

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное агентство по образованию

Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования  
«ЯРОСЛАВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

На правах рукописи

АППАРАТНЫЕ И ПРОГРАММНЫЕ СРЕДСТВА  
СИСТЕМ ЧПУ

Рекомендовано научно-методическим советом университета  
в качестве учебного пособия

Ярославль, 2010

ББК 32.97

К90

А. А. Кулебякин, Ю. А. Легенкин

К 90    Аппаратные и программные средства систем управления :  
учебное пособие. – Ярославль : Изд-во ЯГТУ, 2010. – 114 с.  
ISBN 5-230-20592-X

В учебном пособии представлена методика выбора технических средств управления систем ЧПУ, основанная на системном подходе к процессу построения средств управления для машиностроительного оборудования (с выделением составных частей и связей между ними). Рассмотрены архитектура средств управления оборудования, методы создания систем ЧПУ, общие вопросы управления технологическими системами, основные понятия и определения, объекты управления, организация процесса управления, функциональные схемы узлов систем управления ЧПУ, способы реализации алгоритмов управления и обработки, основные принципы построения управляющих программ для ЧПУ, нашедшие отражение в разделах курса.

Предназначено для студентов специальности 151001 «Технология машиностроения» дневной и заочной форм обучения.

Ил. 50. Табл. 9. Библиогр. 13.

УДК 681.3

ББК 32.97

**Рецензенты:** докт. техн. наук, профессор Ю.Д. Таршис,  
директор научно-производственной  
фирмы «Динамика» В.К. Зыков

ISBN 5-230-20592-X

© Ярославский государственный технический университет, 2010 г.

## Введение

Станки с числовым программным управлением (ЧПУ) и гибкие производственные системы на их основе (ГПС) являются прогрессивной формой организации производства, обеспечивающей эффективную работу при ограниченном количестве производственного персонала.

Совокупность в разных сочетаниях оборудования с ЧПУ, роботизированных технологических комплексов (РТК), гибких производственных модулей (ГПМ), отдельных единиц технологического оборудования и систем обеспечения их функционирования в автоматическом режиме в течение заданного времени обладает свойством автоматизированной переналадки при производстве изделий произвольной номенклатуры в установленных пределах их характеристик.

Станки с числовым программным управлением представляют собой быстро программируемые технологические системы, которые особенно эффективны для автоматизации мелко- и среднесерийного производства. Основной особенностью станков с ЧПУ является их технологическая гибкость, благодаря которой осуществляется быстрый переход на изготовление новых деталей. Технологическая гибкость станков с ЧПУ определяется следующими факторами:

- 1) непосредственное задание размеров изготавливаемых деталей как исходной геометрической информации в виде массива цифровых данных;
- 2) цифровое задание необходимой технологической информации, определяющей на каждом из переходов частоту вращения шпинделя, скорость рабочей и ускоренной подачи, глубину резания и др.;
- 3) автоматическое управление всеми вспомогательными переходами и командами по автоматической замене инструмента, включение и выключение СОЖ, замена и закрепление заготовок и др.;

4) выполнение предусматриваемой коррекции размерной настройки режущих инструментов и режимов резания. Эти основные принципы числового управления имеют различную реализацию в соответствии с типом станочного оборудования, требованиями к точности и уровню автоматизации.

## **1. Системы и сущность числового программного управления станками**

Программа работы автомата управления станками в самом общем случае должна предусматривать систему управления двух видов (**ВИДЫ СИСТЕМ**):

- 1) размерную (информирует наблюдателя о величине ходов цикла);
- 2) командную (информирует наблюдателя о размерности ходов во времени).

### **1.1. Классификация систем ЧПУ** производится по трем признакам:

В зависимости от **способа задания информации**, системы управления делят на числовые, нечисловые (кулачковые, копировальные, путевые) и временные.

**Числовые системы** относят к классу дискретных, **нечисловые системы** – к классу непрерывных.

В **кулачковых** системах величина хода исполнительного органа определяется подъёмом профиля кулачка.

В **путевых** системах величина хода исполнительного органа ограничивают, например, два конечных переключателя и переставные упоры.

Во **временных** системах исполнительным органом управляют, например, при помощи командоаппарата, который имеет независимый привод или электронное управление.

**Числовыми** системы управления называются так потому, что величина каждого хода исполнительного механизма задается при помощи чисел; каждой единице информации соответствует дискретное перемещение на определенную величину. Эта величина носит название **разрешающей способности системы** или цены импульса.

Исполнительный орган можно переместить на любую величину, кратную единице импульса:

$$L = q \cdot N, \quad (1.1)$$

где  $q$  – цена импульса;  $N$  – число импульсов, подаваемых на вход привода.

Число  $N$ , записанное на носителе информации (перфолента, магнитная лента, магнитный диск, и др.) является **программой**. Программа записывается определенной системой кодирования.

В числовых системах значение перемещения рабочего органа задается на программоносителе в цифровом виде (перфолента, магнитная лента, оптоэлектронные носители информации и др.).

**По принципу управления различают:**

- 1) разомкнутые системы ЧПУ,
- 2) замкнутые системы ЧПУ.

**По функциональному назначению различают:** 1) позиционные, 2) контурные, 3) универсальные (комбинированные) системы.

В **позиционных** системах по каждой оси координат программируется только величина перемещения (рис. 1), это обеспечивает перемещение исполнительного механизма из одной позиции в другую с высокой точностью. При этом траектория перемещения может быть произвольной. Такие системы применяют в сверлильных и координатно-расточных станках.

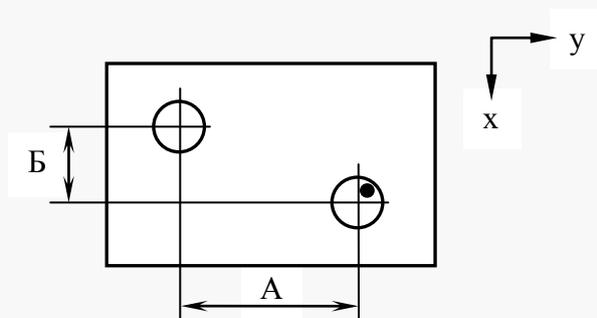


Рис. 1. Программирование перемещений по осям координат в позиционных СЧПУ

В **контурных** системах по каждой оси координат программируется величина хода и закон перемещения. При сложении перемещений по отдельным осям координат обрабатываются сложные криволинейные поверхности. Эти системы применяют во фрезерных и токарных станках.

**Универсальные** системы – системы, обладающие свойствами контурных и позиционных систем. Такие системы обычно применяют в многоцелевых станках.

Число управляемых координат задают дробью:  $2/1$ ,  $3/2$ ,  $4/4$ . Числитель – число управляемых координат, знаменатель – число одновременно управляемых координат.

## 1.2. Сравнительный анализ систем ЧПУ

У **контурных** систем интерполятор может выдавать на приводы станка сигналы на взаимосвязанное перемещение одновременно по нескольким координатам так, чтобы получалась траектория в виде наклонной прямой, дуги, окружности и т.д.

Контурные системы пригодны для обработки любых поверхностей деталей, но они имеют более высокую стоимость, и холостые перемещения могут осуществляться медленнее, чем позиционные.

На вход шаговых двигателей поступают электрические импульсы, вызывающие повороты ротора (рис. 2). Каждому импульсу на входе соответствует определённый угол поворота ротора на выходе, а частота следования импульсов задает частоту вращения ротора шагового двигателя.

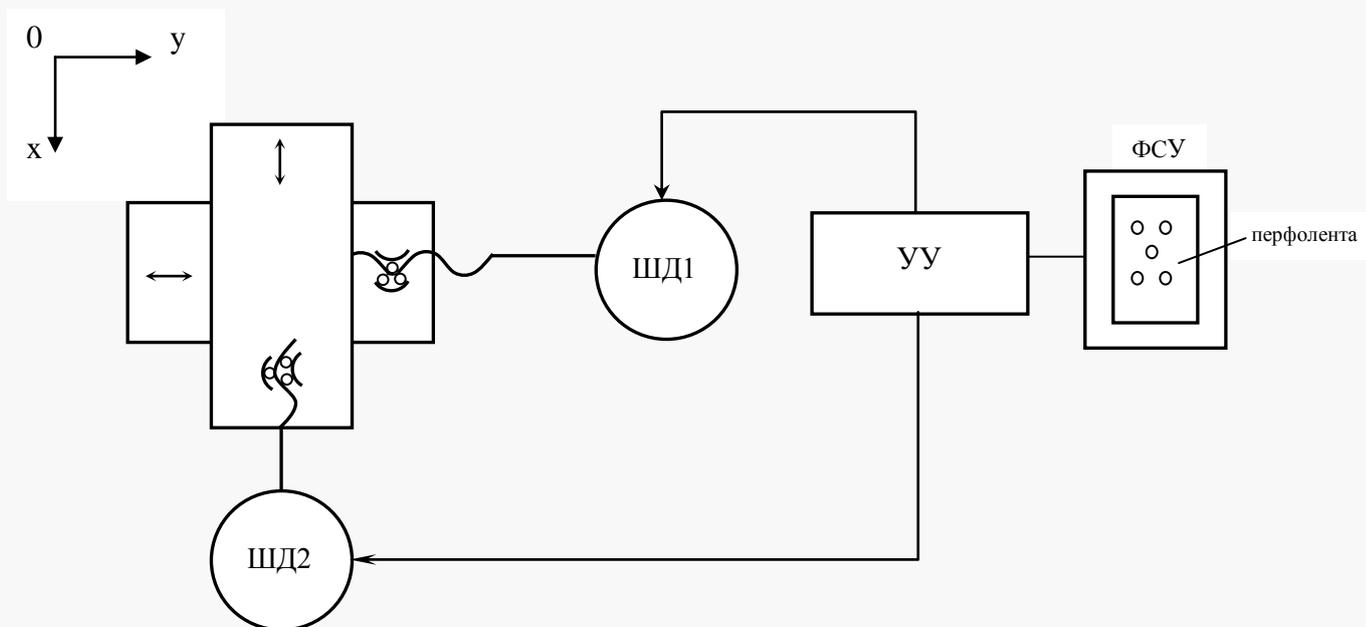


Рис. 2. Структурная схема контурной системы управления шаговым приводом

ШД – шаговый двигатель; УУ – устройство управления;  
ФСУ – фотосчитывающее устройство

Эти двигатели выпускают с шагом на валу в градусах:  $1^\circ$ ;  $1,5^\circ$ ;  $3^\circ$ ;  $4^\circ$ ;  $5^\circ$ ;  $6^\circ$ . Зависимость между шагом на валу и разрешающей способностью системы выражается соотношением:

$$q = \frac{\alpha \cdot t_{\text{п}}}{360^\circ}, \quad (1.2)$$

где  $\alpha$  – угол поворота шагового двигателя;  $t_{\text{п}}$  – шаг винта подачи.

Чтобы реализовать по каждой оси координат требуемый закон перемещения, нужно обеспечить определенный порядок чередования импульсов. Если суммировать величины перемещений по двум координатам

можно получить на плоскости любую криволинейную траекторию. Технологические команды и размерная информация записываются на программноносителе.

В позиционных системах (рис. 3) эта связь отсутствует, благодаря чему траекторию между опорными точками можно задавать лишь приблизительно.

Шаговые двигатели являются в основном маломощными, поэтому для передачи больших моментов применяют гидросилители крутящего момента.

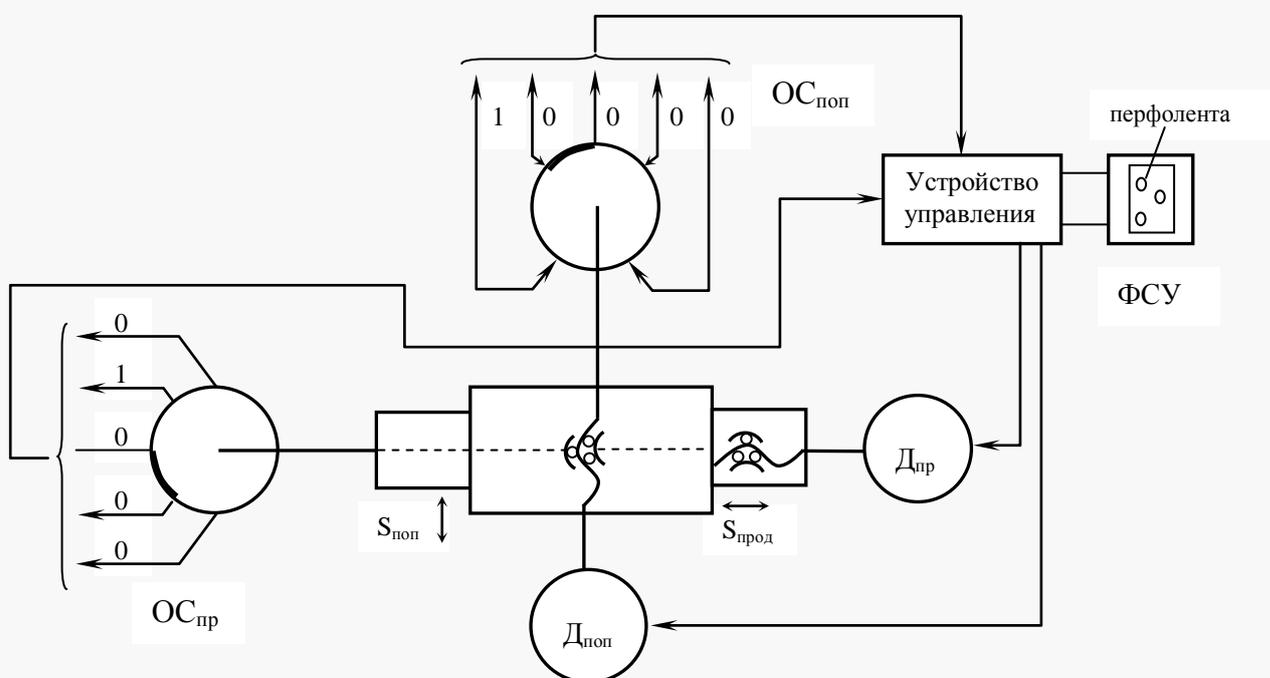


Рис. 3. Структурная схема позиционной двухкоординатной системы управления станками

ФСУ – фотосчитывающее устройство; Д - датчик

Позиционные системы иногда подразделяют на два вида: прямоугольные, у которых скорость движения по координатам регулируется и точечные, у которых регулирование по программе отсутствует.

Обратные связи обеспечиваются датчиками, в которых имеются кодовые шкалы. Шкала имеет участки двух разных качеств, одному из которых присваивается значение «1», а другому «0».

Состояние каждого элемента однозначно определяется тем участком шкалы, с которым данный элемент взаимодействует. Каждому дискретному значению датчика соответствует своя кодовая комбинация. Шкала имеет 10 уровней квантования (или формирует 10 комбинаций).

Исходная информация записывается на перфоленту. После считывания она поступает в устройство управления (УУ).

Пусть требуется переместить исполнительный орган (ИО), в определенном направлении на определенную величину:

- 1) устройство управления выдаёт сигнал;
- 2) посредством привода начинают движение салазки продольной подачи;
- 3) устройство обратной связи измеряет фактическое положение салазок и информацию об этом посылает в устройство управления.

Когда будет отработано перемещение, заданное программой, произойдёт совпадение кодовых комбинаций. Исполнительный механизм остановится. Произойдёт смена кадра, и будет обрабатываться новое перемещение.

В универсальных системах ЧПУ связь между движениями по координатам может по сигналам программы разрываться, благодаря чему они могут работать как позиционные.

**Назначение** систем управления определяется их разными технологическими возможностями. Так, например, контурные системы управления применяют в тех случаях, когда траектория движения расчетной точки инструмента во время формообразования содержит наклонные прямые, дуги,

окружности и другие участки, на которых необходимо точное движение одновременно по нескольким координатам.

Типичными примерами могут быть: обработка фасонных штампов, лопаток турбин, различных закруглений и конических поверхностей, если эта обработка производится не методом копирования режущего лезвия инструмента.

Система, представленная на рис. 4 является контурной. В качестве приводов используются асинхронные двигатели с фазным ротором. В цепи обратных связей могут быть включены различные датчики, а именно вращающиеся трансформаторы (*ВТ*), вращающиеся индуктосины, линейные индуктосины, опто-электронные преобразователи.

Если траекторию движения можно разделить на участки, которые во время резания параллельны осям координат станка, т.е. формообразование в каждый момент времени осуществляется движением лишь одного привода, то здесь можно применить прямоугольную позиционную систему. Холостые перемещения в этих системах могут осуществляться одновременно по нескольким координатам.

В тех случаях, когда устройство ЧПУ осуществляет лишь движения установки координат мест обработки, то можно применить точечную позиционную систему. Примером может служить станок для лазерной пробивки отверстий.

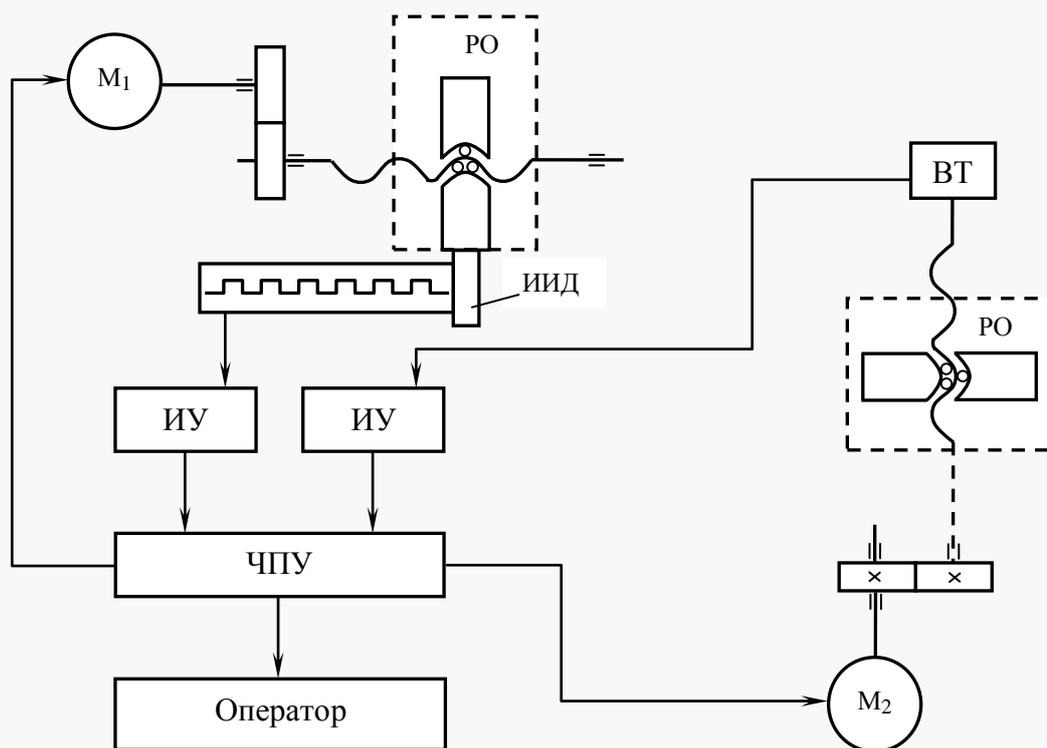


Рис. 4. Схема системы управления со следящим приводом

ИУ – измерительное устройство; ИИД – импульсно-индуктивный датчик; М1, М2 – двигатели; РО – рабочий орган; ВТ – вращающийся трансформатор

### 1.3. Цикловые системы программного управления

Цикловая система управления объединяет в себе признаки путевой и временной систем, в которой последовательность команд определяется контроллерами, а величину хода задают так же, как и в путевых системах (конечными выключателями и упорами). У цикловых систем программно-носителями являются штекерные панели или периодически поворачиваемые барабаны командоаппаратов с легко смещаемыми кулачками, последовательность команд также задается положением путевых переключателей.

Цикловые системы существенно проще, чем числовые. Но если у числовых смена работы программы, являющаяся частью переналадки

станка, осуществляется простой заменой программносителя, то у цикловых необходимо еще произвести достаточно трудоемкую переналадку путевых переключателей, что существенно увеличивает время, необходимое для настройки на новую деталь и может быть выгодным только при достаточно большой партии деталей. Такие системы являются настолько простыми, что их можно реализовывать на обычных элементах электроавтоматики. Рассмотрим их построение и принцип работы.

На *штекерной панели* в узлах прямоугольной сетки располагаются гнезда, состоящие из двух изолированных друг от друга частей. Если в гнездо вставить металлический штекер, то половинки гнезда замыкаются между собой.

Горизонтальных рядов делается столько, сколько переходов можно запрограммировать, а число вертикальных – равно числу различных команд, применяемых на станке.

Переключение этапов цикла производится *шаговым искателем*. В начальном положении его *подвижный контакт* находится в положении «0». При нажатии на кнопку «ПУСК» напряжение питания проходит через *контакт левого поля* шагового искателя и через *вспомогательные контакты и катушку* соединяются со вторым заземленным полюсом источника питания. Катушка притягивает *якорь искателя*, а *собачка* перескакивает на следующий *зубец храпового колеса*, расположенного на *оси подвижных контактов*.

В конце хода якоря размыкаются вспомогательные контакты шагового искателя, цепь же тока через его катушку прерывается, якорь под действием *пружины* отпадает и собачка поворачивает *ротор* вместе с *подвижными контактами* на один шаг, т.е. в положение «1». Если в этом

цикле поставить *штекер* в *гнездо*, то ток сможет идти через это гнездо на *электромагнитную муфту*, включающую движение инструмента вниз.

Скорость этого движения зависит от наличия штекера в ряду «Рабочая подача», и если его нет, то включается быстрый ход. Производится быстрый подвод инструмента к детали. В конце хода срабатывает *путевой переключатель*, который отключает электромагнитную муфту и подает сигнал через *диод* на катушку шагового искателя.

Затем происходит переключение шагового искателя в положение «2». В этом переходе штекеры установлены в положение «Влево» и «Рабочая подача», благодаря чему срабатывают соответствующие электромагнитные муфты, и начинается движение влево до соответствующего конечного переключателя. После этого, по указанному расположению штекеров, инструмент последовательно отводится от детали на быстром ходу сначала вверх, а затем вправо. Если на этом рабочий цикл заканчивается, то в пятом переходе необходимо установить штекер «конец», через который пойдет ток на *катушку реле*. Это реле сработает и через *переключатель правого поля* шагового искателя своими контактами самоблокируется. Подвижный контакт этого поля выполнен таким образом, чтобы при переключении из одного положения в другое не происходило разрыва цепи, поэтому катушка реле и вспомогательные контакты шагового двигателя будут вращаться до тех пор, пока контакт правого поля не окажется в положении «0», и цепь самоблокировки реле прервется. Тем самым происходит сброс *шагового двигателя* в исходное положение. Если теперь снова нажать на кнопку «пуск», то цикл повторится.

В реальных схемах цифрового управления для каждого направления могут быть несколько путевых переключателей, что позволяет применять более сложные циклы обработки и требует указания на штекерной панели

номера путевого переключателя, ограничивающего этот переход. Кроме того, на панели при соответствующей кинематике станка можно предусмотреть переключение скоростей вращения шпинделя, величины подачи, включение и выключение охлаждения и т.д.

Смена содержания цикла производится перестановкой штекеров. Для более быстрого и безошибочного программирования иногда при разработке технологического процесса изготавливают *шаблон* (перфокарту) с отверстиями против тех гнезд, в которые необходимо вставить штекеры.

Для изменения значений перемещений необходимо переставить *кулачки*, воздействующие на путевые выключатели и точно их отрегулировать. Некоторые станки имеют легко *сменяемые линейки*, на которых располагаются регулируемые кулачки, что позволяет производить их наладку вне станка на специальном приспособлении и в то время, когда станок с другим комплектом линеек обрабатывает другую партию деталей. Кулачки могут иметь *микрометрическое устройство* для точной регулировки их положения.

В последнее время с целью повышения надежности в средствах управления цикловых систем производят замену контактных элементов на бесконтактные полупроводниковые устройства, имеющие большую долговечность, защищенность от внешних воздействий и высокую скорость переключения.

Цикловые системы с полупроводниковыми переключающими устройствами значительно проще и имеют меньшую стоимость.

#### **1.4. Принципы построения систем управления станками с ЧПУ**

Поверхности многих фасонных деталей (лопаток турбины, лопастей гребных винтов и т.д.) описывают весьма сложными уравнениями или даже задают таблично, что требует применения сложных универсальных

машин и выполнения длительных и сложных программ расчетов их обработки.

При этом имеется другой путь: замена (аппроксимация) заданного профиля отрезками достаточно простых линий, например прямых, или дуг окружностей (рис. 5). Концы этих отрезков можно задавать в программе (опорные точки), вместе с признаком аппроксимирующей линии. При этом, конечно, возникает погрешность, если уравнение участка траектории не совпадает с уравнением задающей линии, так что расстояние между опорными точками желательно делать как можно больше, с целью уменьшения затрат на программирование, но при условии получения допустимой погрешности аппроксимирования.

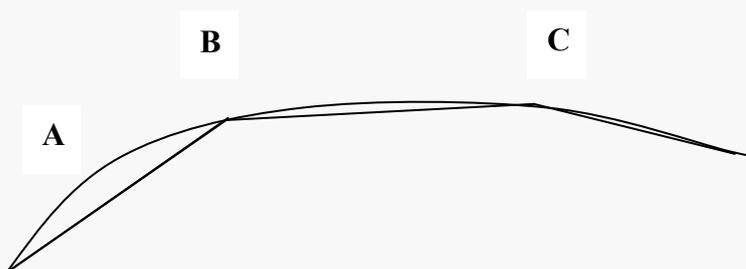


Рис. 5. Замена заданного профиля (траектории) отрезками прямых линий

Промежутки между опорными точками должны рассчитываться специальным вычислительным устройством, производящим интерполяцию между ними по заданному закону, например, линейному. Во многих случаях это вычислительное устройство включают в систему управления станком.

Кроме управления подачами, в программе, с помощью специальных кодов, можно задать ряд вспомогательных движений: автоматический останов станка по окончании операции; пуск, останов и переключение скоростей шпинделя, включение и выключение охлаждения, зажим и раз-

жим направляющих, смена инструмента и т.д. Все эти требования определяют принципы построения системы управления станка (рис. 6 и 7).

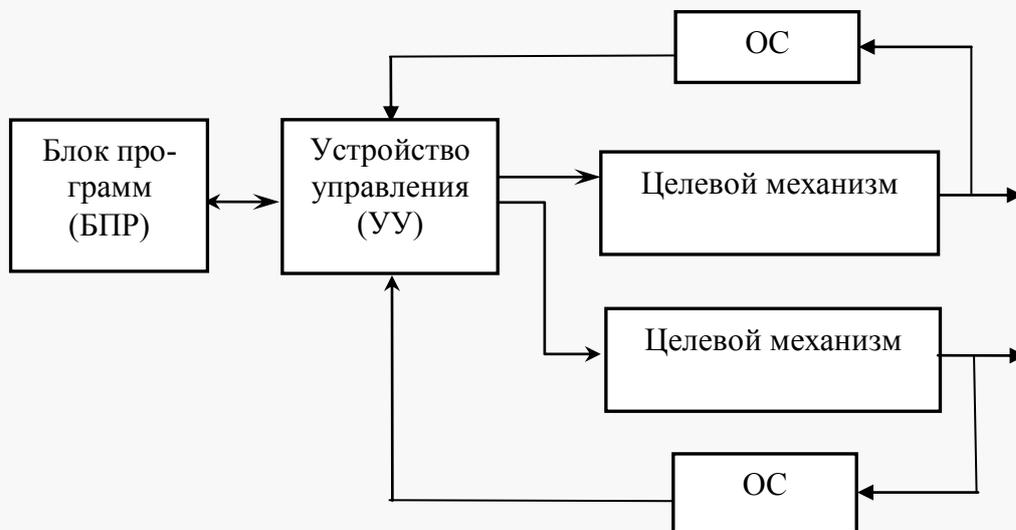


Рис. 6. Структурная схема системы ЧПУ

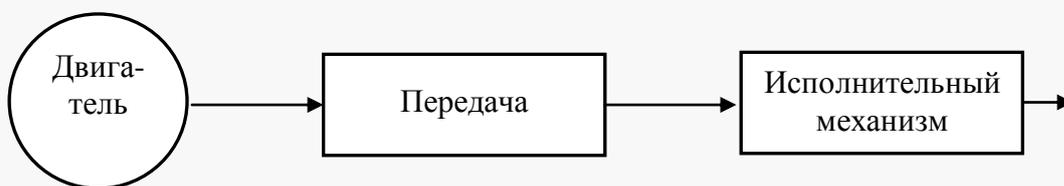


Рис. 7. Структурная схема целевого механизма

Блок программ (БПР) – считывает информацию с носителя информации (программоносителя); устройство управления (УУ) – управляет системой, состоит из нескольких блоков; целевые механизмы (ЦМ) – осуществляют основные и вспомогательные движения; блоки обратной связи (ОС) – контролируют значения перемещений.

В качестве силового элемента привода могут применяться: асинхронный двигатель переменного тока, двигатель постоянного тока с фазным ротором, шаговый, гидро- и пневмодвигатели. Передача производит пре-

образование энергии; часто применяются безлюфтовые передаточные механизмы, зубчатые передачи, волновые редукторы, шарико-винтовые передачи. Исполнительные механизмы – это например, стол, салазки, пиноль, каретка, шпиндель.

### 1.5. Блок-схема устройства программного управления

Устройство, обеспечивающее выполнение выше перечисленных команд, имеет структуру, указанную на рис. 8.

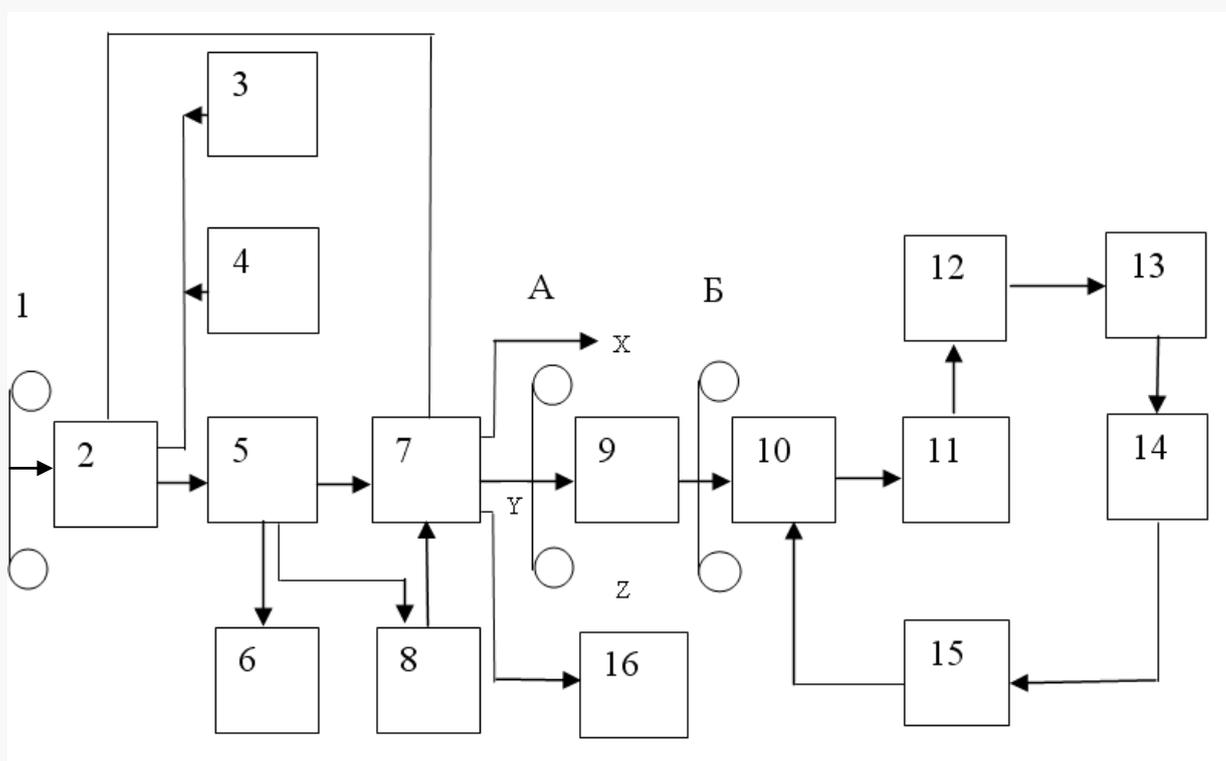


Рис. 8. Блок-схема УЧПУ

1 – программноноситель; 2 – считывающее устройство; 3 – блок ручного управления; 4 – блок коррекции программы; 5 – адресное устройство; 6 – блок вспомогательных команд; 7 – интерполятор; 8 – регулятор подачи; 9 – преобразователь информации; 10 – сравнивающее устройство; 11 – усилитель; 12 – двигатель; 13 – механическая передача; 14 – управляемый орган станка; 15 – датчик обратной связи; 16 – блок питания

Программа задается на программноносителе 1 и с помощью считывающего устройства 2 вводится в устройство ЧПУ. В зависимости от содер-

жания, она с помощью адресного устройства 5 подается на соответствующие блоки: информация о требуемом значении перемещений, их направлении, типе аппроксимирующей линии, поступает в интерполятор 7, информация о величине подачи – в регулятор подачи 8, вспомогательные команды на управление главным двигателем, охлаждением, сменой инструмента и т.д. поступает в блок вспомогательных команд 6, передающий их после переработки на станок.

Интерполятор производит расчет требуемых перемещений управляемых органов по каждой из координат, подавая сигналы на приводы подачи станка. Темп этого расчета, а значит и скорость движения вдоль заданной траектории, определяется регулятором подачи.

Количество приводов подач определяется количеством управляемых перемещений инструмента относительно детали. Так, в токарных станках их обычно 2: вдоль оси шпинделя (ось Z) и в радиальном направлении (ось X). Во фрезерных станках таких движений может быть 3 (продольное, поперечное, вертикальное) или больше, если добавляется, например, поворот стола, поворот шпиндельной бабки и т.д. Приводы по координатам управления с целью унификации строятся обычно по одинаковой схеме, поэтому на схеме показан привод только по оси У.

Информация с интерполятора обычно поступает в виде импульсов (коротких сигналов) напряжения, причем каждый импульс соответствует перемещению на одну единицу дискретности привода. Эти приращения перемещения, иногда преобразованные по форме преобразователем информации 9, поступают в сравнивающее устройство 10, которое производит сравнение, для каждого момента времени, требуемого по программе положения, полученного от интерполятора и действительного положения управляемого органа станка 14, которое измеряется датчиком обратной

связи 15. Если эти положения не совпадают, то на выходе сравнивающего устройства появляется сигнал, пропорциональный рассогласованию, который после усилителя 11 заставляет двигатель 12, через механическую передачу 13, перемещать управляемый орган станка так, чтобы уменьшить это рассогласование.

Для ручного задания перемещений во время наладки станка служит блок ручного управления 3, а для различных коррекций программы по режимам резания и по действительным размерам установленного на станок инструмента, в системе управления имеется блок коррекции программы 4. Питание всего устройства осуществляется от нескольких блоков питания 16. Наиболее сложной частью устройства является интерполятор, поэтому с целью упрощения устройства программного управления, целесообразно разделить его на две части.

Информация после интерполятора или преобразователя информации записывается на промежуточный программноноситель А или Б, который затем подается на оставшуюся часть устройства управления, находящуюся непосредственно у станка и содержащую практически только приводы подач. В качестве промежуточного программноносителя обычно применяется магнитная лента, магнитный или магнитооптический диски, т.к. объем информации после интерполятора – большой.

Такое разделение устройства управления приводит к удешевлению всей системы, т.к. интерполятор может производить записи программ по очереди для многих станков. Однако на магнитную ленту в такой структуре трудно записать значительное количество вспомогательных команд, что сужает технологические возможности станка. Кроме того, сигналы с магнитной ленты имеют малую величину, благодаря чему при большом уровне промышленных помех, всегда имеющихся в цехе, они могут быть

потеряны, что вызовет появление накапливающейся ошибки обработки заданной траектории.

В связи с этим системы с магнитной лентой, широко выпускающиеся в 60-е годы, сейчас сняты с производства, хотя их еще много на заводах.

### 1.6. Разомкнутый привод подачи

В настоящее время имеются двигатели, способные по комбинации сигналов устанавливаться в строго определенное состояние, благодаря чему, чередуя комбинации включения фаз, можно и ротор перемещать точно на определенную величину. Такие приводы не нуждаются в датчиках обратной связи и являются **разомкнутыми**. В этом случае приводы подач на блок-схеме выглядят следующим образом (рис. 9).

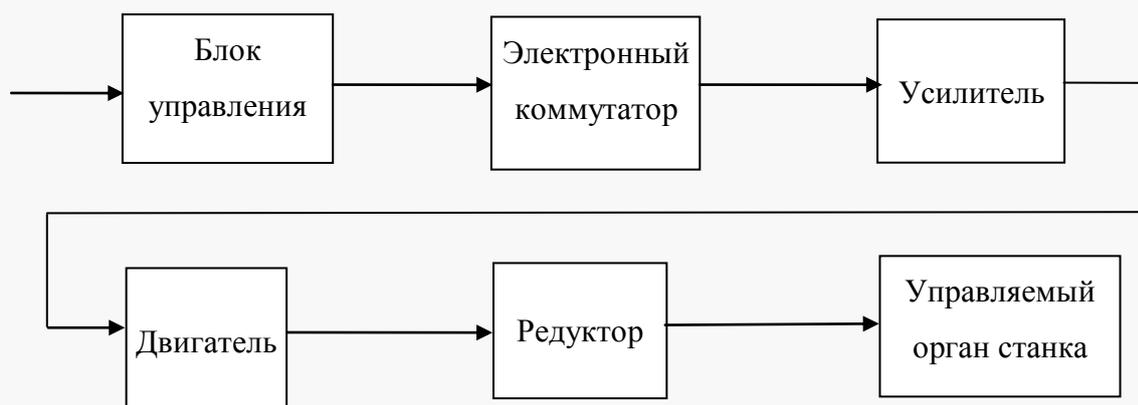


Рис. 9. Блок-схема разомкнутого привода подачи

Сигналы от интерполятора поступают в блок управления 1, который превращает их в сигналы переключения фаз двигателя 4, предварительно усиленные усилителями 3. Угол поворота двигателя с помощью механической передачи 5 преобразуется в пропорциональное перемещение управляемого органа станка 6.

В качестве таких двигателей могут применяться различные синхронные двигатели, чаще всего – шаговые. Если мощность двигателя недоста-

точно для перемещения органа станка, то между ними устанавливается усилитель мощности 3.

Устройство управления, показанное на общей блок-схеме устройства ЧПУ, может управлять величиной и направлением подачи. Осуществлять связь между подачами по отдельным координатам для получения требуемого направления результирующего движения, а также осуществлять связь между подачами по отдельным координатам для получения требуемого направления результирующего движения. Устройство управления передает на станок большое количество вспомогательных команд. Для многих станков нужны не все эти функции, благодаря чему возникает разнообразие систем управления.

### 1.7. Классификация металлорежущих станков

Все станки, выпускаемые серийно, делятся на 9 групп. Каждая группа включает в себя несколько типов станков (9).

**Модель** станка обозначают 3-мя или 4-мя, иногда с добавлением букв, цифрами.

Буква между цифрами указывает на **модернизацию** станка (рис. 10).

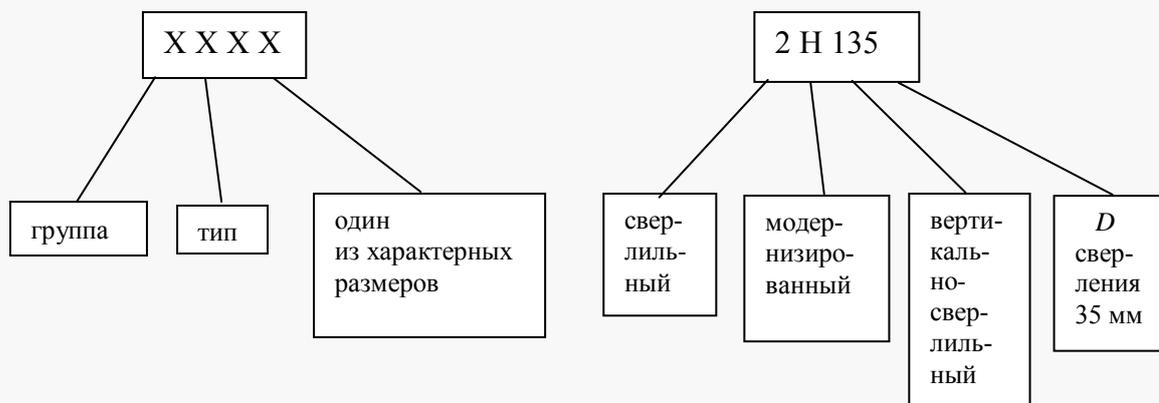


Рис. 10. Обозначение станков

Буква после цифр – его модернизация или технологические особенности. Специальные или *специализированные* станки обозначаются двумя буквами.

- 1 гр. – токарные;
- 2 гр. – сверлильные и расточные;
- 3 гр. – шлифовальные;
- 4 гр. – электрофизической и электрохимической обработки;
- 5 гр. – зубо- и резьбообразующие;
- 6 гр. – фрезерные;
- 7 гр. – строгальные, долбежные и протяжные;
- 8 гр. – разрезные;
- 9 гр. – разные.

**По степени точности:** Н – нормальной точности, В – высокой точности, П – повышенной точности, А – особо высокоточные, С – особо точные (мастер – станки).

**По массе:**

- Легкие – до 1 т.
- Средние – до 10 т.
- Тяжелые – свыше 10 т.
- Крупные – 10-30 т.
- Собственно – тяжелые – 30-100 т.
- Особо тяжелые – свыше 100 т.

**Пример:**

**Патронно-центровой, токарный – 16К20Ф3.**

Применяется для обработки внутренних и наружных поверхностей деталей типа тел вращения, со ступенчатыми и криволинейными профилями, в один или несколько проходов в замкнутом полуавтоматическом

цикле, а также для нарезания крепежной резьбы. Используется в единичном, мелкосерийном и серийном производстве.

### ***Основные характеристики станка***

- 1) наибольший диаметр обрабатываемой детали над станиной – 400 мм;
- 2) наибольший диаметр обрабатываемой детали над суппортом – 220 мм;
- 3) наибольшая длина обрабатываемой детали – 1000 мм;
- 4) частота вращения шпинделя – 35-1600 об/мин;
- 5) количество переключаемых скоростей – 9;
- 6) скорость быстрых перемещений – продольных – 4800 мм/мин; поперечных – 2400 мм/мин;
- 7) цена импульса – продольное перемещение – 0,01 мм, поперечное – 0,005 мм.

## **1.8. Классификация станков с ЧПУ**

Металлорежущие станки с ЧПУ классифицируют:

- 1) по степени автоматизации – автоматы и полуавтоматы;
- 2) по назначению – одноцелевые и многоцелевые;
- 3) по степени универсальности – специальные, специализированные, универсальные;
- 4) по характеру выполняемых работ – токарные, сверлильные, шлифовальные, фрезерные, зубо-резьбообрабатывающие;
- 5) по компоновке – вертикальные, горизонтальные, наклонные;
- 6) по роду привода – с гидро-, пневмо-, электроприводом;
- 7) по степени точности: Н – нормальной, П – повышенной, В – высокой, А – особо высокой и С – сверхвысокой;
- 8) по принципу построения технологического процесса – для одновременной обработки одной детали (например, с нескольких сторон) или для одновременной обработки нескольких деталей. В этом случае, при участии в работе одного режущего инструмента и беспере-

бойной работе, время, приходящееся на обработку одной детали, различно и зависит от схемы построения технологического процесса.

По решаемым технологическим задачам (рис. 11) станки с ЧПУ подразделяются на *позиционные, контурные и универсальные*.

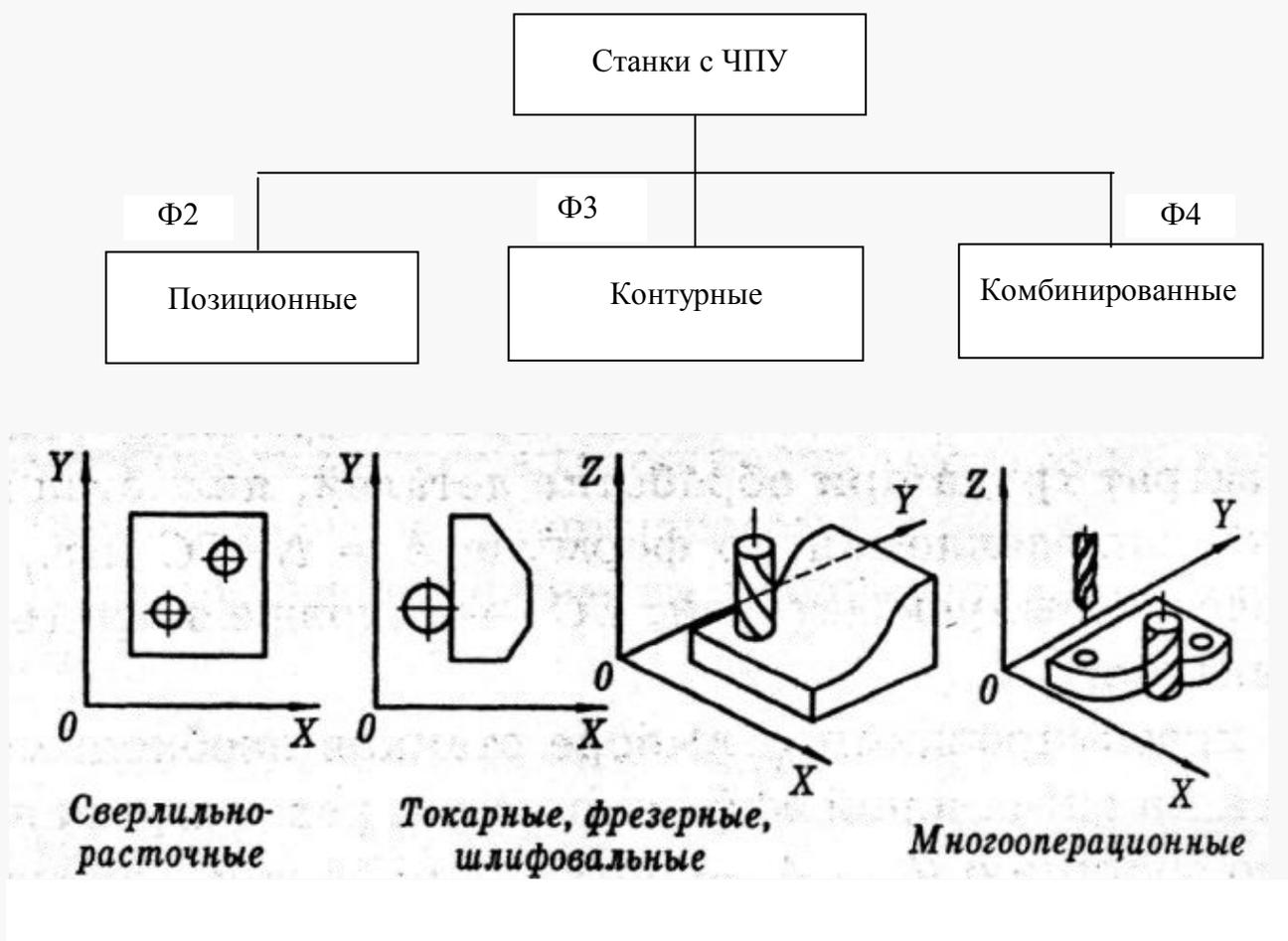


Рис. 11. Классификация станков с ЧПУ по технологическим задачам

По принципу управления и наличию обратной связи — *разомкнутые и замкнутые* (с обратной связью по положению рабочего органа, по положению рабочего органа и с компенсацией погрешности станка, самоприспосабливающиеся — с *адаптацией* на различные внешние возмущения и изменения характера протекания технологического процесса).

*Условное обозначение станков с ЧПУ*

Признаком станка с ЧПУ является буква «Ф». Первая за ней цифра указывает на тип системы («2» – станки с позиционной системой; «3» – с контурной системой; «4» – станки с универсальной системой).

**Пример:** 16K20Ф3, 2P135Ф2, MA655Ф3.

Первая цифра обозначает общее количество управляемых координат. Вторая цифра обозначает число одновременно работающих координат. Третья цифра может иметь два значения: ноль (шаговый привод) и единица (следающий привод).

Таким образом, в зависимости от степени автоматизации и типа системы ЧПУ для станков приняты следующие дополнительные обозначения:

Ф1 – цифровая индексация и предварительный набор координат;

Ф2 – позиционные и прямоугольные системы ЧПУ;

Ф3 – контурные системы ЧПУ;

Ф4 – универсальные или комбинированные (для позиционной и контурной обработки) системы ЧПУ;

МФ – ЧПУ, инструментальный магазин и автоматическая смена инструмента (АСИ);

РМФ – ЧПУ, револьверная инструментальная головка и АСИ;

РМФ – ЧПУ, револьверная инструментальная головка, инструментальный магазин и АСИ.

**Пример** обозначения станка с ЧПУ: 16K20Ф3, 2P135Ф2, MA655Ф3.

Для управления движением формообразования необходимо однозначно определить все точки рабочего пространства станка. С этой целью используют *координатную систему* станка, в которой ориентируют изготавливаемую деталь и составляют управляющую программу (рис. 12).

Координатные оси системы обозначают по правилу правой руки. Ось Z совмещается с осью шпинделя, ей соответствует средний палец правой

руки. Ось  $X$ , которой соответствует большой палец, всегда располагается горизонтально. Направление координатных осей указывает на положительное направление перемещения режущего инструмента относительно неподвижной детали.

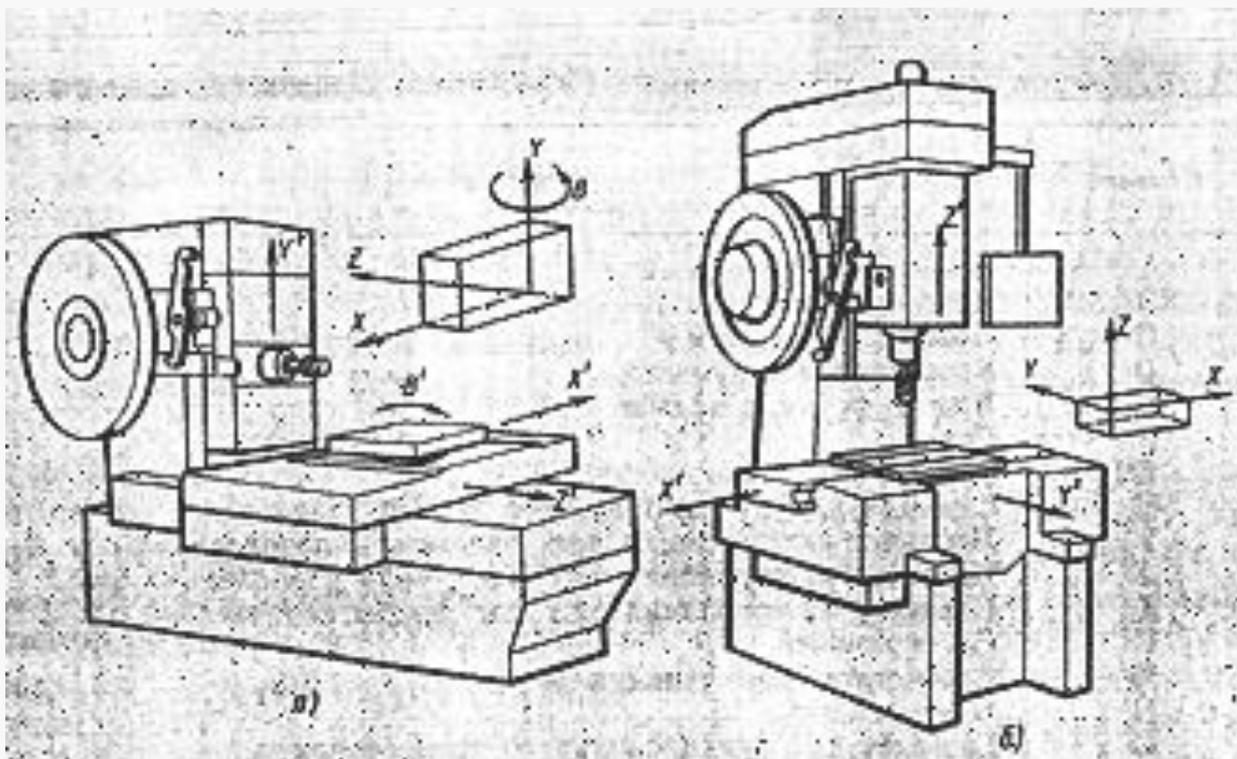


Рис. 12. Расположение координатных систем на станках с ЧПУ горизонтальной (а) и вертикальной (б) компоновки

При перемещении детали относительно неподвижного инструмента ее положительные перемещения направлены в обратном направлении, и их обозначают индексом соответствующей оси со штрихом  $X$ ,  $Y$ ,  $Z$ . За положительное направление вращения  $A$ ,  $B$ ,  $C$  вокруг соответствующей оси  $X$ ,  $Y$ ,  $Z$  принято вращение по часовой стрелке при взгляде вдоль положительного направления оси.

Положение координатной системы станка определяется нулевой точкой  $M$  – «ноль» станка (рис. 13). Точное положение «ноль» станка, как и направление осей координат, указывают в руководстве ЧПУ станка.

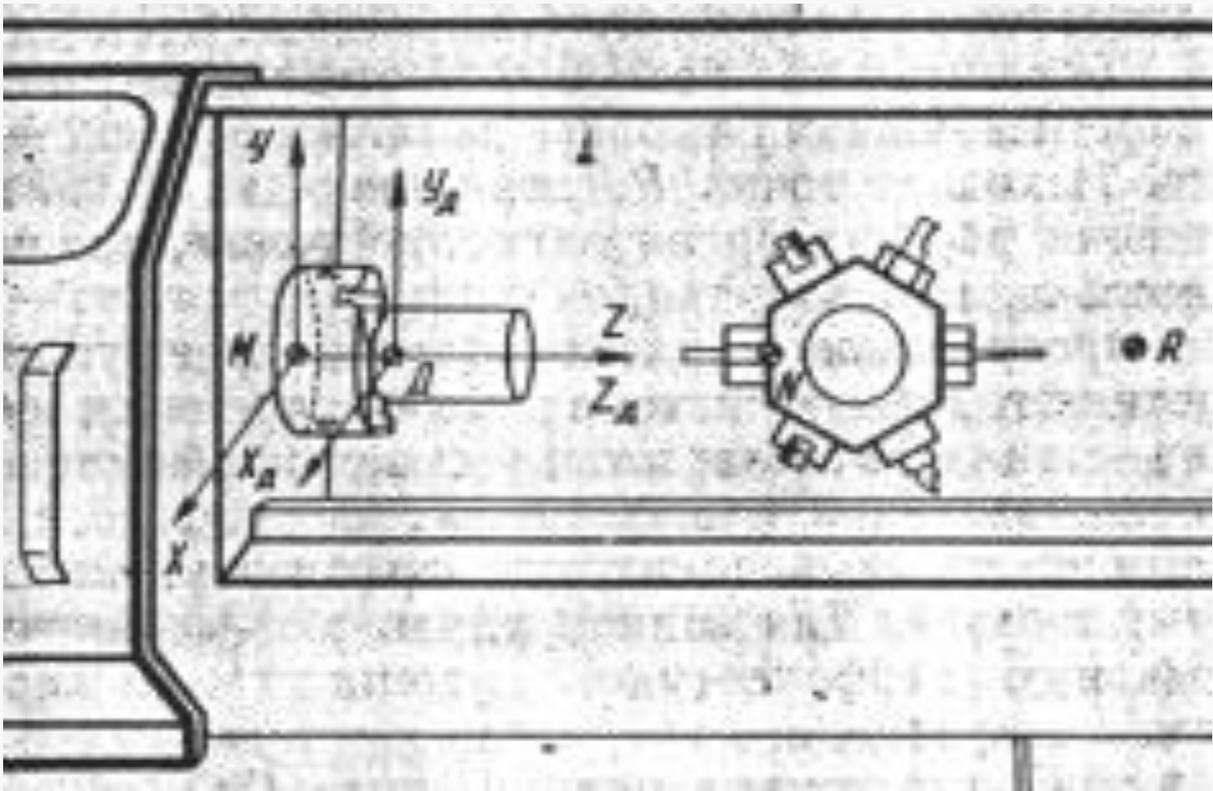


Рис. 13. Расположение координатной системы и характерных точек в рабочей зоне станка с ЧПУ

Нулевая точка детали, представляющая начало отсчета ее координатной системы, а также нулевая точка N инструмента, относительно которой выставляется инструмент на размер, определенным образом располагаются в системе координат станка. Исходная точка R, определяющая начало отсчета при перемещении рабочих органов по программе, также «привязана» к нулевой точке станка.

### ***Управляющая программа***

Числовое программное управление металлорежущими станками обеспечивает гибкую автоматизацию процесса обработки заготовки на станке в соответствии с заданной управляющей программой, составленной в алфавитно-цифровом коде. В качестве программносителя используют перфоленту, магнитную ленту, дискету, оптоэлектронный компакт-диск и т.д.

Для записи управляющей программы на восьмидорожечную перфоленту в системах ЧПУ применяют единый метод кодирования информации, основанный на применении международного семиразрядного кода ISO-7Bit.

Управляющая программа содержит информацию о геометрических параметрах изготавливаемой детали технологических командах, определяющих процесс изготовления детали на станке. Управляющая программа состоит из последовательно записанных кадров, каждый из которых включает определенное число программных слов, записанных в фиксированном порядке. Каждое слово в свою очередь состоит из адресной буквы, определяющей код соответствующей команды, и последующей группы цифр.

Таким образом, все *кадры программы* имеют единый формат.

Например,

*N3.G2.X + 33.Y + 33.Z + 32.B32; F2.S2.T2.M2.ПС,*

где N3 – номер кадра, определяемый трехзначным числом, например № 001, № 002;

G2 – *подготовительные* команды, кодируемые двузначным числом, например G00; G01 и так далее до G99; они определяют *режим работы* ЧПУ;

X + 33 – перемещение вдоль оси X со знаками «+» или «-», указывающими направление движения, определяется шестизначным числом, обозначающим координату перемещения (в миллиметрах); при этом первые три цифры до запятой определяют значение координаты в целых долях, а цифры после запятой – значение координаты в десятичных долях, X + 154.125;

Y + 33 – перемещение вдоль оси Y;

Z + 32 – перемещение вдоль оси Z; при этом значение координаты после запятой определяется двумя цифрами, например Z - 068.34;

V32 – поворот вокруг оси Y с указанием пятизначным числом его координаты; первые три цифры указывают угол поворота в градусах, а следующие две – его десятые и сотые доли, например V180.00;

F2 – скорость подачи, значение которой, кодируется двухзначным числом, например F28;

S2 – частота вращения шпинделя, кодируемая двухзначным числом, например S54;

T2 – код инструмента, номер которого определяется двухзначным числом, например T12;

M2 – вспомогательные функции, кодируемые двухзначным числом от M00 до M99, например M03 означает включение вращения шпинделя по часовой стрелке;

ПС – символ окончания кадра, обозначающий перевод строки.

В руководстве ЧПУ для определенного станка *формат кадра* конкретизируется, и даются указания по программированию с учетом конструкции станка, комплекта управляемых координат и применяемой системы ЧПУ.

*Управляющая программа* содержит два вида информации – геометрическую и технологическую:

- 1) координаты узловых точек траектории инструмента,
- 2) данные скорости, подачи, номер режущего инструмента и т.д.).

*В кадре записи* – набор команд, при котором каждому исполнительному механизму станка направляется не более одной команды.

Пример 1: (X→4020), 8E5 4020H.

Пример 2: (X→8000; Z→ - 7500); V04 – вкл. СОЖ; P27.

Пример 3: XX по Y: (Y→900). 2E00900DB0900T00900P14H.

Пример 4: E80000T80000H. – По X и Y – в исходное состояние.

ISO – Международная организация стандартов.

ISO – R841 определяет код ISO – 7 bit, ему соответствует ГОСТ 27463-87.

Стандартная ширина перфоленты – 25,4 мм, а для БЦК–5 стандартная ширина составляет 17,4 мм.

## 1.9. Классификация систем СЧПУ

Во многих случаях функциональная связь между движениями по координатам управления не нужна. В этом случае интерполятор упрощается, т.к. его задачей становится только выдавать определенное количество единиц перемещения на каждый привод, однако из-за отсутствия взаимосвязи между координатами управления траектория между опорными точками является определенной только при движении по одной координате.

Если устройство управления предназначено только для осуществления холостых (установочных) перемещений, то их нужно производить с одной максимальной скоростью, которую закладывают в конструкцию станка, а регулятор подачи исключают.

Для дальнейшего упрощения системы управления можно в программе не задавать значение перемещения, а устанавливать его на станке с помощью достаточно точных путевых переключателей. В этом случае в программе будет содержаться только порядок выполнения цикла обработки, а числа, соответствующие значению перемещения, будут отсутствовать.

В соответствии с этими вариантами, различающимися своими технологическими возможностями, а значит и своим назначением, строится классификация *систем числового программного управления (СЧПУ)*.

По международной классификации:

1) NC – системы с *покадровым чтением* управляющей программы на протяжении цикла обработки. Эти системы самые простые.

Недостатки носителей информации: перфолента загрязняется (в условиях цеха), изнашивается, вследствие этого – появилась пластмассовая перфолента (пленка). Максимальная длина перфоленты на бобине – 310 м.

2) SNC – система с однократным чтением *всей управляющей программы* перед обработкой партии одинаковых заготовок. Информация считывается и запоминается в электронном блоке.

3) CNC – система со встроенной ЭВМ. Позволяет автоматически *управлять циклами* (ступенчатое сверление, обработка ступенчатого вала за 2 прохода, и т.д.), а также производить диагностику станка и устройств с ЧПУ. Существует возможность редактирования программы.

4) DNC – система прямого числового программного *управления группами станков* от одной ЭВМ. Программа записывается в память ЭВМ и транслируется на каждый станок.

5) HNC – оперативная система с *ручным набором программ* на пульте управления.

Эти устройства строятся на основе современной элементной базы.

## **2. Схема устройства ЧПУ с программоносителем**

### **2.1. Схема устройства ЧПУ с программоносителем (рис. 14.)**

#### ***Обозначение устройства УЧПУ***

П – позиционные, Н – контурные, У – универсальные.

Например, УЧПУ Н22 - 1М.

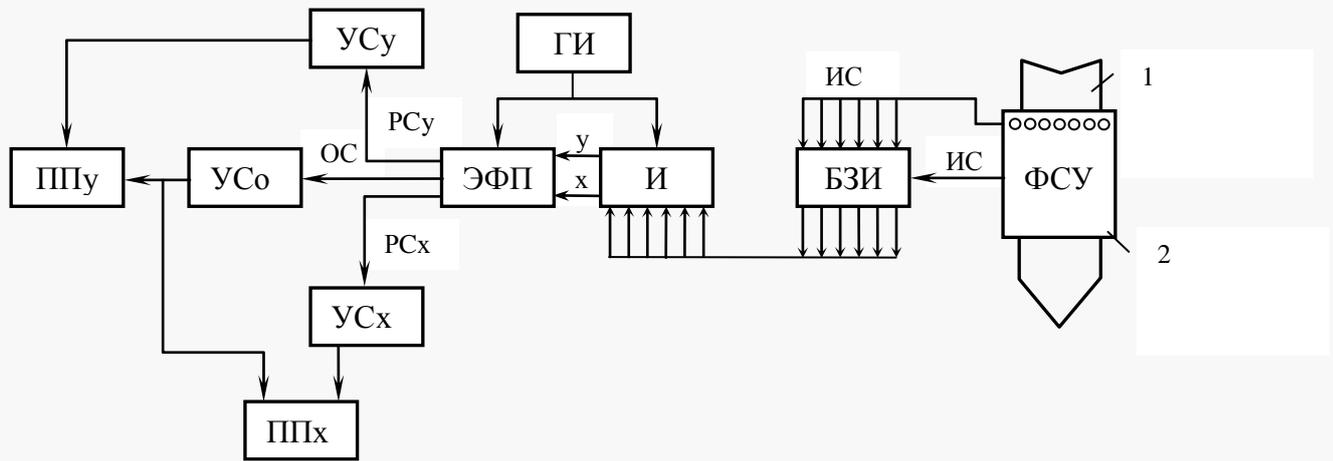


Рис. 14. Схема устройства ЧПУ с программносителем в виде перфоленты

РС – рабочий сигнал; ОС – опорный сигнал; И – интерполятор; ИС – информационный сигнал; ПП – привод подачи; УС – усилитель; ЭФП – электронный фазовый преобразователь; БЗИ – блок записи информации

Устройство ЧПУ работает следующим образом. Перфолента 1, с записанной на ней информацией на 8-ми дорожках устанавливается в фотоэлектрическое считывающее устройство (**ФСУ**). В процессе работы перфолента протягивается на размер 1 кадра, и с неё считывается вся информация со скоростью 200-300 строк в секунду. После считывания информация передаётся в блок запоминающего устройства (**БЗУ**) строкой считывания, где она запоминается в соответствующих регистрах, количество которых равно количеству строк в кадре. После считывания всей информации командой «конец ввода кадра» (**КВК**) **ФСУ** останавливается и даёт команду на передачу информации из регистров **БЗИ** в интерполятор (**И**). Сигналы с выходов интерполятора, в виде импульсов унитарного кода передаются в электронный фазовый преобразователь (**ЭФП**), в котором преобразуются в скачкообразное изменение фазы переменного тока, которая затем обрабатывается фазовым следящим устройством (т.е. сигналы преобразуются в смещение фазы, рис. 15.).

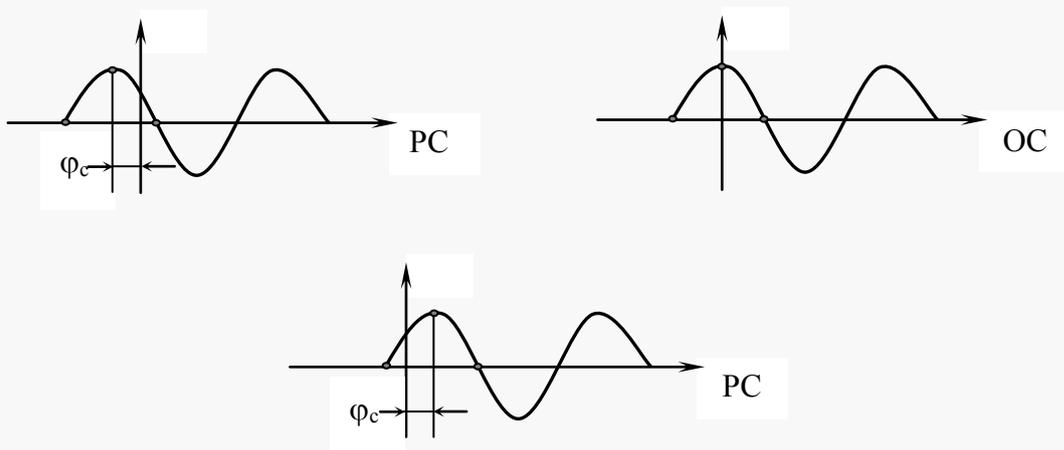


Рис. 15. Опорный (ОС) и рабочий сигналы (РС)

Сигналы с выхода *ЭФП* в виде опорного сигнала (*ОС*) и рабочих синусоидальных импульсов *РСх* и *РСу*, подаются через соответствующие усилители *Усх*, *Усу* и *Усо* на фазовые приводы подачи *ППх* и *Ппу*. *ОС* формируется генератором импульсов (*ГИ*).

## 2.2. Схема блока записи информации (рис. 16).

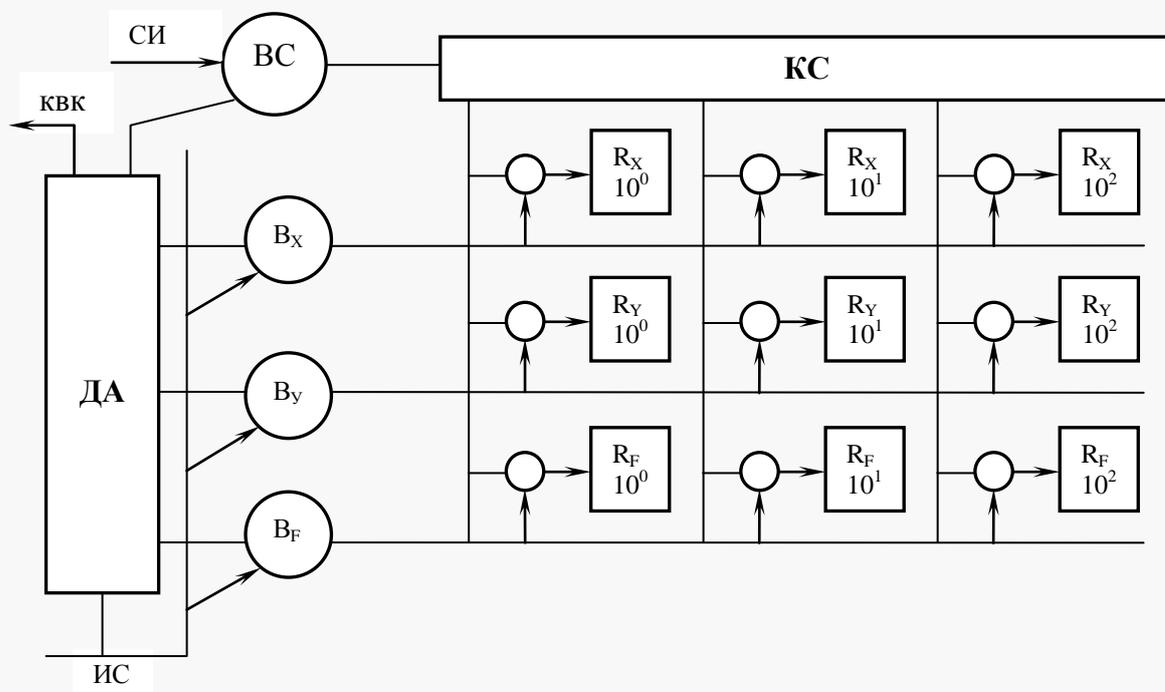


Рис. 16. Упрощенная схема БЗУ

ДА – дешифратор адресов; ВС – вентиль строк; КС – коммутатор строк;  
СИ – синхроимпульсы

БЗУ содержит дешифратор адресов (*ДА*) и коммутатор строк (*КС*), который распределяет числовую информацию по регистрам – *R* (*R<sub>x</sub>*, *R<sub>y</sub>*, *R<sub>F</sub>*), с помощью вентилях – *B* (*B<sub>x</sub>*, *B<sub>y</sub>*, *B<sub>F</sub>*).

Вентиль – это электрическое переключающее устройство. Координаты перемещений *x* и *y*, - *F* – величина подачи.

При считывании перфоленты на выходе блока фотоэлементов (*ФСУ*) на короткое время появляются коды чисел и букв, в виде комбинаций электрических сигналов. Эти сигналы одновременно подаются на *ДА* и на адресные вентили *B<sub>x</sub>*, *B<sub>y</sub>*, *B<sub>F</sub>*.

При появлении на входе дешифратора адресов кода какой-либо буквы, например *x*, он запоминается, и открывается соответствующий адресный вентиль *BC*, подающий синхронизирующие импульсы (*СИ*), получаемые с помощью синхродорожки перфоленты на коммутатор строк (*КС*). Так как после строки с кодом буквы следует некоторое количество строк с кодами цифр, а коммутатор строк поочередно подаёт управляющие сигналы на разрядные вентили одновременно всех адресов, то информация числовых строк с кодами цифр с приходом каждого синхронизирующего импульса будет направляться в десятичные регистры соответствующего адреса. При первом синхронизирующем импульсе в регистр единиц, при втором – в регистр десятков и т.д.

### 2.3. Схема линейного интерполятора (рис. 17)

При считывании строки с кодом нового адреса, например *y*, старый адрес *x* в дешифраторе адресов стирается и запоминается новый адрес; при этом открывается вентиль *B<sub>y</sub>* и идёт распределение цифровой информации разных разрядов по регистрам *R<sub>y</sub>*. Так продолжается до тех пор, пока в дешифратор адресов не попадет код *КВК* (конец ввода кадра).

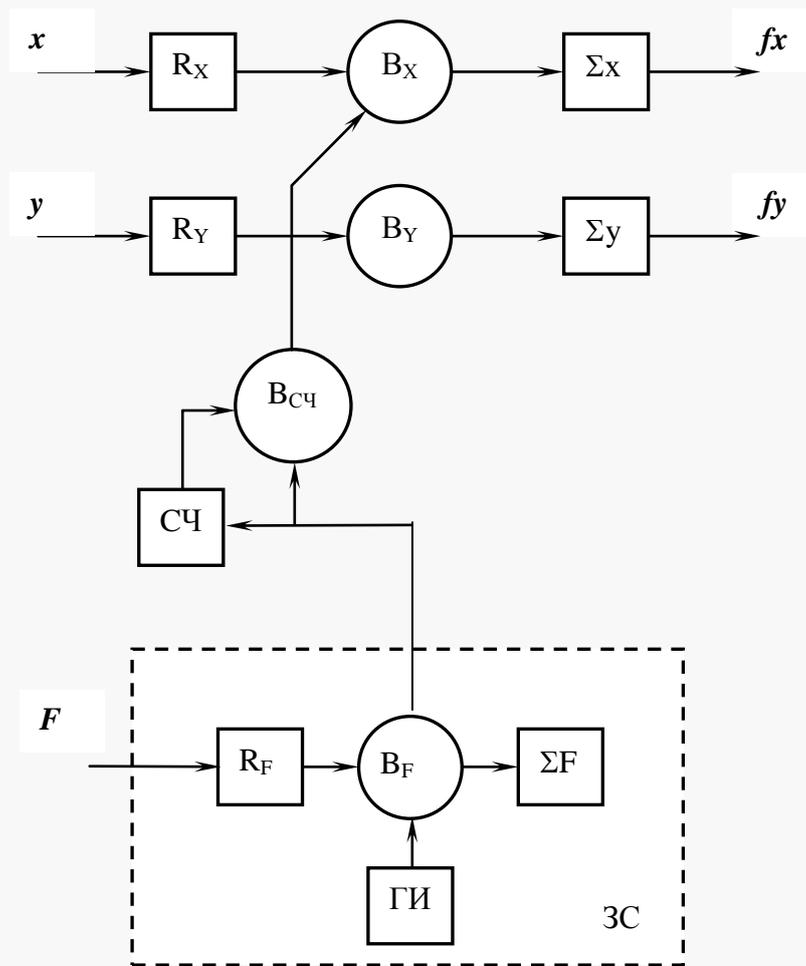


Рис. 17. Упрощенная схема линейного интерполятора

**Интерполятор** – это устройство, которое связывает величины подач.

В регистры  $R_X$  и  $R_Y$  из  $БЗУ$  вводятся числа, соответствующие значениям координат точки по осям  $x$  и  $y$  относительно координат предыдущей точки, а в регистр  $R_F$  вводится число, определяющее результирующую скорость подачи вдоль обрабатываемого контура. Эти числа, с помощью вентилях  $B_X$  и  $B_Y$ , открываемых импульсами от генератора импульсов ( $ГИ$ ) и задатчика скорости ( $ЗС$ ), периодически, с большой частотой передаются в сумматоры  $\Sigma_X$  и  $\Sigma_Y$ , где они каждый раз суммируются с предыдущим числом. Количество этих суммирований за цикл работы интерполятора всегда постоянно и определяется объёмом счётчика  $СЧ$ , который обнуляется с

помощью импульсов на вентили  $B_X$  и  $B_Y$  в момент его переполнения, то есть, когда все разряды станут равными нулю.

Предположим, что объёмы регистров  $R_X$  и  $R_Y$ , сумматоров  $\Sigma_X$  и  $\Sigma_Y$ , и счётчика  $СЧ$  равны  $10^6$ , что соответствует максимально возможному перемещению на 10 метров, при цене импульса 0,01 мм. И в регистры  $R_X$  и  $R_Y$  введено по 1 единице, то есть по 0,01 мм; если после  $10^6$  суммирований в сумматорах возникнут импульсы переполнения – это означает, что на выходах интерполятора за цикл его работы появится по одному импульсу.

Если ввести число равное 10, то после  $10^6$  суммирований должно получиться число равное  $10^7$ , но объём сумматора равен  $10^6$ , поэтому, за цикл работы сумматоры будут 10 раз переполняться, что обуславливает появление на их выходах 10-ти импульсов.

Обычно в регистры  $R_X$  и  $R_Y$  вводят разные числа, равные приращениям по осям координат, при этом частота импульсов на выходах сумматоров также различна, но строго пропорциональна этим числам.

Если скорости приводов подачи станка строго пропорциональны этим частотам, а это всегда имеет место, то результирующее движение подачи инструмента будет осуществляться по прямой из исходной точки, в последующую, а каждый привод пройдёт путь, равный произведению цены импульса на число, введённое в соответствующий регистр.

Скорость подачи определяется частотой импульсов, которые осуществляют передачу числа из регистров в сумматоры; эта частота должна иметь возможность изменяться, чтобы обеспечить необходимую скорость подачи. Это осуществляется за счёт использования специального задатчика скорости ( $ЗС$ ), который работает так же, как интерполятор и состоит из регистра  $R_F$ , в который вводится скорость подачи  $F$  и сумматора  $\Sigma_F$ . Импульсы переполнения сумматора обеспечивают передачу чисел из реги-

стра в сумматоры. Счётчик импульсов в данном случае отсутствует, так как не требуется считать количество импульсов, а только следить за изменением их частоты.

## 2.4. Схема импульсно-фазового преобразователя (рис. 18)

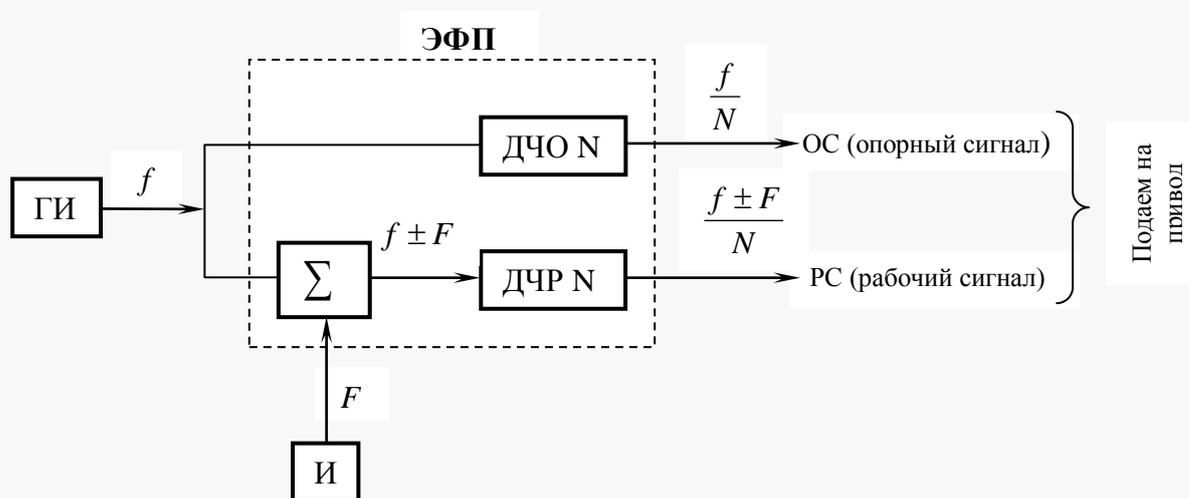


Рис. 18. Схема импульсно-фазового преобразователя

Электронно-фазовый преобразователь состоит из двух делителей частоты:

ДЧО – опорный, ДЧР – рабочий и ГИ – генератор импульсов;

$\Sigma$  – сумматор, на который подаются импульсы от интерполятора.

Делители частоты представляют собой обычные счетчики импульсов, сигналы переполнения которых возникают в  $N$  раз реже, чем частота генератора импульсов.

Если частота генератора импульсов 100 кГц, при  $N = 200$ , то на выходах ДЧО и ДЧР будет 500 Гц.

Если от интерполятора поступает один импульс – в промежутке между импульсами, что обеспечивается сумматором, то на выходе ДЧР выходной импульс появится несколько раньше, что означает сдвиг фазы выходных импульсов ДЧР относительно ДЧО на величину  $\Delta\varphi = 360/N$ .

Если импульс от интерполятора с помощью сумматора приведет к подаче одного импульса от ГИ, то выходной импульс появится позже, что будет соответствовать сдвигу фазы в обратном направлении.

Если импульсы от И будут поступать непрерывно, вписываясь в импульсы от ГИ и вычеркивая их, то частота импульсов на выходе ДЧР будет отличаться от частоты импульсов на выходе ДЧО на величину  $\pm \frac{F}{N}$ .

### **3. Кодирование исходной информации и представление программ на носителях**

Программа для обработки деталей составляется по чертежу, который снабжается дополнительной информацией (маршрут обработки, выбор исходной точки инструмента и технологических баз заготовки, порядок и направление обхода заготовки инструментом, сведения о числе проходов, применяемых инструментах, данные о режимах резания).

Для управления станками производится кодирование исходной информации и представление её с помощью символов. Программисты при составлении программ используют десятичную систему счисления и латинский или русский алфавит.

Запись, хранение, передачу исходных символов, проведение различных операций с ними производят с преобразованием их в различные коды: двоично-десятичный, двоичный, унитарный.

Для отображения числовой информации на программоносителе используют двоично-десятичную систему счисления. Код является двоичным по форме и десятичным по существу. Вместо десятичных цифр используют форму их представления в виде четырёхразрядного двоичного числа (тетрадный код).

129  $\rightarrow$  000100101001 (двоично-десятичный код).

Вес разрядов двоичных чисел соответствует степеням числа 2. В цифровой аппаратуре десятичные числа хранятся в коде «8421».

0110:  $4 + 2 = 6$ ;

1001:  $8 + 1 = 9$ ; и т.д.

При записи и автоматическом чтении программы для введения контроля на четность или нечетность суммы единиц каждой кодовой комбинации применяют корректирующий модифицированный двоично-десятичный код, добавляя ещё один вспомогательный знак кодовой комбинации (1 – 00001).

*Тетрада*

0 – 0000

1 – 0001

2 – 0010

3 – 0011

-----

9 - 1001

Специальная схема УЧПУ контролирует правильность записи и считывания информации. Схема пропускает сигнал только в случае четной суммы кодовой комбинации, что уменьшает возможность появления ошибок. Двоичный код является внутренним машинным кодом устройства ЧПУ, т.к. основные операции выполняются блоками, работающими по правилам двоичной арифметики.

Унитарный код используют для управления исполнительными координатными приводами подачи. Он удобен тем, что любому числу соответствует эквивалентное число импульсов, а число в этом коде выражают количеством цифр знаков «1». В качестве программносителей используют 5-ти и 8-ми дорожечные перфоленты. Наличие сигнала записывается на программносителе пробивкой отверстия (рис. 19).



Рис. 19. Кодирование информации на перфоленте

Пропуск записи соответствует нулю. Информацию записывают с помощью двух кодов: **БЦК-5** и **ISO – 7 Bit**.

В коде **ISO** основу составляет двоичная система счисления. Четыре разряда дорожки используют для кодирования десятичных чисел. Для кодирования знаков и заглавных букв всего латинского алфавита, а также для кодирования признаков всех составляющих частей кода используются 7 двоичных разрядов. Для проверки правильности информации каждая строка ленты контролируется по модулю 2 (число пробивок на ленте), т.е. на четность строки – используется 8-я дорожка.

### 3.1. Код БЦК-5

В этом коде используют десять цифр от 0 до 9 и буквы русского алфавита (табл. 1).

Код БЦК-5. Табл. 1.

<i>Н</i>	0	0000
<i>Е</i>	1	0001
<i>Д</i>	2	0010
<i>Т</i>	3	0011
<i>К</i>	4	0100
<i>П</i>	5	0101
<i>Ш</i>	6	0110
<i>С</i>	7	0111
<i>В</i>	8	1000
<i>Я</i>	9	1001

*Н* – конец кадра; *Е* – координата *X*; *Д* – координата *Y*; *Т* – координата *Z*; *К* – кор-

рекция; *П* – подача; *Ш* – шпиндель (вкл, выкл); *С* – смена инструмента; *В* – вспомогательная команда (включить охлаждающую жидкость или зажимное устройство, и т.д.); *Я* – конец программы (табл. 2).

Код БЦК-5. Табл. 2.

Номер кода	Дорожки перфоленты						Обозначение	Содержание	Числ. экви- валент
	5	4	С	3	2	1			
1			•			●	1	Цифра 1	1
2			•		●		2	Цифра 2	2
3			•		●	●	3	Цифра 3	3
4			•	●			4	Цифра 4	4
5			•	●		●	5	Цифра 5	5
6			•	●	●		6	Цифра 6	6
7			•	●	●	●	7	Цифра 7	7
8		●	•				8	Цифра 8	8
9		●	•			●	9	Цифра 9	9
10			•				0	Цифра 0	0
11	●		•			●	Е	Перемещение по коорд. 1 (X)	1
12	●		•		●		Д	Перемещение по коорд. 2 (Y)	2
13	●		•		●	●	Т	Перемещение по коорд. 3 (Z)	3
14	●		•	●			К	Резерв	4
15	●		•	●		●	П	Подача	5
16	●		•	●	●		Ш	Шпиндель (скорость)	6
17	●		•	●	●	●	С	Смена инструмента	7
18	●	●	•				В	Вспомогательная команда	8
19	●	●	•			●	Я	Резерв	9
20	●		•				Н	Конец фразы	0

Каждой букве соответствуют числовые эквиваленты. Для обнаружения ошибок, возникающих при считывании информации, используют кон-

троль по модулю, как для цифровой, так и для буквенной информации. При этом используют числовые эквиваленты букв. Знак "+" кодируется цифрой 1, а знак "-" – цифрой 2. Признак ведущей координаты (по которой наибольшее значение перемещения) кодируется цифрой 4. Признак исходного состояния – цифра 8. При вычислении контрольного числа все цифры и числовые эквиваленты адресов одного кадра складываются построчно. Дополнение полученной суммы, кратной 10, является контрольным числом.

**Контрольное число** записывается на перфоленте перед первым адресом в каждом кадре. Знаки координат записывают после адресов *E, D, T* перед числовым значением приращения координаты. (Признак ведущей координаты определяется программистом и записывается в одной строке со знаком, как сумма  $4 + 1$  или  $4 + 2$ ).

### 3.2. Кадровая запись

Этому способу записи информации, относящейся к какому-либо органу станка, соответствует строго определенное место на программноносителе (рис. 20).

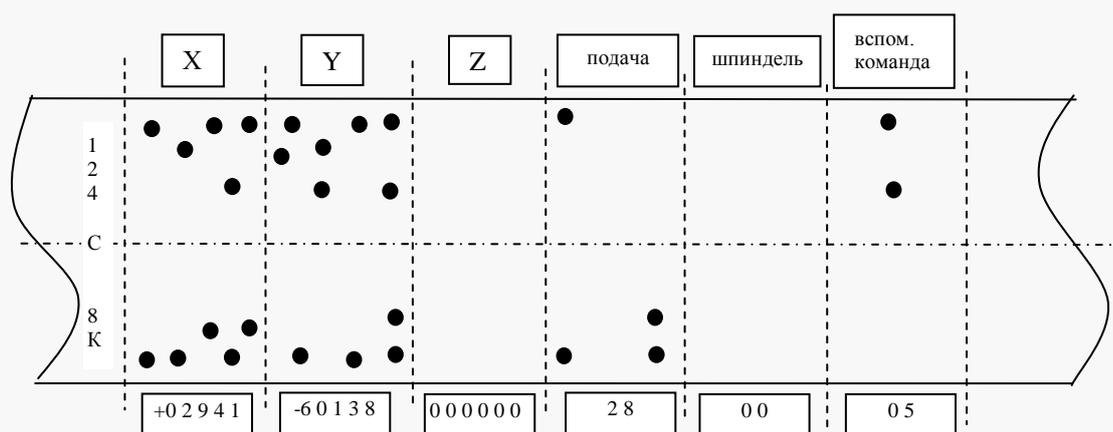


Рис. 20. Кадровая запись

Для определения этого места при считывании, длина всех кадров делается постоянной, а устройство считывания каждый раз производит пе-

ремещение программносителя на строго определенную величину. Если информация для какого-либо органа отсутствует, то на программносителе остается пустое место.

Для станков с малым числом управляемых координат и вспомогательных функций такой способ является удобным, поэтому, сначала применялся широко. Однако при расширенных технологических возможностях станков необходимая длина кадра увеличивается, а поскольку далеко не все органы станка работают одновременно, то большая часть кадра остается пустой. Это приводит к увеличению необходимого объема программносителя и повышению требований к быстродействию считывающего устройства.

### 3.3. Адресная запись

При таком способе записи информации, относящейся к какому-либо органу станка, существует условный код, обозначающий адрес этой информации (рис. 21).

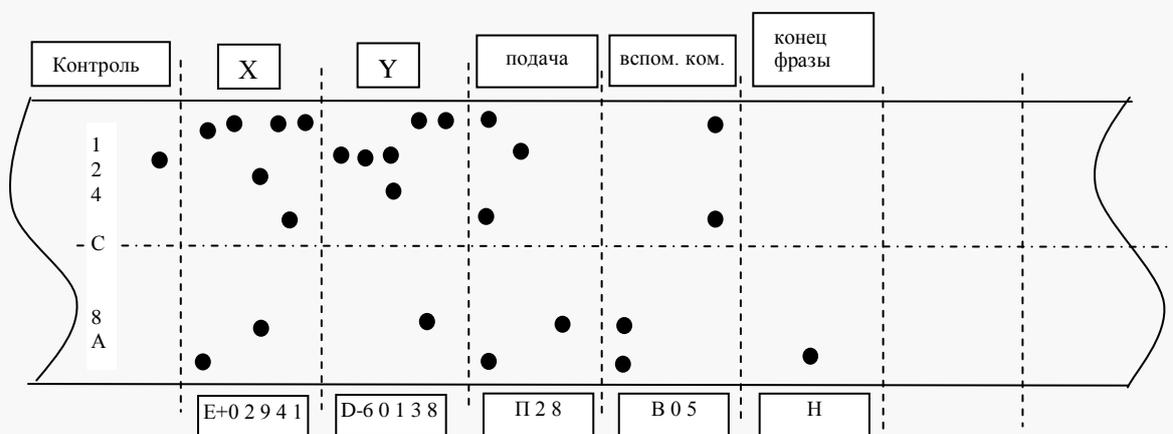


Рис. 21. Адресная запись

Если информация для органа станка отсутствует, то она не записывается, в связи с чем, длина кадров (фраз) получается переменной, и для определения конца кадра необходима запись специального кода.

### 3.4. Способы контроля записанной информации

1. **Контроль на четность (или нечетность) числа пробивок в строке перфоленты.** При этом способе считают число пробивок в строке, и если оно является четным, то в дополнительной дорожке делают еще пробивку, которая информации не несет, а служит только для контроля (дорожка «К» на рис. 20).
2. **Контроль недопустимых комбинаций.** Поскольку в десятичном коде используются только цифры от 0 до 9, то появление одновременно пробивок, соответствующих «8» и «4» или «2» недопустимо, и если они возникают, то значит, произошла ошибка (ОШ) при записи или при считывании информации.
3. **Контроль по количеству строк (слов) в слове.** Для этого контроля принимают количество строк (слов) информации для каждого органа постоянным, т.е. после каждого адреса должно идти соответствующее ему число строк. Для разных адресов оно может быть различным, но для одного – оно постоянно, независимо от объема информации, а если записываемое число мало, то в старших разрядах записывают нули.
4. **Контроль по модулю.** При этом способе каждому адресу присваивается числовой эквивалент и сумма всех цифр и числовых эквивалентов адресов кадра должна быть кратной какому-либо числу (модулю). Если эта сумма не делится на модуль, то в кадре записывается дополнительная цифра, которая делает сумму кратной модулю. Обычно эта цифра записывается в первой строке кадра (фразы).
5. **Переменные корректирующих кодов.** При увеличении числа контрольных разрядов можно не только определять, где и какая ОШ произошла, но и определять правильную комбинацию. Однако при этом значительно увеличивается объем программносителя и слож-

ность схем считывания, контроля и коррекции, что пока затрудняет применение таких кодов в станках с ЧПУ.

Различие программносителей и систем кодирования затрудняет разработку программ и мешает применению одних и тех же систем автоматического программирования, устройств записи и контроля для разных станков. Для устранения этого недостатка необходима унификация кодов.

### 3.5. Примеры записи числовой информации

**Пример 1.** По координате  $X$  надо переместить стол в положительном направлении на 4020 импульсов ( $X \rightarrow +4020$ ). Цена импульса 0,01 мм. Т.о., надо переместить стол на 40,2 мм. Перемещение производится только по одной координате, поэтому программируется признак ведущей координаты перед ее приращением, совместно с признаком знака, как сумма  $1 + 4$ .

Итак, получается кадр:  $8E54020H$ .

При записи числовой информации необходимо соблюдать условия: после каждого адреса (буквы) должно быть записано всегда постоянное количество строк, определяемое данным адресом.

$\left. \begin{array}{l} H E D T K P Ш C B Я \\ 3 5 5 5 2 2 2 2 2 2 \end{array} \right\}$
-------------------------------------------------------------------------------------------

Цифры под буквами обозначают возможное число знаков после букв.

↑  
Номер корректора (01, 02...)

Подача записывается определенным кодом, по таблице на станке. Значение скорости или подачи кодируется в соответствии с паспортом станка. Порядок расположения адресов со своей числовой информацией может быть любым, кроме адресов  $H$  (в конце кадра),  $Я$  (в конце программы),  $K$  (обязательно следует после перемещения по той координате, коррекцию по которой следует произвести).

При программировании подачи записывается адрес координаты, признак знака, совместно с признаком ведущей координаты, если данная координата является ведущей или единственной. Затем записывают геометрическое приращение в виде 4-х разрядного десятичного числа. Далее следует номер технологической команды, выраженный двухразрядным десятичным числом, затем – адрес подачи, с кодом подачи и конец кадра. После каждого кадра делается интервал в 3 строки.

**Пример 2.** По координате  $X$  надо выполнить перемещение стола фрезерного станка, эквивалентное 8000 импульсов ( $X \rightarrow +8000$ ), по координате  $Z$  - 7500 импульсов в отрицательном направлении ( $Z \rightarrow -7500$ ); выполнить технологическую команду  $B\ 04$  – включить СОЖ; подачу производить с кодом  $P27$ . Получаем кадр:  $3E58000T27500B04P27H$ .

Холостой ход программируется также как и рабочие подачи за исключениями: перемещения по всем координатам должны быть одинаковыми. Значение геометрического перемещения записывается в 10 раз меньше. Если движение надо производить по одной координате, то по другим координатам не записываются признаки знаков.

**Пример 3.** Выполнить холостой ход по координате  $Y$  ( $Y \rightarrow +900$ ). Получаем кадр:  $2E00900D50900T00900P14H$ . При выходе в исходное состояние программируется адрес координаты, по которой требуется выйти в исходное состояние, затем признак исходного состояния (8), затем записывают четыре нуля и конец кадра.

**Пример 4.** По  $X$  и  $Z$  выйти в исходное состояние. Получаем кадр:  $E80000T80000H$ . Коррекция вводится отдельными кадрами, а одновременно только по одной координате. Сначала записывается «адрес координаты», затем «признаки» знака и ведущей координаты, затем «0000», «адрес коррекции», «номер корректора», затем «адрес подачи» и «конец кадра».

### **Пример 5. 1E60000K05П26Н .**

## **4. Электронные цифровые программные устройства**

ЭЦПУ 6030 предназначено для управления манипуляторами, имеющими двухпозиционные ступени (пневматические манипуляторы и технологическое оборудование для автоматизации ТП в условиях мелкосерийного и серийного производств).

### **4.1. Технические характеристики устройства**

- тип системы управления – цикловая;
- число управляемых звеньев до 6;
- количество звеньев, управляемых по путевому принципу, – 4;
- количество звеньев, управляемых по путевому и временному принципам, – 2;
- количество технологических команд – 6;
- количество блокировок до 4;
- количество программных выдержек – 1;
- диапазон программируемой выдержки времени от 0 до 0,7 с;
- количество кадров программы до 30.

### ***Параметры сигналов управления электропневмоклапанами***

- напряжение постоянного тока 24 В;
- ток до 0,4 А;
- напряжение питания датчиков – 24 В;
- напряжение питания устройства ~220 В;
- потребляемая мощность 0,2 кВ·А.

***Элементная база*** – интегральные микросхемы серии К155. Масса 26 кг.

### **4.2. Устройство и принцип работы ЭЦПУ 6030 (рис. 22)**

Устройство управления построено по принципу синхронного программного автомата с жестким циклом управления.

**Блок управления** предназначен для обработки информации по заданной программе и выдаче управляющих воздействий на манипулятор и технологическое оборудование.

**Пульт управления** обеспечивает задание режимов работы устройства и ручное управление звеньями манипулятора.

**Программоноситель** предназначен для набора и хранения требуемой программы работы робота.

**Блок усилителей** обеспечивает выдачу управляющих команд на клапаны манипулятора и технологического оборудования.

**Блок питания** обеспечивает питание электрооборудования, датчиков

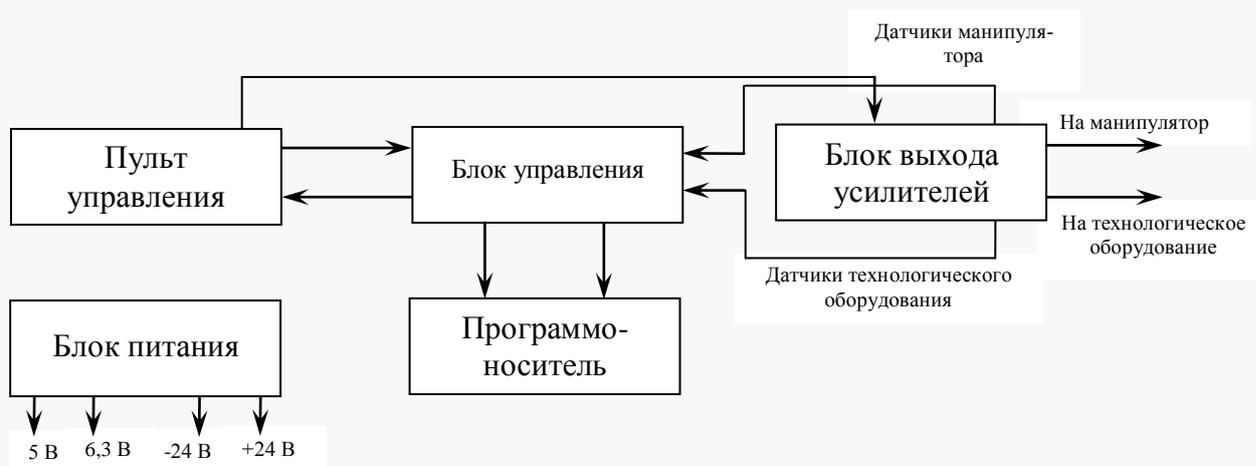


Рис. 22. Структурная схема ЭЦПУ 6030

манипулятора и технологического оборудования.

**Основные режимы работы устройства:**

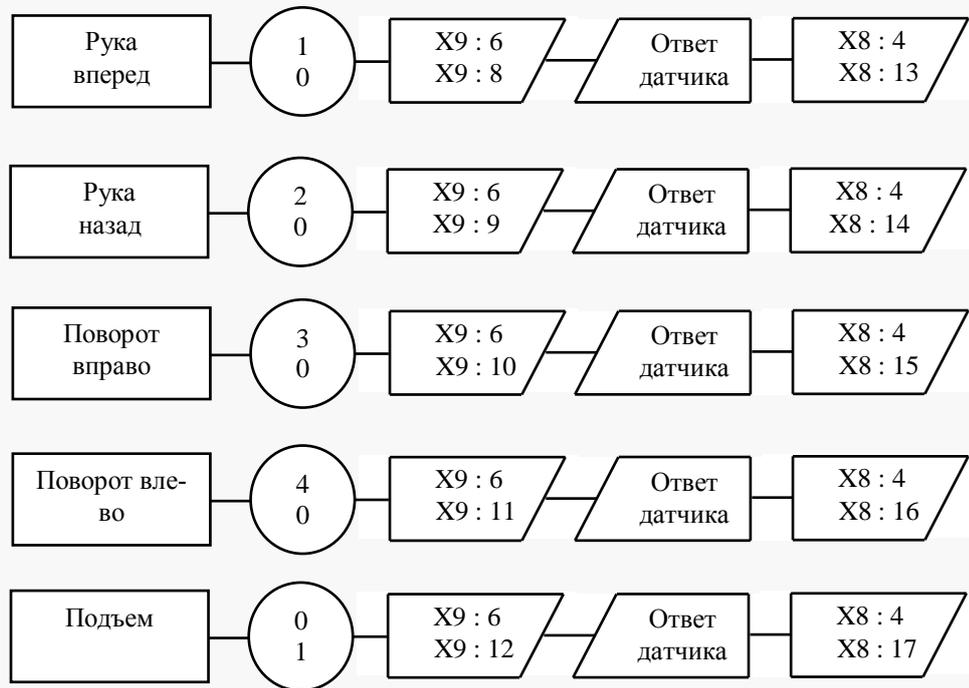
- 1) ручной,
- 2) команда,
- 3) цикл,
- 4) автомат.

1. В *ручном* режиме команды на манипулятор задаются с пульта управления (ПУ) и поступают на манипулятор для управления подвижными звеньями. Контроль положения подвижных звеньев осуществляется с помощью табло индикации.
2. В режиме *команда* устройство обеспечивает отработку одного кадра программы, набранного на программоносителе.
3. В режиме *цикл* устройство обеспечивает однократную обработку всех кадров программы.
4. В режиме *автомат* устройство обеспечивает многократную отработку рабочего цикла.

Блок выходных усилителей (БВУ) состоит из трех плат. Блок питания (БП) состоит из двух трансформаторов, выпрямителя, стабилизатора.

#### **4.3. Система команд и распайка разъемов устройства управления ЭЦПУ-6030 для промышленного робота (рис. 23)**

## Команды управления звеньями манипулятора МП-11



*a*

*X7* – разъем связи с технологическим оборудованием; *X8* – разъем связи с датчиками манипулятора; *X9* – разъем связи с электромагнитами манипулятора

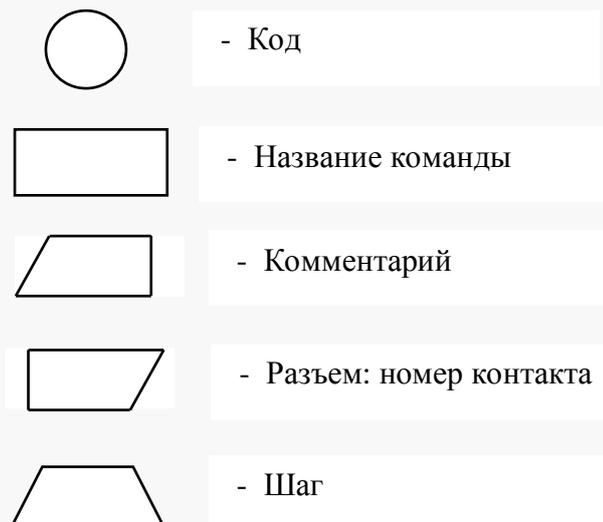
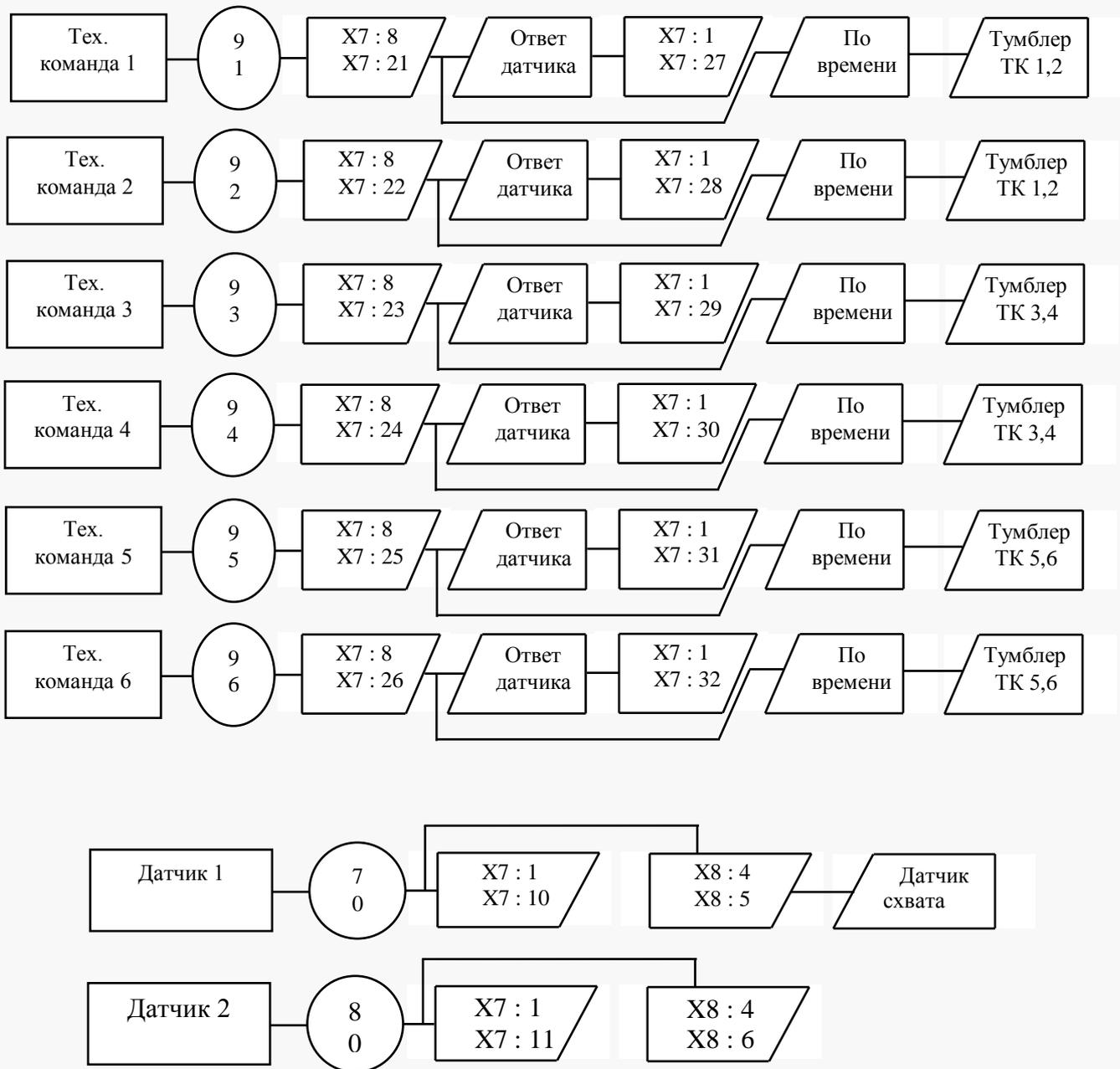


Рис. 23, лист 1. Система команд и разъемы устройства управления ЭЩУ- 6030

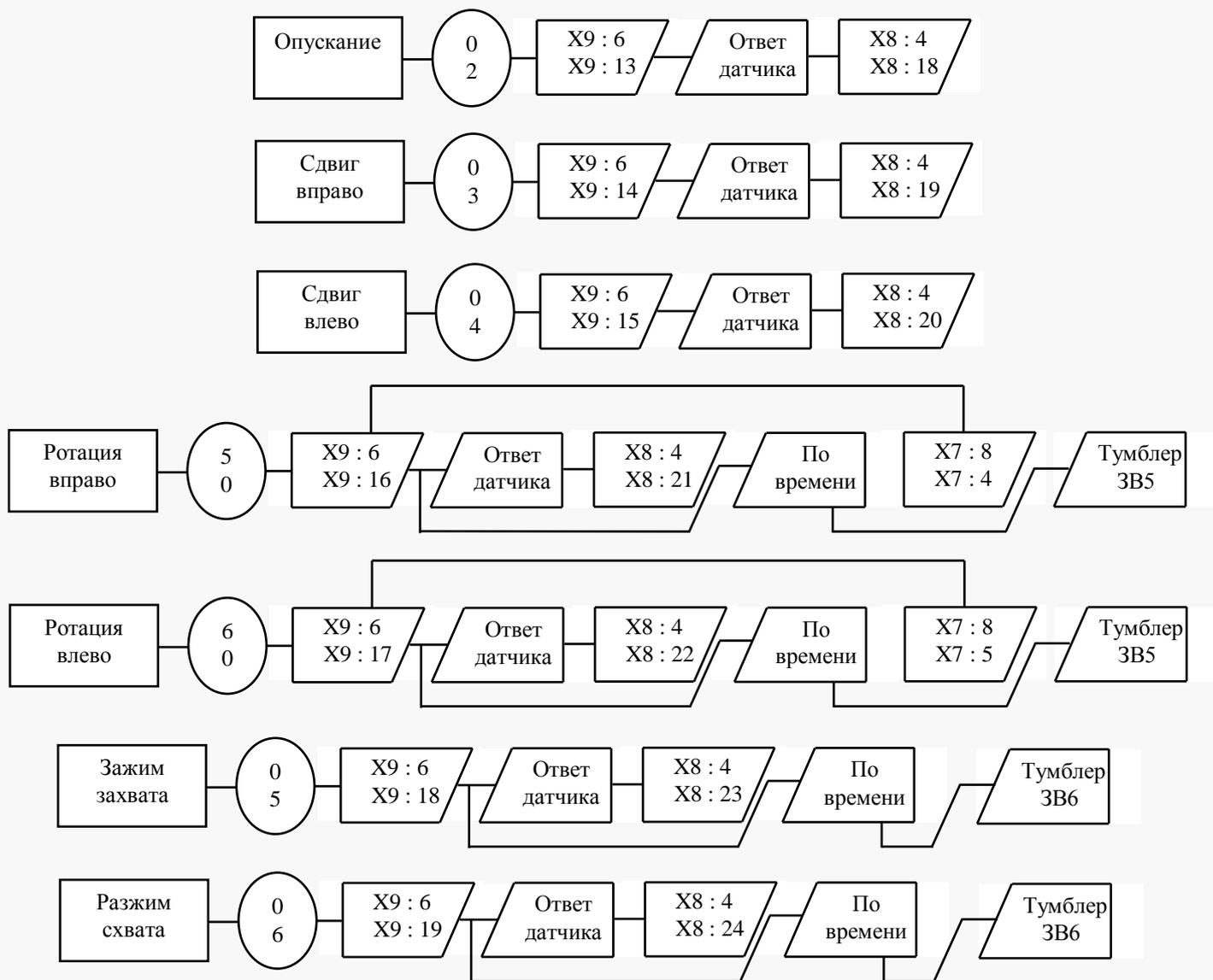
**Команды опроса датчиков (блокировок) и выдержки времени**



б

Рис. 23, лист 2

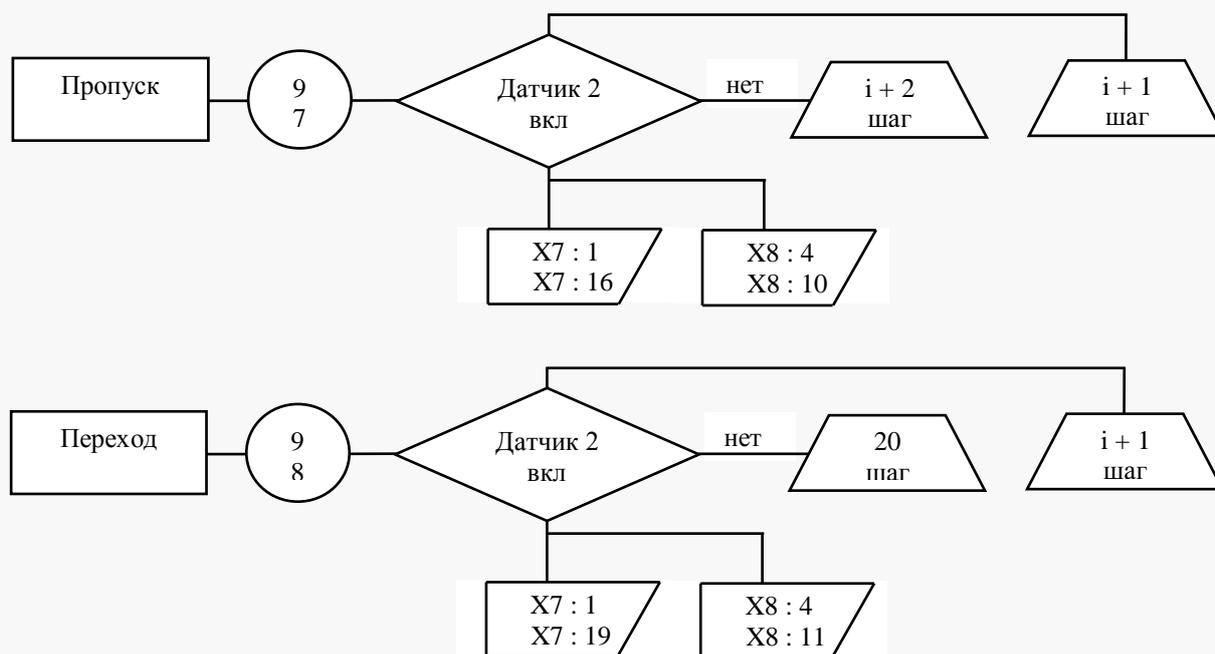
## *Команды управления технологическим оборудованием*



6

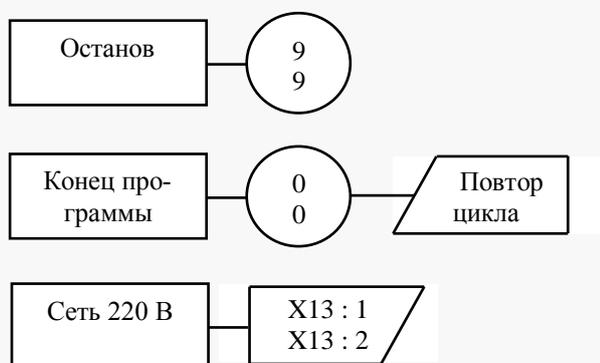
Рис. 23, лист 3

## Команды управления программой



2

## Команды опроса датчиков (блокировок) и выдержки времени



д

Рис. 23, лист 4

## 5. Микропроцессорное программное цикловое устройство

Микропроцессорное программное цикловое устройство МПЦУ (МКП-1) предназначено для управления автоматическими линиями при автоматизации технологического процесса в условиях серийного и мелко-

серийного производства, когда требуется развитое программно-логическое управление, оперативная смена управляющих программ и когда использование стандартных средств ЭВМ экономически нецелесообразно.

**Типы управления:** цикловой, по временному, путевому или совмещенному принципам, программно-логический.

**Изготавливается в двух исполнениях:**

- 1) МПЦУ-1-48 (возможности  $\frac{2 \text{ кБ}}{1024 \text{ команд}}$ , 48 выходов и 48 входов);
- 2) МПЦУ-1-32 (возможности  $\frac{1 \text{ кБ}}{512 \text{ команд}}$ , 32 выхода и 32 входа).

### **5.1. Функции МКП -1**

- 1) управление выходами на исполнительное устройство;
- 2) приём информации от датчиков состояния оборудования;
- 3) формирование выдержек времени;
- 4) управление счетчиками;
- 5) обращение к подпрограммам;
- 6) организация условного и безусловного переходов по программе;
- 7) связь с управляющим вычислительным комплексом высшего ранга;
- 8) редактирование программ.

### **5.2. Режимы работы**

- 1) под управлением программы (автоматическое управление);
- 2) под управлением команд, поданных с пульта управления (ПУ);
- 3) пошаговое выполнение программы;
- 4) запись команд в память рабочей программы;
- 5) просмотр программы (вывод на табло индикации).

Ввод и отладка программы, управление режимами работы осуществляется с клавиатуры пульта управления. Число клавиш 17. Отображение информации на однострочном дисплее. Система счисления при вводе информации с ПУ и выводе её на дисплей осуществляется в шестнадцатеричном коде (HEX). Это устройство построено на базе микропроцессора *KP580*. Входные и выходные сигналы  $U = 20 \div 30 \text{ В}$ .

### 5.3. Схема подключения нагрузок к адресу $00-0A \downarrow$ (рис. 24, 25, 26).

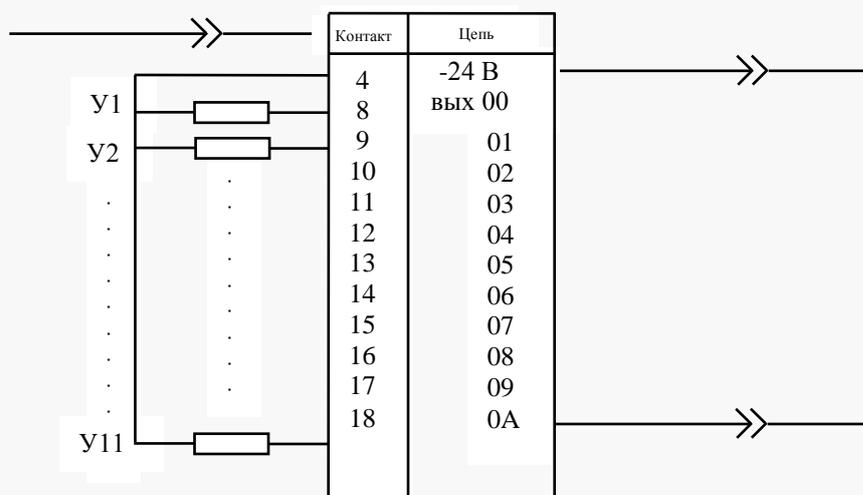


Рис. 24. Схема подключения нагрузок

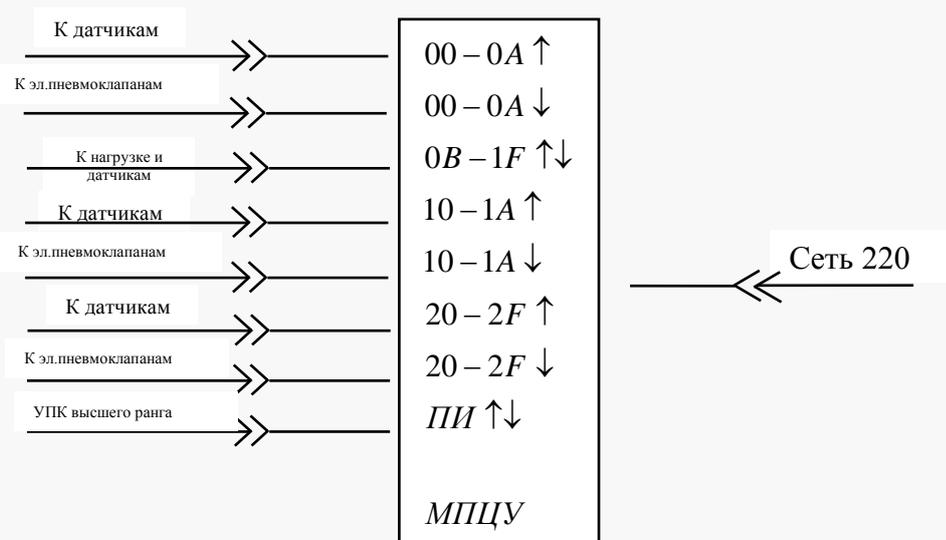


Рис. 25. Схема расположения разъемов

### Схема подключения нагрузок по адресу $10-1A \downarrow$

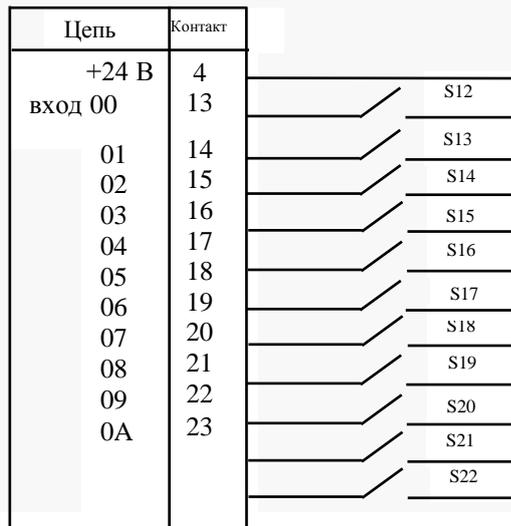


Рис. 26. Схема подключения датчиков

Выходы: 10,11,12,13,14,15,16,17,18,19,1A.

Нагрузки:  $У12, У13, \dots, У22$ .

#### 5.4. Схема подключения датчиков по адресу 00 – 0A ↑

Схема подключения датчиков по адресу 10 – 1A ↑ :

Вход: 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 1A.

Датчик: S01, S02, ..., S11.

Схема подключения датчиков и нагрузок к разъему 0B–1F ↓↑ (рис. 27).

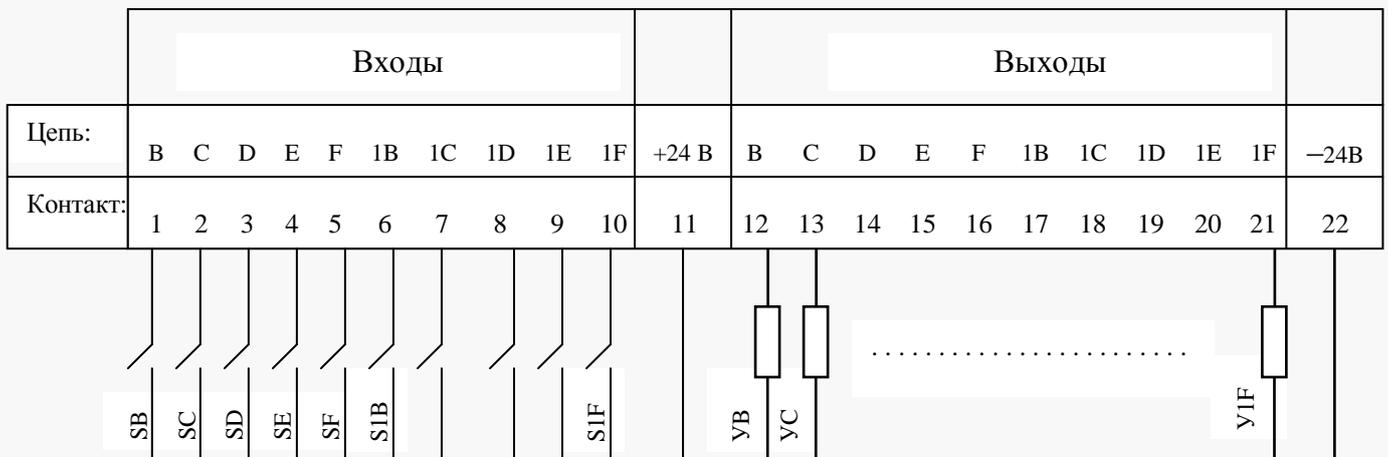


Рис. 27. Схема подключения датчиков и нагрузок к разъему 0B–1F ↓↑

При использовании разъемов 20 – 20F требуется отдельный источник питания. Для других разъемов источник питания встроен в МПЦУ.

### 5.5. Система команд устройства МПЦУ (табл. 3).

Система команд устройства МПЦУ. Табл. 3

Обозначение команды	Формат		Краткое содержание
	Код операции №3 №2	Операнд №1 №0	
1	2	3	4
			<b>Команды ввода-вывода</b>
<i>ОЖ 0</i>	01	Адрес входа	Ожидание отсутствия входного сигнала. Переход к выполнению следующей команды происходит только при отсутствии сигнала на входе с заданным адресом.
<i>ОЖ 1</i>	02	Адрес входа	Ожидание наличия входного сигнала.
<i>ПР 0</i>	03	Адрес входа	Проверка входа на отсутствие сигнала. При отсутствии сигнала на входе с заданным адресом бит условия сохраняет предыдущее значение или обнуляется.
<i>ПР 1</i>	04	Адрес входа	Проверка входа на наличие сигнала.
<i>ВКЛ</i>	05	Адрес выхода	Включить выход с заданным адресом.
<i>ВЫКЛ</i>	06	Адрес выхода	Выключить выход с заданным адресом.
<i>T</i>	07	<i>T</i>	Задержка времени. Задержка выполнения программы на время $T \times 0,1 \text{ с}$ .
<i>БУ</i>	12	Адрес выхода	Вывод бита условия прямой. Выход с заданным адресом устанавливается в соответствии с содержанием бита условия.

Продолжение табл. 3

1	2	3	4
$\overline{БУ}$	13	Адрес вы- хода	Вывод бита условия инверсный. Выход с заданным адресом устанавливается в соответствии со значением противоположным битом условия.
$УСТ.БУ$ $ВХ$	1E	Адрес вхо- да	Бит условия принимает прямое значение на входе с заданным адресом.
$УСТ.БУ$ $\overline{ВХ}$	1F	Адрес вхо- да	Бит условия принимает инверсное значение сигнала на входе с заданным адресом
			<b>Команды управления программой</b>
<i>НОП</i>	00	00	Нет операций. Переход к выполнению следующей команды программы.
<i>СТОП</i>	08	00	Останов программы.
<i>БУП</i>	09	Адрес ко- манды	Безусловный переход к выполнению команды, содержащейся по указанному адресу.
<i>УП</i>	0A	Адрес ко- манды	Условный переход к выполнению команды, содержащейся по указанному адресу, если в бите условия "1". Иначе происходит выполнение следующей команды программы.
<i>УПО</i>	0B	Адрес ко- манды	Переход к выполнению команды, содержащейся по указанному адресу, если в бите условия "0". Иначе переход к следующей команде программы.
<i>ПП</i>	10	Адрес ко- манды	Переход к подпрограмме. Переход к выполнению команды, содержащейся по указанному адресу с запоминанием адреса возврата.
<i>Возврат</i>	11	00	Возврат из подпрограммы.

1	2	3	4
			<b>Команды управления счетчиками</b>
<i>ССЧ</i>	0D	0, номер счетчика (0...F)	Сброс счетчика, обнуление счетчика с заданным номером.
<i>+ССЧ</i>	0E	0, номер счетчика (0...F)	Содержимое счетчика с заданным номером увеличивается на единицу.
<i>=СЧ</i>	0E	Уставка, номер счетчика	Сравнение счетчика. Если содержимое счетчика с заданным номером равно уставке, то бит условия сохраняет свое предыдущее значение. В противном случае бит условия обнуляется.
			<b>Команды контроля и редактирования</b>
<i>РЕД</i>	14	Адрес команды	Команды управляющей программы, начиная с указанного адреса и до первого адреса, содержащего команду <i>НОП</i> сдвигаются в сторону увеличения весов на один шаг. По указанному адресу записывается код 0000.
<i>КСП</i>	15	Номер страницы (количество плат)	Вычисление контрольной суммы кодов команд, содержащихся в странице памяти с указанным номером.

## 6. Кодирование управляющих программ в коде ISO

Несмотря на большое количество видов обработки, и типов станков, для сообщения необходимой информации достаточно относительно ограниченная совокупность команд, кодируемых определенными символами или числами.

ISO-7 bit (ГОСТ 13052-74). Каждый символ (буквенный, цифровой, или графический) имеет неповторимое выражение в 7-разрядном коде. 8-й разряд предназначен для контроля по паритету. В каждой строке перфоленты (ПФЛ, ширина 25,4 мм) число отверстий должно быть четным.

Подпрограммы кодируются определенными символами (типовые, для группового применения).

Важно, чтобы станки, изготавливаемые в разных странах, имели одинаковое обозначение перемещений и их символику: например, X, Y, Z, W.

Международный стандарт ISO-R 841 и отечественный отраслевой стандарт устанавливают число и единое представление осей координатных систем станков. В процессе сверления, растачивания, обтачивания, перемещение инструмента (или заготовки) осуществляется в отрицательных направлениях.

### **6.1. Структура кода ISO – цифры от 0 до 9 и латинские буквы.**

*A* – угол поворота вокруг оси *X* ;

*B* – угол поворота вокруг оси *Y* ;

*C* – угол поворота вокруг оси *Z*

*C* – угол поворота вокруг оси *Z* ;

*D* – параметр инструмента;

*E* – параметр подачи;

*G* – подготовительная функция (разгон, торможение, нарезание резьбы);

*I* – ось *X* ;

*J* – ось *Y* ;

*K* – ось *Z* ;

*M* – вспомогательная функция;

*N* – номер кадра;

*P* – ось *X* (дополнительное движение);

*Q* – ось *Y* (дополнительное движение);  
*R* – ось *Z* (дополнительное движение);  
*S* – частота вращения шпинделя;  
*T* – параметр (номер) инструмента (первый);  
*X*, *Y*, *Z* – первичные перемещения по оси *X*, *Y*, *Z*;  
“+” и “-” – знаки направлений перемещения;  
% – начало программы;  
*PC* }  
*LF* }    Конец кадра

## 6.2. Режимы работы устройств ЧПУ, задаваемые адресом *G*

*G00* – позиционирование, перемещение на быстром ходу в заданную точку; ранее заданная рабочая подача не отменяется; перемещения по осям могут быть нескоординированы;  
*G01* – линейная интерполяция, перемещение с запрограммированной подачей по прямой к точке;  
*G02* – круговая интерполяция по часовой стрелке;  
*G03* – круговая интерполяция против часовой стрелки;  
*G04* – пауза. Выдержка в отработке на определенное время, установленное на пульте или заданное в кадре;  
*G08* – разгон, плавное увеличение скорости подачи до запрограммированного ее значения в начале движения;  
*G09* – торможение;  
*G40* – отмена коррекции инструмента, заданной одной из функций *G41-G52*;  
*G41* – коррекция на диаметр и радиус инструмента;  
*G51* – коррекция на длину инструмента;  
*G97* – единица измерения главного движения [об/мин].

### **6.3. Некоторые функции, задаваемые адресом *M***

*M00* – программируемый останов;

*M02* – конец программы;

*M03* – вращение шпинделя по часовой стрелке;

*M05* – останов шпинделя;

*M08* – включение охлаждения;

*M10* – зажим;

*M19* – останов шпинделя в заданной позиции;

*M31* – обход блокировки.

Информационные слова в пределах одной фразы идут в последовательности:

*N, G, X, Y, Z, I, J, K, A, B, C, F, S, T, M, LF* (*X* + 006200).



## 7. Приводы станков с ЧПУ и промышленных роботов

### 7.1. Шаговый электропривод

**Шаговый привод** – это привод, являющийся простейшим вариантом исполнительного позиционного привода подачи. Его достоинства заключаются в следующем:

- 1) естественный характер связи с устройством задания программы в унитарном коде;
- 2) простота конструкции;
- 3) отсутствие каналов обратной связи и средств измерения положения и скорости исполнительного органа.

**Недостатки:**

- 1) ограничение по скорости;
- 2) необходимость плавного разгона при выходе на режим ускоренных перемещений и плавного торможения;
- 3) невозможность восполнить потерю информации в случае сбоя.

Структурная схема шагового привода представлена на рис. 28.

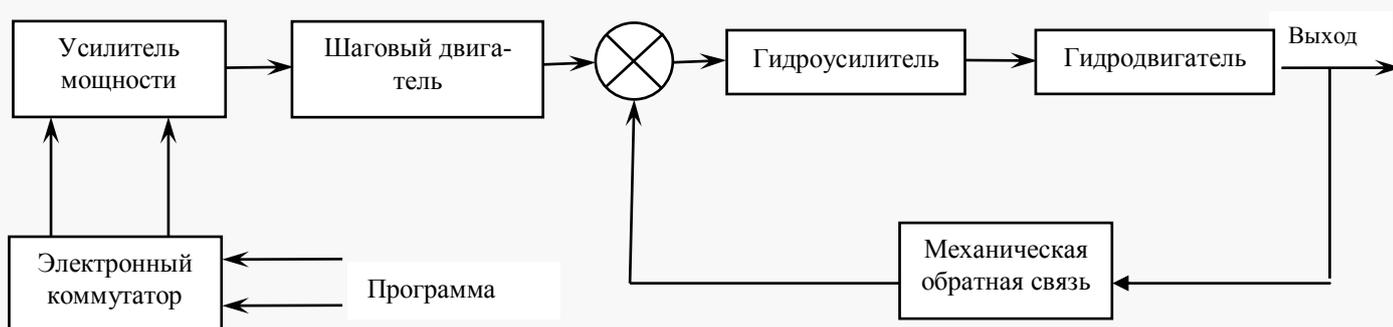


Рис. 28. Структурная схема шагового привода

Применяют силовые шаговые приводы, когда в состав привода входит система усиления крутящего момента (гидроусилители), и не силовые, ко-

гда выходной вал шагового двигателя непосредственно связан с винтом или редуктором.

Импульсы программы в унитарном коде поступают на ввод электронного коммутатора по одному из двух каналов, в зависимости от заданного направления. Электронный коммутатор представляет собой кольцевой сдвиговый регистр, изменяющий своё состояние под действием каждого очередного входного импульса. Смена состояний коммутатора приводит к переключению фаз электрического шагового двигателя и повороту его ротора на угловой шаг.

Шаговый двигатель является механическим задатчиком своеобразной гидравлической копировальной системы, выполняющей функции усиления крутящего момента. В режиме отработки единичных шагов шаговый двигатель задает рассогласование гидравлическому усилителю, соответствующее размеру одного углового шага.

Гидродвигатель приводится во вращение и его выходной вал поворачивается на тот же размер углового шага до тех пор, пока рассогласование не исчезнет за счет обратной связи. В установившемся режиме раскрытие щелей гидравлического усилителя будет удерживаться на уровне, соответствующем частоте вращения и внешней нагрузке гидродвигателя. Значение рассогласования определяет динамическую ошибку привода и может составлять несколько десятков шагов. Эта погрешность является одним из серьезных недостатков шагового привода, поэтому дискретность этого привода обычно не превышает 0,01 мм (0,001 мм – у следящего привода).

## **7.2. Регулируемый электропривод**

Этот привод применяют в механизмах главного движения станков и выполняют по схеме: тиристорный преобразователь – двигатель (рис. 29).

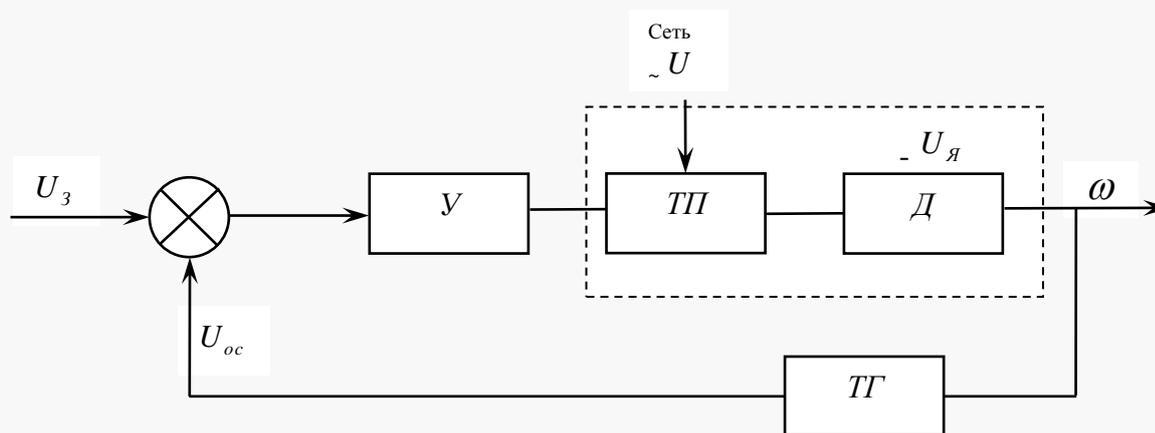


Рис. 29. Структурная схема регулируемого привода

У – усилитель; ТП – тиристорный преобразователь; Д – датчик;  
ТГ – тахогенератор

При работе регулируется напряжение в цепи якоря электродвигателя с фазным ротором, что обеспечивает постоянный максимально допустимый момент на всем диапазоне регулирования. Особенностью этих приводов является широкий диапазон регулирования частоты вращения (от  $D = 1:1000$  до  $D = 1:50000$ ). Это позволяет осуществлять не только рабочие движения, связанные с технологическим процессом обработки, но также и быстрые установочные перемещения без применения промежуточных механических передач.

### **Требования, предъявляемые к приводу**

- 1) минимальная частота вращения 1 об/мин;
- 2) равномерное перемещение при малых скоростях;
- 3) высокое быстродействие при переходе с одной частоты на другую.

Силовая часть состоит из двигателя  $Д$  и тиристорного преобразователя  $ТП$ , который преобразует переменное напряжение сети в регулируемое постоянное напряжение на якоре двигателя. Для увеличения диапазона регулирования привод охватывается жесткой отрицательной обратной связью  $U_{oc}$  по частоте вращения  $\omega$ . Для этого на валу двигателя  $Д$  устанавли-

ливается тахогенератор  $ТГ$ , напряжение которого  $U_{oc}$  пропорционально выходной частоте вращения  $\omega$ . Это напряжение сравнивается с задающим напряжением  $U_3$ .

$U_3 - U_{oc}$  усиливается усилителем  $У$  и подается на тиристорный преобразователь  $ТП$ .

### 7.3. Следящий привод подачи

Для повышения точности оборудования в основном применяют следящий электропривод. Следящим приводом называется электропривод, в котором угол поворота вала электродвигателя изменяется по заданному закону (рис. 30).

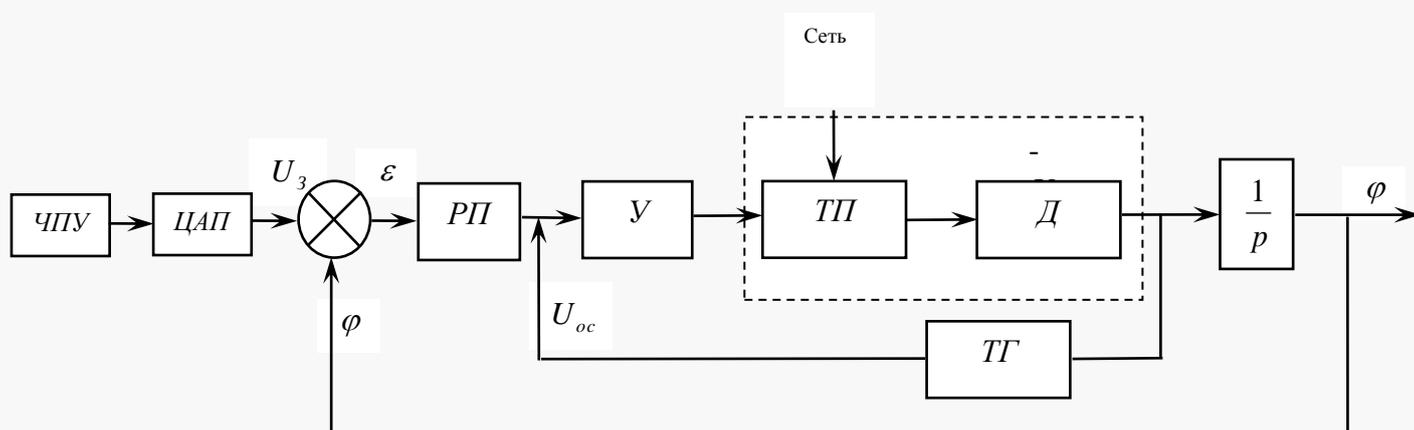


Рис. 30. Структурная схема следящего привода подачи

РП – регулируемый привод; У – усилитель; ТП – тиристорный преобразователь; Д – датчик; ТГ – тахогенератор; ЦАП – цифроаналоговый преобразователь;  $\frac{1}{p}$  – передаточная функция измерительного преобразователя перемещений

Следящие электроприводы применяются в механизмах подач станков с ЧПУ и ПР. Электродвигатель под действием системы управления передает движение редуктору и объекту таким образом, чтобы изменение угла поворота во времени валов (или линейное перемещение объекта) было

пропорционально изменению сигнала задания по перемещению, вырабатываемого в УЧПУ.

Ошибки следящего ЭПР, а, следовательно, и его динамические свойства, обусловлены возможностями УЧПУ, параметрами приводимого в движение механизма, динамическими характеристиками регулируемого привода.

Статические и динамические параметры системы автоматического управления наиболее полно характеризуются амплитудно-частотными – АЧХ-характеристиками разомкнутого привода. По форме АЧХ можно оценить ее поведение при различных видах входного воздействия.

На вход следящего привода (ЧПУ) поступают управляющие импульсы от интерполирующего устройства ЧПУ. Число импульсов определяет величину перемещения, а их частота – необходимую скорость. Импульсный сигнал преобразуется в аналоговый в цифровом аналоговом устройстве (ЦАП) и поступает на элемент сравнения, в котором образуется сигнал рассогласования  $\varepsilon$ , пропорциональный разности заданного и фактического  $\varphi$ .

$$\varepsilon = \varphi_z - \varphi, \quad (7.1)$$

где  $\varphi$  – положение исполнительного вала привода, определяемого с помощью измерительного преобразователя перемещений.

Сигнал рассогласования поступает на предварительный усилитель регулируемого привода РП, который работает в сторону уменьшения рассогласования. Далее схема работает как регулируемый привод.

#### **7.4. Управление динамической настройкой технологической системы**

##### ***Автоматизация управления динамической настройкой технологической системы***

Процесс достижения требуемой точности при изготовлении деталей включает три этапа: установка, статическая и динамическая настройка. Следовательно, размер

$$A_{\Delta} = A_y + A_c + A_d, \quad (7.2)$$

где  $A_y$  – размер установки;  $A_c$  – размер статической настройки, надлежущей размерной цепи технологической системы;  $A_d$  – размер динамической настройки той же размерной цепи (рис. 31).

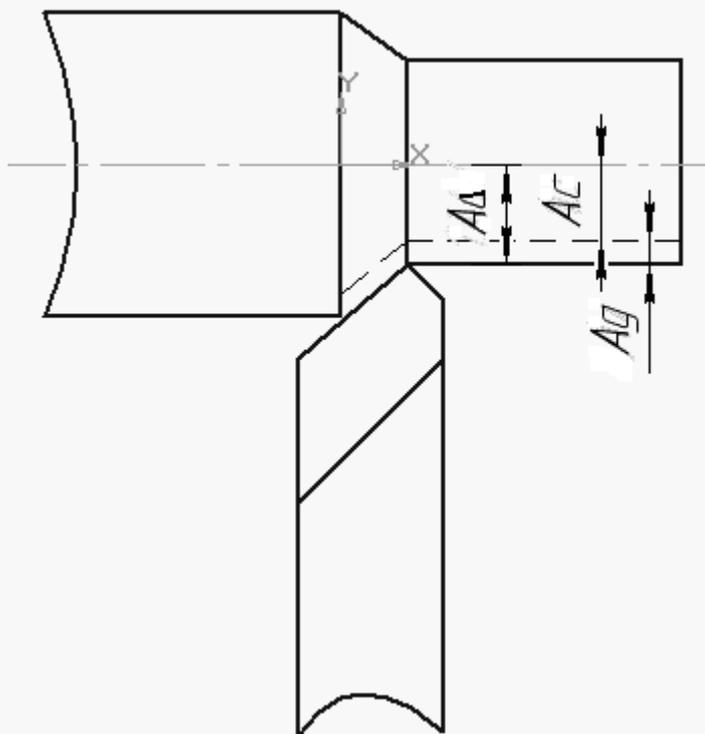


Рис. 31. Схема получения размера  $A_{\Delta}$

При этом размер динамической настройки определяется по натягу в технологической системе, необходимому для снятия требуемого слоя материала с заготовки и упругих перемещений звеньев технологической системы. Если принять во внимание, что изменение размера установки  $A_y$  имеет малое значение по сравнению с погрешностями размера  $A_c$  и  $A_d$ , то размер  $A_y$  можно считать постоянным.

После выполнения настройки технологической системы размер  $A_c$  остается постоянным на все время обработки партии деталей до очередной поднастройки для компенсации размерного износа режущего инструмента.

Следовательно, в процессе обработки партии деталей, между двумя поднастройками технологической системы, изменяется размер  $A_d$  динамической настройки, в результате чего возникает отклонение размера  $A_d$  от требуемого.

Одним из способов обеспечения точности размера  $A_d$  партии деталей при  $A_y = \text{const}$ , является сохранение постоянства размера динамической настройки  $A_d$ . Это может быть достигнуто компенсацией изменения  $\Delta_d$  – размера динамической настройки  $A_d$  – путем внесения в него надлежащих поправок  $\Delta_d$  с обратным знаком, т.е.

$$A_d = A_y + A_c + (A_d + \Delta_d - \Delta_d'), \quad (7.3)$$

где  $\Delta_d' = \Delta_d$ .

Возможность вносить поправки, т.е. управлять упругими перемещениями технологической системы для компенсации отклонений  $\Delta_d$  размера  $A_d$  динамической настройки, может достигаться разными путями.

Управление упругими перемещениями технологической системы заключается в измерении относительного упругого перемещения заготовки и режущего инструмента с последующим изменением значений параметров, функцией которых является упругое перемещение, или изменением относительного положения детали и инструмента для компенсации возникшего упругого перемещения.

В качестве информации об изменении упругого перемещения во время обработки используют отклонения упругих перемещений звеньев технологической системы, силы резания или ее составляющих, крутящего

момента, потребляемой мощности и других физических величин, связанных зависимостями с упругими перемещениями.

Параметрами управления упругими перемещениями могут быть подача, скорости резания, геометрия режущей части инструмента, жесткости технологической системы.

Размер технологической настройки  $A_d$  зависит от силы резания и жесткости технологической системы. Следовательно, при данной жесткости управлять значением  $A_d$  можно, изменяя силу резания  $P$ .

Наиболее часто в качестве параметра управления выбирается подача. Это объясняется большим влиянием подачи на силу резания (при незначительном изменении подачи значительно изменяется сила резания) и простотой технического решения изменения подачи.

Использование подачи в качестве параметра управления силой резания дает возможность вести управление за счет упругих перемещений самих звеньев технологической системы.

Бесступенчатое изменение подачи обеспечивает автоматическое управление силой резания. Всякому отклонению силы резания от заданного значения противопоставляется изменение подачи. В результате на протяжении обработки всей заготовки сила резания, а вместе с ней и упругие перемещения оказываются стабильными, обеспечивая точность размера  $A_d$ . Рассмотрим пример системы автоматического управления (САУ) упругими перемещениями при решении задачи повышения точности обработки деталей на станке путем регулирования величины подачи.

Блок-схема САУ упругими перемещениями посредством изменения величины подачи, приведена на рис. 32.

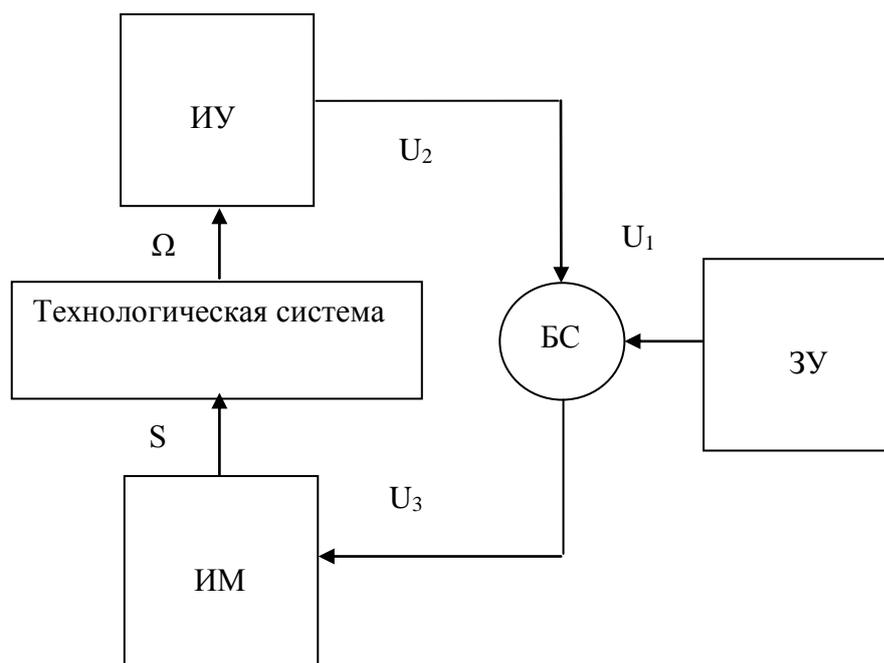


Рис. 32. Блок-схема САУ упругими перемещениями технологической системы

ИУ – измерительное устройство; БС – блок сравнения;  
ЗУ – задающее устройство; ИМ – исполнительный механизм

В задающее устройство (ЗУ) во время настройки технологической системы вводится величина, характеризующая рабочую подачу, устанавливаемую для получения требуемого размера динамической настройки размерной цепи  $A_d$ , упругому перемещению, устанавливаемому при настройке. Измерительное устройство (ИУ) измеряет силу резания или одну из ее составляющих и в виде электрического сигнала  $U_1$  подает в блок сравнения БС, где производится сопоставление измеренного значения с заданным. Если сигналы  $U_1$  и  $U_2$  отличаются, то ИУ выдает сигнал рассогласования  $U_3$ , который подается на исполнительный механизм ИМ, изменяющий величину подачи и тем самым воздействующий через силу резания на отклонение упругого перемещения, возникающего в технологической системе.

**Отклонение  $\Delta_d$  можно компенсировать** также за счет изменения скорости резания, геометрии режущей части инструмента и жесткости технологической системы.

Так, например, при обработке деталей на фрезерных станках при постоянной минутной подаче можно изменять силу резания путем изменения скорости резания. При этом, изменение скорости резания приводит к изменению величины подачи на зуб, что в свою очередь вызывает уменьшение или увеличение силы резания. Лимитирующим фактором при этом способе управления силой резания является размерная стойкость режущего инструмента.

Управлять силой резания (размером динамической настройки  $A_d$ ) можно путем изменения геометрии режущего инструмента. Наиболее рациональным является такой инструмент, у которого в процессе обработки детали можно изменять, например, передний угол, угол резания или главный угол в плане.

Управление размером динамической настройки  $A_d$  может производиться по программе жесткости упругого элемента одного из звеньев размерной цепи, замыкающим звеном которой является расстояние между технологической базой детали и режущими кромками инструмента.

Внесение поправок  $\Delta_d$  в размер динамической настройки производится в соответствии с жесткостью  $\gamma_c$  технологической системы.

$$\frac{1}{\gamma_c} = \frac{1}{\gamma_o} + \frac{1}{\gamma_p}, \quad (7.4)$$

где  $\gamma_p$  и  $\gamma_o$  – жесткости соответственно регулируемого звена и остальных звеньев.

Программное управление жесткостью при обработке деталей на токарном станке (рис. 33) происходит следующим образом. С программного устройства (ПУ) поступает сигнал  $U_1$ , пропорциональный  $\gamma_p$ , которая

обеспечивает требуемые значения  $\gamma_c$  в технологической системе по координате перемещения резца вдоль оси заготовки.

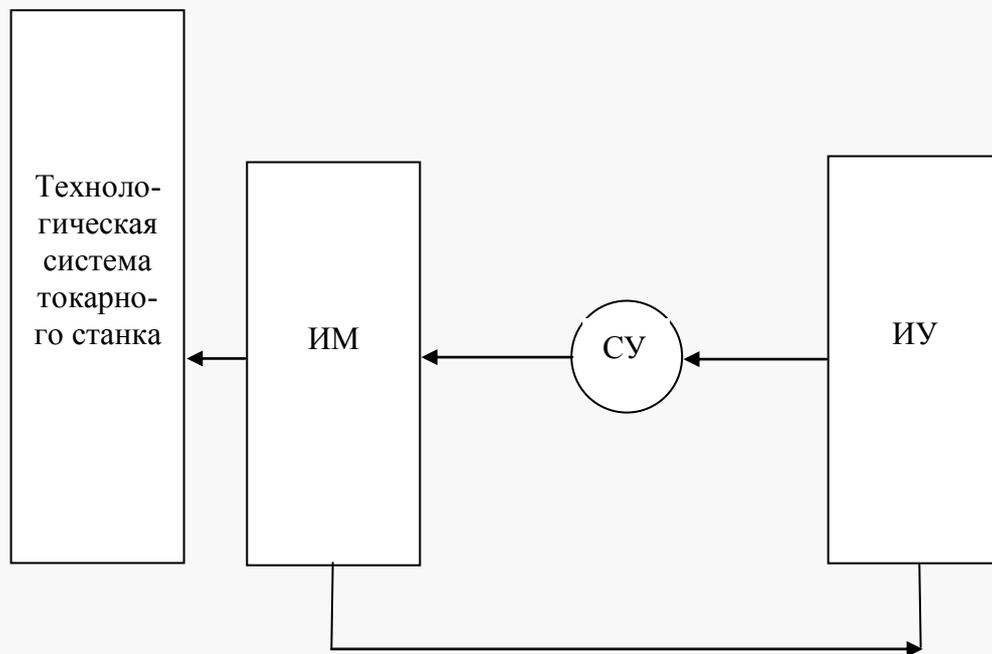


Рис. 33. Блок схема САУ упругими перемещениями путем изменения жесткости технологической системы

Сигнал  $U_1$  через сравнивающее устройство (СУ) поступает на исполнительный механизм ИМ, с помощью которого изменяется  $\gamma_p$  на требуемое значение.

Полученное значение  $\gamma_p$  контролируется датчиком положения, с которого сигнал  $U_2$  по каналу обратной связи поступает на СУ, где сравнивается с заданным  $U_1$ . В случае их несовпадения появляется сигнал рассогласования  $U_3$ , который поступает на ИМ и изменяет  $\gamma_p$  так, чтобы она была равна требуемому значению. Следовательно, обеспечивается постоянство размера динамической настройки  $A_d$  на всем пути перемещения режущего инструмента относительно обрабатываемой детали.

## 7.5. Вибрация и стабилизация системы динамической настройкой

Отклонение размера динамической настройки  $A_d$  может происходить из-за возникающих при резании вибраций, являющихся следствием потери устойчивости замкнутой (через процессы резания, трения, управления) технологической системы.

1. *Для управления процессом резания*, в том числе и с целью повышения виброустойчивости, используют многоконтурные САУ. Каждый контур работает по определенному алгоритму. Например, САУ *фрезерованием* осуществляет стабилизацию подачи на зуб фрезы путем регулирования частоты вращения фрезы в функции минутной подачи. Первый контур с помощью регулятора мощности стабилизирует мощность резания на заданном уровне номинальной мощности, причем регулятор реализует интегральный закон регулирования в квазиустановившихся режимах и специальный релейный в характерных переходных режимах. Вторым контуром гасит возникающие на резонансных частотах станка колебания с амплитудой большей номинальной, путем шагового экстремального регулирования частоты вращения фрезы. Третий контур осуществляет стабилизацию подачи за счет регулирования частоты вращения шпинделя в функции изменения подачи. Работа этого контура начинается только тогда, когда второй контур устранит вибрации.

2. *Устранение вибраций* может быть достигнуто за счет управления относительным положением инструмента и заготовки реализуемого при наложении обратной связи по перемещению, посредством которой измеряются относительные колебания указанных элементов, а также преобразуются эти колебания в электрический сигнал. Последний после усиления и фазового сдвига подается в преобразователь электрического напряжения в перемещение, в качестве которого может быть использован пьезовибратор, оказывающий управляющее воздействие на динамическую систему станка.

Схема системы, приведенной на рис. 34, имеет силовой элемент – пьезовибратор, набранный из поляризованных пьезокерамических дисков (диаметром 30 мм толщиной 2 мм). Одноименные полюса двух соседних дисков обращены друг к другу.

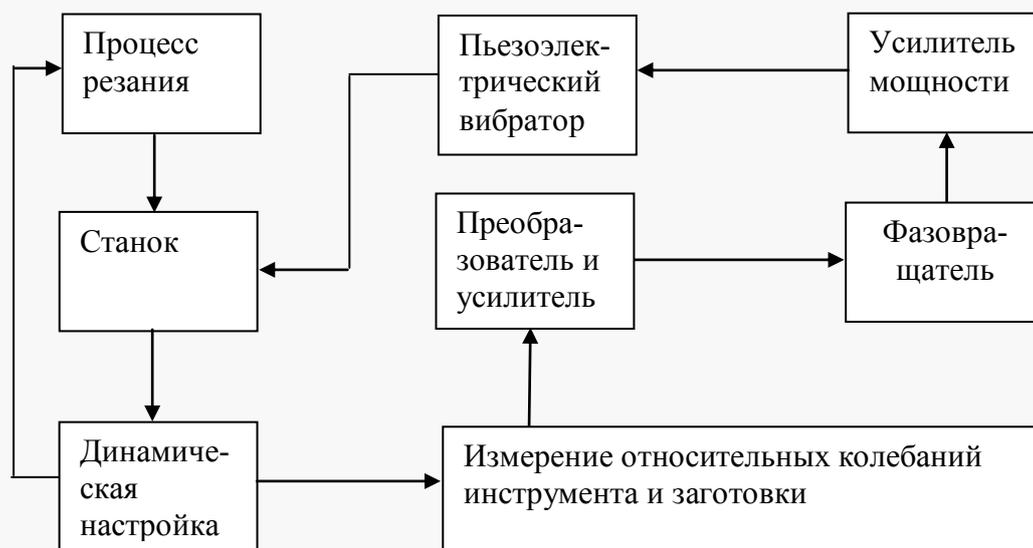


Рис. 34. Устранение вибраций путем управления размером динамической настройки

Между дисками установлены электроды из медной фольги. Подвод управляющего напряжения осуществляется через входные клеммы по двум проводам, соединяющим соответственно отрицательные и положительные электроды. При подаче на вход переменного напряжения столбик дисков совершает механические колебания и работает как вибратор.

**3. Управление** с целью гашения вибраций динамическим состоянием технологической системы может быть также реализовано путем установки в стыки пар сопрягаемых деталей станка активных динамических демпферов на пьезокерамической основе. Последние обеспечивают такое управление предварительно сжатыми стыками, которое делает стол станка практически невосприимчивым к внешним возмущениям.

Рассмотренные способы управления динамической настройкой технологической системы представляют собой адаптивное управление процессом обработки деталей на станках, состоящее в поддержании одного или нескольких параметров процесса, определяющих выходные показатели обработки на заданном уровне, независимо от изменения условий его протекания, например, от колебания припуска и твердости материала, затупления режущего инструмента и др.

Для этого в обычную систему ЧПУ станка вводится дополнительный (адаптивный) блок, который позволяет корректировать программу работы станка таким образом, чтобы исключить или максимально сократить влияние внешних возмущающих воздействий факторов на работу станка и качество обрабатываемой детали.

Адаптивный блок содержит различные вычислительные и преобразующие устройства, позволяющие получать дополнительную информацию о состоянии процесса обработки и о возмущениях, необходимую для оптимального управления процессом обработки.

## **7.6. Диагностика состояния автоматизированного станочного оборудования**

Системы технической диагностики создаются с целью уменьшения простоев из-за поломок оборудования, повышения надежности и безотказности работы сложных автоматизированных технологических систем, работающих в условиях ограниченных возможностей участия обслуживающего персонала.

Такие системы должны решать не только задачи выявления вида и места возникновения отказа в работе оборудования, но также оценивать состояние элементов оборудования и прогнозирования характера их дальнейшей работы. Это позволяет исключить возникновение аварийной ситуации и значительно уменьшить простои дорогостоящего оборудования.

Диагностирование станочного оборудования и его систем осуществляется как путем контроля исполнения задаваемых команд управления, так и путем контроля над состоянием отдельных систем и элементов оборудования. При этом контроль и диагностика в первую очередь охватывают элементы и системы, имеющие относительно меньшие показатели надежности, а также элементы, отказ в функционировании которых может привести к аварийной ситуации. Это относится к приводам подач, элементам путевой автоматики, различным контактными и бесконтактными датчикам, устройствам автоматической ориентации и закрепления заготовок и спутников к режущему инструменту.

Так как системы диагностирования устанавливаются на автоматизированном технологическом оборудовании, то и диагностирование должно осуществляться в автоматическом режиме. Достигается автоматическое определение состояния технологической системы (ее элементов) и автоматическое определение выходных параметров. Средства достижения этого в общем виде представлены на рис. 35.

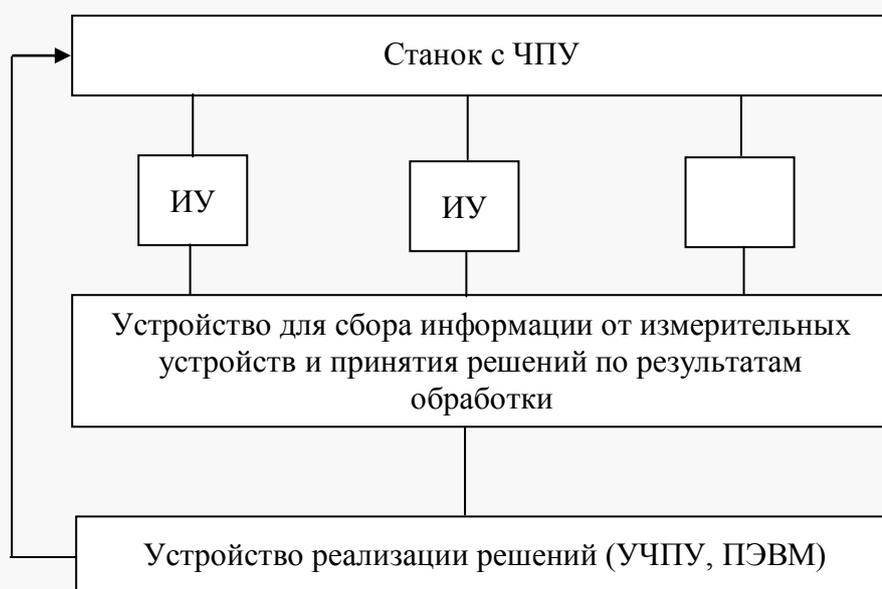


Рис. 35. Структура средств автоматического определения состояния технологической системы

В зависимости от решаемой задачи в состав этих средств входят различные измерительные устройства (ИУ), состоящие из первичных датчиков преобразователей диагностических признаков состояния технологической системы и электронного блока для первичной обработки сигналов от датчиков; устройства сбора и обработки информации от ИУ и принятия решений по результатам обработки (устройство принятия решений – УПР), и, наконец, устройства реализации решений. В качестве последнего, как правило, используется либо устройство ЧПУ (УЧПУ), либо компьютер, входящие в состав современной системы управления станком.

Таким образом, функции обеспечения надежной эксплуатации технологической системы в "безлюдном режиме" возлагают на систему контроля, диагностирования и принятия решений, заменяющую сенсорно моторную деятельность человека-оператора.

В соответствии с приведенной структурной схемой ведутся разработки систем диагностирования. На производстве работают станки с ЧПУ, оснащенные электронными устройствами, постоянно – по программе – следящими за состоянием процесса обработки, инструмента и станка.

В зависимости от вида оборудования и решаемых технологических задач системы диагностики могут быть различными по реализации и включать в себя ряд функциональных подсистем. С помощью таких подсистем обеспечивается:

- 1) контроль и оценка готовности оборудования к выполнению очередного рабочего цикла по обработке заготовки;
- 2) выполнение диагностических операций по завершению отработки управляющей программы;
- 3) контроль работы оборудования в процессе выполнения рабочего цикла;

- 4) диагностирование качества работы системы ЧПУ станка и правильности функционирования ее аппаратурных средств;
- 5) специальные диагностические операции по определению состояния отдельных узлов и оценки их влияния на формирование точности в процессе обработки.

Диагностика готовности оборудования к работе включает проверку наличия заготовки и соответствующего комплекта инструмента, контроле правильности установки заготовки, спутника и инструмента на станке. Контролируется также наличие требуемой управляющей программы, выход рабочих органов в исходное положение, отсутствие ограничений, обусловленных действием различных блокировок. При этом в соответствии с алгоритмом управления имеет место информационная связь между другими подсистемами диагностики.

Например, если в соответствии с информацией, поступающей от системы контроля состояния инструмента, оставшаяся стойкость отдельного инструмента не соответствует длительности его работы при обработке новой заготовки, то дается команда на замену этого инструмента.

При наличии на станке системы автоматической размерной настройки производится также контроль точности положения режущей кромки инструмента и технологических баз детали относительно начала отсчета. Диагностика по окончании выполнения рабочего цикла предусматривает контроль достигнутых параметров точности детали на рабочем месте, контроль правильности перемещения рабочих органов на свои позиции.

По окончании обработки оценивается фактическая продолжительность рабочего цикла и время работы каждого режущего инструмента за цикл. Оперативный контроль работы оборудования в процессе выполнения рабочего цикла предусматривает диагностирование правильности обработки управляющей программы, непрерывный контроль состояния ре-

жущего инструмента и параметров процесса резания, что обеспечивается путем измерения нагрузки, действующей в технологической системе, и уровня возникающих вибраций.

## **8. Основные принципы разработки управляющих программ для СЧПУ**

Технологический процесс обработки на станке с ЧПУ, детализированный до элементарных перемещений и технологических команд, служит исходной информацией для кодирования и записи управляющей программы (УП). Методы и средства кодирования, записи, контроля и редактирования УП во многом зависят от функциональных возможностей УЧПУ и уровня автоматизации процесса подготовки УП. Структуру УП, ее формат и методы кодирования управляющей информации, вводимой с перфолент, определяет ГОСТ 20999–83, соответствующий рекомендациям СЭВ и ИССХ.

### **8.1. Структура и формат управляющей программы**

УП записывается на программноноситель в виде последовательности кадров, представляющих собой законченные по смыслу фразы на языке кодирования *технологической, геометрической и вспомогательной* информации. Отдельные последовательности кадров для обработки участков заготовки объединяются в главы УП, каждая из которых начинается с главного кадра.

*Главный кадр* содержит начальную информацию об условиях обработки, и с него можно начинать или возобновлять работу станка по УП. Остальные кадры главы УП несут только измененную по отношению к предыдущим кадрам часть информации и называются *дополнительными* кадрами.

Кадры состоят из *слов*, расположенных в определенном порядке, а слова – из *символов*. Первый символ слова является *буквой*, обозначающей *адрес*, а остальные символы образуют *число* со знаком или целочисленный код.

Кадр УП содержит слово «*номер кадра*» и одно или несколько *информационных* слов. К информационным относятся слова:

- 1) «подготовительная функция»;
- 2) «размерное перемещение»;
- 3) «функция подачи»;
- 4) «скорость главного движения»;
- 5) «функция инструмента»;
- б) и «вспомогательная функция».

В кадре эти слова имеют ту же последовательность.

### ***Номер кадра***

Слово «номер кадра» служит для обозначения элементарного участка УП и является вспомогательной информацией. Номер кадра задается адресом N и целым десятичным числом. Рациональна последовательная нумерация кадров, однако допускаются любые переходы номеров, и оговаривается только их неповторяемость в пределах одной УП. При нумерации вставляемых в процессе редактирования новых кадров, во избежание изменения ранее установленной последовательности их номеров, практикуется запись новых номеров с использованием более высоких разрядов десятичных чисел. Например, если после кадра N107 необходимо вставить несколько новых кадров, их можно нумеровать N10701, N10702, N10703 и т. д. В главном кадре вместо адреса N предусмотрена запись символа «:», который может быть использован для останова при обратной перемотке перфоленты.

## **8.2. Подготовительные функции**

Слово «*подготовительная функция*» определяет режим работы УЧПУ. Эти слова задаются адресом G и двухзначным десятичным числом. Назначение подготовительных функций указано в табл. 5. Неуказанные коды подготовительных функций предназначены для индивидуального использования по усмотрению разработчиков ЧПУ. Номер группы, расположенный во второй колонке, указывает, что функция G действует до тех пор, пока она не будет заменена или отменена другой функцией из той же группы. Прочерк в этой колонке означает, что функция действует только в том кадре, в котором указана.

Символы адресов, их значения. Таблица 5

Символы адресов	Значения символов адресов
A, B, C, D	угловые перемещения соответственно вокруг осей X, Y, Z
E	угловое перемещение вокруг специальной оси или вторая функция подачи
F	функция подачи
G	подготовительная функция
H	не определен
I, J, K	параметры интерполяции или шаги резьбы соответственно вдоль осей X, Y, Z
L	не определен
M	вспомогательная функция
N	номер кадра
P, Q	третьи функции перемещений, параллельных соответственно осям X, Y, или параметры коррекции инструмента
R	перемещение на быстром ходу
S	скорость главного движения
T	функция инструмента
U, V, W	вторые функции перемещений, параллельных X, Y, Z
X, Y, Z	перемещения по осям X, Y, Z

Угловые перемещения осуществляются соответственно вокруг осей X, Y и Z. Угловое перемещение вокруг специальной оси – третья функция

подачи, или функция коррекции инструмента. Угловое перемещение вокруг специальной оси – или вторая функция подачи. Подготовительная функция – не определена.

Параметры интерполяции или шаги резьбы соответственно вдоль осей X, Y и Z – не определены. При этом указывают вспомогательную функцию, номер кадра.

Третьи функции – перемещений, параллельных соответственно осям X и Z, или параметры коррекции инструмента. Перемещение на быстром ходу по оси Z – третья функция перемещения, параллельного оси Z, или параметр коррекции инструмента.

Скорость главного движения – функция инструмента. Вторые функции перемещений – параллельных соответственно осям X, Y и Z. Перемещения осуществляются соответственно по осям X, Y и Z.

Примечание – Если символы D, E, P, Q, R, U, V, W не используются в УЧПУ в указанных в табл. 5 значениях, они могут быть применены в качестве других специальных значений.

### **8.3. Общие принципы построения программ**

Под ЧПУ оборудования понимают управление при помощи программ, заданных в алфавитно-числовом коде.

При обработке на станках с ЧПУ инструмент перемещается по задаваемым в программе траекториям. При этом, например, для токарных станков программируется перемещение вершины резца, а для фрезерных – перемещение оси фрезы. Ось фрезы перемещается по эквидистанте, т. е. по линии или поверхности, находящейся от обрабатываемой поверхности на расстоянии, равном радиусу фрезы.

Программируются две подачи. На обрабатываемом контуре выделяются опорные точки, представляющие собой те точки контура, в которых он изменяет свой характер (рис. 36, точки 4, 5, 6, 7).

ЭВМ, встроенная в систему ЧПУ, производит аппроксимацию перемещений рабочих органов оборудования. В частности аппроксимирует окружность ломаной линией (между точками 6 и 7). Поэтому существует погрешность  $\delta$ .

Оборудование с ЧПУ снабжено либо шаговыми двигателями, либо двигателями постоянного тока (тиристорный привод).

Пусть  $N_x$  и  $N_y$  – количество импульсов по осям X и Y соответственно, тогда:

$$N_x = \frac{\Delta X}{\Delta_x}, \text{ а } N_y = \frac{\Delta Y}{\Delta_y}, \quad (8.1)$$

где  $\Delta_x$  и  $\Delta_y$  – цена импульсов (дискреты), лежащая обычно в пределах от 0,005 до 0,010 мм.

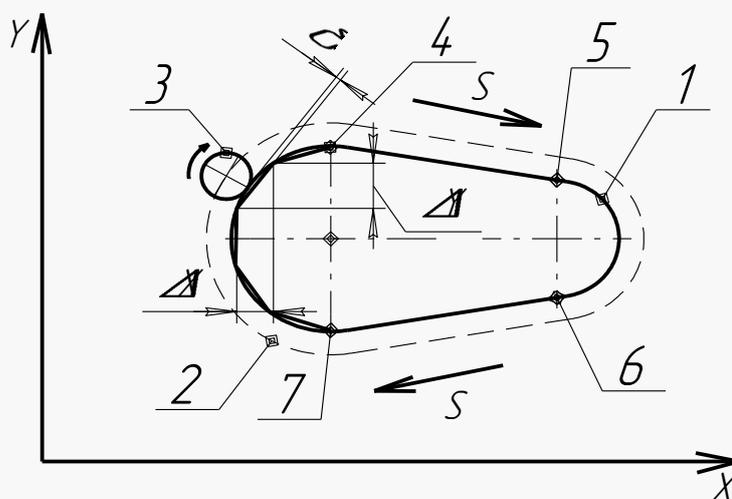


Рис. 36. Обрабатываемый контур детали

1 – требуемый контур детали; 2 – эквидистанта; 3 – фреза

Шаговые двигатели являются низкомоментными и в станках используются редко. Часто используются двигатели постоянного тока, для которых необходимо вычислить скорость перемещения вдоль осей координат:

$$V_x = \frac{\Delta X}{\Delta t}, \quad V_y = \frac{\Delta Y}{\Delta t}, \quad (8.2)$$

где  $\Delta t = \frac{\Delta l}{S} 60$  – время перемещения по прямой в данной точке аппроксимации, с;  $S$  – скорость подачи, мм/мин;  $\Delta l$  – длина участка аппроксимации в данной точке, причем

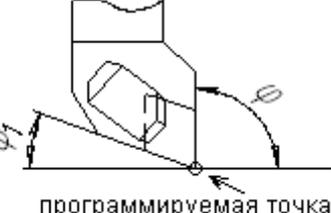
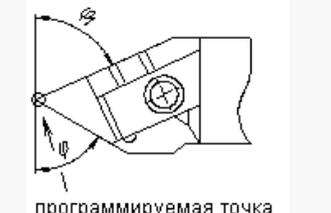
$$\Delta l = \sqrt{\Delta X^2 + \Delta Y^2} . \quad (8.3)$$

#### 8.4. Принципы построения программ для токарных операций

Программы разрабатываются согласно чертежу детали и под оборудование указанное в заказе, но ниже приведенные принципы программирования обработки детали являются общими для токарных станков:

- 1) программируется точка на резце (табл. 6)

Программируемый элемент инструмента. Табл. 6.

Резец	Форма рабочей части
Проходной подрезной левый	 <p>программируемая точка</p>
Контурный правый	 <p>программируемая точка</p>
Контурный правый	 <p>программируемая точка</p>

- 2) программируются перемещения инструмента в системе координат XOZ, если станок не имеет дополнительных осей и приводного инструмента. "Ноль" изделия выбирается на свое усмотрение – в конце

заготовки или вне зоны обработки (ближе к патрону). Начальная точка может быть задана  $+(1\div 2)$  мм (с учетом того, чтоб не задеть задний упор) от начала заготовки или совпадать с начальной точкой, при программировании от касания (рис. 37).

3) глубина резания  $t$  при однократной или черновой (предварительной) обработке принимается по возможности максимальной, равной всему припуску на обработку или большей его части, что сокращает число рабочих ходов. При чистовой и окончательной обработке значение температуры устанавливается в зависимости от требований к точности размеров и шероховатости обрабатываемой поверхности.

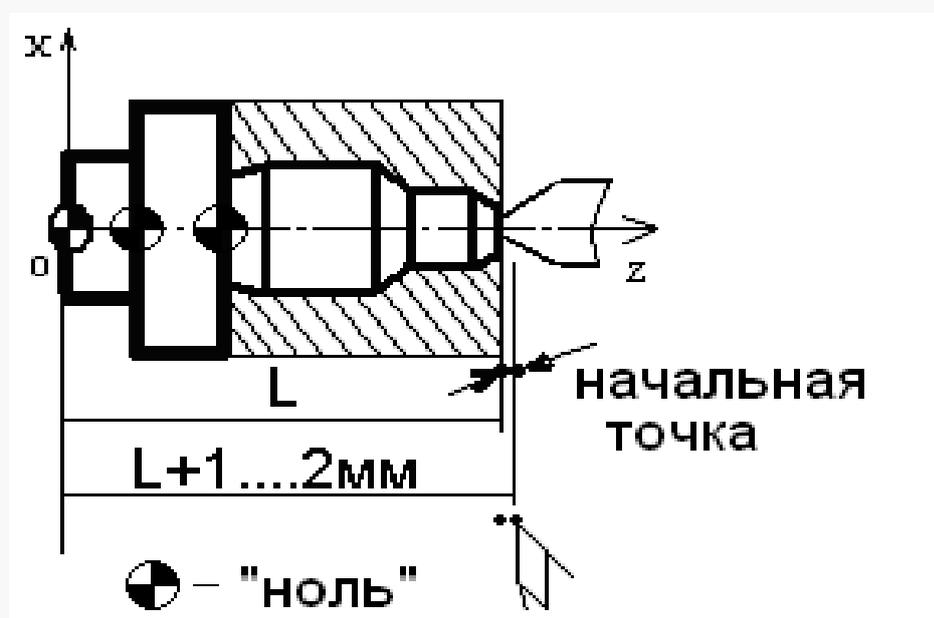


Рис. 37. Система координат токарных станков и выбор начальной точки обработки

На рис. 38 показаны формы деталей в осевом сечении, обусловленные отжатыми заготовками и станка. При консольном закреплении отжатия заготовки уменьшается по мере приближения резца к патрону, что приводит к искажению формы детали в продольном сечении (рис. 38-а). При обработке вала в центрах искажение формы детали определяется соотношением жесткости заготовки и станка. При значительном превышении жестко-

сти станка над жесткостью заготовки форма детали будет иметь вид, представленный на рис. 38-б, а при обратном соотношении жесткостей – вид, представленный на рис. 38-в.

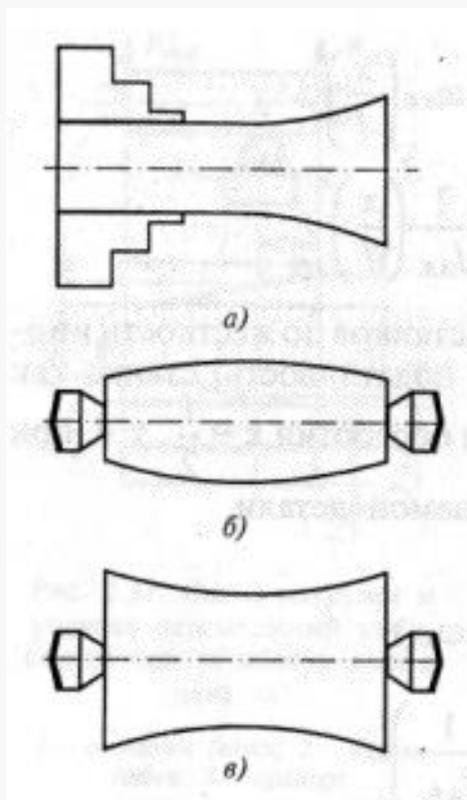


Рис. 38. Возможные формы детали в осевом сечении

Жесткость и деформации звеньев технологической системы может быть рассчитана с использованием формул сопротивления материалов. При этом большое влияние на перемещение в технологической системе оказывают контактные деформации стыков. Рассмотрим пример расчета контактных деформаций стыка салазок суппорта с продольными направляющими станка (рис. 39). При расчете принимаем следующие допущения:

- материал суппорта не деформируется;
- деформации поверхностных слоев пропорциональны контактным напряжениям  $\delta$ :

$$y = k \cdot \delta ; \quad (8.4)$$

- контактные напряжения  $a$ , следовательно, и деформации по длине направляющих распределяются по линейному закону;
- расчет ведем по средним контактным напряжениям.

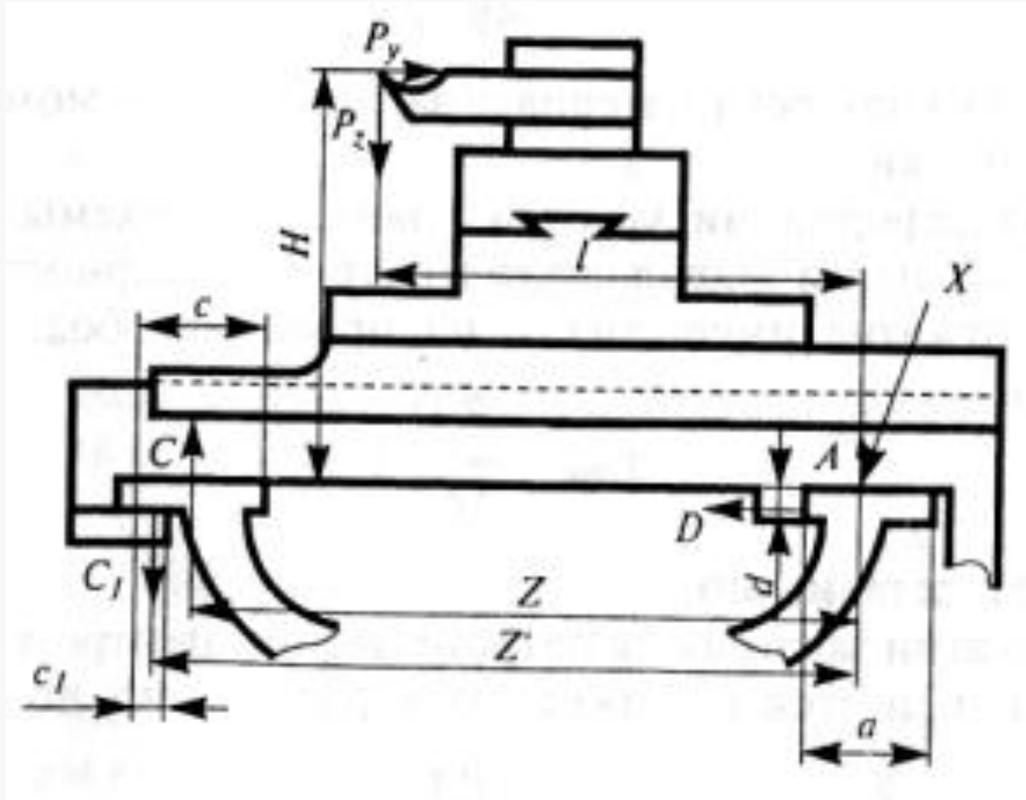


Рис. 39. Схема сил, действующих на суппорт при точении

Деформации станка в значительной степени зависят от деформации стыков. Все деформации с целью оценки их влияния на размер детали необходимо приводить к вершине резца.

Момент внешних сил

$$M_x = P_z \cdot l - P_y \cdot H. \quad (8.5)$$

В зависимости от соотношения величин  $H$  и  $l$  момент  $M_x$  может быть больше или меньше нуля. При  $M_x > 0$ ,  $P_z = l - P_y \cdot H$ . В зависимости от соотношения величин имеют место реакции опор  $A$ ,  $C$ ,  $D$ .

При  $M_x < 0$ , имеют место реакции опор  $A$ ,  $C_1$  и  $D$ .

Сумма проекций всех сил на ось ординат при  $M_x > 0$ :

$$P_z + A - C = 0, \quad (8.6)$$

Сумма проекций всех сил на ось ординат при  $M_x < 0$ :

$$P_z + C_1 - A = 0. \quad (8.7)$$

Уравнение моментов относительно точки «X» опорных реакций равны: при  $M_x > 0$ ,  $M_x = P_z$ ; при  $M_x < 0$ ,  $M_x = C_1 z$ .

Из полученных шести уравнений определяем значения опорных реакций. Зная площади опор суппорта, рассчитаем величины средних контактных напряжений:

$$\sigma_A = \frac{A}{B \cdot A}; \quad \sigma_C = \frac{C}{B \cdot C}; \quad \sigma_{C1} = \frac{C_1}{B \cdot C}; \quad \sigma_D = \frac{D}{B \cdot D} \quad (8.8)$$

После этого рассчитаем деформации вершины резца в нормальном направлении (рис. 40).

При  $M_x > 0$

$$y_{рез} = y_D + (y_A - y_C) \frac{H}{Z}, \quad y_{рез} = \left[ \sigma_D + (\sigma_A - \sigma_C) \frac{H}{Z} \right] k. \quad (8.9)$$

При  $M_x < 0$

$$y_{Mx} = H \sin \alpha, \quad \sin \alpha = \frac{y_A - y_C}{Z}, \quad y_{Mx} = (y_A + y_C) \frac{H}{Z}. \quad (8.10)$$

$$y_{Mx} = H \sin \alpha, \quad \sin \alpha = \frac{y_A + y_{C1}}{Z}. \quad (8.11)$$

## 8.5. Схема обработки детали

Движение инструмента на каждом элементе изделия схематично изображено на рис. 40-47.

**1. Многопроходная обработка диаметра** (см. рис. 40) – корректор на длину (по Z) устанавливается на первом проходе L2x и отменяется на

последнем отводе, корректор на диаметр (по X) – на последнем проходе и отменяется на последнем отводе.

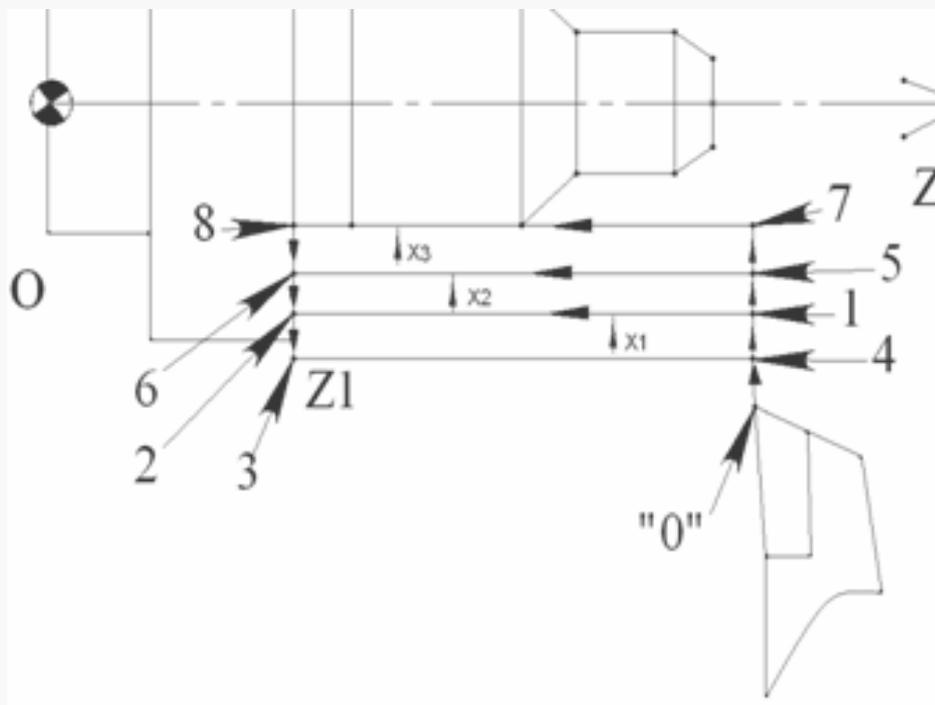


Рис. 40. Многопроходная обработка диаметра

**2. Канавка** (см. рис. 41) – течение канавки программируется перемещением по осям XZ одновременно (движение по точкам 5-6), причем выход по X делать больше диаметра заготовки (торец подрезается начисто). При большой  $t$  канавку следует точить с отходом (точки последовательно 2-3-4-5-6-7) для уменьшения нагрузки на резец.

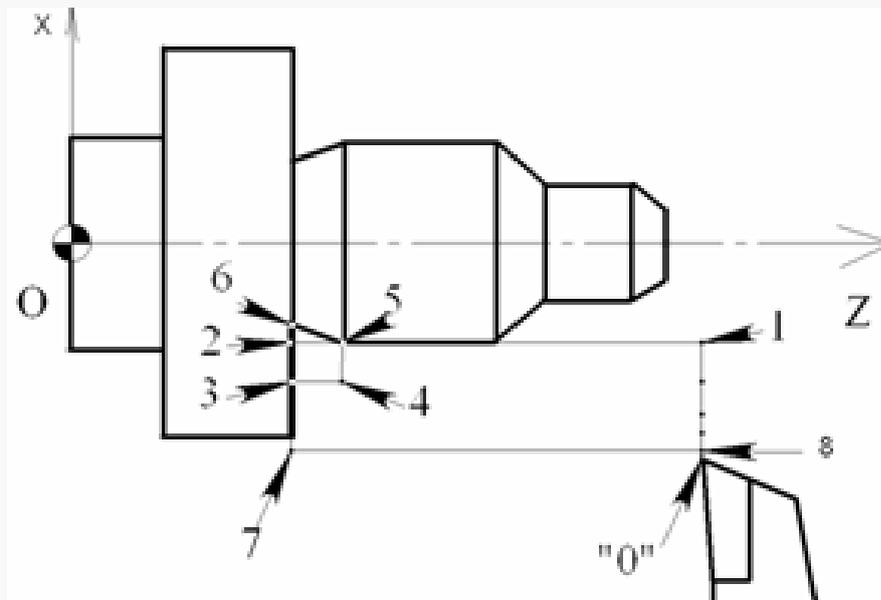


Рис. 41. Канавка

3. **Фаска** (см. рис. 42) – точение программируется перемещением по осям X, Z одновременно; выход следует делать с запасом, чтобы не осталась ступенька.

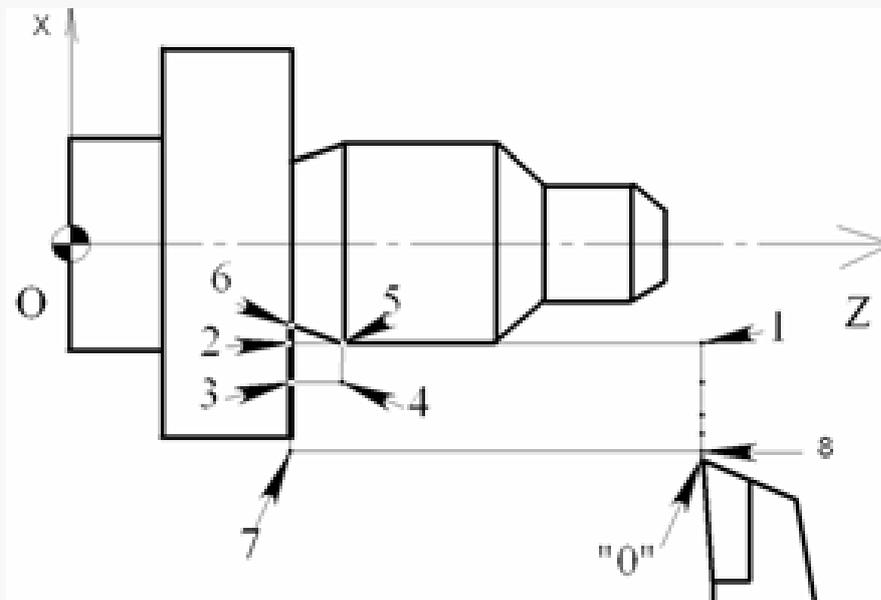


Рис. 42. Фаска

4. **Фаска и переход на следующий диаметр** (см. рис. 43) – после фаски надо отойти по Z, отключить корректор на длину первого диаметра, а при начале точения включить его, при подходе ко второму диаметру по X включить корректор на второй диаметр.

(N10G40X+00200Z-00020L31

N11Z+00020

N12X-00060L12

N13Z-001500L22.....)

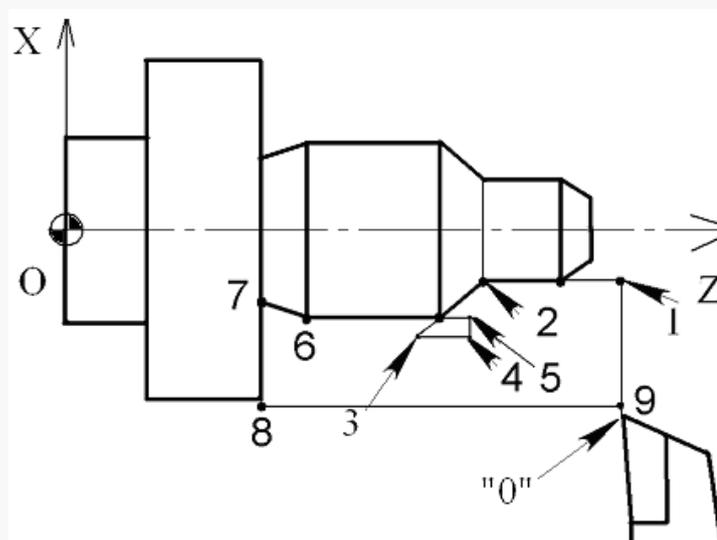


Рис. 43. Фаска и переход на следующий диаметр

**5. Фаска в начале вала** (см. рис. 44) – подход по X и Z, после этого вытачивают фаску (если от "касания" – движения по оси Z не будет), отвод и подвод к обработке диаметра выполняют так, как показано на рис. 45 (точки 2-3-4-5).

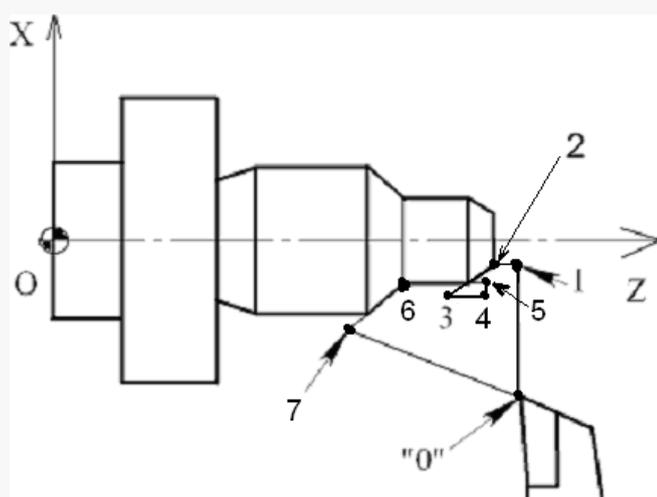


Рис. 44. Фаска в начале вала

**6. Переход с диаметра на диаметр** (см. рис 45) – чтобы получился чертежный размер + допуск, надо выбрать зазор в приводе оси X, т.е. движе-

ние 2-3-4, причем в движении 2-3 отключается корректор и включается на движении 3-4

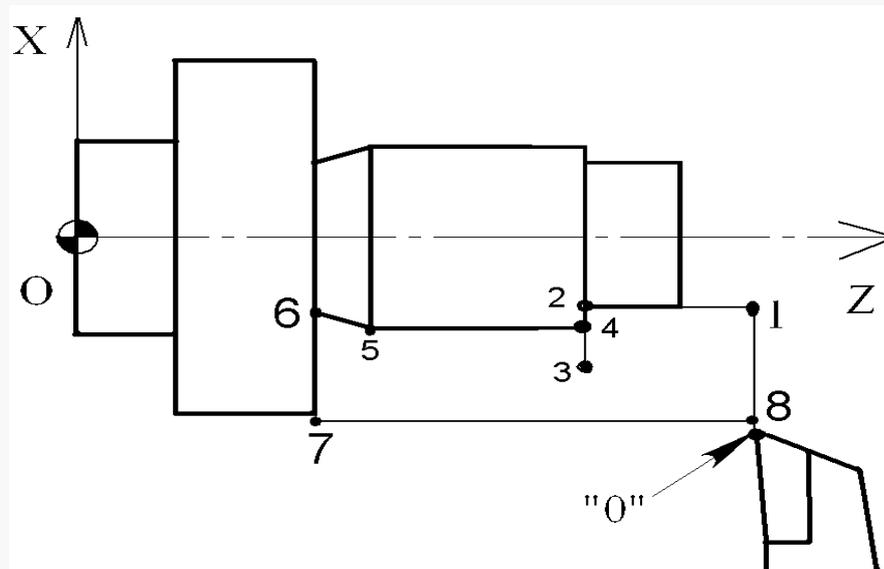


Рис. 45. Переход с диаметра на диаметр

**7. Программирование от касания** – в этом случае не проводят расчеты с выходом за точку 1 или 11 – см. рис. 46 (это неправильно); на рис. 47 – движение по точкам 5-6-7 надо программировать следующим образом: 0-1-2-3-4-7-8-9-10-11-12-0.

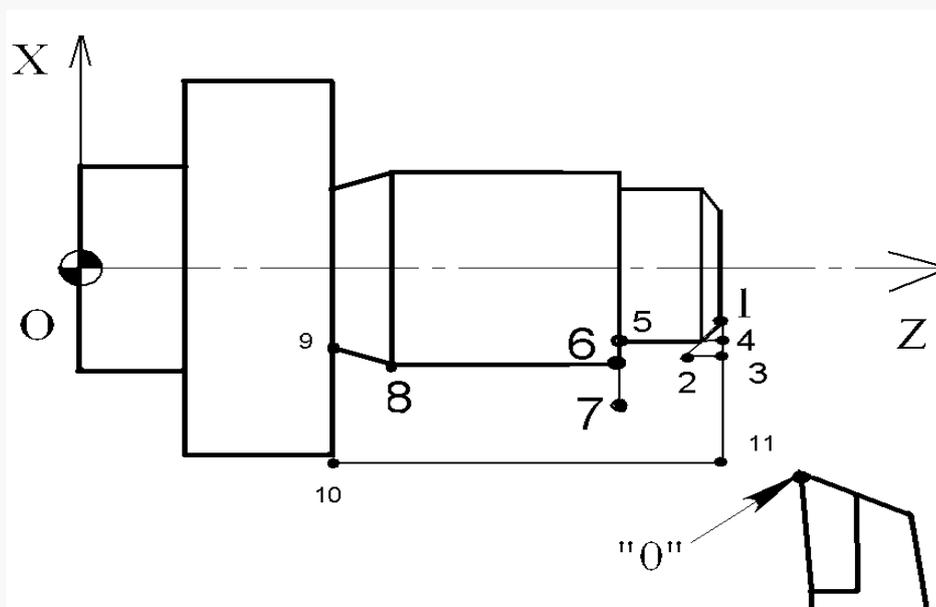


Рис. 46. Программирование от касания

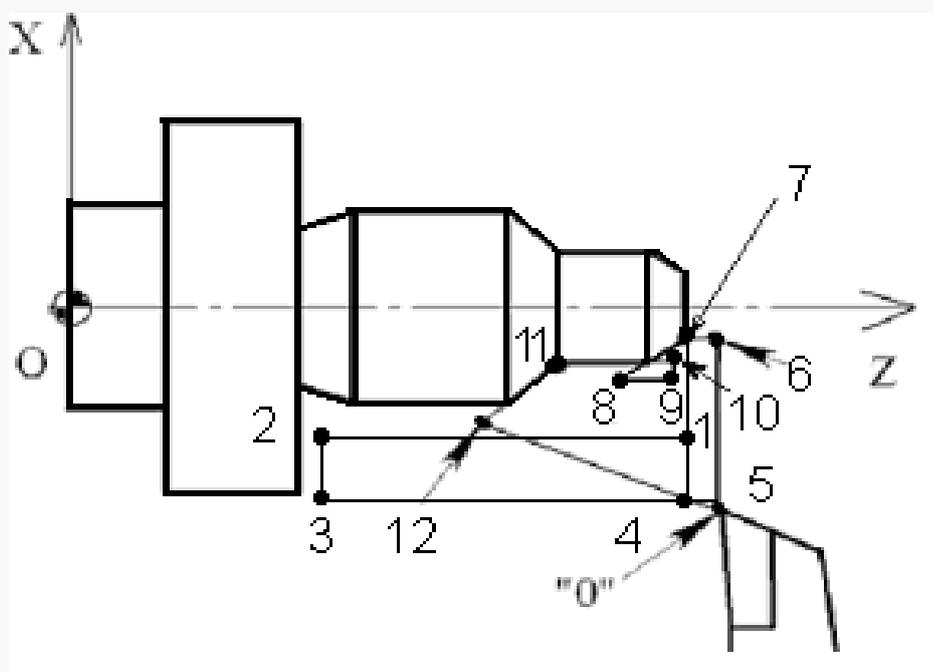


Рис. 47. Программирование от касания

### 8.6. Содержание и структура

Структура управляющей программы (УП), ее формат и методы кодирования управляющей информации вводимой с перфоленты, определяются ГОСТ 20999-83.

Программа состоит из последовательности КАДРОВ (табл. 7). Каждый кадр представляет собой шаг обработки. В каждом кадре записаны команды в форме слов. Первые кадры несут информацию, которая подготавливает станок к выполнению программы. В предпоследних кадрах станок выводится в начальную точку, и шпиндель переводится в нейтральное положение или выключается – M5 (M05). Последний кадр в последовательности выполнения содержит специальное слово для завершения программ: M2 (M02) или M30.

Структура программы. Табл. 7.

Кадр	Слово	Слово	Слово	.....	; комментарий
кадр	N1	G00	X0	.....	; I кадр

кадр	N2	G1	X12		;II кадр
кадр	N3	G2	X0.5		;.....
кадр	.....				;.....
кадр	N <sub>nn</sub>	M2			; завершение

## 8.7. Строение кадра и программы

Кадр должен содержать все данные для выполнения одной операции. Обычно кадр состоит из нескольких слов и всегда заканчивается символом конца кадра  $L_F$  (перевод строки). Он автоматически создается при переводе строки клавишей «ВВОД».

**Обычная последовательность слов:**

N...G...X...Y...Z...F...S...T...D...M...

**Строение программы для УЧПУ H22-1M (станок 1K62)**

- программа должна начинаться со знака «%»;
- номер кадра записывается Nxxx с шагом 1;
- заголовок программы должен начинаться: %  
N000G26M020 (движение в приращениях)  
N001M008 (включение СОЖ)  
N002G01M004 (включение линейной интерполяции и шпинделя);
- перемещение программируется  $X-/ +xxxxx$ ,  $Z-/ +xxxxx$ , обязательно ставится знак "-" или "+" (если его нет, то СЧПУ отреагирует "ошибка");
- перемещение по X равное 1 мм запишется: 1 мм \* 200 импульсов =  $X+00200$  (в этом примере и ниже знак выбран случайным образом);
- по Z на то же расстояние 1 мм \* 20 =  $Z+00020$ ;

- при расчете перемещений старайтесь не получать дробное количество импульсов: перемещение по X –  $1,251 * 200 = 250,2$ . ЧПУ отработает только 250 импульсов, а погрешность будет возрастать;
- подача программируется как F10xxx (xxx [мм/об] \* 1000), в основном это 050 – рабочая, и 150-200 – холостого хода; на небольшие хода, переходы – величину подачи рекомендуется снижать;
- корректоры устанавливаются после F (подачи), корректоры не ставят произвольно, для исключения погрешности формы детали – записывается: N018X-00640F10050L11,  
отключается: N011G40X+00400Z-00040L31 (по двум осям), или N011G40X+00400L11 (по одной оси).

Для Xxx L1x (x – номер корректора выбирается по порядку от начала вала, для X – это диаметр, для Z – это длина ступени вала), для Zxx L2x одновременно отключить L3x (x – номер корректора, соответствующий номеру ступени вала, отсчет от начала вала) (рис. 48).

Включая и отключая корректоры, следует помнить: при включении – значение корректора прибавляется со своим знаком к запрограммированной величине, а при отключении – вычитается.

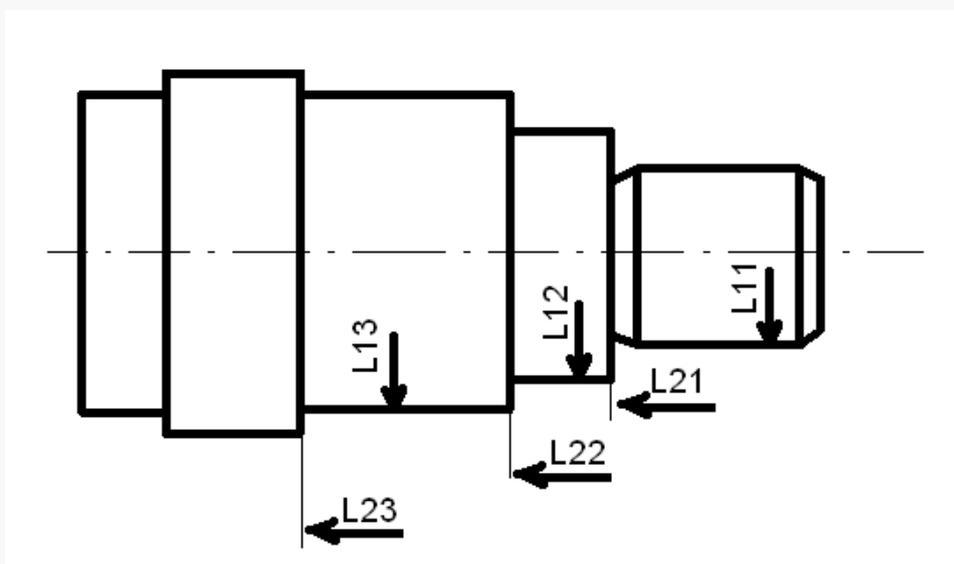


Рис. 48. Выбор номера корректора

Заканчивается программа кадром Nxxx и M002 и обязательно переводом строки (т.е. плюс одна пустая строка, можно две).

### 8.8. Пример управляющей программы

На рис. 49 представлен эскиз детали.

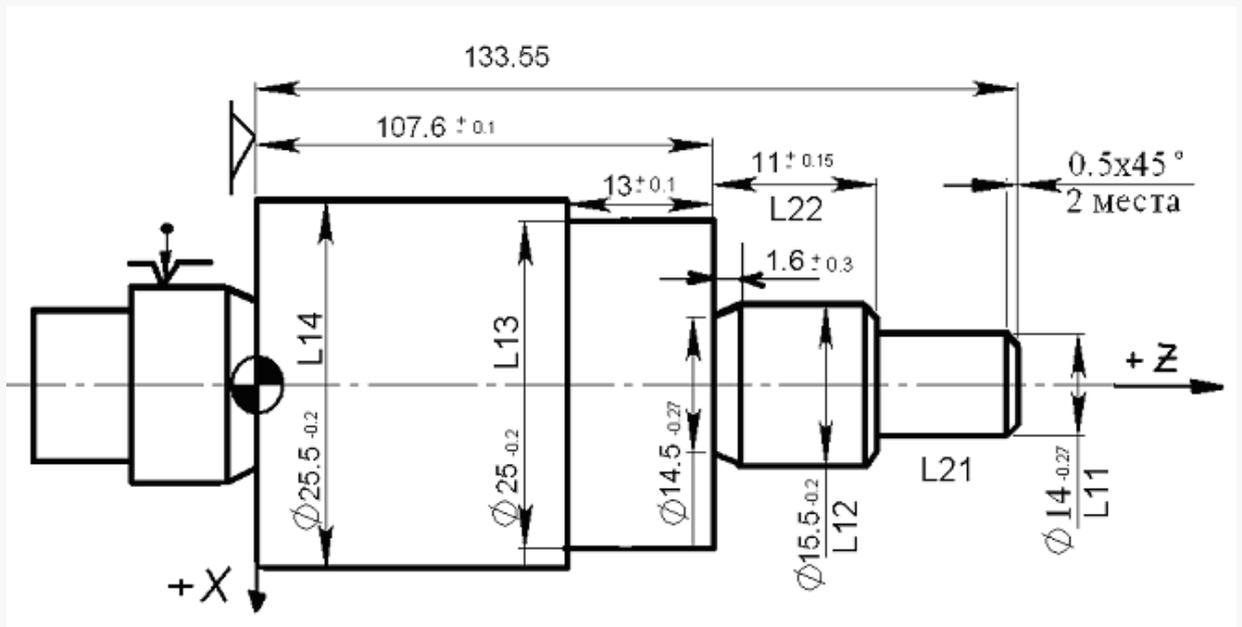


Рис. 49. Эскиз детали

По эскизу детали делаем схему движения инструмента с учетом количества проходов и переходов (рис. 50), расчет перемещений представлен в табл. 8.

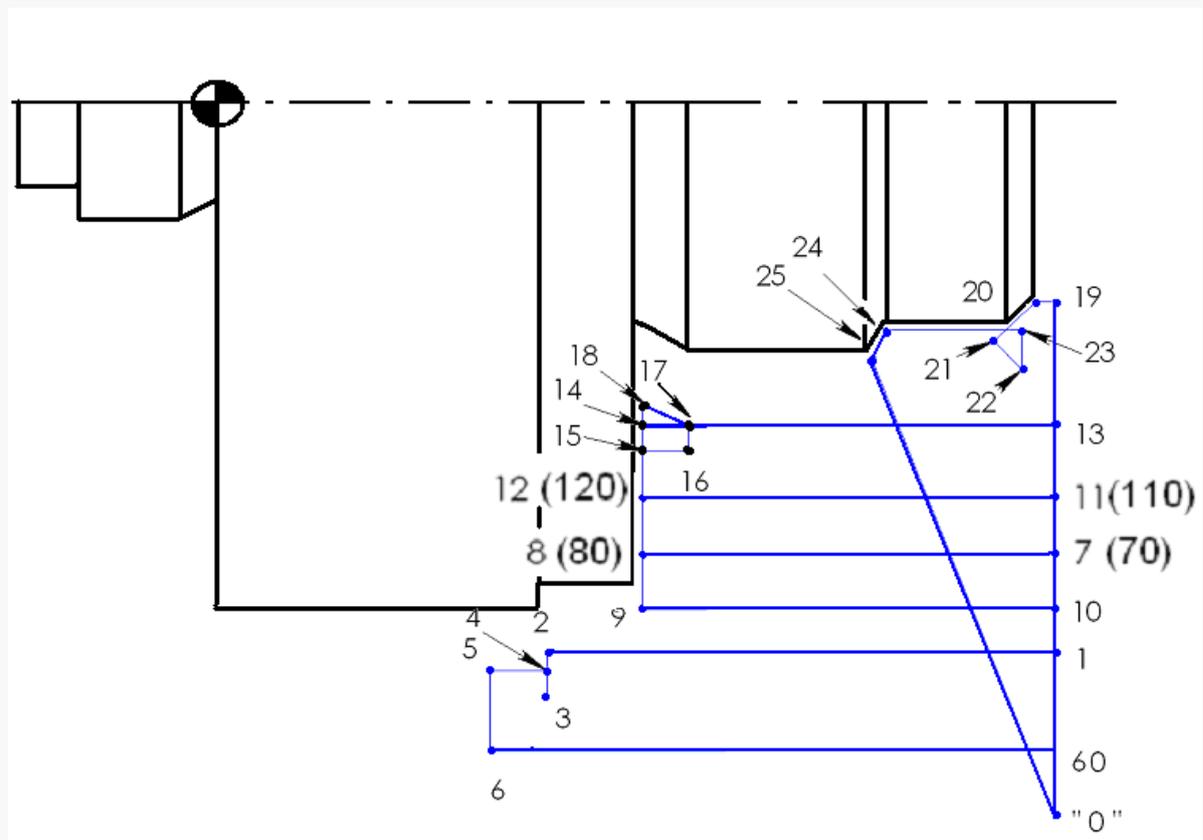


Рис. 50. Схема движения инструмента

Табл. 8. Расчет перемещений

№ точки	переход	$\Delta X$		X	Z		$\Delta Z$
0	ноль			14,5	135		
1	подход X	-410	-2,05	12,45			
2	точение				94,6	-40,40	-808
3	отход X	110	0,55	13			
4	подход X	-60	-0,30	12,7			
5	точение				20	-74,60	-1492
6	отход X	160	0,80	13,5			0
60	отход Z				135	115,00	2300
7	подход X	-500	-2,50	11			
8	точение				107,6	-27,40	-548
9	отход X	200	1,00	12			
10	отход Z				135	27,40	548
11	подход X	-540	-2,70	9,3			
12	точение				107,6	-27,40	-548
80	отход X	140	0,70	10			
70	отход Z				135	27,40	548
13	подход X	-460	-2,30	7,7			

14	точение				107,6	-27,40	-548
15	отход X	60	0,30	8			
16	отход Z				109,2	1,60	32
17	подход X	-60	-0,30	7,7			
18	канавка	-120	-0,60	7,1	107,6	-1,60	-32
120	отвод X	1180	5,90	13			
110	отход Z				135	27,40	548
19	подход X	-1210	-6,55	6,45			
19	подход X	-100					
20	подход Z				133,55	-1,45	-29
21	фаска	200	1,00	7,45	132,55	-1,00	-20
22	отход XZ	110	0,55	8	134	1,45	29
23	подход X	-160	-0,80	7,2			
24	точение				118,6	-15,40	-308
25	фаска	200	1,00	8,2	117,6	-1,00	-20
	<b>ноль</b>	<b>1260</b>	<b>6,30</b>	<b>14,5</b>	<b>135</b>	<b>17,40</b>	<b>348</b>
Контрольная сумма		0	0,00			0,00	0

*Пример управляющей программы:*

%

N000G26M020

N001M008

N002G01M004

N003X-00410L13F10150

N004Z-00808L23F10050

N005G40X+00110L13

N006X-00060L14

N007Z-01492F10050

N008G40X+00160L14

N009G40Z+02300L23F10200

N010X-00500

N011Z-00548F10050

N012X+00200

N013Z+00548F10200

N014X-00540

N015Z-00548F10050

N016X+00140

N017Z+00548F10200

N018X-00460L12

N019Z-00548L22F10050

N020G40X+00060L12

N021G40Z+00032L22

N022X-00060

N023X-00120Z-00032

N030X+00110Z+00029

N024X+01180

N031X-00160L11

N025Z+00548F10200

N032Z-00308L21

N026X-01210

N033X+00200Z-00020

N027X-00100F10050

N034G40X+01260Z-00348L31

N028Z-00029

N035M002

N029X+00200Z-00020

## 8.9. Справочная информация

Коды управляющей программы для станков с ЧПУ приведены в таблице 9.

Табл. 9.

G00 позиционирование
G01 линейная интерполяция
G02 круговая интерполяция/винтовая интерполяция (по часовой стрелке)
G03 круговая интерполяция/винтовая интерполяция (против часовой стрелки)
G04 остановка с выдержкой времени. Точная остановка
G05 высокоскоростной цикл обработки
G07 интерполяция гипотетической оси
G07/1 (G107) цилиндрическая интерполяция
G08 упреждающий контроль
G09 точная остановка
G10 ввод программируемых данных
G11 отмена режима ввода программируемых данных
G15 отмена команды полярных координат
G16 команда полярных координат
G17 выбор плоскости XpYp Xp: ось X или параллельная ей ось

G18 выбор плоскости ZpXp Yp: ось Y или параллельная ей ось
G19 выбор плоскости YpZp Zp: ось Z или параллельная ей ось
G20 ввод в дюймах
G21 ввод в миллиметрах
G22 включенная функция проверки хода
G23 выключенная функция проверки хода
G25 выключение распознавания колебаний скорости шпинделя
G26 включение распознавания колебаний скорости шпинделя
G27 проверка возврата в исходную позицию
G28 возврат к исходной позиции
G29 возврат из исходной позиции
G30 второй, третий и четвертый возврат в исходную позицию
G31 функция пропуска
G33 нарезка резьбы
G37 автоматическое измерение длины инструмента
G40 отмена коррекции на радиус
G41 левая коррекция на радиус
G42 правая коррекция на радиус
G43 коррекция на длину инструмента – направление
G44 коррекция на длину инструмента – направление
G45 увеличение коррекции на инструмент
G46 уменьшение коррекции на инструмент
G47 двойное увеличение коррекции на инструмент
G48 двойное уменьшение коррекции на инструмент
G49 отмена коррекции на длину инструмента
G50 отмена изменения масштаба
G51 изменение масштаба

G52 установка локальной системы координат
G53 выбор системы координат станка
G54 выбор системы координат детали 1
G55 выбор системы координат детали 2
G56 выбор системы координат детали 3
G57 выбор системы координат детали 4
G58 выбор системы координат детали 5
G59 выбор системы координат детали 6
G60 определение координат в одном направлении
G61 режим точной остановки
G62 автоматическая коррекция угловой точки
G63 режим нарезка резьбы метчиком
G64 режим обработки резанием
G65 вызов макрокоманды
G66 модальный вызов макрокоманды
G67 отмена модального вызова макрокоманды
G68 поворот системы координат
G69 отмена поворота системы координат
G73 цикл сверления с периодическим выводом сверла из отверстия
G74 цикл счетчика нарезки резьбы метчиком
G76 цикл чистового растачивания
G80 отмена работы встроенного цикла
G81 цикл сверления гаи цикл чистового растачивания центра отверстия
G82 цикл сверления или цикл чистового растачивания
G83 цикл сверления с периодическим выводом сверла из отверстия
G84 цикл нарезки резьбы метчиком
G85 цикл растачивания

G86 цикл растачивания
G87 цикл обратного растачивания
G88 цикл растачивания
G89 цикл растачивания
G90 программирование в абсолютных величинах
G91 программирование в приращениях
G92 сдвиг текущей системы координат или ограничение максимальной частоты вращения шпинделя
G94 подача, мм/мин
G95 подача, мм/об
G96 функция постоянной скорости резания
G97 функция постоянной частоты вращения шпинделя
G98 возврат к начальной точке в постоянном цикле
G99 возврат к точке R в постоянном цикле
M0 остановка программы
M1 остановка по требованию
M2 конец программы
M3 включение вращения шпинделя по часовой стрелке
M4 включение вращения шпинделя против часовой стрелки
M5 остановка шпинделя
M6 автоматическая смена инструмента
M7 включение обдувки воздухом
M8 включение охлаждения СОЖ
M9 выключение охлаждения
M10 отключение обдувки воздухом
M12 зажим инструмента
M12 разжим инструмента

M13	включение вращения шпинделя по часовой стрелке совместно с включением СОЖ
M14	включение вращения шпинделя против часовой стрелки совместно с включением СОЖ
M15	включение СОЖ для смыва стружки в поддон
M19	ориентация шпинделя
M21	включение зеркального отображения программы вдоль оси X
M22	включение зеркального отображения программы вдоль оси Y
M23	отключение зеркального отображения программы
M29	включение режима жёсткого резьбонарезания
M30	конец программы и одновременное отключения питания станка
M52	перемещение магазина на позицию вправо
M53	перемещение магазина на позицию влево
M70	инициализация магазина
M71	опускание активного кармана магазина
M72	поворот манипулятора магазина на 60°
M73	разжим инструмента
M74	поворот манипулятора магазина на 120°
M75	зажим инструмента
M76	поворот манипулятора магазина на 180°
M77	поднятие активного кармана магазина
M98	вызов подпрограммы
M99	возврат в основную программу

## ОСНОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ ВЕЛИЧИН И ЕДИНИЦЫ ИЗМЕРЕНИЯ

$D_m$	диаметр обработки	мм
$v$	скорость резания	м/мин
$n$	частота вращения шпинделя	об/мин
$T_o$	время резания	мин
$V$	объем металла, снимаемого за 1 мин	см <sup>3</sup> /мин

$l_m$	длина обработки	мм
$N_p$	потребная мощность	кВт
$k_{c0,4}$	удельная сила резания, необходимая для снятия стружки толщиной 0,4 мм	Н/мм <sup>2</sup>
$S_o$	подача за оборот изделия	мм/об
$\varphi$	главный угол в плане	... °
$t$	глубина резания	мм

### ФОРМУЛЫ:

- скорость резания, м/мин 
$$v = \frac{\pi \cdot D_m \cdot n}{10^3} \quad (9.1);$$

- частота вращения шпинделя, об/мин 
$$n = \frac{v_c \cdot 10^3}{\pi \cdot D_m} \quad (9.2);$$

- объем снимаемого металла, см<sup>3</sup>/мин 
$$V = t \cdot S \cdot v \quad (9.3);$$

- потребная мощность, кВт 
$$N_p = \frac{P_z \cdot v}{60 \cdot 102} \quad (9.4);$$

- время резания, мин 
$$T_0 = \frac{l}{s \cdot n} \quad (9.5).$$

### Библиографический список

1. Самоподнастраивающиеся станки / Б. С. Балакшин [и др.]. – М. : Машиностроение, 1967. – 400 с.
2. Программное управление станками: учебник для ВУЗов / В. Л. Сосонкин [и др.]. – М. : Машиностроение, 1981. – 398 с.
3. Соломенцев, Ю. М. Управление ГПС. – М. : Машиностроение, 1985.
4. Сосонкин, В. Л. Микропроцессорные системы числового программного управления. – М. : Машиностроение, 1985. – 288 с.
5. Проектирование технологии автоматизированного машиностроения / И. М. Баранчукова [и др.]. – М. : Высш. шк., 1999. – 416 с.

6. Сосонкин, В. Л. Системы числового программного управления / В. Л. Сосонкин, Г. М. Мартинов. – М. : Логос, 2005. – 296 с.
7. Григорьев, С. Н. Инструментальная оснастка станков с ЧПУ / С. Н. Григорьев, М. В. Кохомский, А. Р. Маслов. – М. : Машиностроение, 2006. – 544 с.
8. Сосонкин, В. Л. Программирование систем числового программного управления / В. Л. Сосонкин, Г. М. Мартинов. – М. : Изд-во Логос, Университетская книга, 2008. – 344 с.
9. Вахрин, Л. А. Курс лекций по АПССУ.
10. [МГТУ, форум]. Режим доступа: <http://bmstu.ru>.
11. А. с. № 1821791 СССР. – Оpubл. 15.06.93, Бюл. № 22.

## Оглавление

<b>Введение</b> .....	3
<b>1. Системы и сущность числового программного управления станками</b> .....	4
1.1. Классификация систем ЧПУ.....	4
1.2. Сравнительный анализ систем ЧПУ.....	6
1.3. Цикловые системы программного управления.....	11
1.4. Принципы построения системы управления станком с ЧПУ.....	14
1.5. Блок-схема устройства ЧПУ.....	17
1.6. Разомкнутый привод подачи.....	20
1.7. Классификация металлорежущих станков.....	21
1.8. Классификация станков с ЧПУ.....	23
1.9. Классификация систем СЧПУ.....	30
<b>2. Схема устройства ЧПУ с программносителем</b> .....	31
2.1. Схема устройства ЧПУ с программносителем.....	31
2.2. Схема блока записи информации.....	33
2.3. Схема линейного интерполятора.....	34
2.4. Схема импульсно-фазового преобразователя.....	37
<b>3. Кодирование исходной информации и представление программ на носителях</b> .....	38
3.1. Код БЦК-5.....	40
3.2. Кадровая запись.....	42
3.3. Адресная запись.....	43
3.4. Способы контроля записанной информации.....	43
3.5. Примеры записи числовой информации.....	45
<b>4. Электронные цифровые программные устройства</b> .....	47
4.1. Технические характеристики устройства.....	47
4.2. Устройство и принцип работы ЭЦПУ 6030.....	47

4.3. Система команд и распайка разъемов устройства управления ЭЦПУ-6030 для промышленного робота.....	49
<b>5. Микропроцессорное программное цикловое устройство .....</b>	<b>53</b>
5.1. Функции МКП -1.....	54
5.2. Режимы работы.....	54
5.3. Схема подключения нагрузок .....	55
5.4. Схема подключения датчиков .....	56
5.5. Система команд устройства МПЦУ.....	57
<b>6. Кодирование управляющих программ в коде ISO.....</b>	<b>59</b>
6.1. Структура кода ISO.....	60
6.2. Режимы работы устройств ЧПУ, заданные адресом G.....	61
6.3. Некоторые функции, задаваемые адресом M .....	62
6.4. Ключ кода ISO-7 бит.....	63
<b>7. Приводы станков с ЧПУ и промышленных манипуляторов.....</b>	<b>64</b>
7.1. Шаговый электропривод.....	64
7.2. Регулируемый электропривод.....	65
7.3. Следящий привод подачи.....	67
7.4. Управление динамической настройкой технологической системы.....	68
7.5. Вибрация и стабилизация системы динамической настройкой.....	74
7.6. Диагностика состояния автоматизированного станочного оборудования.....	77
<b>8. Основные принципы разработки управляющих программ для СЧПУ .....</b>	<b>81</b>
8.1. Структура и формат управляющей программы.....	81
8.2. Подготовительные функции.....	82
8.3. Общие принципы построения программ.....	84

8.4. Принципы построения программ для токарных операций.....	86
8.5. Схема обработки детали.....	90
8.6. Содержание и структура.....	95
8.7. Строение кадра и программы.....	96
8.8. Пример программы.....	98
8.9. Справочная информация.....	105
<b>БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК.....</b>	<b>110</b>
<b>ОГЛАВЛЕНИЕ.....</b>	<b>112</b>