на примере токарного станка.
58. Сущность стратегии оптимизации режимов резания при использовании системы оптимального регулирования, в основу которой положен критерий производительности.
59. Схема и циклограмма работы привода револьверной головки с горизонтальной осью токарного станка с ЧПУ.
60. Расчетная модель привода револьверной головки и методика выбора электродвигателя для этой головки.
61. Схема сопряжения устройства ЧПУ со станком посредством программируемого контроллера; принцип ее работы.
62. Схема сопряжения устройства ЧПУ со станком посредством универсальных устройств на базе типовых модулей связи; принцип ее работы.
63. Схема виртуальной машины для станка с ЧПУ: структура, функции, выполняемые на разных уровнях иерархии.
64. Моды (способы существования) поддерживаемые персональным компьютером в СЧПУ типа PCNC.
65. Структура схема программно-математического обеспечения системы PCNC: функции, выполняемые ее блоками.
66. Архитектура системы ЧПУ типа PCNC: задачи, решаемые ее отдельными блоками.

ОРГАНИЗАЦИЯ РЕЙТИНГОВОГО КОНТРОЛЯ

Суммарный рейтинг студента по дисциплине «Системы управления технологического оборудования» определяется суммой баллов, полученных в течение семестра. Общая сумма баллов – 1000. Суммарный рейтинг складывается из следующих показателей:

1. Оценка активности студента на занятиях и своевременности выполнения им графика учебного процесса. Общее количество баллов – 100, в том числе:

- за 100 %-ное посещение лекций в течение семестра – 25 баллов;
- за 100 %-ное посещение лабораторных работ в течение семестра – 25 баллов;
- за своевременную сдачу отчетов и защиту лабораторных работ и заданий по управляемой самостоятельной работе в соответствии с графиком учебного процесса – 50 баллов.

2. Рубежный контроль успешности усвоения теоретического материала лекционного курса. Согласовано с семестровым графиком проведения аттестации проводятся две контрольные работы по теоретическим разделам дисциплины. Результаты каждой контрольной работы оцениваются следующим образом:

- оценка «отлично» – 150 баллов;
- оценка «хорошо» – 100 баллов;
- оценка «удовлетворительно» – 80 баллов.

3. Оценка активности студента в научном, творческом освоении дисциплины. Максимальная сумма баллов по этому разделу – 750, в том числе:

- за составление реферата в соответствии с предложенной темой оценивается в 100 баллов за каждый реферат;
- за участие в университетских и/или факультетских конференциях с сообщениями и докладами – 100 баллов;
- за публикацию результатов научных исследований – 150 баллов;
- за подачу заявки на изобретение – 200 баллов;
- за представление научной работы на республиканский конкурс – 200 баллов.

Минимальное общее количество баллов, необходимое для допуска к экзамену – 180 баллов.

При сумме баллов более 800 студенту может быть поставлена оценка «отлично» (9 или 10) без сдачи экзамена.

СЛОВАРЬ СПЕЦИФИЧЕСКИХ ТЕРМИНОВ

В словаре приводятся только термины и определения, характерные для технологического (станочного) оборудования и систем автоматического управления отдельными станками и станочными комплексами.

Мехатроника – инженерная (научная) дисциплина, посвященная изучению технологического оборудования, например металлорежущих станков, оснащенных системами ЧПУ.

Мехатронная система – металлорежущий станок или другое технологическое оборудование, управляемое системой ЧПУ.

Управление – организация того или иного процесса для достижения определенной цели.

Система управления – совокупность устройств, обеспечивающих управление. Различают системы (подсистемы) управления отдельными механизмами, выполняющими элементарные циклы, и системы, обеспечивающие управление общим циклом работы станка или группы станков.

Цикл обработки – совокупность всех движений (действий), повторяемых при обработке деталей одного вида.

Станок – автомат – это самоуправляющаяся технологическая машина, которая осуществляет все рабочие и вспомогательные движения цикла обработки, включая установку заготовки и снятие изделия после обработки.

Станок – полуавтомат – это технологическая машина, работающая по автоматическому рабочему циклу, для повторения которого требуется вмешательство рабочего. Вмешательство рабочего, как правило, ограничивается установкой заготовок и снятия их после обработки.

Программа управления – это последовательность команд, обеспечивающих заданное функционирование рабочих органов станка.

Этап программы – часть полной программы управления, которая одновременно вводится в систему программного управления.

Программоноситель – элемент или комплекс элементов, несущих программу управления.

NC (Numerical control) – позиционная (контурная) система ЧПУ, выполненная аппаратно, обеспечивающая управление работой станка по программе, заданной в алфавитно-цифровом коде.

CNC (Computer numerical control) – контурная система ЧПУ, содержащая в своей структуре мини-ЭВМ или процессор для выполнения основных функций управления.

DNC (Direct numerical control) – система ЧПУ, управляющая группой станков или гибкой производственной системой от общей ЭВМ, осуществляющей хранение программ и распределение их по запросам от устройств управления отдельных станков; при этом отдельные станки могут быть оснащены устройствами типа NC, SNC, CNC.

SNC (Speicher NC) – разновидность системы NC, дополненная большой памятью, способной хранить всю программу обработки.

HNC (Hand NC) – система ЧПУ с ручным вводом программы с помощью электромеханических наборных полей, установленных на пульте управления.

PCNC – система ЧПУ на основе компьютера, в которой принято выделять системную платформу *PC (Personal Computer)* и прикладную компоненту *NC (Numerical Control)*, т. е. ЧПУ).

ЦПУ (Цикловое программное управление) – аналоговая (механическая) система управления, оснащенная центральным командоаппаратом, обеспечивающим алгоритм управления циклом обработки.

Геометрическая задача ЧПУ – это отображение геометрической информации чертежа в совокупность формообразующих движений станка, которые материализуют чертеж в изделие.

Интерполяция – есть вычислительная процедура устройства ЧПУ, обеспечивающая переход от укрупненного описания заданного перемещения к оперативным командам в функции времени для исполнительных органов.

Интерполятор – вычислительное устройство, рассчитывающее по координатам начальной и конечной опорным точкам участка обрабатываемого контура координаты промежуточных точек внутри этого участка.

Функциональный автомат – это автономное устройство или комплекс устройств с четко выраженными целевыми функциями работы, в структуру которого входят исполнительная часть (операционный автомат) и управляющая часть (управляющий автомат).

Технологическая задача ЧПУ – это отображение технологии изготовления изделия в совокупность режимов исполнительных (формообразующих и вспомогательных) движений станка, обеспечивающих достижение требуемого качества с наименьшими затратами.

Статическая настройка – это процесс управления первоначальным установлением точности относительного движения и положения (без резания) инструмента и заготовки.

Динамическая настройка – этап управления точностью обработки непосредственно в условиях резания (адаптивное управление), когда искажению точности способствуют деформации, силовые и динамические процессы.

Адаптивное предельное регулирование – управление параметрами динамической настройки в процессе резания.

Адаптивное оптимальное регулирование – процесс, обеспечивающий поиск и поддержание технологических параметров рабочего процесса, удовлетворяющих критерию оптимизации и действующим ограничениям.

Автоматический цикл – повторяющиеся технологические переходы, например, сверление, расточка и т. п., алгоритм выполнения которых заложен в устройство управления на стадии его разработки и изготовления.

Подпрограмма – аналог автоматического цикла, алгоритм выполнения которой разрабатывается на стадии составления программы обработки конкретной детали.

Микропроцессор – универсальный блок переработки информации, объединяющий один или несколько кристаллов БИС и состоящий из арифметико-логического устройства, устройства управления, регистров, триггеров, информационных каналов.

Монитор – программно-аппаратная среда для решения технологической задачи на металлорежущем станке, оснащенный системой ЧПУ.

ЛИТЕРАТУРА

Основная

1. Металлорежущие станки и автоматы: учебник для втузов / под ред. А. С. Проникова. – М.: Машиностроение, 1981.
2. Программное управление станками: учебник для машиностроительных вузов / под ред. В. Л. Сосонкина. – М.: Машиностроение, 1981.
3. Ратмиров, В. А. Программное управление станками / В. А. Ратмиров. – М.: Машиностроение, 1978.
4. Спиридонов, А. А., Федоров, В. Б. Металлорежущие станки с программным управлением / А. А. Спиридонов, В. Б. Федоров. – М.: Машиностроение, 1972.
5. Сосонкин, В. Л. Программное управление технологическим оборудованием: учебник для вузов / В. Л. Сосонкин. – М.: Машиностроение, 1991.
6. Сосонкин, В. Л. Концепция системы ЧПУ на основе персонального компьютера (PCNC) // Станки и инструмент. – № 11, 1990, с. 9 – 14.
7. Электрооборудование и электроавтоматика металлорежущих станков: учебник для вузов / И. В. Харизаменов. – М.: Машиностроение, 1975.

Методическая

1. Голембиевский, А. И. Методические указания к выполнению лабораторной работы «Код ИСО для программирования обработки на станках с ЧПУ» по курсу «Станки с программным управлением» для студентов специальности 0501 / А. И. Голембиевский. – Новополюцк: изд. НПИ, 1980.
2. Голембиевский, А. И. Методические указания к выполнению учебно-исследовательской работы «Координатно-сверлильный станок с автоматической сменой инструмента и программным управлением модели КС12-500М» по курсу «Станки с программным управлением» для студентов специальности 0501 / А. И. Голембиевский. – Новополюцк: изд. НПИ, 1982.
3. Данилов, В. А. Методические указания к выполнению учебно-исследовательской работы «Токарный станок с числовым программным управлением модели 16Б25ПФ3» по курсу «Металлорежущие станки» для студентов специальности 0501 / В. А. Данилов. – Новополюцк: изд. НПИ, 1982.
4. Терентьев, В. А. Методические указания к учебно-исследовательской лабораторной работе «Роботизированный технологический комплекс на базе станка модели 2К135Ф2 и промышленного робота РФ-202 М» по курсам

«Станочное оборудование автоматизированных производств» и «Металлорежущие станки и промышленные роботы» для студентов специальностей 1201 и 1202 / В. А. Терентьев. – Новополоцк: изд. НПИ, 1989.

5. Данилов, В. А. Методические указания к выполнению учебно-исследовательской лабораторной работе «Вертикально-сверлильный станок с числовым программным управлением модели 2К135Ф2 для студентов специальности 0501 / В. А. Данилов. – Новополоцк, изд. НПИ, 1981.

6. Голембиевский, А. И. Методические указания к учебно-исследовательской лабораторной работе «Промышленный робот «Универсал-5» по курсам «Металлорежущие станки и промышленные роботы» и «Промышленное оборудование автоматизированных производств» для студентов специальности 0501 / А. И. Голембиевский. – Новополоцк: изд. НПИ, 1987.

7. Голембиевский, А. И. Методические указания к учебно-исследовательской лабораторной работе «Промышленный робот «Циклон-5» по курсам «Станочное оборудование автоматизированных производств» и «Металлорежущие станки и промышленные роботы» для студентов специальностей 1201 и 1202 / А. И. Голембиевский. – Новополоцк: изд. НПИ, 1989.

8. Терентьев, В. А. Методические указания к учебно-исследовательской лабораторной работе «Гидрокопировальный станок модели 1722 и исследование точности копировальной обработки» для студентов специальности 0501 / В. А. Терентьев. – Новополоцк: изд. НПИ, 1989.

СОДЕРЖАНИЕ

Введение.....	3
Цели и задачи дисциплины	5
Рабочая программа.....	7
Методика изучения основных разделов дисциплины	11
Конспект лекций.....	29
1. Введение в системы управления.....	30
1.1. Краткий экскурс в развитие систем управления.....	30
1.2. Общие сведения о системах управления	35
1.3. Классификация систем управления.....	38
1.4. Преобразование и передача информации в системе чертеж – деталь	42
1.5. Цифровая индикация при управлении	45
2. Аналоговые системы управления	48
2.1. Временные системы управления станками	48
2.1.1. Принцип работы	48
2.1.2. Классификация временных систем управления.....	50
2.1.3. Особенности проектирования кулачковых механизмов временных систем управления	56
2.1.4. Одношпиндельные токарно-револьверные автоматы	58
2.1.5. Многошпиндельные прутковые автоматы	67
2.2. Копировальные системы управления.....	77
2.2.1. Механические копировальные системы	77
2.2.2. Следящие копировальные системы.....	78
2.2.3. Типы следящих копировальных систем.....	84
2.3. Цикловые системы программного управления	92
2.3.1. Принцип работы	92
2.3.2. Основные узлы систем ЦПУ	96
2.3.3. Практические схемы систем ЦПУ	99
2.3.4. Комбинированные схемы на основе систем ЦПУ	107
2.4. Особенности систем управления аналогового типа	109
3. Системы числового управления	110
3.1. Особенности числового программного управления.....	110
3.2. Классификация систем ЧПУ по технологическому признаку.....	111
3.3. Общая характеристика систем ЧПУ.....	113
3.4. Задачи числового программного управления.....	117
3.4.1. Общая характеристика задач.....	119
3.4.2. Геометрическая задача.....	131
3.4.3. Логическая задача	145
3.4.4. Технологическая задача.....	148
3.4.5. Терминальная задача.....	150
3.5. Элементная база устройств ЧПУ	150

3.5.1. Общие сведения об элементной базе	158
3.5.2. Триггеры и регистры.....	162
3.5.3. Блоки для осуществлений арифметических операций.....	166
3.5.4. Шифраторы и дешифраторы.....	170
3.6. Агрегаты устройств ЧПУ	170
3.6.1. Устройства считывания информации	175
3.6.2. Блоки ввода информации в запоминающее устройство.....	177
3.6.3. Интерполяторы.....	186
3.6.4. Синхронная следящая система	193
3.6.5. Датчики обратной связи	203
3.7. Исполнительные приводы станков с ЧПУ.....	203
3.7.1. Электродвигатели станков с ЧПУ	211
3.7.2. Регулируемый привод главного движения.....	218
3.7.3. Шаговый привод подачи	220
3.7.4. Следящий электропривод подачи.....	226
3.8. Адаптивное управление процессом обработки.....	226
3.8.1. Общие сведения об адаптивном управлении	230
3.8.2. Средства получения информации о ходе процесса резания	242
3.8.3. Системы адаптивного предельного регулирования.....	245
3.8.4. Системы адаптивного оптимального регулирования	250
3.9. Микропроцессорные системы ЧПУ	250
3.9.1. Структура микропроцессора	251
3.9.2. Поколения микропроцессоров	254
3.9.3. Структура микро-ЭВМ	257
3.10. Автоматизация вспомогательных функций в станках с ЧПУ.....	257
3.10.1. Виды вспомогательных функций	258
3.10.2. Выбор параметров приводов вспомогательных механизмов	261
3.10.3. Связь электронных схем управления со станком	266
3.11. Позиционные устройства ЧПУ	266
3.11.1. Типовая структура позиционного устройства.....	266
3.11.2. Узел ввода устройства ЧПУ	270
3.11.3. Узел коррекций.....	271
3.11.4. Узел памяти.....	274
3.11.5. Узел обслуживания	278
3.11.6. Узел скоростей.....	284
3.12. Систем ЧПУ с персональным компьютером.....	286
3.12.1. Предпосылки создания систем ЧПУ типа PCNC.....	286
3.12.2. Структура программно-математического обеспечения систем типа PCNC.....	291
3.12.3. Архитектура систем ЧПУ типа PCNC.....	293
Вопросы к экзамену	296
Организация рейтингового контроля.....	300
Словарь специфических терминов	301
Литература	304

Учебное издание

ГОЛЕМБИЕВСКИЙ Анатолий Иосифович

СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ
ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ

Учебно-методический комплекс
для студентов специальности 1-36 01 03 «Технологическое
оборудование машиностроительного производства»

Редактор Н. В. Байко

Дизайн обложки В. А. Виноградовой

Подписано в печать 19.10.09. Формат 60×84 1/16. Гарнитура Таймс. Бумага офсетная.
Ризография. Усл.-печ. л. 17,86. Уч.-изд. л. 17,03. Тираж 50. Заказ № 1762.

Издатель и полиграфическое исполнение:
учреждение образования «Полоцкий государственный университет»

ЛИ 02330/0548568 от 26.06.09 ЛП № 02330/0494256 от 27.05.09

211440 г. Новополоцк, ул. Блохина, 29