



# Содержание

## Глава 1

<b>ОСНОВЫ ЧИСЛОВОГО ПРОГРАММНОГО УПРАВЛЕНИЯ</b> .....	10
1.1. Автоматическое управление .....	10
1.2. Особенности устройства и конструкции фрезерного станка с ЧПУ .....	12
1.3. Функциональные составляющие (подсистемы) ЧПУ .....	14
1.3.1. Подсистема управления .....	14
1.3.2. Подсистема приводов .....	16
Высокоточные ходовые винты .....	16
Двигатели .....	16
1.3.3. Подсистема обратной связи .....	18
Датчики, используемые для определения положения .....	18
Датчики состояния исполнительных органов .....	20
1.3.4. Функционирование системы ЧПУ .....	21
1.4. Языки для программирования обработки .....	23
Краткое изложение главы .....	24
Вопросы .....	24

## Глава 2

<b>ОСНОВЫ МЕТАЛЛООБРАБОТКИ</b> .....	25
2.1. Процесс фрезерования .....	25
2.2. Режущий инструмент .....	27
2.3. Вспомогательный инструмент .....	33
2.4. Основные определения и формулы .....	34
2.5. Рекомендации по фрезерованию .....	35
Краткое изложение главы .....	38
Вопросы .....	38

## Глава 3

<b>ВВЕДЕНИЕ В ПРОГРАММИРОВАНИЕ ОБРАБОТКИ</b> .....	39
3.1. Прямоугольная система координат .....	39
3.2. Написание простой управляющей программы .....	40
3.3. Создание УП на персональном компьютере .....	43
3.4. Передача управляющей программы на станок .....	47

3.5. Проверка управляющей программы на станке.....	49
Общие сведения .....	49
Тестовые режимы станка с ЧПУ .....	50
Последовательность полной проверки УП.....	51
3.6. Советы по технике безопасности при эксплуатации станков с ЧПУ....	52
Краткое изложение главы .....	54
Вопросы .....	54

## Глава 4

<b>СТАНОЧНАЯ СИСТЕМА КООРДИНАТ .....</b>	<b>55</b>
4.1. Нулевая точка станка и направления перемещений.....	55
4.2. Нулевая точка программы и рабочая система координат .....	59
4.3. Компенсация длины инструмента.....	62
4.4. Абсолютные и относительные координаты .....	64
4.5. Комментарии в УП и карта наладки .....	65
Краткое изложение главы .....	68
Вопросы .....	68

## Глава 5

<b>СТРУКТУРА УПРАВЛЯЮЩЕЙ ПРОГРАММЫ .....</b>	<b>69</b>
5.1. G- и M-коды .....	69
5.2. Структура программы .....	70
5.3. Слово данных, адрес и число.....	73
5.4. Модальные и немодальные коды.....	74
5.5. Формат программы.....	75
5.6. Строка безопасности .....	78
5.7. Важность форматирования УП .....	79
Краткое изложение главы .....	80
Вопросы .....	81

## Глава 6

<b>БАЗОВЫЕ G-КОДЫ .....</b>	<b>82</b>
Введение.....	82
6.1. Ускоренное перемещение – G00 .....	83
6.2. Линейная интерполяция – G01 .....	85
6.3. Круговая интерполяция – G02 и G03.....	86
Дуга с I, J, K .....	87
Дуга с R.....	88
Использование G02 и G03.....	89
Краткое изложение главы .....	91
Вопросы .....	91

<b>Глава 7</b>	
<b>БАЗОВЫЕ M-КОДЫ</b> .....	92
Введение .....	92
7.1. Останов выполнения управляющей программы – M00 и M01 .....	93
7.2. Управление вращением шпинделя – M03, M04, M05 .....	94
7.3. Управление подачей СОЖ – M07, M08, M09 .....	96
7.4. Автоматическая смена инструмента – M06.....	97
7.5. Завершение программы – M30 и M02 .....	100
Краткое изложение главы .....	100
Вопросы .....	101
<b>Глава 8</b>	
<b>ПОСТОЯННЫЕ ЦИКЛЫ СТАНКА С ЧПУ</b> .....	102
Введение .....	102
8.1. Стандартный цикл сверления и цикл сверления с выдержкой.....	105
8.2. Относительные координаты в постоянном цикле.....	107
8.3. Циклы прерывистого сверления.....	108
8.4. Циклы нарезания резьбы .....	110
8.5. Циклы растачивания.....	111
8.6. Примеры программ на сверление отверстий при помощи постоянных циклов .....	112
Пример № 1.....	112
Пример № 2.....	113
Краткое изложение главы .....	115
Вопросы .....	116
<b>Глава 9</b>	
<b>АВТОМАТИЧЕСКАЯ КОРРЕКЦИЯ РАДИУСА ИНСТРУМЕНТА</b> .....	117
9.1. Основные принципы.....	117
9.2. Использование автоматической коррекции на радиус инструмента .....	122
9.3. Активация, подвод и отвод .....	123
Краткое изложение главы .....	125
Вопросы .....	125
<b>Глава 10</b>	
<b>ОСНОВЫ ЭФФЕКТИВНОГО ПРОГРАММИРОВАНИЯ</b> .....	127
10.1. Подпрограмма .....	127
10.2. Работа с осью вращения (4-ой координатой) .....	131
10.3. Параметрическое программирование.....	134

Краткое изложение главы .....	145
Вопросы .....	146

## Глава 11

<b>ПРИМЕРЫ УПРАВЛЯЮЩИХ ПРОГРАММ</b> .....	147
11.1. Программирование в ISO .....	147
Пример № 1. Контурная обработка .....	147
Пример № 2. Контурная обработка с коррекцией на радиус инструмента .....	148
Пример № 3. Контурная обработка .....	150
Пример № 4. Контурная обработка с коррекцией на радиус инструмента .....	151
Пример № 5. Фрезерование прямоугольного кармана .....	152
Пример № 6. Фрезерование круглого кармана .....	154
11.2. Программирование для Heidenhain .....	155
Пример № 1. Контурная обработка .....	156
Пример № 2. Контурная обработка с коррекцией на радиус инструмента .....	157
Пример № 3. Сверление 7 отверстий диаметром 3 мм и глубиной 6,5 мм с помощью постоянного цикла Heidenhain .....	158

## Глава 12

<b>CAD/CAM</b> .....	159
12.1. Методы программирования .....	159
12.2. Что такое CAD и CAM? .....	160
12.3. Общая схема работы с CAD/CAM-системой .....	160
12.4. Виды моделирования .....	162
12.5. Уровни CAM-системы .....	165
12.6. Геометрия и траектория .....	166
12.7. Алгоритм работы в CAM-системе .....	167
12.7.1. Выбор геометрии .....	167
12.7.2. Выбор стратегии и инструмента, назначение параметров обработки .....	169
Плоская обработка .....	170
Объемная обработка .....	171
12.7.3. Бэкплот и верификация .....	175
12.7.4. Постпроцессирование .....	177
12.7.5. Передача УП на станок с ЧПУ .....	180
12.8. Ассоциативность .....	181
12.9. Пятикоординатное фрезерование и 3D-коррекция .....	181

12.10. Высокоскоростная обработка (ВСО).....	183
12.11. Требования к современной САМ-системе .....	185

## Глава 13

### **СИСТЕМА ТРЕХМЕРНОГО ТВЕРДОТЕЛЬНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ КОМПАС-3D .....**

Классические твердотельные операции .....	188
13.1. Твердотельное моделирование .....	190
13.2. Поверхностное моделирование.....	200
13.3. Моделирование деталей из листового материала .....	207
13.4. Экспорт геометрии.....	212

## Глава 14

### **ОСНОВЫ РАБОТЫ В САМ-СИСТЕМЕ ESPRIT .....**

14.1. Общие сведения .....	214
14.2. Системные требования .....	215
14.3. Активация лицензии и запуск программы .....	215
14.4. Интерфейс программы.....	216
14.5. Порядок работы в программе.....	218
14.6. Создание операций фрезерной обработки.....	218

## Глава 15

### **УПРАВЛЕНИЕ СТАНКОМ С ЧПУ .....**

15.1. Органы управления .....	232
15.2. Основные режимы работы.....	234
15.3. Индикация системы координат.....	235
15.4. Установление рабочей системы координат .....	235
15.4.1. Алгоритм нахождения нулевой точки детали по оси Z.....	236
15.4.2. Алгоритм нахождения нулевой точки детали по осям X и Y ..	237
15.4.3. Алгоритм нахождения нулевой точки в центре отверстия ....	238
15.5. Измерение инструмента и детали .....	239


## Глава 16

### **СПРАВОЧНИК КОДОВ И СПЕЦИАЛЬНЫХ СИМВОЛОВ ПРОГРАММИРОВАНИЯ .....**

16.1. G-коды .....	242
16.2. Адреса/слова данных .....	259
16.3. M-коды.....	262
16.4. Специальные символы в УП.....	263

**Глава 17**

<b>ПОЛЕЗНЫЕ ПРОГРАММЫ</b> .....	265
17.1. Мониторинг ЧПУ .....	265
Возможности .....	266
Контроль в режиме реального времени .....	266
Формирование отчетов и графиков .....	268
Ускорение работы цеховых служб .....	269
Внедрение на предприятии .....	270
17.2. Редактор УП Cimco Edit 6 .....	270
17.3. Техтран® .....	273
Фрезерная обработка .....	273
Токарная обработка .....	274
Токарно-фрезерная обработка .....	275
Многошпиндельное сверление .....	275
Раскрой листового материала .....	276
Листовая штамповка .....	277
Электроэрозионная обработка .....	277
Контроль управляющих программ .....	278



Авторы благодарят за помощь в издании книги:  
Технический Центр ВариУс и лично Валерия Жовтобрюх,  
компанию НИИ-Информатика и лично Александра Лиферова,  
компанию АСКОН и лично Дмитрия Оснача.

# Глава 1

## ОСНОВЫ ЧИСЛОВОГО ПРОГРАММНОГО УПРАВЛЕНИЯ

### 1.1. Автоматическое управление

На сегодняшний день практически каждое предприятие, занимающееся механической обработкой, имеет в своем распоряжении станки с числовым программным управлением (ЧПУ). Станки с ЧПУ выполняют все те же функции, что и обычные станки с ручным управлением, однако перемещения исполнительных органов этих станков управляются электроникой. В чем же основное преимущество станков с ЧПУ и почему все большее число заводов предпочитает вкладывать деньги именно в современное оборудование с автоматическим управлением, а не покупать относительно дешевые универсальные станки?



Рис. 1.1. Универсальный сверлильно-фрезерный станок

Первым, очевидным плюсом от использования станков с ЧПУ является более **высокий уровень автоматизации производства**. Случаи вмешательства оператора станка в процесс изготовления детали сведены к минимуму. Станки с ЧПУ могут работать практически автономно, день за днем, неделю за неделей, выпуская продукцию с неизменно высоким качеством. При этом главной заботой станочника-оператора являются в основном подготовительно-заключительные операции: установка и снятие детали, наладка инструмента и т. д. В результате один работник может обслуживать одновременно несколько станков.

Вторым преимуществом является производственная **гибкость**. Это значит, что для обработки разных деталей нужно всего лишь заменить программу. А уже проверенная и отработанная программа может быть использована в любой момент и любое число раз.

Третьим плюсом являются **высокая точность и повторяемость обработки**. По одной и той же программе вы сможете изготовить с требуемым





*Рис. 1.2. Фрезерный станок с ЧПУ фирмы Doosan*

качеством тысячи практически идентичных деталей. Ну и, наконец, числовое программное управление **позволяет обрабатывать такие детали, которые невозможно изготовить на обычном оборудовании**. Это детали со сложной пространственной формой, например штампы и пресс-формы.

Стоит отметить, что сама методика работы по программе позволяет более точно **предсказывать время обработки** некоторой партии деталей и соответственно более полно **загружать** оборудование.

Станки с ЧПУ стоят достаточно дорого и требуют больших затрат на установку и обслуживание, чем обычные станки. Тем не менее их высокая производительность легко может перекрыть все затраты при грамотном использовании и соответствующих объемах производства.

Давайте разберемся, что же такое ЧПУ. **Числовое программное управление – это автоматическое управление станком при помощи компьютера (который находится внутри станка) и программы обработки (управляющей программы)**. До изобретения ЧПУ управление станком осуществлялось вручную или механически.

Осевыми перемещениями станка с ЧПУ руководит компьютер, который читает управляющую программу (УП) и выдает команды соответствующим двигателям. Двигатели заставляют перемещаться исполнительные органы станка – рабочий стол или колонну со шпинделем. В результате производится механическая обработка детали. Датчики, установленные на направляющих, посылают информацию о фактической позиции исполнительного органа обратно в компьютер. Это называется обратной связью. Как только компьютер узнает о том, что исполнительный орган станка находится в требуемой позиции, он выполняет следующее перемещение. Такой процесс продолжается, пока чтение управляющей программы не подойдет к концу.

По своей конструкции и внешнему виду станки с ЧПУ похожи на обычные универсальные станки. Единственное внешнее отличие этих двух типов станков заключается в наличии у станка с ЧПУ устройства числового программного управления (УЧПУ), которое часто называют **стойкой ЧПУ**.



Рис. 1.3. Стойка ЧПУ Heidenhain TNC

## 1.2. Особенности устройства и конструкции фрезерного станка с ЧПУ

Фрезерные станки с ЧПУ можно классифицировать по различным признакам: по положению шпинделя (вертикальные или горизонтальные), по количеству управляемых осей или степеней свободы (2, 3, 4 или 5 осей), по точности позиционирования и повторяемости обработки, по количеству используемого инструмента (одно- или многоинструментальные) и т. д.

Рассмотрим конструкцию вертикально-фрезерного станка с ЧПУ (рис. 1.4, 1.5). *Станина* (1) предназначена для крепления всех узлов и механизмов станка. *Рабочий стол* (2) может перемещаться в продольном (влево/вправо) и поперечном (вперед/назад) направлениях по *направляющим* (3). *Пульт управления, или стой-*

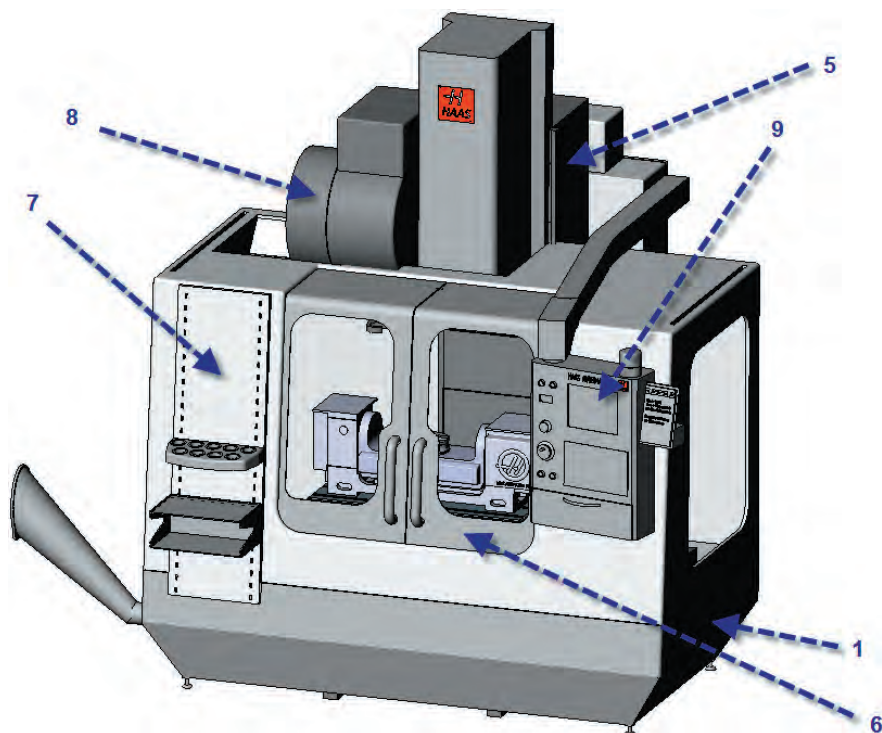


Рис. 1.4. Корпус вертикально-фрезерного станка с ЧПУ

ка ЧПУ (9), закреплен на кронштейне и может быть перемещен в удобное для оператора положение.

На рабочем столе закрепляют заготовки и различные технологические приспособления. Для этого на столе имеются специальные Т-образные пазы. Шпиндель (4) предназначен для зажима режущего инструмента и придания ему вращения. Шпиндель закреплен на колонне (5), которая может перемещаться в вертикальном направлении (вверх/вниз). От точности вращения шпинделя, его жесткости и виброустойчивости в значительной мере зависят точность и качество обработки. Таким образом, рассматриваемый станок является трехосевым.

Защитные кожухи (7) необходимы для обеспечения безопасности. Они защищают оператора станка от летящей стружки и смазывающе-охлаждающей жидкости (СОЖ), которая подается в зону обработки под давлением. Дверца (6) обеспечивает доступ в рабочую зону станка. В магазине инструментов (8) барабанного типа находится набор режущих инструментов. При этом взятие необходимого инструмента и фиксация его в шпинделе обеспечиваются устройством автоматической смены инструмента и производятся по определенной команде управляющей программы.

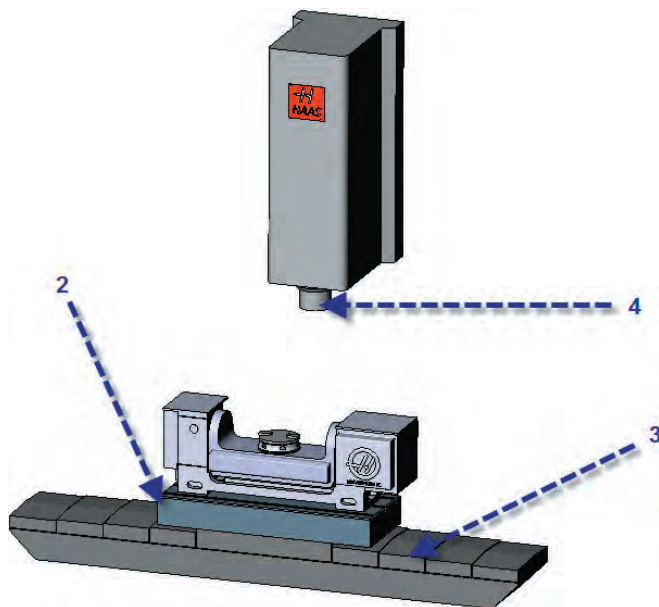


Рис. 1.5. Конструктивные элементы станка

## 1.3. Функциональные составляющие (подсистемы) ЧПУ

Для того чтобы сделать из обычного станка с ручным управлением станок с ЧПУ, необходимо внедрить определенные компоненты в его конструкцию. Недостаточно просто подключить станок к компьютеру, чтобы он работал по программе, – необходимо модернизировать механическую и электронную «начинку» станка. Давайте посмотрим, как устроена система ЧПУ (СЧПУ) на большинстве современных станков.

Условно СЧПУ можно разделить на три подсистемы:

- подсистему управления;
- подсистему приводов;
- подсистему обратной связи.

Далее в этом разделе мы подробнее остановимся на каждой из данных подсистем.

### 1.3.1. Подсистема управления

Центральной частью всей СЧПУ является подсистема управления. С одной стороны, она читает управляющую программу и отдает команды различным агрегатам станка на выполнение тех или иных операций. С другой – взаимодействует с человеком, позволяя оператору станка контролировать процесс обработки.

**Сердцем подсистемы управления является контроллер (процессор), который обычно расположен в корпусе стойки ЧПУ.** Сама стойка имеет набор кнопок и экран (все вместе называется пользовательским интерфейсом) для ввода и вывода необходимой информации.

**Системы управления могут быть как закрытыми, так и открытыми, ПК-совместимыми.** Закрытые системы управления имеют собственные алгоритмы и циклы работы, собственную логику. Производители таких систем, как правило, не распространяют информацию об их архитектуре. Скорее всего, вы не сможете самостоятельно обновить программное обеспечение и редактировать настройки такой системы. У систем закрытого типа есть важное преимущество – они, как правило, имеют высокую надежность, так как все компоненты системы прошли тестирование на совместимость.

В последнее время стало появляться все больше открытых, ПК-совместимых систем управления. Их аппаратная начинка практически такая же, как и у вашего домашнего персонального компьютера. Преимущество такого метода – в доступности и дешевизне электронных компонентов, большинство из которых можно приобрести в обычном компьютерном магазине, и в возможности обновления внутреннего программного обеспечения.

Самые современные СЧПУ могут быть оснащены САМ-системой, позволяющей автоматизировать процесс написания УП прямо на станке. Наиболее яркий пример – системы ЧПУ серии MAPPS IV японских станков Mori Seiki содержат встроенное программное обеспечение ESPRIT от компании DP Technology (США) и позволяют оператору не только создать УП любой сложности, но и произвести ее всестороннюю проверку.

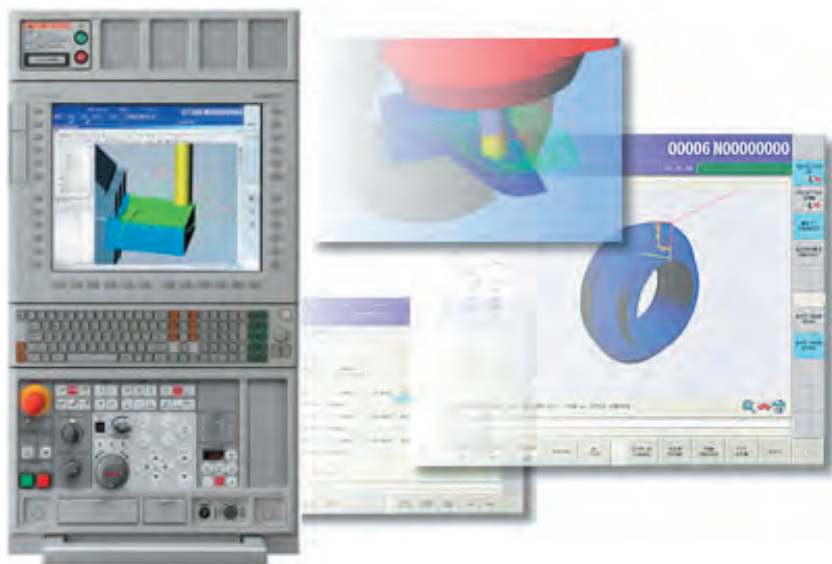


Рис. 1.6. Стойка MAPPS IV с САМ-системой ESPRIT

## 1.3.2. Подсистема приводов

Подсистема приводов включает в себя различные **двигатели** и **винтовые передачи** для окончательного выполнения команд подсистемы управления – для реализации перемещения исполнительных органов станка.

### **Высокоточные ходовые винты**

Важными компонентами подсистемы приводов являются высокоточные ходовые винты. Вы, наверное, знаете, что на станке с ручным управлением рабочий, вращая рукоятку, соединенную с ходовым винтом, перемещает рабочий стол. На днище стола укреплена гайка таким образом, что при повороте винта происходит линейное перемещение стола.

Усовершенствованный ходовой винт станка с ЧПУ позволяет выполнять перемещение исполнительного органа с минимальным трением и практически без люфтов. Устранение люфта очень важно по двум причинам. Во-первых, это необходимо для обеспечения сверхточного позиционирования. Во-вторых, только при соблюдении этого условия возможно нормальное попутное фрезерование.

### **Двигатели**

Второй составляющей подсистемы является двигатель (а точнее – несколько двигателей). Вращение вала двигателя приводит к повороту высокоточного ходового винта и линейному перемещению рабочего стола или колонны. В конструкции станков используются шаговые электродвигатели и серводвигатели.

**Шаговый электродвигатель – это электромеханическое устройство, преобразующее электрический сигнал управления в дискретное механическое перемещение.** Существует несколько основных видов шаговых двигателей, отличающихся конструктивным исполнением:

- шаговые двигатели с переменным магнитным сопротивлением;
- шаговые двигатели с постоянным магнитным сопротивлением;
- гибридные двигатели.

Принцип работы у всех этих двигателей примерно одинаков и достаточно прост.

**Шаговый двигатель с переменным магнитным сопротивлением** имеет несколько полюсов на статоре и ротор из магнитно-мягкого материала (реактивный ротор). На рис. 1.7 показан двигатель, имеющий шесть полюсов на статоре, ротор с четырьмя зубьями и три независимые обмотки, каждая из которых приходится на противоположные полюса статора.

При подаче электрического тока в одну из обмоток ротор стремится занять положение, при котором возникший магнитный поток будет замкнут. То есть зубья ротора будут находиться прямо напротив тех полюсов статора, на обмотки которого подан ток. Если выключить ток в этой обмотке и подать его в следующую обмотку, то ротор повернется, чтобы в очередной раз замкнуть магнитный поток своими зубьями. Для непрерывного вращения ротора необходимо попеременно подавать электрический ток в 1, 2 и 3 обмотки, при этом шаг вращения для представленного двигателя составит  $30^\circ$ .

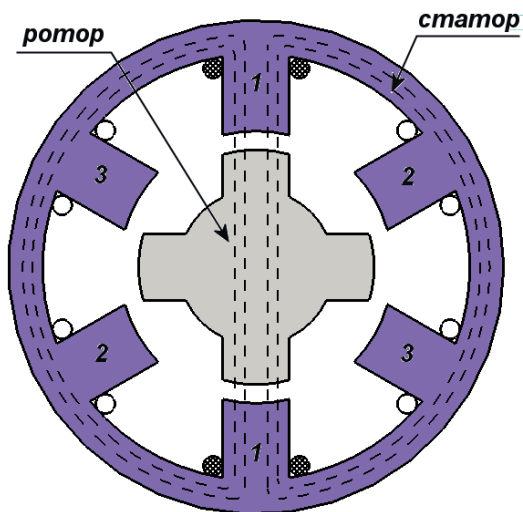


Рис. 1.7. Устройство шагового двигателя с переменным магнитным сопротивлением

**Шаговый двигатель с постоянными магнитами** состоит из статора с обмотками и ротора с постоянными магнитами. На рис. 1.8 показан двигатель, имеющий две пары полюсов статора и три пары полюсов ротора. При подаче электрического тока в одну из обмоток ротор займет положение, при котором разноименные полюса статора и ротора будут находиться напротив друг друга. Для непрерывного вращения ротора необходимо попеременно подавать электрический ток в 1 и 2 обмотки, при этом шаг вращения составит  $30^\circ$ .

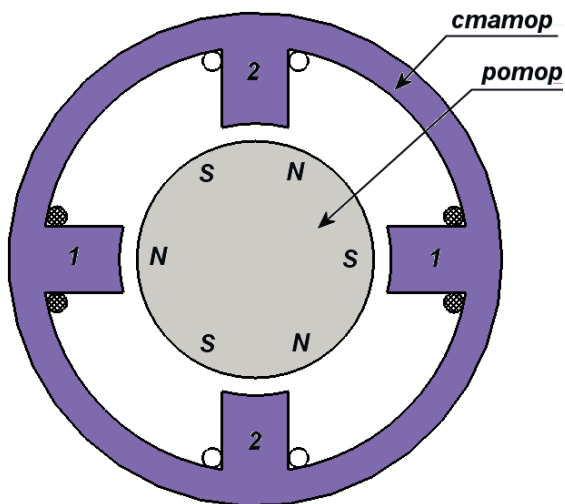


Рис. 1.8. Устройство шагового двигателя с постоянными магнитами

**Большинство современных шаговых электродвигателей являются гибридными**, то есть сочетают достоинства двигателей с переменным магнитным полем и двигателей с постоянными магнитами, имеют гораздо большее число полюсов статора и зубьев ротора, что обеспечивает меньший шаг вращения.

Когда подсистема управления посылает шаговому двигателю электрический импульс, то происходит поворот на определенный угол, который зависит от конструкции двигателя (например,  $0,7^\circ$ ). Если ходовой винт имеет шаг 1 мм, то один импульс заставит исполнительный орган станка линейно переместиться на  $0,7/360 \times 1 = 0,0019$  мм. Эта величина называется **разрешением системы**, или **ценой импульса**. Нельзя переместить исполнительный орган на величину, меньшую, чем разрешение системы. Таким образом, вы видите, что существует прямая взаимосвязь между двигателем, ходовым винтом и точностью перемещений станка.

Простота конструкции и легкость управления сделали шаговые электродвигатели очень популярными. Основным минусом двигателей этого типа является их толчковая или дискретная работа, которая может привести к ухудшению качества чистовой обработки поверхностей и эффекту «ступенек» при выполнении обработки по наклонной прямой или дуге. Однако шаговые двигатели могут работать без использования дорогостоящей и сложной обратной связи. Это позволяет создавать недорогие, хотя и не высокоточные станки.

Самые современные станки с ЧПУ не оснащаются шаговыми двигателями. На смену им пришли серводвигатели, которые имеют более сложную конструкцию. Серводвигатели, в отличие от шаговых двигателей, работают гладко, имеют лучшие характеристики, но ими тяжелее управлять.

Для работы с серводвигателем необходимо наличие специальных контроллеров и устройств обратной связи, что, несомненно, приводит к увеличению стоимости станка.

### **1.3.3. Подсистема обратной связи**

Подсистема обратной связи главным образом призвана обеспечивать подсистему управления информацией о реальной позиции исполнительного органа станка и о скорости двигателей. Подсистема обратной связи может быть открытого или замкнутого типа.

**Системы открытого типа** регистрируют наличие или отсутствие сигнала из подсистемы управления. К сожалению, они не могут дать информации о реальной позиции исполнительного органа и скорости двигателей, поэтому в современных станках с ЧПУ практически не используются.

**Системы замкнутого типа** используют внешние датчики для проверки необходимых параметров.

#### **Датчики, используемые для определения положения**

Как правило, в станках с ЧПУ для определения положения и состояния исполнительных органов используются два типа датчиков: **линейные** датчики положения и **вращающиеся** датчики положения.



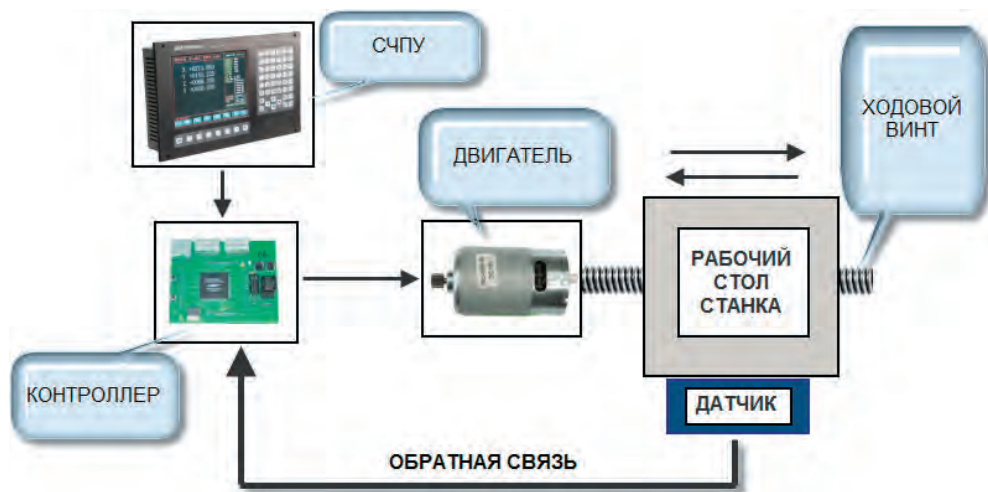


Рис. 1.9. Схема обратной связи на станке с ЧПУ

**Вращающийся датчик положения** (рис. 1.10) крепится на валу двигателя и позволяет определять его угловое положение. Этот датчик состоит из источника света, оптического датчика (приемника) и диска с маленькими радиальными прорезями (растрами). Растровый диск укреплен на валу, источник света и оптический датчик находятся с разных сторон от диска.

Когда диск вращается, то лучи проходят сквозь его прорези и падают на оптический датчик. Оптический датчик работает как переключатель, который включается или выключается при попадании на него лучей света. Это дает возможность определить относительное или абсолютное положение и направление вращения двигателя. Полученная информация отправляется в подсистему управления.

Все вращающиеся датчики имеют один существенный недостаток. Так как они устанавливаются непосредственно на валу двигателя, то не могут напрямую измерить линейное положение исполнительного органа станка. Они дают рассчитанное положение, основанное на данных о шаге ходового винта, и в высокоточных станках для определения линейного положения не применяются. Их можно использовать в конструкции шпинделя для определения числа оборотов при вращении и для нахождения его углового положения.

**Линейные датчики положения** используются практически во всех современных станках с ЧПУ для точного определения абсолютной или относительной позиции исполнительных органов. Датчики содержат два взаимосвязанных узла – растровую шкалу и считывающую головку (рис. 1.11). *Растровая шкала* (1), расположенная вдоль направляющих, представляет собой линейку с маленькими прямоугольными прорезями (растрами). Считывающая головка, перемещающаяся вместе с исполнительным органом станка, состоит из *осветителей* (2), *фотоприемников* (3) и *индикаторной пластины* (4). Причем осветители и индикаторная пластина находятся с одной стороны от растровой шкалы, а фотоприемники – с другой.

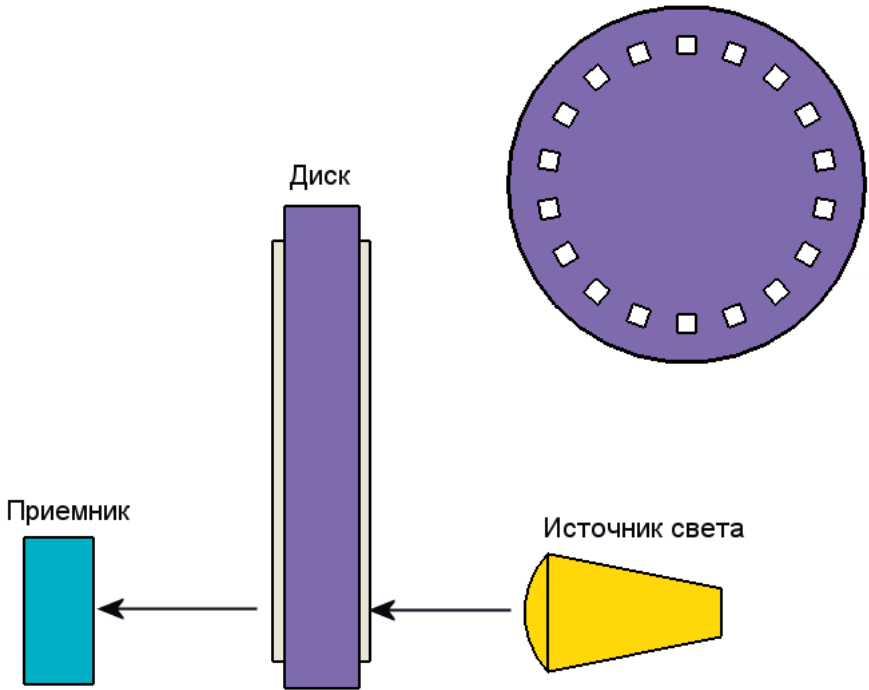


Рис. 1.10. Вращающийся датчик положения

На индикаторной пластине также присутствуют два растровых участка со смещенным шагом для формирования двух сигналов. Когда считывающая головка перемещается вдоль растровой шкалы, то световые сигналы от осветителей проходят через индикаторную пластину, затем через шкалу и регистрируются фотоприемниками. Полученные сигналы дают возможность определить величину и направление перемещения. На растровой шкале может находиться дополнительная дорожка референтных меток для задания собственного начала отсчета.

Системе ЧПУ также необходима информация о скорости, ускорении и замедлении исполнительного органа станка. Расчет величины ускорения и замедления необходим для точного позиционирования. Дело в том, что когда рабочий стол перемещается в требуемую позицию, он заранее замедляет скорость перемещения, чтобы «не промахнуться» мимо требуемой координаты.

### **Датчики состояния исполнительных органов**

Кроме вышеперечисленных датчиков, конечно же, используются и другие. **Температурные датчики** (термопары) применяют для определения температуры исполнительных органов, расчета температурного линейного расширения компонентов станка и для контроля над температурой масла и воздуха. **Инфракрасные датчики** используются в станочных системах автоматического измерения.

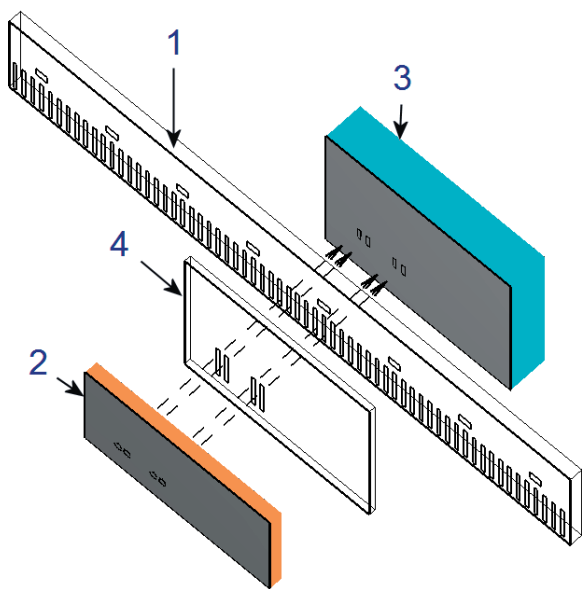


Рис. 1.11. Линейный датчик положения

### 1.3.4. Функционирование системы ЧПУ

Мы рассмотрели по отдельности работу трех подсистем, составляющих основу СЧПУ. Теперь поговорим о функционировании всей системы в целом.

Программист создает управляющую программу, в которой содержится закодированная информация о траектории и скорости перемещения исполнительных органов станка, частоте вращения шпинделя и другие данные, необходимые для выполнения обработки. Подсистема управления читает эту программу, расшифровывает ее и вырабатывает **профиль перемещения**.

Профиль перемещения можно представить в виде графика, который показывает, в какой точке должен находиться исполнительный орган станка через определенные промежутки времени. В соответствии с профилем перемещения подсистема управления посылает на соответствующий двигатель строго определенное количество электрических импульсов. Двигатель вращает ходовой винт, и исполнительный орган станка перемещается в указанную позицию (координату). Датчики обратной связи отправляют в подсистему управления информацию о действительной достигнутой позиции исполнительного органа. **Происходит сравнение фактической и требуемой (теоретической) позиций**. Если между ними есть разница (ошибка перемещения), то подсистема управления посылает скорректированное на величину ошибки число электрических импульсов на двигатель. Этот процесс повторяется снова и снова, пока исполнительный орган станка не достигнет требуемой позиции с определенной (очень высокой) точностью. Вообще, некоторая ошибка перемещения присутствовать будет всегда. Главное, чтобы она была настолько маленькой, что ей можно было бы пренебречь.

Мы рассмотрели простейший вариант – перемещение вдоль одной оси. Давайте усложним задачу. Пусть требуется переместить рабочий стол прямолинейно, но не параллельно ни одной из осей станка (рис. 1.12). Для того чтобы выполнить такое перемещение, система ЧПУ вынуждена строить между точками 1 и 2 множество опорных точек и двигать рабочий стол по этим точкам «ступенчато», попеременно включая подачу то по одной оси, то по другой. При этом нужно поддерживать такое соотношение скоростей движения по осям, чтобы траектория перемещения соответствовала заданной траектории. Работу по расчету этих промежуточных опорных точек выполняет специальное устройство, входящее в состав подсистемы управления, – интерполятор. **Интерполятор непрерывно в соответствии с заданными перемещениями поддерживает функциональную связь между опорными точками и оценивает отклонения от заданной траектории, стремясь свести их к минимуму.** Эти «ступеньки» имеют некоторое отклонение от заданной траектории перемещения. Величина отклонения полученной «ступенчатой» траектории будет равна или кратна цене импульса (разрешению) системы ЧПУ или импульса, формируемого датчиком обратной связи. Так как в современных станках разрешение системы ЧПУ приближается к 0,001 мм (1 мкм), то получаемое перемещение можно рассматривать как гладкое.

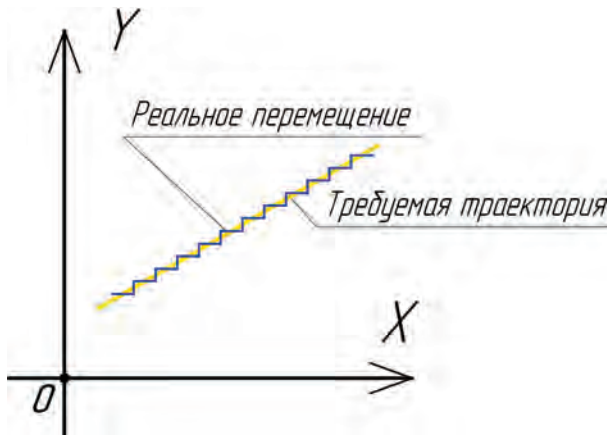


Рис. 1.12. При перемещении из точки 1 в точку 2 система ЧПУ строит множество опорных точек и перемещает исполнительный орган «ступенчато», попеременно включая подачу то по одной оси, то по другой

Рассмотренная интерполяция **называется линейной**. Если же необходимо выполнить перемещение по дуге, то интерполяция будет **круговой** (рис. 1.13). В случае перемещения по дуге выполняется так называемая линейная аппроксимация дуги, то есть замена дуги маленькими прямолинейными отрезками. Поэтому исполнительный орган станка также будет двигаться по «ступенчатой» траектории, которая визуально будет казаться абсолютно гладкой.

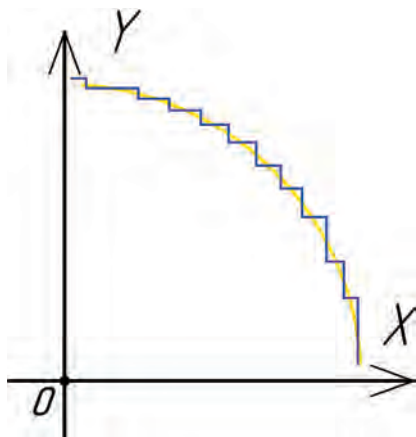


Рис. 1.13. Схема круговой интерполяции

## 1.4. Языки для программирования обработки

С момента появления первых станков с ЧПУ до внедрения новейших обрабатывающих центров появились различные языки для программирования обработки. Сегодня программирование в G- и M-кодах является наиболее популярным. **Язык G- и M-кодов основывается на положениях Международной организации по стандартизации (ISO) и Ассоциации электронной промышленности (EIA).** Официально этот язык считается стандартом для американских и европейских производителей оборудования с ЧПУ, и иногда его называют «ИСО 7 бит». Однако производители систем ЧПУ хоть и придерживаются этих стандартов для описания основных функций, но допускают вольности и отступления от правил, когда речь заходит о каких-либо специальных возможностях своих систем.

Системы ЧПУ Fanuc (Япония) были одними из первых, адаптированных под работу с G- и M-кодами ISO и использующими этот стандарт наиболее полно. В настоящее время стойки Fanuc являются очень популярными и наиболее распространенными как за рубежом, так и в России. Поэтому в этой книге основой для описания программирования в G- и M-кодах будет именно стиль СЧПУ Fanuc.

Стойки ЧПУ других известных производителей, например Heidenhain и Sinumerik (Siemens), также имеют возможности по работе с G- и M-кодами, однако некоторые коды все же могут отличаться. Но не стоит этого пугаться. Нет никакой необходимости знать все коды всех систем ЧПУ. **Достаточно знать набор основных G- и M-кодов**, а о возникшей разнице в программировании специфических функций можно узнать из документации к конкретной системе. Освоив стиль программирования Fanuc, скорее всего, вы сможете работать на любом другом оборудовании с ЧПУ.