

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ

«БРАТСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Кафедра машиностроения и транспорта



УТВЕРЖДАЮ:

Проректор по учебной работе

 Е.И. Луковникова

«31» мая 2019 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

УПРАВЛЕНИЕ СИСТЕМАМИ И ПРОЦЕССАМИ

Б1.В.ДВ.04.01

НАПРАВЛЕНИЕ ПОДГОТОВКИ

**15.03.05 Конструкторско-технологическое обеспечение
машиностроительных производств**

**ПРОФИЛЬ ПОДГОТОВКИ
Технология машиностроения**

Программа прикладного бакалавриата

Квалификация (степень) выпускника: бакалавр

Программа составлена в соответствии с федеральным государственным образовательным стандартом высшего образования по направлению подготовки 15.03.05 Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных производств от 11 августа 2016 г № 1000 и учебным планом ФГБОУ ВО «БрГУ» от 01.04.2019 г. № 196 для очной формы обучения для набора 2019 года

1. ПЕРЕЧЕНЬ ПЛАНИРУЕМЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ, СООТНЕСЕННЫХ С ПЛАНИРУЕМЫМИ РЕЗУЛЬТАТАМИ ОСВОЕНИЯ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ	3
2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ	3
3. РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ОБЪЕМА ДИСЦИПЛИНЫ.....	4
3.1 Распределение объёма дисциплины по формам обучения.....	4
3.2 Распределение объёма дисциплины по видам учебных занятий и трудоемкости	4
4. СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ	5
4.1 Распределение разделов дисциплины по видам учебных занятий	5
4.2 Содержание дисциплины, структурированное по разделам и темам	6
4.3 Лабораторные работы.....	28
4.4 Семинары / практические занятия.....	28
4.5 Контрольные мероприятия: курсовой проект (курсовая работа), контрольная работа, РГР, реферат.....	28
5. МАТРИЦА СООТНЕСЕНИЯ РАЗДЕЛОВ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ К ФОРМИРУЕМЫМ В НИХ КОМПЕТЕНЦИЯМ И ОЦЕНКЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ	29
6. ПЕРЕЧЕНЬ УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ.....	30
7. ПЕРЕЧЕНЬ ОСНОВНОЙ И ДОПОЛНИТЕЛЬНОЙ ЛИТЕРАТУРЫ, НЕОБХОДИМОЙ ДЛЯ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ.....	30
8. ПЕРЕЧЕНЬ РЕСУРСОВ ИНФОРМАЦИОННО-ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННОЙ СЕТИ «ИНТЕРНЕТ» НЕОБХОДИМЫХ ДЛЯ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ	30
9. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ДЛЯ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ОСВОЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ.....	31
9.1 Методические указания для обучающихся по выполнению лабораторных работ.....	31
9.2. Методические указания по выполнению курсового проекта (курсовой работы), контрольной работы, РГР, реферата	32
10. ПЕРЕЧЕНЬ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ, ИСПОЛЪЗУЕМЫХ ПРИ ОСУЩЕСТВЛЕНИИ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО ПРОЦЕССА ПО ДИСЦИПЛИНЕ	32
11. ОПИСАНИЕ МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЙ БАЗЫ, НЕОБХОДИМОЙ ДЛЯ ОСУЩЕСТВЛЕНИЯ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО ПРОЦЕССА ПО ДИСЦИПЛИНЕ	32
Приложение 1. Фонд оценочных средств для проведения промежуточной аттестации обучающихся по дисциплине.....	33
Приложение 2. Аннотация рабочей программы дисциплины	36
Приложение 3. Протокол о дополнениях и изменениях в рабочей программе	37
Приложение 4. Фонд оценочных средств для текущего контроля успеваемости по дисциплине.....	38

1. ПЕРЕЧЕНЬ ПЛАНИРУЕМЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ, СООТНЕСЕННЫХ С ПЛАНИРУЕМЫМИ РЕЗУЛЬТАТАМИ ОСВОЕНИЯ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ

Вид деятельности выпускника

Дисциплина охватывает круг вопросов, относящихся к производственно-технологическому виду профессиональной деятельности выпускника в соответствии с компетенциями и видами деятельности, указанными в учебном плане.

Цель и задачи дисциплины

Целью изучения дисциплины является – формирование у обучающихся теоретических и прикладных знаний о современных средствах и системах машиностроительного производства.

Задачами изучения дисциплины является:

- изучение числового программного управления (ЧПУ);
- получение навыков в эксплуатации устройств ЧПУ и механических систем управления оборудованием механической обработки изделий.

Код компетенции	Содержание компетенций	Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине
ПК-19	способность осваивать и применять современные методы организации и управления машиностроительными производствами, выполнять работы по доводке и освоению технологических процессов, средств и систем технологического оснащения, автоматизации, управления, контроля, диагностики в ходе подготовки производства новой продукции, оценке их инновационного потенциала, по определению соответствия выпускаемой продукции требованиям регламентирующей документации; по стандартизации, унификации технологических процессов, средств и систем технологического оснащения, диагностики, автоматизации и управления выпускаемой продукции.	знать: – современные методы организации и управления машиностроительными производствами; уметь: – выполнять работы по автоматизации и управлению технологических процессов в ходе подготовки производства новой продукции; владеть: – навыками управления и контроля технологическими процессами в ходе подготовки производства новой продукции.

2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ

Дисциплина Б1.В.ДВ.04.01 «Управление системами и процессами» является дисциплиной по выбору вариативной части.

Дисциплина «Управление системами и процессами» базируется на знаниях, полученных при изучении таких учебных дисциплин, как:

- «Оборудование машиностроительных производств»;
- «Теория автоматического управления».

Основываясь на изучении перечисленных дисциплин, «Управление системами и процессами» представляет основу для изучения дисциплин:

- «Металлорежущие станки»;
- «Основы технологии машиностроения»;
- «Технология машиностроения».

Такое системное междисциплинарное изучение направлено на достижение требуемого ФГОС уровня подготовки по квалификации бакалавр.

3. РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ОБЪЕМА ДИСЦИПЛИНЫ

3.1. Распределение объема дисциплины по формам обучения

Форма обучения	Курс	Семестр	Трудоемкость дисциплины в часах						Курсовая работа (проект), контрольная работа, реферат, РГР	Вид промежуточной аттестации
			Всего часов	Аудиторных часов	Лекции	Лабораторные работы	Семинары / Практические занятия	Самостоятельная работа		
Очная	3	5	108	51	17	34	-	57	-	зачет
Заочная	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Заочная (ускоренное обучение)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Очно-заочная	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

3.2. Распределение объема дисциплины по видам учебных занятий и трудоемкости

Вид учебных занятий	Трудоемкость (час.)	в т.ч. в интерактивной, активной, инновационной формах, (час.)	Распределение по семестрам, час
			5
I. Контактная работа обучающихся с преподавателем (всего)	51	-	51
Лекции (Лк)	17	-	17
Лабораторные работы (ЛР)	34	-	34
Групповые (индивидуальные) консультации	+	-	+
II. Самостоятельная работа обучающихся (СР)	57	-	57
Подготовка к лабораторным работам	34	-	34
Подготовка к зачету	23	-	23
III. Промежуточная аттестация	зачет	+	+
Общая трудоемкость дисциплины час.	108	-	108
..... зач. ед.	3	-	3

4. СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

4.1. Распределение разделов дисциплины по видам учебных занятий

- для очной формы обучения:

№ раздела и темы	Наименование раздела и тема дисциплины	Трудоемкость, (час.)	Виды учебных занятий, включая самостоятельную работу обучающихся и трудоемкость; (час.)		
			учебные занятия		самостоятельная работа обучающихся
			лекции	лабораторные работы	
1.	Области эффективного применения станков и станочных комплексов	3	1	-	2
2.	Станки автоматы и полуавтоматы	8	4	-	4
2.1.	Основные понятия об автоматизации металлорежущих станков	2	1	-	1
2.2.	Классификация станков-автоматов и полуавтоматов	2	1	-	1
2.3.	Системы управления с распределительным валом	2	1	-	1
2.4.	Автоматы и полуавтоматы параллельного, последовательного и параллельно-последовательного действия	2	1	-	1
3.	Станки с ЧПУ	86	9	34	43
3.1.	Ретроспектива развития ЧПУ	2	1	-	1
3.2.	Понятие о ЧПУ станками	2	1	-	1
3.3.	Классификация ЧПУ станками	2	1	-	1
3.4.	Преимущества станков с ЧПУ	2	1	-	1
3.5.	Типовая СПУ и ее особенности	2	1	-	1
3.6.	Подготовка и порядок подготовки программы	70	1	34	35
3.7.	Устройства подачи программно-носителя и считывания программы	2	1	-	1
3.8.	Кодирование технологических команд и логической информации	2	1	-	1
3.9.	Интерполяторы	2	1	-	1
4.	Исполнительные приводы станков с ЧПУ	11	3	-	8
4.1.	Шаговые приводы подачи	2	0,5	-	1,5
4.2.	Следящий привод подачи	2	0,5	-	1,5
4.3.	Исполнительные электродвигатели	2	0,5	-	1,5
4.4.	Регулируемый привод станков с ЧПУ	2	0,5	-	1,5
4.5.	Приводы главного движения	3	1	-	2
	ИТОГО	108	17	34	57

4.2. Содержание дисциплины, структурированное по разделам и темам

Раздел 1. Области эффективного применения станков и станочных комплексов

Обычно технологический процесс изготовления детали на станке позволяет одновременно закреплять заготовку, менять режущий инструмент, устанавливать необходимые режимы резания. Но практически на станке с ручным управлением рабочий все эти вспомогательные операции выполняет последовательно. Аналогичная ситуация имеет место и с рабочими операциями.

Увеличение масштабов производства, потребность в изготовлении большого количества одних и тех же машин обусловили появление универсальных станков – автоматов и полуавтоматов.

Особенностью станков-автоматов является высокая производительность, что достигается совмещением вспомогательных и рабочих операций, высокими скоростями выполнения всех вспомогательных перемещений, большим количеством одновременно работающих инструментов.

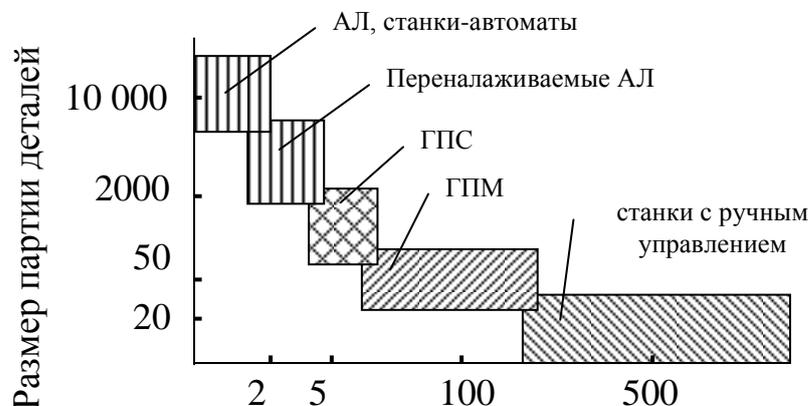


Рис. Области эффективного применения станочного оборудования: АЛ – автоматические линии; ГПС – гибкие производственные системы; ГПМ – гибкие производственные модули

Хотя станки-автоматы рассматриваемого вида и называют универсальными, возможность их переналадки значительно ниже, чем станков с ручным управлением.

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

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

Стремление максимально повысить производительность при больших масштабах производства привело к созданию специализированных и специальных станков-автоматов. Специализированными называются станки-автоматы, которые могут быть переналажены на обработку небольшой группы однотипных деталей (например, колец подшипников качения). Специальные станки-автоматы создаются для обработки одной единственной детали (например, колчатого вала). Узкая специализация такого оборудования приводит к значительному упрощению его компоновки, конструкции и системы управления, что позволяет обеспечить более высокую производительность и эффективность по сравнению с универсальными автоматами в условиях крупносерийного и массового производств.

При смене выпускаемого изделия большинство специализированного оборудования оказывается ненужным, несмотря на полную работоспособность.

Одним из методов решения поставленной задачи является унификация узлов (агрегатов), механизмов, деталей и систем управления станков-автоматов, что и привело к созданию агрегатных станков. За счет различных комбинаций унифицированных элементов можно быстро создавать высокопроизводительные специализированные станки-автоматы самого различного технологического назначения. Оригинальными в таких станках остаются только те узлы, конструкция которых связана с индивидуальными особенностями обрабатываемых деталей (шпиндельные коробки, зажимные приспособления), но и эти узлы собираются из унифицированных деталей.

Автоматические линии из агрегатных, специальных и универсальных станков обеспечивают дополнительное (в несколько раз) повышение производительности труда за счет автоматизации межстаночных транспортных операций, загрузки заготовок и выгрузки готовых деталей. Для обработки наиболее сложных и трудоемких деталей машин применяются комплексы автоматических линий, которые кроме металлорежущего оборудования встраиваются контрольные автоматы, моечные машины, агрегаты для термической обработки, промышленные роботы, накопители, автоматы для клеймения и другое оборудование. В составе автоматических линий могут быть также сборочные автоматы.

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

Автоматическим линиям присущи, однако, и недостатки. Прежде всего – это высокая трудоемкость, а иногда и невозможность переналадки линии на другую деталь (даже родственную) и тем более на другой технологический процесс. Имеет место также простой работоспособных станков, агрегатов из-за неполадок в другом оборудовании входящем в состав одной линии.

Большие перспективы дальнейшего повышения производительности труда и эффективности в машиностроительном производстве имеет создание гибких производственных систем (ГПС), управляемых от ЭВМ. ГПС представляет собой совокупность оборудования с ЧПУ, роботизированных технологических комплексов, гибких производственных модулей, отдельных единиц технологического оборудования и систем обеспечения их функционирования в автоматическом режиме в течение заданного интервала времени.

Любая ГПС обладает свойством автоматизированной переналадки при производстве изделий произвольной номенклатуры в установленных пределах значений ее характеристик.

Роботизированный технологический комплекс (РТК) состоит из единицы технологического оборудования, промышленного робота и средств накопления, ориентации и поштучной выдачи изделий.

Гибкий производственный модуль (ГПМ) – это единица технологического оборудования для производства изделий произвольной номенклатуры в установленных пределах значений их характеристик, автономно функционирующая, и имеющая возможность встраивания в ГПС.

В гибкой автоматизированной линии (ГАЛ) технологическое оборудование расположено в принятой последовательности технологи-

ческих операций.

Гибкий автоматизированный участок (ГАУ) функционирует по технологическому маршруту, в котором предусмотрена возможность изменения последовательности использования технологического оборудования.

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

Раздел 2. Станки автоматы и полуавтоматы

Тема 2.1. Основные понятия об автоматизации металлорежущих станков

Машиностроительное производство по своему характеру подразделяется на массовое, серийное и единичное с внутренним подразделением на мелкосерийное, среднесерийное и крупносерийное.

При массовом производстве технологическое оборудование специализируется на выполнение одинаковых, повторяющихся операций технологического процесса.

При серийном производстве технологическое оборудование специализируется на выполнение двух или нескольких закрепленных операций, чередующихся в определенной последовательности.

При единичном производстве технологическое оборудование загружается различными работами и не имеет закрепленных операций или объектов производства.

Важнейшим показателем, характеризующим тип производства, является номенклатура и количество выпускаемых изделий. При этом на одном и том же предприятии производство может иметь различный характер. Так при серийном характере производства основной продукции производство нормалей (болтов, винтов, гаек и т.д.) может носить массовый характер, а продукция инструментальных цехов - мелкосерийный или даже единичный.

Характер производства предъявляет определенные требования к технологическому оборудованию. Если в условиях массового производства со стабильными характеристиками выпуска продукции главным требованием к рабочим машинам является высокая производительность, то для условий серийного и единичного производства первостепенное значение приобретает универсальность и мобильность средств производства при обеспечении соответствующего качества продукции.

Под универсальностью понимается способность оборудования к переналадке на возможно широкий диапазон обрабатываемых изделий.

Мобильность определяется быстротой перехода с выпуска одних изделий на другие.

Как правило, чем выше производительность оборудования и степень его автоматизации, тем ниже показатели универсальности и мобильности.

Таким образом, массовое производство одних и тех же изделий в течение длительного периода времени требует создания дорогостоящих, предельно автоматизированных, высокопроизводительных машин, длительное время сохраняющих свои эксплуатационные качества. К таким машинам относятся прежде всего станки-автоматы и полуавтоматы, а в условиях серийного производства - станки с ЧПУ. Из таких станков компонуются в дальнейшем гибкие производственные модули и системы, автоматические линии.

Обработка деталей на металлорежущих станках состоит из рабочих и вспомогательных операций. Во время рабочих операций осуществляется формирование требуемой поверхности, то есть производится процесс резания. К вспомогательным относят операции управления станком, установки, закрепления и снятия обрабатываемой детали, операции подвода и отвода инструментов, контроля размеров и т.д.

Автоматами называют станки, в которых весь цикл изготовления детали, начиная от загрузки заготовок и кончая выгрузкой готовых изделий полностью автоматизирован, то есть процесс изготовления деталей происходит без участия оператора. Оператор осуществляет только лишь загрузку станка на партию обрабатываемых деталей и первоначальный пуск.

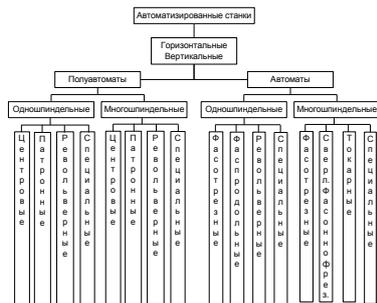
Полуавтоматами называют станки, в которых весь цикл обработки деталей автоматизирован, а операции загрузки станка штучными заготовками, выгрузки готовых изделий, а также операции управления станком, т.е. его включение и выключение производятся оператором вручную при каждом цикле.

К станкам с ЧПУ обычно относят универсальные станки, в систему автоматического управления которых вводят числа или символы, отражающие величину и характер перемещений инструмента и детали относительно друг друга и работают по заданной программе. Как правило, такие станки характеризуются большой гибкостью, маневренностью и универсальностью в условиях современного динамического производства.

Тема 2.2. Классификация станков-автоматов и полуавтоматов

Автоматизированные станки в основном подразделяют по размерам, роду обрабатываемой заготовки, технологическим возможностям (выполняемым операциям), по точности обработки, принципу действия, по конструкции, числу различных органов (шпинделей) и по типам (см. рис. 1).

Рис.1. Системы управления автоматическими станками.



Так все автоматизированные станки можно подразделить на вертикальные и горизонтальные, которые, в свою очередь делятся на автоматы и полуавтоматы, одношпиндельные и многошпиндельные и т.д.

Вертикальные станки обычно являются более тяжелыми и мощными, чем горизонтальные и предназначаются для обработки деталей большого диаметра и относительно небольшой длины.

Токарные автоматы и полуавтоматы предназначены для обработки деталей из прутка или штучных заготовок соответственно и позволяют выполнить следующие операции: точение продольное и поперечное, подрезание торцов, центрирование отверстий, сверление, растачивание, зенкерование, нарезание наружных и внутренних резьб, накатывание рифлений, фасонную обработку, отрезку деталей, а при оснащении станков спец. приспособлениями - фрезерование шлиц, лысок и другие операции.

Системы автоматического управления обеспечивают работу станка по заранее заданной программе. Главное отличие автомата от обычного универсального станка состоит в том, что он по точной, заранее составленной программе выполняет определенный повторяющийся цикл работы.

Выбор системы управления во многом зависит от специфики технологического процесса, от конкретных производственных условий, в которых будет эксплуатироваться станок и от требований экономики.

Кроме того, система управления накладывает свои особенности на кинематику и конструкцию станков, систему транспортных и вспомогательных устройств,

так как они неотделимы от системы управления.

Однако любая система управления, независимо от ее технологического назначения, должна отвечать следующему ряду основных требований:

1. высокоточное исполнение команд на перемещение;
2. синхронизация перемещений в различных циклах;
3. высокая надежность работы;
4. мобильность при смене объекта производства;
5. простота конструкции и низкая стоимость;
6. оптимальное регулирование процесса обработки;
7. короткий цикл подготовки программы работы;
8. выполнение большого количества команд (переключение подач и частот вращения шпинделя, поворот резцовой головки, включение и выключение САЖ, смена инструмента и т.д.);
9. управление продолжительными циклами обработки без смены программноносителя.

Системы управления автоматов и полуавтоматов можно различать по следующим признакам: по принципу синхронизации, степени централизации управления, по методу воздействия, числу управляемых координат, виду программноносителя, по наличию или отсутствию обратной связи и т.д.

Централизованные системы управления характеризуются тем, что управление всем технологическим циклом осуществляется с центрального командного устройства (командоаппарата, пульта, распределительного вала, лентопротяжного устройства) независимо от действия и положения ИО. У таких систем управления (СУ) продолжительность рабочего цикла для каждого ИО является, как правило, величиной постоянной. Благодаря простоте схемы управления, надежности в работе удобству обслуживания и наладки централизованные СУ получили наибольшее применение в автоматах и полуавтоматах. К числу недостатков подобных систем можно отнести необходимость иметь дополнительные предохранительные устройства, так как команды с центрального пульта подаются вне зависимости от действия и положения исполнительных и рабочих органов.

Децентрализованные СУ, называемые иногда путевыми, осуществляют управление при помощи датчиков (чаще всего путевых переключателей и конечных выключателей), включаемых движущимися ИО. Эти системы основаны на управлении упорами. Все ИО связаны между собой так, что каждое последующее движение одного может происходить только лишь после окончания движения предыдущего ИО. Преимуществом этой системы управления является отсутствие блокировки, так как команды подаются только лишь после окончания предыдущей операции. Однако датчики расположены в рабочей зоне станков и нередко выходят из строя из-за попадания стружки, пыли, масла и выдают неправильные команды вследствие закорачивания электрических цепей. Кроме того, такие датчики являются еще недостаточно надежными в работе.

Смешанные СУ являются комбинацией первых двух систем. Здесь управление некоторыми элементами цикла осуществляется как в децентрализованной системе, а другими (остальными) от центрального командного, командного устройства. Например, управление всем циклом обработки детали осуществляется централизованно, а контроль выполнения очередных команд - при помощи путевых датчиков.

Наиболее важным и характерным признаком любой системы ПУ является способ задания программы обработки, выбор которого во многом зависит от назначения СУ, от структурной особенности и экономической целесообразности. Любая СУ выполняет строго определенный, заранее намеченный комплекс операций по обработке детали, составленный в виде программы работы автомата. Поэтому СПУ имеет программноноситель, который в той или иной отражает величину, траекторию, скорость и направление перемещения детали и инструмента.

По способу задания программы и виду программирования имеются:

1. системы управления упорами;
2. системы управления копирами;
3. системы управления распределительным валом;
4. СЦПУ (упоры, коммутаторы, штекерное табло);
5. системы ЧПУ (перфокарты, перфоленты, магнитные ленты и т.д.).

Наиболее высокой надежностью обладает **СУ распределительным валом**. Она представляет собой характерный пример централизованной разомкнутой СУ без обратной связи, обеспечивающей надежную и точную синхронизацию рабочего цикла любой сложности. Эта СУ получила широкое распространение в автоматах самого широкого распространения.

СУ упорами нашли широкое распространение в современных агрегатных станках и автоматических линиях.

СУ копирами, обладая целым рядом преимуществ (возможность обработки деталей со сложными поверхностями, универсальность и мобильность при наладке, широкая возможность автоматизации станков и т.д.) имеют и недостаток - невозможность работы несколькими инструментами, автоматизация только рабочих ходов и сравнительно высокая трудоемкость изготовления копиров.

Цикловые СПУ в отличие от СЧПУ более просты по структуре построения, конструкции и схеме их узлов. Они имеют меньшую стоимость, меньшую сложность освоения, достаточно высокую надежность работы, простоту устранения возникающих неисправностей, но и менее широкие возможности, чем СЧПУ.

Системы ЧПУ более сложны, чем ЦСПУ, более универсальны, обладают высокой гибкостью и переналаживаемостью оборудования на обработку новой детали, но и менее надежны. Несмотря на высокую пока еще их стоимость и сложность в обслуживании они находят все большее и большее применение, особенно при обработке сложных корпусных и дорогостоящих деталей.

Выбор той или иной СУ оказывает существенное влияние на все технико - экономические показатели автоматов и полуавтоматов: их производительность, надежность в работе и экономическую эффективность.

Производительность рабочих машин - это величина, обратная длительности рабочего цикла и суммарных внецикловых потерь. Учитывая только собственные внецикловые потери, получим;

$$Q = \frac{1}{t_p + t_x + \sum C_i + t_e + t_{пер}} \quad (1)$$

Здесь: t_p - время рабочих ходов цикла;
 t_x - время холостых ходов;
 $\sum C_i$ - потери по инструменту;
 t_e - потери по оборудованию;
 $t_{пер}$ - потери по переналадке;

$$t_{пер} = \frac{\Theta_{пер}}{a},$$

$\Theta_{пер}$ - время затрачиваемое на переналадку станка при переходе на

обработку другой детали;

a - размер партии обрабатываемых деталей. ($1 < a < \infty$).

Применение различных СУ в значительной степени зависит от потерь на холостые хода рабочего цикла t_x и длительности переналадки станка $\Theta_{пер}$.

По принципу осуществления холостых ходов все автоматы и полуавтоматы можно разделить на три группы.

В автоматах первой группы величина потерь холостых ходов пропорциональна изменению величины рабочих ходов. По этому принципу построены СУ почти всех неметаллорежущих станков с распределительным валом (РВ) - пищевых, текстильных, электровакуумных и др., а также металлорежущих для несложных работ. К этой же группе относятся станки с ПУ с управлением от магнитной ленты при

постоянной скорости ее протягивания. При этом цикловая производительность $Q_{ц1}$ пропорциональна технологической K , т.е.

$$Q_{ц1} = K \cdot \left(1 - \frac{\beta_1}{2\pi}\right) = K \cdot \eta_1, \quad \text{где} \quad (2)$$

η_1 - коэффициент производительности. $\eta_1 = \text{const}$.

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

β_1 - угол хх. (без учета совмещений **)

$$K = \frac{1}{t_p}$$

В автоматах второй группы СУ построена таким образом, что изменение величины рабочих ходов и технологической производительности не влияет на длительность холостых ходов, которые остаются постоянными. К автоматам этой группы относятся, например, гидрокопировальные станки, где длительность зажима деталей, быстрого подвода и отвода суппортов и других холостых ходов не зависит от изменения режимов и длительности обработки. К этой группе относятся и токарные многошпиндельные автоматы, автоматические линии из агрегатных станков с системой управления упорами и др. Их общим признаком является условие:

$$t_{хх} = \text{const}$$

Цикловая производительность автоматов второй группы выражается формулой

$$Q_{ц1} = \frac{K}{K \cdot t_{х1} + 1} = K \cdot \eta_{II}. \quad (3)$$

Автоматы третьей группы (промежуточной) сочетают характерные признаки автоматов первой и второй групп. Их СУ строятся таким образом, что при изменении длительности рабочих ходов одна часть холостых ходов меняется пропорционально, а остальная - остается неизменной. Следовательно, для автоматов данной группы характерны оба признака: $\eta_1 = \text{const}$; $t_{х1} = \text{const}$.

По этому принципу построены, например, многие автоматы в электровакуумном машиностроении, которые кроме основного распределительного вала, вращающегося с постоянной скоростью, имеют и периодически включающийся быстровращающийся вал, от кулачка которого происходит поворот карусели.

В автоматах третьей группы длительность рабочего цикла

$$T = t_p + t_{х1} + t_{хII}, \quad (4)$$

где $t_{х1}$ — холостые ходы, совершаемые по группе 1 (зависящие от изменения t_p).

$t_{хII}$ — холостые ходы, совершаемые по группе 2 (независимые от изменения t_p).

$$Q_{цIII} = K \cdot \left(1 - \frac{\beta_1}{2\pi}\right) \cdot \frac{1}{1 + K t_{хII}} = K \cdot \eta_1 \cdot \eta_{II} \quad (5)$$

Здесь: η_1 - коэффициент производительности без учета холостых ходов группы 2;

$$\eta_{II} = \frac{K}{K \cdot t_x + 1} \text{ — коэффициент производительности без учета холостых ходов группы 1;}$$

Это дает возможность сравнивать величину цикловой производительности при различных вариантах построения систем управления и выбирать для каждого конкретного случая самые оптимальные варианты (рис.). Из графика видно, что кривая производительности автоматов третьей группы занимает промежуточное значение между кривыми автоматов первой и второй групп, так как в диапазоне изменения технологической производительности от K_1 до K_2 она обеспечивает большую производительность, чем автоматы первой и второй групп. Вне этих пределов автоматы промежуточной группы менее производительны, чем автоматы группы 2 ($K_3 < K_2$) и группы 1 ($K_3 < K_1$). Из этого же графика виден диапазон использования автоматов первой и второй групп.

На основе анализа конструкций и динамического исследования большого числа целевых механизмов металлорежущих автоматов и полуавтоматов можно сделать следующие выводы:

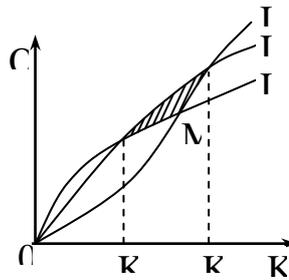


Рис.

1. если $K > 10$ шт./мин., автоматы должны строиться по схеме группы 1.
2. если $K < 1$ шт./мин., автоматы должны строиться по схеме группы 2.
3. если $K = 0.5 \dots 10$ шт./мин., автоматы должны строиться по схеме группы 3.

Иными словами, для мелких и легких работ следует создавать автоматы первой группы; для мелких и средних работ, требующих сложной последовательной обработки, - автоматы III группы; для средних и тяжелых работ - автоматы и полуавтоматы II структурной группы.

Вторым параметром, определяющим выбор той или иной СУ при создании автомата, является длительность переналадки на обработку других деталей. При массовом и крупносерийном производстве ($N \rightarrow \infty$) потери на переналадку равны или близки к нулю ($t_{пер} \rightarrow 0$), поэтому выбор системы управления определяется максимальной величиной цикловой производительности. Однако в условиях серийного и мелкосерийного производства важнейшим определяющим фактором становится мобильность СУ, быстрота их переналадки. При плохой мобильности фактическая производительность автоматов в условиях серийного производства оказывается во много раз ниже производительности их в массовом производстве.

Именно малая длительность переналадки обусловила широкое применение СПУ как наиболее мобильных, в то время, как для массового стабильного производства основой автоматизации по-прежнему остаются СУ с распределительным валом и кулачками. N - размер партии обрабатываемых деталей между переналадками.

Тема 2.3. Системы управления с распределительным валом

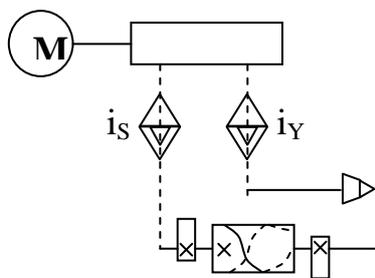


Рис.

Причем кулачки для осуществления холостых ходов являются постоянными, требующими определенного угла поворота РВ, тогда как кулачки для производства рабочих ходов в зависимости от характера работы в каждом конкретном случае требуют различных углов поворота РВ.

Для автоматов этой группы характерна большая потеря времени при вспомогательных движениях. Однако в автоматах малых размеров с небольшим количеством холостых движений и небольшим рабочим циклом (до 20с) применение такой схемы целесообразно вследствие ее простоты.

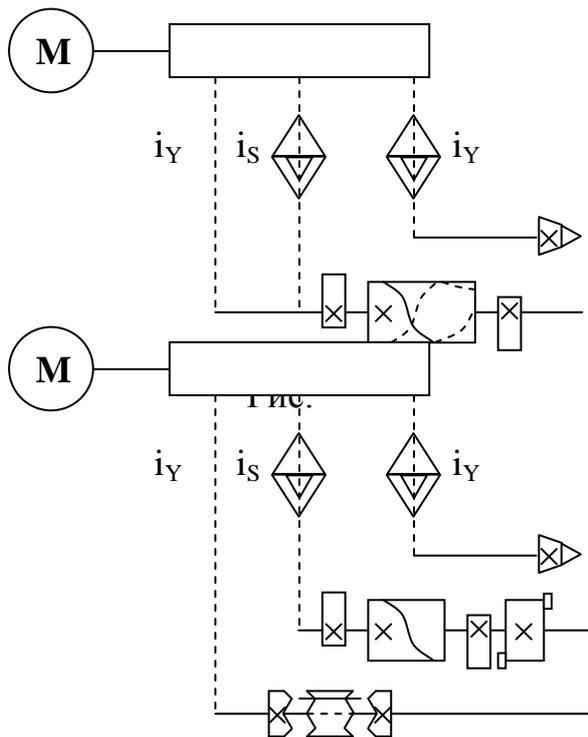


Рис.

Автоматы группы II представляет собой основную часть автоматного парка металлорежущих станков. К этой группе относится часть одношпиндельных и почти все многошпиндельные автоматы и полуавтоматы.

Автоматы группы II также имеют один РВ с кулачками для осуществления рабочих и холостых ходов. Но в отличие от автоматов I группы в автоматах II группы РВ получает две скорости вращения: рабочую (медленную) и для осуществления холостых ходов (быструю).

Привод рабочего движения имеет звено настройки i_s , обеспечивающее для каждого конкретного случая различную скорость вращения РВ. Для осуществления холостых ходов РВ получает вращение по другой кинематической цепи i_Y , без звена настройки с постоянной скоростью, определяемой прочностью звена механизма холостых ходов автомата.

Следовательно, каково бы ни было время обработки детали, время на осуществление холостых ходов остается постоянным, а коэффициент производительности автоматов группы II является величиной переменной, зависящей от технологической производительности.

Автоматы группы III (промежуточной) представляют собой сочетание автоматов групп I и II. Автоматы этих групп имеют два вала: Распределительный 1 и вспомогательный 2. Распределительный вал 1 вращается с одной скоростью, определяемой звеном настройки i_s , как при осуществлении рабочих, так и холостых ходов. На нем установлены кулачки рабочих ходов и некоторой части холостых. Кроме того, этот вал несет на себе командные кулачки для переключения тех или иных механизмов, осуществляющих холостые движения с помощью специального вспомогательного вала 2, а также муфты включения и выключения механизмов холостых ходов.

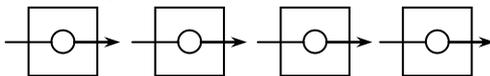
Вспомогательный вал вращается с большей скоростью, чем распределительный вал по отдельной кинематической цепи i_Y , характерной для данной конструкции автомата.

Автоматы III структурной группы характерны для токарно-револьверных автоматов и полуавтоматов.

Основными характеристиками СУ с РВ является длительное время переналадки, что обусловило их применение прежде всего в автоматах и полуавтоматах для массового и крупномасштабного производства. Для уменьшения времени наладки автоматов в плоских кулачках небольших размеров делают пазы для замены их без демонтажа РВ. Другим средством повышения мобильности является бескулачковая наладка, то есть с ЧПУ.

Тема 2.4. Автоматы и полуавтоматы параллельного, последовательного и параллельно-последовательного действия

Простейшим структурным вариантом любой рабочей машины является однопозиционная машина, на которой осуществляется полно-



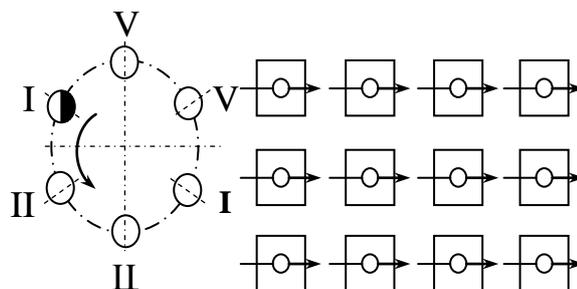
стью или частично весь технологический процесс обработки, сборки или контроля изделий. Такие машины для выполнения заданного технологического процесса должны иметь минимально необходимый комплект механизмов рабочих и холостых ходов, привода, комплект инструмента и т. д. Так токарный одношпиндельный автомат должен иметь один шпиндель, один механизм зажима и подачи прутка, поперечные суппорты и т. д. (токарно-револьверные автоматы, автоматы фасонно-продольного точения). Отличительной чертой таких автоматов является последовательное использование всех инструментов технологического комплекта (возможно совмещение некоторых операций).

Если технологический процесс дифференцирован, то есть каждая машина выполняет одну составную операцию, то она должна иметь полный комплект механизмов и устройств и инструментов из технологического комплекта.

В многопозиционных машинах, выполняющих весь дифференцированный и концентрированный технологический процесс, количество механизмов неизбежно увеличивается по сравнению с однопозиционной машиной. Так, многошпиндельные токарные автоматы и полуавтоматы, обрабатывающие те же детали, что и на т/р. автомате, должны иметь столько механизмов зажима и подачи прутка, сколько шпинделей имеет станок и идентичный технологический комплект инструмента.

Таким образом, если в однопозиционных машинах общее время рабочего цикла определяется суммарной длительностью всех не совмещенных операций, то в многопозиционных интервал выпуска изделий равен длительности одной составной операции плюс время холостых ходов на загрузку и зажим деталей, подвод и отвод инструмента и т.д., что приводит к повышению производительности.

Дальнейший рост требований к производительности приводит к тому, что одна технологическая цепочка машин с дифференцированным технологическим процессом уже не в состоянии обеспечить производственную программу. Отсюда появление многопоточных технологических машин.



Исходя из изложенного различают машины последовательного, параллельного и последовательно-параллельного (смешанного) действия.

На машинах последовательного действия все операции выполняются последовательно на одном изделии по рабочим позициям в порядке, заданном технологическим маршрутом обработки детали. При этом весь технологический комплекс инструмента рассредоточен по позициям обработки. Обработка на всех позициях происходит одновременно, после завершения которой производятся холостые ходы (перемещение деталей в следующую позицию, зажим и разжим заготовок, передача новой заготовки в I-ю позицию, подвод и отвод суппортов и т.д.). При этом каждая деталь последовательно проходит через все рабочие позиции, а длительность рабочего цикла машин (автоматов и полуавтоматов) равна интервалу выпуска одной детали.

По такому циклу работает большинство автоматов и полуавтоматов одношпиндельных и многошпиндельных, вертикальных и горизонтальных.

В машинах параллельного действия, как правило, в нескольких позициях одновременно выполняется одна и совмещенные с ней операции технологического процесса, а следовательно, такие машины имеют один механизм рабочего хода (суппорт, инструментальный блок и др.). За каждый цикл работы таких автоматов со станка сходит одновременно столько деталей, сколько позиций имеется на станке. Длительность же рабочего цикла определяется временем срабатывания основных механизмов (суппортов, инструментальных блоков и др.).

Машины параллельно-последовательного или смешанного действия концентрируют как одноименные, так и разноименные операции. Такие машины применяются при сложных технологических процессах обработки и большой производственной программе.

Компоновка автоматов и полуавтоматов. В зависимости от технологических возможностей и назначения автоматы и полуавтоматы могут быть различного конструктивного исполнения.

Автоматы фасонно-продольного точения выполняются одношпиндельными для пруткового материала диаметром обычно до 12-16 мм и применяются для обработки детали большой длины и малых диаметров со сложным контуром с точностью по 5-8 качеству, шероховатостью $R_a=1,25$ мкм. Они получили широкое распространение в часовой и приборостроительной промышленности, где используются для изготовления различных валов и осей. Повышенные требования к точности обработки и небольшая жесткость обрабатываемых деталей привели к необходимости применения люнетов, которые размещаются в кронштейне близко к месту обработки. В процессе обработки детали пруток, зажатый во вращающемся шпинделе, постепенно перемещается в осевом направлении на заданные величины, а инструменты поочередно подходят к прутку и производят обработку. Инструмент закрепляется в 4-5 поперечных суппорта. Помимо продольного и поперечного точения на таких автоматах можно осуществлять фасонную обработку, точение конусов, обработку отверстий, нарезание резьб и т.д.

Фасонно-отрезные автоматы, работающие из проволоки, применяются для выполнения различных фасонно-отрезных работ из материала, диаметром до 8 мм. Чаще всего это обработка шпилек, винтов и других простейших по конструкции деталей. Обработанный материал при обработке деталей не вращается и остается зажатом между двумя зажимными механизмами, один из которых расположен

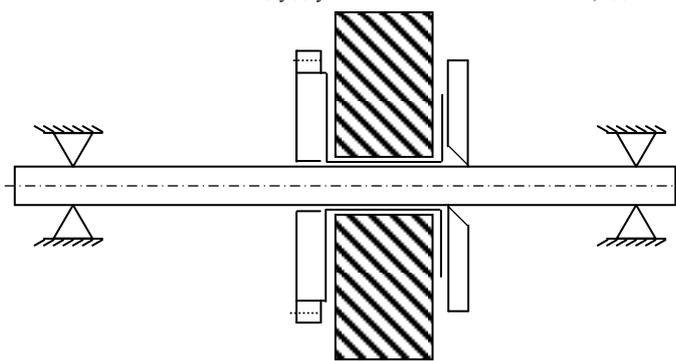
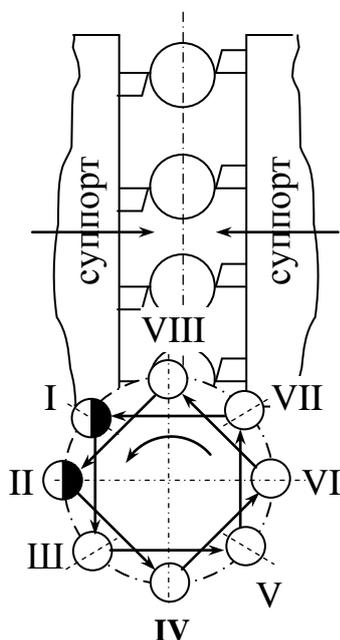
спереди шпинделя, а другой позади него. Вращение получают суппортные головки. Кроме того, в процессе обработки инструменты получают поперечное перемещение. По окончании обработки детали и ее отрезки инструменты возвращаются в исходное положение, зажимные механизмы освобождают пруток и происходит подача новой порции материала, после чего цикл повторяется. Другой характерной особенностью станков этой системы является наличие механизма правки, который осуществляют с помощью роликов, между которыми пропускается проволока.

Одношпиндельные фасонно-отрезные автоматы применяются для обработки коротких деталей из прутка (прутковые) и штучных заготовок (магазинные, бункерные) с точностью по 8..13 качеству и шероховатостью $R_a=2$ мкм.

Наибольшее распространение получили прутковые автоматы для прутков диаметром от 3 до 25 мм. Пруток или штучная заготовка зажимаются во вращающемся шпинделе, а резцы получают поперечную подачу. По окончании обработки детали в зону обработки либо подается новая заготовка, либо выдвигается пруток до упора. При обработке деталей на таких автоматах, как правило, используются фасонные инструменты.

Одношпиндельные токарно-револьверные автоматы применяются для обработки деталей сложной формы из прутков диаметром до 70 мм, с точностью по 8..13 качеству и шероховатостью $R_a=2$ мкм. Автоматы имеют револьверную головку и 2-4 поперечных суппорта. Пруток подается из шпинделя на определенную величину и зажимается, после чего производится последовательная обработка инструментами, закрепленными в револьверной головке и в суппортах. После отрезки готовой детали пруток снова подается до упора на определенную величину и цикл повторяется.

Многошпиндельные автоматы последовательного действия проектируются, как правило, для обработки деталей из пруткового материала диаметром до 100 мм, реже для обработки штучных заготовок с магазинным питанием и могут быть 4, 6, 8 и 12 шпиндельными. Автоматы имеют продольный суппорт и поперечные на каждую позицию, а также оснащаются разного рода приспособлениями, расширяющими технологические возможности автомата (резьбонарезное устройство, быстросверлильное, для фрезерования пазов, шлиц и др.). По окончании одного цикла шпиндельный блок поворачивается на одну или несколько позиций и цикл повторяется. За каждый цикл со



станка сходит готовая деталь.

Многошпиндельные автоматы непрерывного действия применяются в основном для обработки штучных заготовок с бункерным или магазинным питанием. В процессе непрерывного карусельного вращения шпиндельного блока вокруг неподвижной колонны осуществляется обработка деталей либо путем перемещения заготовок относительно неподвижных инструментов, либо перемещением инструментов относительно заготовок. Полный поворот стола вокруг колонны соответствует времени обработки заготовки и удаления готовых деталей со станка. Как правило, такие автоматы применяются для обработки сравнительно несложных деталей.

Многошпиндельные фасонно-отрезные автоматы являются результатом развития одношпиндельных фасонно-отрезных автоматов и представляют собой, по существу, несколько соединенных в одном корпусе отдельных одношпиндельных автоматов, каждый из которых осуществляет полную обработку детали (автоматы параллельного действия). Они строятся обычно 2, 4, 6 и 8 шпиндельные.

Патронные и центровые многорезцовые одношпиндельные полуавтоматы широко применяются в крупносерийном и массовом производстве тяжелых и сложных работ. Весь процесс обработки производится автоматически, за исключением установки и закрепления заготовок, т.к. конфигурация заготовок в большинстве случаев требует сложных механизмов для автоматического зажима заготовок.

Такие полуавтоматы предназначены для выполнения различных операций, а поэтому кроме поперечных суппортов они снабжаются продольным суппортом. Детали большой длины можно обрабатывать в центрах одновременно несколькими продольными и поперечными суппортами, расположенными по ее длине на круглых скалках (направляющих). Применяя ряд специальных приспособлений, можно осуществлять обработку фасонных поверхностей.

Патронные и центровые полуавтоматы чаще строятся с горизонтальной осью и реже имеют вертикальную компоновку.

Револьверные полуавтоматы предназначены для сложных патронных и центровых работ, требующих большого количества последовательно работающих инструментов. Полуавтоматы этого типа получают все большее применение ввиду их мобильности и широких технологических возможностей в серийном и мелкосерийном производстве деталей длиной до 1750мм, а также деталей типа фланцев, дисков, шкивов, зубчатых колес и др. за один или несколько проходов. Станки могут оснащаться и устройствами для смены инструментов по программе, число которых может достигать 16.

Многошпиндельные полуавтоматы последовательного действия. По принципу действия не отличаются от многошпиндельных автоматов и предназначены для обработки штучных заготовок из различных материалов (втулки, кольца, гильзы, зубчатые колеса и др.). Отличием многошпиндельных горизонтальных полуавтоматов от аналогичных автоматов является отсутствие блока направляющих труб для поддержания вращающихся прутков и наличие зажимных, обычно пневматических патронов. Процесс смены готовой детали на заготовку осуществляется на специально для этого отведенной позиции и производится во время обработки на других позициях. Шпиндель в позиции загрузки не вращается. После установки заготовки оператор включает шпиндель и тем самым снимает блокировку от поворота шпиндельного блока.

Такие полуавтоматы получают широкое применение в крупносерийном и массовом производстве. На них можно выполнять самые разнообразные операции. При оснащении их специальными загрузочными устройствами они могут работать полностью по автоматическому циклу. По специальному заказу они могут выполняться с двойной индексацией шпиндельного блока, то есть могут работать как двоярные полуавтоматы с загрузкой в двух позициях, что позволяет обрабатывать одновременно две несложные детали. Производительность при этом значительно возрастает.

Вертикальные многошпиндельные полуавтоматы предназначены для обработки, в основном, крупногабаритных деталей большого диаметра и небольшой длины. Шпиндель в загрузочной позиции не вращается. В остальных позициях шпиндель вращается с частотой, необходимой по характеру обработки в данной позиции. Шпиндельный блок по окончании обработки во всех позициях по команде оператора поворачивается на одно деление вокруг неподвижной колонны, на гранях которой установлены суппорты. Все суппорты имеют независимый привод. Они могут осуществлять продольную и поперечную обработку, точение конусов и фасонных поверхностей.

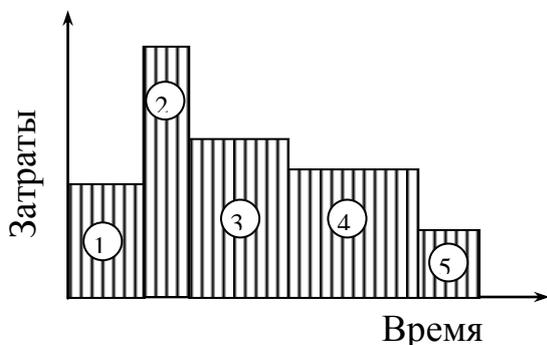
Существуют полуавтоматы непрерывного действия с фасонно-продольной обработкой, многошпиндельные полуавтоматы непрерывного действия с невращающейся заготовкой, многошпиндельные полуавтоматы последовательного действия для обработки деталей неправильной формы (рычаги, автотракторные детали и т. д.) в основном для осевой обработки.

Раздел 3. Станки с ЧПУ

Тема 3.1. Ретроспектива развития ЧПУ

Дальнейшее совершенствование и развитие любой отрасли машиностроения немыслимо без широкой и комплексной автоматизации производственных процессов.

Известно, что на обработку резанием при изготовлении детали в настоящее время приходится 40-45% от общей трудоемкости, обработку давлением - 7-8%, сварочные процессы - 5-6% и т.д. на заготовительные операции, транспортирование, складирование деталей. Такое разделение сохранится как минимум до 2000 года, т.к. основная масса деталей изготавливается, и будут изготавливаться из сталей и чугунов и только незначительная их часть из различных полимерных материалов. Кроме того, на обработку металлов резанием затрачивается значительно меньше энергии, чем на другие технологические процессы при лучшем качестве обрабатываемых поверхностей. Так при эл. физических методах обработки энергии требуется в 10 раз больше, чем при обработке резанием, а при обработке лучом лазера - в сто тысяч раз. Поэтому металлорежущие станки были, есть и будут основным технологическим оборудованием, но с ним произойдут радикальные изменения, что повлечет радикальные изменения и во всем машиностроении. Типаж металлорежущих станков весьма велик и разнообразен (9 групп, 9 подгрупп, плюс целая масса станков специальных и специализированных). Большая часть этих станков приходится на долю единичного, мелкосерийного и серийного производства (около 75%). А это значит, что на каждом таком станке должен быть оператор. Возникает 1-я ПРОБЛЕММА - нехватка станочников. Так, в настоящее время, на 3 млн. станков приходится 2 млн. станочников. Кроме того, тяжело повышать производительность. При замене морально устаревшей модели станка новой, производительность может быть повышена, но в общем балансе времени она незначительна. В результате затраты времени на обработку с использованием станков общего назначения



и специализированных в условиях мелкосерийного и серийного производства значительно превышают их для крупносерийного и массового производства. Применение же станков специальных, станков-автоматов и автоматических линий в условиях мелкосерийного и серийного производства крайне нежелательно. Это 2-я ПРОБЛЕММА.

Далее, доля затрат на складирование и транспортирование в условиях мелкосерийного и серийного производства значительно перекрывает по площадям долю затрат на заготовительные операции и размерную обработку деталей.

1. Затраты на заготовительные операции.
2. Затраты на размерную обработку на станках.
3. Затраты на транспортирование деталей.
4. Затраты на складирование деталей.
5. Затраты на различные финишные операции (отделочные работы, смазка, упаковка и т.д.).

Ликвидация затрат на транспортирование и складирование деталей является очередной ПРОБЛЕМОЙ в машиностроении. Необходимо решать вопросы, чтобы деталь со станка сходила в уже готовом виде и по каналам связи (транспортеры, конвейеры) передавалась на сборочные посты, минуя складские помещения.

С развитием автотракторостроения, авиастроения, ракетной техники, новейшей научно-исследовательской аппаратуры к металлообрабатывающему оборудованию предъявляется все больше и больше требований. Для новых отраслей характерно усложнение объектов производства. Так, в самом сложном современном автомобиле насчитывается более 4 тыс. наименований деталей, а самолет типа АН-22 -

один из крупнейших в мире транспортных кораблей, содержит уже около 400 тыс. наименований деталей, нормалей и узлов. Пассажирский самолет средних размеров включает примерно 60 тыс. деталей. В конструкциях растет число совершенно оригинальных, не встречающихся ранее узлов и деталей. Решить задачу выпуска таких новых объектов в кратчайшие сроки, даже с использованием станков-автоматов и полуавтоматов практически невозможно. Для этого необходимо спроектировать и изготовить около 2000 копиров, 3-5 тыс. различных штампов, около 1000 кулачков, 15-20 тыс. шаблонов для измерения заготовок, деталей и узлов. Изготовление такого количества оснастки требует колоссальных затрат труда рабочих, что ведет к низким темпам изготовления машин, которые зачастую устаревают еще до того, как выйдут на испытание.

Можно констатировать, что в станках-автоматах и полуавтоматах высокая производительность достигнута за счет узкой специализации, приведшей к потере маневренности, гибкости и плохой адаптации станка к меняющимся объектам производства. Автоматизация движений в таких станках, их последовательность и продолжительность осуществляется применением различного рода кулачков, копиров, упоров и других кинематических элементов, которые в процессе работы быстро изнашивались, в результате чего точность обработки на таких станках снижалась и не превышала обычно третьего класса. Переналадка таких станков на обработку другой детали приводила к необходимости длительной регулировки многочисленных упоров и изготовлению новых кулачков высококвалифицированными лекальщиками.

Именно поэтому станки-автоматы и полуавтоматы эффективны лишь в условиях крупносерийного и массового производства с устойчивой номенклатурой изделий.

Однако такой тип производства дает в настоящее время менее 30% всей продукции машиностроения и приборостроения, а свыше 70% - производится в отраслях единичного, мелкосерийного и серийного производства с быстрой сменяемостью номенклатуры. Доля этих типов производства под влиянием воздействия НТР будет еще выше.

Таким образом, быстрые темпы обновления продукции машиностроения и приборостроения поставили на повестку дня ЗАДАЧУ создания универсального станка-автомата, обладающего и высокой производительностью, и достаточной гибкостью, и маневренностью в условиях современного динамического производства.

Для решения этих проблем призваны станки с ЧПУ, создание которых стало возможным благодаря бурному развитию электроники и вычислительной техники. Первое устройство ЧПУ было изобретено в 1949 году советскими специалистами А.Е.Кобринским, М.Г. Брейдо и В.К.Бесстрашным. В 1955 г. был изготовлен макетный образец станка с ЧПУ, а в 1957 г. советский станок с ЧПУ демонстрировался на Всемирной выставке в Брюсселе, где он завоевал первую премию "Гран-при". В этом станке дозировка размерных перемещений осуществлялась с помощью механического шагового привода с анкерным механизмом.

С 1959 г. начинается все расширяющийся промышленный выпуск станков с ЧПУ. С этого времени начался 1-й ЭТАП в развитии станков с ЧПУ.

Для устройств ЧПУ первого поколения характерно применение полупроводниковых приборов и электронных машин. Широкое применение в этот период получил фрезерный станок модели 6Н13ГЭ-2 с шаговым эл.гидравлическим приводом. Программа записывалась в унитарном коде на магнитную ленту, что позволило значительно упростить электронную часть устройства и повысить ее надежность.

Простота устройств ЧПУ позволила быстро освоить их выпуск и эксплуатацию. Станки с этими устройствами ЧПУ оправдали себя, несмотря на ограниченные технологические возможности (отсутствие коррекции и др.) и трудоемкость подготовки программы на магнитной ленте.

Вскоре выяснилось, что ручной расчет и изготовление программ, особенно для обработки детали со сложными криволинейными поверхностями, крайне трудоемкая работа. При расчете требуется оперировать без округления многозначными цифрами, что приводит к появлению многочисленных ошибок и проведению многократных перепроверок и перерасчетов. Потребовалась организация больших служб инженеров и технологов программистов для выполнения таких расчетов.

В начале освоения станков с ЧПУ считалось, что основной областью применения ЧПУ станками станет единичное производство. Однако уже первые результаты промышленной эксплуатации показали, что трудности подготовки программы обусловили наиболее эффективное применение ЧПУ в мелкосерийном и серийном производстве, где партии деталей достаточно велики. В опытном производстве станки с ЧПУ нашли применение главным образом при обработке крупногабаритных деталей со сложной конфигурацией.

В России первый этап на большинстве предприятий завершился в 1960 - 62 гг. Опыт эксплуатации станков на этом этапе выявил следующие преимущества ЧПУ станками:

1. Снижение квалификации станочников;
2. Сокращение и упрощение технологической оснастки;
3. Повышение производительности за счет снижения машинного и вспомогательного времени.

ВТОРОЙ ЭТАП характеризуется резким увеличением внедрения станков с ЧПУ различных групп в различные отрасли промышленности. Совершенствуются конструкции и технические показатели отдельных узлов станков и систем ЧПУ. В станках применяют быстродействующий привод подач, высокоточные датчики, поворотные резцедержатели, револьверные головки и т.д.

Все больше находят применение контрольные автоматы с ЧПУ, промышленные роботы на сборочных и упаковочных операциях, основанные на принципах ЧПУ. Широкие возможности для внедрения роботов открываются в литейных, термических, гальванических цехах и кузнечно-штамповочном производстве.

Особую группу составляют станки с ЧПУ, получившие название "обрабатывающий центр" (много инструментальный, многооперационный). Эти станки могут выполнять полную обработку всех сторон детали, закрепленной на столе станка, за одну установку, производя разнородные операции: точение, сверление, фрезерование, нарезание резьбы и др. Такие станки имеют инструментальные магазины, в которых может устанавливаться до 138 различных инструментов и "автоматические руки" для смены инструмента в шпинделе станка. Кроме этого с помощью ЧПУ на этих станках осуществляются автоматические перемещения заготовки вдоль трех координатных осей и ее вращение вокруг вертикальной оси поворотного стола, а иногда и вокруг горизонтальной оси, что дает возможность осуществлять обработку сложных корпусных деталей при одном их закреплении. ПУ станка обеспечивает необходимое изменение скорости вращения шпинделя, величины рабочей подачи и скоростей холостых перемещений, а также включение и выключение других устройств станка.

Режущий инструмент помещается в револьверных головках или специальных инструментальных магазинах большой емкости, что делает возможным в соответствии с принятой программой автоматически устанавливать в шпинделе станка практически любой инструмент, необходимый для обработки соответствующей поверхности детали. Смена инструмента производится в течение 3-5 сек.

ЧПУ всеми движениями станка и поворотным столом, а также автоматическая смена большого числа режущих инструментов обеспечивает в некоторых моделях многооперационных станков получение до 500000 различных положений инструмента относительно обрабатываемой детали.

В отличие от обычных многошпиндельных станков – автоматов и автоматических линий, применяемых в массовом производстве повышение производительности на многооперационных станках достигается не за счет совмещения технологических переходов и параллельной много инструментальной обработки многих поверхностей, а вследствие резкого сокращения затрат вспомогательного и подготовительного времени и интенсификации режимов резания. Так в условиях серийного и мелкосерийного производства доля машинного времени на прецизионных станках не превышает 18-20%, на станках с ЧПУ она увеличивается до 50-60%, а на многооперационных она достигает 80- 90%. Простой станка под наладкой сокращается в среднем на 80%. В результате этого производительность изготовления деталей в таких станках в 4-10 раз превышает производительность обработки на универсальных станках.

Важнейшим преимуществом многооперационных станков перед другими автоматизированными станками является простота их наладки и переналадки и отсутствие необходимости создания сложной технологической оснастки (шаблонов, копиров, приспособлений и т.д.). Это создает большую гибкость и мобильность производства, позволяющие применить многооперационные станки в условиях мелкосерийного и опытного производства. И, несмотря на высокую стоимость этих станков при правильной их эксплуатации с полной загрузкой в 2-3 смены окупаются в течение 1-2 лет.

Второй этап характеризуется и созданием систем автоматического расчета управляющих программ на ЭВМ. Разработка методов ав-

томатического программирования и математического обеспечения оказал решающее значение на темпы развития ЧПУ станками в целом. Для ускорения решения вопросов программирования были созданы специальные системы автоматического программирования и машинного языка, рассчитанные на определенный тип станков и осуществляющие связь оператора с машиной (САП-2, САП-3, САПС-М32 и др.). В РОССИИ значительную роль в ускорении систем автоматического программирования и улучшении вопросов подготовки программ сыграли заводские бюро и созданные в 1973 г. кустовые территориальные центры по программированию. В последнее время начали внедряться способы задания информации голосом.

Использование принципов ЧПУ с широким привлечением ЭВМ позволяет автоматизировать инженерный труд. Созданы координатографы, графопостроители, которые работают в 25-30 раз быстрее человека и могут по сигналам управления выполнить многие сечения деталей, перевести цифровую модель детали в графическую форму, изменить масштаб построения, выполнить аксонометрическую проекцию изделия и т.д.

Появились и устройства, выполняющие противоположные функции - программаторы. Программаторы на основании чертежа или модели изделия создают его цифровую модель, а затем - управляющую программу для станка с ЧПУ.

С развитием электроники и вычислительной техники построено, изготовлено и находится в эксплуатации дисплей. Это устройство позволяет осуществлять визуальный диалог человека и машины в графических образах. Дисплей представляет весьма существенные возможности для автоматизации конструирования, выполнения конструкторских работ человеком в апарте ЭВМ и используется для ускорения отладки и внедрения УП станкам с ЧПУ непосредственно в цехе, возле станка. Оператор, с помощью специального светового луча может непосредственно у станка вносить изменения в чертеж детали на экране дисплея, которые сразу запоминаются машиной.

На основании устройств автоматизирующих конструкторскую и технологическую подготовку производства изделий, а также их непосредственного изготовления, контроль и сборку технические прогнозы обещают создание в 2000 году комплексов СЧД (система чертеж-деталь), в которой на протяжении всего цикла производства - от возникновения замысла до изготовления детали - рука и мозг человека не будут участвовать в производственных процессах.

Широкое использование ЭВМ при подготовке УП для станков с ЧПУ показало, что такие станки могут эффективно использоваться не только в мелкосерийном и единичном производстве, но и успешно решать задачи серийного и крупносерийного производства.

Однако даже такие станки, как обрабатывающие центры не всегда обеспечивают полную обработку детали, т.к. многие из них требуют дополнительных операций - термообработка, шлифование, доводка и т.д. Кроме того, на каждом станке с ЧПУ должен быть оператор и только иногда допускается многостаночное обслуживание. Эти обстоятельства привели к 3-му ЭТАПУ в развитии станков с ЧПУ.

Стремление распространить автоматизацию, достигаемую на автоматических линиях, на мелкие и средние партии обрабатываемых деталей привело к объединению нескольких обрабатывающих центров и станков с ЧПУ в участок (автоматическую станочную систему АС) с единым транспортным устройством и универсальным управлением. Создание автоматизированных участков и цехов, управляемых от одной линии ЭВМ, сопровождается разработкой станков с новыми конструктивными компоновками, учитывающими возможность работы в составе автоматизированного участка, промышленных роботов для загрузочно-разгрузочных операций, контрольных автоматов с ЧПУ, а также адаптивные системы к станкам.

Таким образом, получают системы, обеспечивающие быструю переналадку на другое изделие и обладающие высокой гибкостью в противоположность жестким автоматическим линиям.

Первый гибкий комплекс "Rota-F-125M" (ГДР) в мировой практике демонстрировался в 1971 г. на Лейпцигской выставке. В комплекс входит семь станков с ЧПУ: 1-токарный, 3-токарноревольверных, 2-вертикальнофрезерных, 1-круглошлифовальный.

В РОССИИ в настоящее время эксплуатируется более 100 автоматических станочных систем типа АСК - для обработки корпусных деталей и АСВ - для обработки деталей типа тел вращения.

3-й ЭТАП в развитии станков с ЧПУ характеризуется и разработкой и оснащением станков с ЧПУ адаптивными системами и системами диагностики, позволяющими в любой момент времени быстро определить ту или иную неисправность станка, или определить приближение того или иного узла к критическому состоянию.

Тема 3.2. Понятие о ЧПУ станками

Почти всякий автоматизированный станок можно рассматривать как станок с ПУ. Программонеситель в таких станках: кулачок, копир, шаблон, расположенные в определенных местах упоры и конечные выключатели являются программой формообразования детали. Он кинематически связан определенным образом с исполнительными узлами либо непосредственно (автоматы с РВ), либо через систему усиления и управления. При таком управлении для изменения величины перемещения исполнительного узла требуется смена параметров кинематической цепи (замена кулачков и копиров, переустановка упоров и т. д.).

В станках с ЧПУ программа формообразования и осуществления вспомогательных движений рабочих органов не связана со структурой и конструкцией станка. Эти станки характеризуются управлением, обеспечивающим быструю их переналадку без смены и перестановки механических элементов, т.е. бескопирным дистанционным управлением. Величины перемещения исполнительных узлов, определяющие форму и размеры детали задаются числами или какими-либо другими символами, отражающими форму траектории, величину, направление и скорость этого перемещения.

Программа для станков с ЧПУ обычно составляется заранее. Суть ее обычно состоит в следующем. По заданному технологическому процессу изготовления детали и ее чертежу разрабатывают программу перемещений режущего инструмента относительно заготовки, а также направления и величины подач этих перемещений. Эту программу кодируют, т.е. либо заменяют принятой условно системой чисел или знаков, которые затем фиксируют посредством пробивки отверстий на программонесителе - перфокарте или перфоленте, либо запоминаются каким-либо иным способом (магнитная запись на ленте, запись на киноленте и т.д.). В таком виде программа вводится в "читающее" устройство станка, в котором "прочитанные" данные преобразуются в соответствующие командные импульсы, а последние с помощью управляющих механизмов подают сигналы на приводы исполнительных органов.

Таким образом, станками с ЧПУ называются станки, в систему автоматического управления которых вводятся числа или символы, отражающие величины перемещений исполнительных органов, участвующих в формообразовании изготавливаемой детали или позиционировании заготовки и инструмента.

Тема 3.3. Классификация ЧПУ станками

В СЧПУ программа работы станка задается в виде определенного комплекса чисел или знаков, записанных на программонесителе (перфоленте, магнитной ленте, перфокарте, ОЗУ и т.д.). Системами с программированием цикла и режимов работы оснащаются станки автоматы и полуавтоматы, а также станки с автоматической сменой режимов работы.

2. По принципу управления движениями: позиционные и контурные. Позиционные системы управления, в свою очередь делятся на:

а) системы с установкой координат без определенного линейного перемещения между отдельными точками обработки с заданной точностью. При этом все исполнительные узлы могут перемещаться в любом направлении одновременно, но не взаимосвязано. Траектория движения инструмента при этом существенного значения не имеет и определяется в основном конструкцией станка и его кинематической схемой. Например, в станках сверлильно-расточной группы необходимо вначале установить ось сверла над центром будущего отверстия, что может осуществляться одновременным, но несогласованным движением сверла по осям X и Y, т.е. в плоскости, перпендикулярной оси сверла, а затем дать рабочее движение (т.е. подачу) по оси Z, вдоль оси сверла. Перемещения в таких системах задают в абсолютных координатах или приращениях, а работа систем основана на сравнении показаний абсолютных и неабсолютных датчиков перемещения с координатными данными, заданными программой.

б) системы с прямоугольным последовательным перемещением исполнительных органов от пункта к пункту в процессе формообразования детали. Такие системы можно назвать системами с программированием прямых, параллельных направлению движения исполнительных органов. Перемещения в позиционной системе с необходимой точностью, определяемой ее разрешающей способностью, как правило, задают в абсолютной системе координат, имеющей фиксированное начало отсчета, которое может изменяться по программе или

вручную.

Рабочее движение в позиционных системах ПУ, т.е. движение подачи, всегда осуществляется по одной координате. Системами с программированием прямых могут считаться токарные, карусельные и фрезерные станки.

Системы контурного (непрерывного) управления являются функциональными. В таких системах производится непрерывное, одновременное и согласованное движение исполнительных органов и заготовки, что обеспечивает обработку криволинейных контуров и поверхностей на станках токарной, фрезерной, строгальной и др. групп. Программа задается в относительных координатах или в приращениях, определение которых на криволинейных участках контура производится автоматически, с помощью специальных устройств - интерполяторов.

Само собой разумеется, что контурные СПУ в принципе можно применять вместо позиционных, т.к. они также обеспечивают приход инструмента в заданную точку с высокой точностью, хотя координаты у них обычно заданы в относительной системе. Однако из-за наличия интерполятора контурные СПУ всегда были намного сложнее и дороже позиционных и в связи с этим их применяли только в станках, предназначенных для обработки деталей с криволинейными образующими взамен копировальных станков, где эффект от применения СПУ был особенно велик.

Появление инструментальных магазинов в среднем на 30-40 инструментов, необходимость в связи с этим автоматически изменять частоту вращения шпинделя в широких пределах, иметь коррекцию размеров инструментов и индикацию положений рабочих органов станка, упрощения программирования за счет введения стандартных циклов, переход на следящий режим позиционирования для обеспечения высокой точности - все это привело к резкому усложнению позиционных СПУ. Добавление в такую СПУ интерполятора не на много увеличивает ее сложность и стоимость, но делает ее универсальной.

В связи с этим большинство современных СПУ выполняют как универсальные. И только простейшие СПУ до некоторой степени сохраняют это разделение.

Подразделение СПУ на позиционные, контурные, универсальные привело к некоторым изменениям в нумерации и обозначении станков с ЧПУ. Так, в обозначении станков с ЧПУ обозначают дополнительным индексом в конце: Ф1 - станки с цифровой индикацией и набором координат, Ф2 - с позиционными системами ПУ, Ф3 - с контурными системами ПУ, Ф4 - с универсальными системами для позиционной и контурной обработки, С1, С2, С3 - количество управляемых координат. Например, токарный станок с контурной СПУ и управлением по 2-м координатам обозначают 1А616Ф3С2.

В зависимости от наличия или отсутствия обратной связи СПУ подразделяются на замкнутые и разомкнутые системы управления. Система управления с разомкнутым контуром значительно проще и дешевле в изготовлении, но в ней отсутствует контроль исполнения команды, что снижает ее точностные показатели. В СПУ с замкнутым контуром датчик обратной связи следит за положением исполнительного органа и вносит необходимые коррективы в работу СПУ. Такие системы обладают большей точностью, но они сложнее, менее надежны и соответственно дороже СПУ с разомкнутым контуром.

По характеру информации, выраженной в программе различают системы непрерывные, дискретные и дискретно-непрерывные.

Программа в СПУ с фазовой модуляцией считывается с магнитной ленты в виде синусоидального напряжения, имеющего угол сдвига фазы относительно опорного напряжения, пропорциональный заданному перемещению, а воспроизведенное движение контролируется датчиками перемещения также в угол сдвига фаз синусоидальных напряжений. Фаза напряжений, характеризующее заданное и фактическое перемещения, сравниваются в так называемом фазовом индикаторе, который выдает сигнал следующему приводу в виде выпрямленного напряжения. Фазовая система ПУ по сравнению с другими СПУ имеет минимальный объем электронного оборудования и надежные в работе датчики положения.

Дискретная (импульсная) система - это такие СПУ, в которых информация о перемещении инструмента или изделия выражена соответствующим числом импульсов.

В разомкнутых импульсных системах в качестве исполнительных устройств применяют шаговые двигатели, поэтому их часто называют шагово импульсными. В таких системах каждый импульс преобразуется в поворот вала шагового двигателя на определенный строго фиксированный угол. Число импульсов определяет величину перемещения, а частота их следования - скорость движения рабочего органа станка.

Замкнутые импульсные системы называют счетно-импульсными, т.к. в них использована счетная схема. В счетно-импульсных суммирующих системах величина перемещения рабочего органа задается в виде суммы импульсов. Каждому импульсу соответствует перемещение, например, на 0,01 мм. Заданное число импульсов фиксируется и сравнивается с числом импульсов, поступающих по мере перемещения рабочего органа от датчика обратной связи. Когда число импульсов, поступивших от датчика обратной связи сравняется с заданным числом импульсов, подается команда для прекращения движения рабочих органов.

Однако импульсные СПУ имеют и недостатки:

1. Возможность потери информации (пропадания импульсов программы), что приводит к изменению размеров детали.

2. Задание размеров в приращениях приводит к накопленной ошибке.

3. Введение в систему обратной связи с целью повышенной точности обработки усложняет конструкцию станка, снижает их надежность и долговечность.

Системы же с фазовой модуляцией в значительной мере свободны от этих недостатков благодаря непрерывному характеру управляющей информации, имеющей вид фазомодулированных синусоидальных сигналов переменного тока. Для получения информации в импульсных системах применяют преобразователь унитарного кода в фазовый, что обеспечивает простоту и надежность управления.

Шагово-импульсные системы применяют в станках с точностью обработки не выше ± 0.1 мм и шероховатости поверхности 5-6 при максимальном времени обработки деталей в цикле не более 30-40 мин.

Счетно-импульсные системы с обратной связью находят применение в станках для обработки крупногабаритных деталей с циклом обработки до 2-3 часов, точностью до ± 0.1 мм и 5. Станки 6441Пр, ГФ-628, СФП-1, СФП-2 и др.

Дискретно-непрерывные системы подразделяются на аналого-потенциометрические (АПСПУ) и импульсно-фазовые.

В АПСПУ происходит непрерывно воспроизведение и обработка текущих значений координатных точек траектории центра фрезы, вычисленных относительно начала координат, принятых для системы. АПСПУ является системой абсолютного отсчета со встроенным линейным интерполятором электромеханического типа. В системе предусмотрен датчик обратной связи потенциометрического типа. Программоноситеlem является обычно 80-колонковые перфокарты. В таких системах сравнивающее устройство сравнивает число импульсов, заданных программой с числом импульсов системы обратной связи (с числом фактически отработанных импульсов) и выдает аналоговый сигнал, пропорциональный отклонению скорости и величины перемещения рабочих органов станка от заданных программой. Этот сигнал образуется в результате отклонения от нулевого положения реверсивного счетчика, в котором выполняется одновременное сложение импульсов программы и вычитание импульсов обратной связи.

В импульсно-фазовых системах аналоговый сигнал управления образуется в результате сдвига по фазе последовательности импульсов обратной связи по отношению к последовательности импульсов программы.

АПСПУ обеспечивает выполнение следующих функций: работу станка в позиционном и контурном режиме, одновременную продольную и поперечную подачу при включенной вертикальной подаче, линейную интерполяцию контура детали, изменение положения начала координат в системе воспроизведения.

Таким образом АПСПУ характеризуется непрерывным управлением приводами продольной и поперечной подач и позиционным управлением приводом вертикальной подачи станка.

Системы ПУ, в которых помимо основного потока информации на перемещение какого-либо исполнительного узла по определенным направлениям с коррекцией или без коррекции этого перемещения, имеется ряд дополнительных воздействий в зависимости от факторов случайного характера (состояния режущей кромки инструмента, физические свойства обрабатываемого материала, тепловые колебания и другие силовые воздействия на систему СПИД), называются самонастраивающимися или адаптивными системами ПУ. Такие системы можно отнести к системам с программированием цикла и режима обработки.

Тема 3.4. Преимущества станков с ЧПУ

1. Высокая производительность за счет сокращения вспомогательного, Тп.з. и То. времени.
 2. Исключение предварительных разметочных и пригоночных работ.
 3. Повышение точности и идентичности деталей и, как следствие сокращение брака и пригоночных работ в процессе сборки.
 4. Сокращение количества и упрощение конструкции технологической оснастки, что сокращает сроки технологической подготовки производства.
 5. Обеспечивается экономия площадей для хранения деталей в процессе производства, готовых изделий, приспособлений, инструментов.
 6. Значительное снижение квалификации оператора.
 7. В связи с режимом сокращением брака при работе на станках с ЧПУ, автоматической сменой инструмента и его перемещением относительно заготовки по программе значительно уменьшается объем контрольных операций и сокращается штат контролеров.
- Благодаря этим преимуществам применение станков с ЧПУ целесообразно в следующих случаях:
- 1) сложные многочисленные и дорогостоящие операции по настройке и обработке;
 - 2) обработка малыми партиями, особенно для сложных деталей;
 - 3) деталь настолько сложная, что обработка ее в больших количествах приводит к появлению субъективных ошибок;
 - 4) обработка деталей с большим количеством размеров, имеющих жесткие допуски, и детали с индивидуальными отклонениями размеров в партии;
 - 5) обработка деталей подверженных конструктивным изменениям;
 - 6) когда требуется весьма точная и дорогая оснастка;
 - 7) сложность хранения инструментов;
 - 8) расходы на контроль составляют значительную часть общей стоимости детали.

Тема 3.5. Типовая СПУ и ее особенности

Блок схема типовой универсальной СПУ состоит из 2-х основных устройств: устройства ЧПУ, конструктивно оформляемого в виде отдельного шкафа или пульта, и исполнительных устройств с приводами и датчиками обратной связи, установленными на станке.

Основными блоками СПУ являются следующие:

1. Устройство ввода информации предназначено для считывания с программносителя закодированных данных в виде электрических, магнитных световых или других воздействий.
2. Блок запоминания информации считанной с программносителя предназначен для запоминания прочитанных данных одного кадра, а также их контроля и формирования соответствующего сигнала при обнаружении ошибки, т.е. остановки работы СПУ. В связи с тем, что время считывания информации с перфоленты в пределах одного кадра при обычной скорости считывания 200...300 строк в секунду составляет величину примерно 0,1...0,2 сек. и более (в зависимости от количества строк), то такой перерыв в подаче информации недопустим, особенно в контурных СПУ. Поэтому в таких системах применяют обычно два запоминающих блока: блок рабочей памяти БРП и блок буферной памяти ББП. Эти два блока абсолютно идентичны и работают параллельно. В это время пока обрабатывается информация одного кадра из БРП, информация последующего кадра вводится в ББП. Как только информация с БРП будет отработана СПУ практически мгновенно переключается на ББП, а информация с третьего кадра вводится в БРП и т.д. Во многих системах СПУ этот блок имеет возможность принимать непосредственно информацию от ЭВМ, минуя считывающее устройство.
3. Пульт управления и индикации служат для связи оператора с СПУ. С помощью этого пульта осуществляется пуск системы и ее остановка, переключение режимов работы (автоматический, ручной, наладочный), коррекция скорости подачи и перемещения инструмента. На этом пульте находится световая сигнализация, показывающая оператору состояние системы.
4. Блок интерполяции формирует частичную траекторию движения инструмента между двумя или более заданными точками криволинейного контура или контура, непараллельного направлению перемещения режущего инструмента. Блок интерполяции представляет собой сложное электронное устройство, предназначенное для автоматического подсчета координат промежуточных точек с точностью до 5-6 десятичного разряда. Входная информация на блок интерполяции поступает с запоминающего блока, а выходная представляется уже в декодированном виде в импульсной форме, т.е. в виде последовательности импульсов по каждой координате, частота которых определяет скорость подачи, а общее их количество - величину пройденного пути по данной координате. Максимальная частота импульсов на выходе интерполятора является одной из основных его характеристик и в современных СПУ имеет величину 5-10 кГц.

При работе интерполятора обеспечивается с высокой точностью заданное мгновенное отношение частот импульсов по двум или более координатам, изменяемое по соответствующему закону, что необходимо для получения заданной траектории движения инструмента с погрешностью не более 2-3%, тогда как погрешность задания скорости подачи в 3-5% считается вполне допустимой.

5. Блок управления приводом подачи предназначен для преобразования информации поступающей с выхода интерполятора в соответствующие командные импульсы, управляющие приводами подачи, заданное перемещение будет обеспечиваться в зависимости от цены импульса их количества. Цена импульса обычно имеет величину 0,01-0,02 мм. Если, например, необходимо переместить суппорт на 10 мм., а цена одного импульса равна 0,02 мм., то общее количество импульсов, которое должно быть подано на привод подачи будет равно $10:0,02 = 500$.

В зависимости от типа приводов (замкнутые или разомкнутые, фазовые или амплитудные) блоки управления существенно различаются.

В различных приводах с шаговыми двигателями блок управления представляет собой специальный кольцевой коммутатор, выходные усилители которого читают обмотки ШД, что создает его вращение.

В замкнутых приводах фазового типа с датчиками обратной связи в виде вращающихся трансформаторов блоки управления представляют собой преобразователи импульсов в фазу переменного тока и фазовые дискриминаторы, сравнивающие выходную фазу с фазой датчика обратной связи.

В замкнутых приводах импульсного типа с датчиком обратной связи в виде датчика импульсов, блок управления представляет собой реверсивный счетчик, на один вход которого подаются импульсы от интерполяторов, а на другой - от датчика импульсов. На выходе счетчика включен дешифратор, преобразующий содержимое счетчика в сигнал постоянного тока, подаваемый на привод подачи.

6. Приводы подачи станка, чаще всего следящие, предназначены для перемещения исполнительных органов станка, т.е. столов, суппортов, кареток и т.д. с заданной точностью и необходимой скоростью. Следящий привод представляет собой систему, состоящую из двигателя (электрического или гидравлического), усилителя мощности, датчика обратной связи, регулируемой в широких пределах, и сравнивающего устройства. Датчик обратной связи вырабатывает сигнал о фактическом перемещении исполнительного органа, которое сравнивается в СПУ с заданным. Сравнивающее устройство выдает сигнал ошибки, который поступает на вход усилителя мощности, в результате чего скорость двигателя оказывается пропорциональной ошибке системы. Если в процессе работы обнаруживается ошибка, то СПУ автоматически выключается с помощью специального устройства защиты. В СПУ достаточно широко применяют и более простые разомкнутые приводы подачи, без датчиков обратной связи, т.е. следящие. Для этого применяют шаговые двигатели с соответствующими усилителями момента.

7. Датчики обратной связи определяют фактическое перемещение исполнительного органа, которое по каналам системы обратной связи поступает в БУ, где оно сравнивается с заданной величиной. До тех пор пока имеет место "рассогласование" между заданной и фактической величинами перемещения ИО система работает. По окончании заданного перемещения сигнал от датчика перемещений поступает в БУ, который вырабатывает сигнал на выключение движения ИО. Если в процессе работы появляется ошибка от заданного перемещения, то БУ подает сигнал для исправления ошибки. В качестве датчиков перемещений могут быть индуктосины для линейных измерений, прецизионные зубчатые рейки с многополюсными вращающимися трансформаторами, оптические измерительные шкалы с соответствующими датчиками для особо точных измерений, а также угловые измерительные устройства в виде обычного вращающегося трансформатора или

револьвера (точного вращающегося трансформатора синусно-косинусного типа), измеряющие угол поворота вала двигателя подач.

8. Блок скоростей подач обеспечивает заданную скорость подачи, а также процессы разгона и торможения в начале и конце участков обработки по заданному закону. Скорость подачи задается либо номером скорости соответствующего ряда скоростей со знаменателем =1,26, либо непосредственно в мм/мин. через 1 или даже через 0,1 мм/мин. Помимо рабочих подач, находящихся обычно в пределах от 5...10 мм/мин. до 1500...2000 мм/мин, этот блок обеспечивает и холостой ход с повышенной скоростью, равной 5000...10000 мм/мин.

9. Блок коррекции программы совместно с пультом управлением предназначается для изменения запрограммированных параметров обработки: скорости подачи, величины перемещения инструмента и т.д. Изменение скорости подачи в пределах от 5 до 120% обычно сводится к ручному изменению частоты задающего генератора в блоке подач. Изменение величин перемещения инструмента по той или иной координате производится также вручную блоком корректоров, который выводится обычно на панель управления.

10. Блок технологических команд служит для управления цикловой автоматикой станка, включающей поиск и смену режущего инструмента, смену скорости вращения шпинделя, частоту подачи, включение и выключение СОЖ и т.д. Цикловая автоматика станка состоит из основных из исполнительных элементов типа пускателей, электромагнитных муфт, соленоидов, концевых и конечных выключателей, реле тока, реле давления и других элементов, сигнализирующих о состоянии исполнительных органов.

11. Блок стандартных циклов служит для облегчения программирования и сокращения длины программноносителя при позиционной обработке повторяющихся элементов детали, например при сверлении и растачивании отверстий, нарезание резьбы и т.д.

Например, на перфоленте не программируются такие движения, как быстрый подвод к обрабатываемой детали и его вывод из готового отверстия при многократном сверлении одинаковых отверстий - это заложено в соответствующем стандартном цикле, например, G81. В первом кадре, с которого начинается обработка группы одинаковых отверстий, записываются координаты первого отверстия, номер инструмента, скорость подачи, глубина сверления и расстояние до поверхности детали, а также адрес G81. Для обработки всех последующих одинаковых отверстий этой группы в последующих кадрах необходимо указывать только координаты отверстий, при этом цикл работы станка будет повторяться при минимуме вводимой информации.

Обычно используют до 10 подобных циклов в одной СПУ.

12. Блок питания обеспечивает питание необходимым напряжением и током всех блоков СПУ от обычной 3-х фазной сети. Особенностью этого блока является наличие стабилизаторов напряжения и фильтров, защищающих электронные схемы СПУ от помех, всегда имеющих место в промышленных силовых сетях.

Помимо этих блоков иногда применяют блоки адаптации, которые являются средством повышения точности и производительности обработки при изменяющихся по случайному закону внешних условиях, например, припуска на обработку, твердости обрабатываемого материала, затупления инструмента и т.д. Дело в том, что любая СПУ по существу является разомкнутой системой управления, т.к. она не "знает" результата своей работы. В СПУ с обычной обратной связью деталь ею не охвачена; задается только перемещение инструмента относительно детали. К адаптивным принадлежат также системы, которые автоматически учитывают изменения базовых размеров детали с помощью соответствующих датчиков или корректируют изменение линейных размеров в зависимости от температуры.

Требования, предъявляемые к СПУ станками

При проектировании СПУ, а также при выборе элементов этих систем необходимо обеспечить:

1. Достаточно высокую точность работы СПУ, что в значительной мере зависит от точности измерительных и отсчетных устройств системы. В дискретных системах ПУ предельная точность измерений и расчетов ограничена разрешающей способностью программных устройств и датчиков положения.

При точности обработки ± 10 мкм разрешающую способность в СПУ целом желательно иметь до 5 мкм, а в отдельных случаях - до 2 мкм. При этом погрешность отсчетных и измерительных устройств будет равна соответственно 2,5 и 1,0 мкм.

Увеличение разрешающей способности СПУ всегда связано с увеличением объема программной информации и усложнением электронной части системы. Поэтому повышение разрешающей способности СПУ должно оправдываться чисто технологическими соображениями, связанными с точностью обработки деталей. Разумеется, что на станках для предварительной обработки одновременно со снижением точности должна подниматься и разрешающая способность СПУ. Однако высокая точность обработки зависит не только от высокой разрешающей способности системы, но и от точности изготовления и конструкции отдельных звеньев кинематических цепей. Поэтому станки высокой точности с ПУ должны конструироваться с учетом ряда особых специфических требований.

2. Заданную производительность. Элементы современной вычислительной техники, кроме релейных и пневматических, позволяют без особых трудностей создать устройства для обработки импульсной информации, следующей с частотой 3000...5000 имп/сек. Если принять для средних станков высокой точности разрешающую способность системы ПУ в 5 мкм, то при частоте следования импульсов программы 5000 имп/сек, линейная скорость рабочих органов будет 1500 мм/мин, а у тяжелых станков пониженной точности обработки и при разрешающей способности 50 мкм 15 м/мин. Значит, производительность металлорежущих станков не ограничивается степенью быстроты действия вычислительных устройств СПУ, а определяется из чисто технических соображений.

3. Достаточно высокую надежность, что требует принятия ряда конструктивных мер при разработке и конструировании СПУ и создания соответствующих организационно-технических мероприятий как на предприятиях, изготовляющих СПУ, так и на предприятиях, эксплуатирующих СПУ. В современных СПУ наработка на один отказ составляет 2000-2500 часов при условии правильной эксплуатации.

4. Упрощение конструкции и снижение стоимости СПУ, что достигается за счет агрегатирования, т.е. создания типовых блоков или агрегатов, из которых затем комплектуется система ПУ с требуемыми для данного назначения характеристиками. Например, наиболее существенно различаются СПУ в зависимости от количества одновременно работающих координат станка. Каждая лишняя координата влечет за собой лишний блок управления приводом, усложняет интерполятор, увеличивает объем входной памяти устройства управления. В связи с этим в станках с большим количеством координат (5-6), но с небольшим количеством одновременно работающих координат (многооперационные станки) применяют устройства с минимальным количеством одновременно работающих координат (обычно 2-3). Управление остальными координатами производится путем переключения устройства управления на управление другими приводами подач, которые в отключенном состоянии фиксируются в неподвижном положении. Далее количество и вид необходимой коррекции, количество стандартных циклов, тип индикации и т.д. в более простых станках, как правило, могут быть ограничены. Так, например, стоимость СПУ "Mark-Century 550" американской фирмы "Дженерал - Электрик" снижена примерно в 3 раза за счет возможности одновременного управления только 2-я координатами при общем их количестве до 3-х, ограничением разрешающей способности до 40 импульсов на 1 мм вместо скорости подачи до 1000 мм/мин при наличии быстрого хода до 3000 мм/мин, отсутствием буферной памяти, что приводит к оставке приводов при смене каждого кадра, ограничением мощности приводов подач до 0,25 кВт.

5. Современная СПУ должна иметь возможность: принудительного прерывания процесса обработки, вывода инструмента из зоны обработки и возврата в нее без потери информации по желанию оператора, индикацию фактического абсолютного значения координат, ручного ввода информации с панели управления, перемотки перфоленты в начало и конец заданного кадра по номеру кадра, заданного с панели управления, пропуска кадров отмеченных знаком "del" по желанию оператора, повторение цикла обработки по приказу с перфоленты, контроля вводимой информации и автоматического прекращения обработки при обнаружении ошибки с индикацией ее на панели управления.

Тема 3.6. Подготовка и порядок подготовки программы

Для составления программы изготовления детали необходимо иметь рабочий чертеж детали и заготовки, по которым разрабатывают подробный технологический процесс обработки детали с указанием режима обработки (скорость, число об/мин, СОЖ), а также вспомогательные движения применительно к заложенной на станке системе управления.

После этого выбирается начало системы координат, первоначальное положение инструмента и его последующие относительные перемещение относительно начала координат. Затем траектория относительного движения инструмента разбивается опорными точками на отдельные участки. Опорные точки при обработке прямолинейных участков обычно устанавливаются на границах этих участков, даже если

они непараллельны направлению осей координат. При обработке криволинейных контуров опорные точки в зависимости от точности их изготовления и способа аппроксимации располагаются с небольшими интервалами на этой кривой. Определение координат промежуточных (текущих) точек между опорными точками осуществляется автоматически интерполяторами, которые выдают информацию в унитарном коде.

После установления опорных точек составляют программу со всеми необходимыми командами, которую переносят на перфоленту, а при декодированном способе записи программы - ее перезаписывают на магнитофонную ленту.

Для записи и ввода в систему управления кодированной информации наиболее широко используется перфолента. Она применяется как для систем координатного, так и контурного управления.

В настоящее время в России и за рубежом в системах ЧПУ преимущественно используется телеграфная перфолента шириной 17,5 мм для 5-и дорожечной записи и 22,5 - для 6 и 7 дорожечной. Для 8-и дорожечной записи за рубежом применяются перфолента шириной 25 мм. Шаг между перфорациями по строке и между дорожек не зависит от их числа составляет 2,5+-0,05 мм. Диаметр кодирующих отверстий 1,8 мм, а диаметр транслярных отверстий 1,2 мм. Достоинством таких лент является их малая цена и наличие дешевых стандартных перфораторов.

Перфокарты, несмотря на то, что для записи и считывания информации с них существует широкий комплект оборудования, применяются в системах ЧПУ сравнительно редко. Перфокарты, в ряде случаев, являются одним из элементов комплекта подготовки программы для автоматического программирования. Недостатками перфокарты являются громоздкость считывающего устройства и неудобство их хранения и транспортировки.

В России имеются два типа перфокарт: на 45 и 80 колонок и 12 строк, на которые может быть записана информация на любых 540 или 960 позициях. Запись производится в обоих направлениях стандартными перфораторами двух типов: однопериодными и двухпериодными, отличающимися тем, что в первом случае происходит поочередная пробивка отверстий, а в другом одновременная по предварительному набору.

Магнитная лента. Для записи программ в станках с ЧПУ в России преимущественное распространение получила лента шириной 35 мм, которая удобна в цеховых условиях, т.к. обладает высокой прочностью и не образует узлов при случайной размотке рулона, как это имеет место при использовании узкой ленты. В РОССИИ выпускаются ленты типа 2, 6, 7ВТ. Скорость протягивания ленты в системах ЧПУ находится в пределах от 100 до 200 мм/сек. Ленты, шириной 35 мм, позволяют осуществлять многоканальную запись с числом дорожек от 12 до 15.

В настоящее время за рубежом выпускают специальные магнитные ленты. Так в США выпускают ленты, выдерживающие значительные механические нагрузки, высокие скорости протягивания и перемотки, высокую температуру - от -40 до +90 С, тогда как ленты РОССИИ допускают температуру от -30 до +75 С. Долговечность таких лент США в условиях высокого нагрева и давления в 15 раз выше обычных лент.

Другой специальный тип ленты, выпускаемый в США, покрыт оксидным слоем, который имеет проводимость в 1000 раз большую, чем у обычной ленты, что предотвращает электрические разряды. В покрытие лент включена также обильная силиконовая смазка, предотвращающая истирание магнитных головок и увеличивающая долговечность ленты.

Фирма "Агфа" (Германия) выпускает специальную магнитную ленту для ЧПУ станками с повышенной прочностью и не чувствительностью к загрязнению. Последнее достигается нанесением на магнитный слой тонкой полиэфирной пленки, которая защищает магнитные головки от истирания. Лента выпускается шириной 24,5 и 35 мм различной толщины, трех типов: А, Б и В.

Кроме магнитной ленты в системах ЧПУ станками находят применение магнитные барабаны, которые можно использовать при ограниченном объеме информации. В одном случае магнитные барабаны используются в системе управления координатно-расточными станками с записью программы по первой детали. На каждую дорожку барабана записывается информация об одной координате перемещения, а число дорожек определяется числом возможных технологических переходов.

В другом случае в системе ЧПУ координатного управления использовано запоминающее устройство на магнитном барабане от вычислительной машины. На нем записывается типовая информация, которая может быть использована для большинства деталей, но в этом случае магнитный барабан не является программносителем, а является постоянной памятью системы.

Тема 3.7. Устройства подачи программносителя и считывания программы

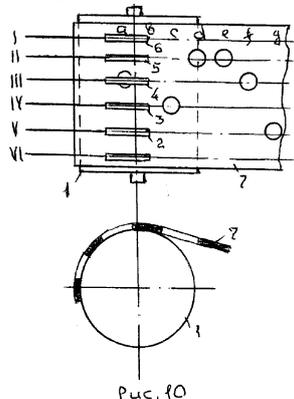
В зависимости от типа программносителя используются различные считывающие и транспортные устройства.

Считывание с перфоленты может осуществляться и последовательным и параллельным способом. В первом случае кадр информации считывается последовательно - строка за строкой, во втором - весь кадр сразу. Но и в одном, и в другом случае перфолента останавливается. Однако остановка ввода программы должна быть незначительной. Установлено, что остановка исполнительных органов при обработке на фрезерном станке с контурной системой ЧПУ даже на 0,01 сек может привести к значительным дефектам обрабатываемой поверхности. Поэтому в системах контурного ЧПУ новый кадр информации должен вводиться менее чем за указанный выше промежуток времени. Это достигается обычно применением двух вспомогательных устройств, в одно из которых вводится новый кадр еще при обработке старого кадра.

В системах координатного управления частота ввода новых кадров мала и определяется временем обработки в одной позиции. В этом случае можно делать временные разрывы между кадрами без опасности получения брака при обработке.

Преимуществом последовательного считывания при координатном управлении является упрощение электронной части системы управления (требуется одно запоминающее устройство), но зато усложняется электромеханическая часть системы управления. При параллельном считывании оба запоминающих устройства выполняются электронными.

Выбор того или иного типа считывающих устройств зависит от величины подачи на станке и типа интерполяции. Так для линейных интерполяторов, предназначенных для фрезерования легких сплавов, требуются быстродействующие фотоэлектрические считывающие устройства со скоростью считывания до 1000 строк в секунду.



Для линейно-круговых интерполяторов вполне достаточны механические считывающие устройства последовательного типа со скоростью 50-60 строк в сек.

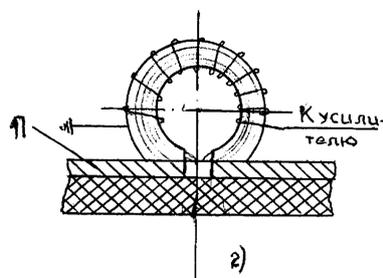
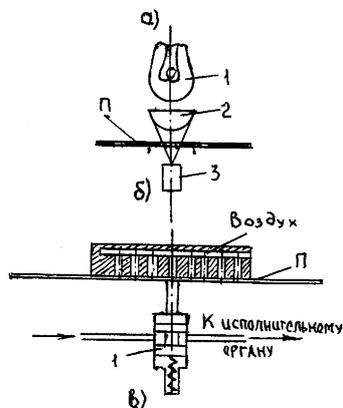
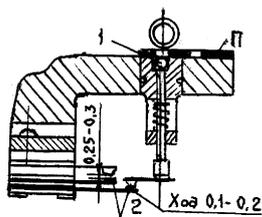
В настоящее время распространены как электромеханические контактные считывания, так и фотоэлектрические. Одна из конструкций контактного считывания показана на рис. 10.

При повороте барабана на некоторый угол, соответствующий шагу рас положения щетки 3 падает под отверстие IV, в результате чего замыкается электрическая цепь IV. Такое считывание является достаточно надежным и применяется как в устройствах последовательного, так и параллельного типа считывания. Электромеханическое считывающее контактное устройство последовательного действия обеспечивает в настоящее время скорость считывания кадра до 60 строк в сек в обоих направлениях перемотки. Это соответствует времени считывания примерно 0,15-0,3 сек, что исключает их использование в линейных интерполяторах.

Другими методами считывания информации являются методы изображенные на рис. 11 а, б, в, г.

Контактное устройство типа СУ-1 (рис. 11а) предназначено для считывания 5-й и 8-й дорожек телеграфной ленты со скоростью 5 - 10 строк в сек. в старт-стопном режиме. Считывание производится в момент остановки ленты.

Максимально допустимое напряжение на считывающих контактах 100 В, $I_{max} = 2$ А. Считывающее устройство позволяет считывать одну и ту же ленту не более 20 раз. Из 1000000 считанных строк количество неверно считанных допускается не более 3. Если в ленте отверстия нет, то ощупывающие штыри 1 поднимаются только до упора в ленту, а контакты 2 будут разомкнуты. Если в ленте против штыря 1 будет отверстие, то контакты 2 замыкаются.



При пневматических способах (рис. 11 в) скорость считывания недостаточно высока. Для повышения скорости пневматического считывания против каждой дорожки на перфоленте располагают отрезок нагретой проволоки, который, при наличии отверстия обдувается сжатым воздухом. В результате охлаждения электрическое сопротивление отрезка проволоки, включенного в схему управления, снижается, что вызывает срабатывание соответствующих спусковых элементов.

Фотоэлектрическое считывание (рис. 11 б) превосходит по скорости другие способы, обеспечивая скорость считывания строк кадра до 1500 в сек, но дороже остальных способов. Считывание информации осуществляется с помощью фотодиодов 3 при непрерывном движении ленты. Свет на фотодиоды попадает от электрической лампочки 1 через линзу 2. Чтобы обеспечить старт-стопный режим на высоких скоростях считывания кадра в таких устройствах применяются шаговые двигатели и двигатели постоянного тока с печатным ротором, обеспечивающим считывание перфоленты со скоростью до 300 и более строк в сек. и реверсивное действие лентопротяжного механизма.

Считывание перфокарт может производиться так же как и перфолент, электрическим, фотоэлектрическим и пневматическими способами. Считывающие устройства для перфокарт могут быть, так же как и для перфолент, последовательного и параллельного типа. При последовательном считывании необходимо считывать информацию при движении перфокарты. При этом скорость считывания может достигать 100 карт в минуту.

При параллельном считывании считывается одновременно вся перфокарта. Это существенно упрощает систему, но снижает скорость ввода информации.

На магнитной ленте применяются два метода записи программ: метод фазовой модуляции непрерывного сигнала и метод импульсной записи.

Амплитудно-модулированный сигнал записывать нельзя вследствие возможных колебаний уровня, которые вызывают брак при изготовлении детали.

Для воспроизведения записи на магнитной ленте в настоящее время преобладающее применение находят магнитные головки индукционного типа (рис. 11 г). Величина отдачи в таких головках пропорциональна скорости магнитной ленты.

Однако, вследствие стремления перейти на кодированную запись, снижают скорость протягивания магнитной ленты, что обеспечивает ее экономию. В связи с этим разрабатываются магнитные воспроизводящие головки с отдачей, независимой от скорости магнитной ленты. Существует несколько способов воспроизведения с малыми скоростями движения магнитной ленты. К ним относятся воспроизведение с помощью вибрационных головок, воспроизведение головками с магнитной модуляцией потока и с помощью полупроводниковых головок.

Вибрационным головкам сообщаются колебания вдоль магнитной ленты с амплитудой в несколько мкм и частотой в несколько кГц, что приводит к увеличению величины ЭДС, индуцируемой в обмотке головки. Существенным недостатком таких головок является их

громоздкость и невысокая эксплуатационная надежность.

Более удобными в работе являются неподвижные головки с модуляцией магнитного потока. Среди них наибольшее распространение получили головки с удвоением частоты. Характерным для них является то, что в ее сердечнике вместе с магнитным полем от носителя записи действует вспомогательное поле – магнитное поле возбуждения, создаваемое током в обмотках, подключенных к вспомогательному источнику. В выходной обмотке вследствие этого индуцируется переменная ЭДС, амплитуда которой пропорциональна потоку Ф.

Тема 3.8. Кодирование технологических команд и логической информации

В любом коде программы содержатся команды управления и необходимая логическая информация. К ним относятся: указания о направлении перемещений, команды на смену инструмента, зажима заготовки, включения и выключения СОЖ и т.д. Кроме того, имеется обширная информация об адресах цифровых элементов кода. Такую информацию желательно обозначать буквами или нецифровыми символами, например, (+) и (-) для направления перемещения, (%) начало программы и т. д.

Так как информация вводится в систему отдельными кадрами, то необходимо различать следующие их разновидности: фиксированный кадр, переменный кадр и адресный кадр.

В **фиксированном кадре** имеется определенное количество строк с жесткой последовательностью их расположения. При этом независимо от количества передаваемой информации в кадре, его длина остается неизменной. Это является недостатком такого построения кадра.

Очень часто в кадре передается лишь часть максимально возможной информации, например перемещение, только по одной координате, когда другие неизменны. В этом случае удобно применять **переменные кадры**. При этом в программе ставится сигнал окончания кадра последней значащей цифровой информацией кадра. Длина программноносителя в этом случае значительно сокращается. Другой особенностью переменного кадра является то, что между смежными строками одного кадра можно ставить особый разделительный знак "TAB", что дает возможность записывать только ту информацию в данный кадр, которая отличается от информации предыдущего кадра. На месте информации оставшейся от предыдущего кадра, в программе ставится знак "TAB". Например, очень часто подача остается неизменной во всей программе. Тогда в каждом кадре на ее месте ставится знак "TAB".

В фиксированном и переменном кадрах последовательность различной информации является постоянной.

Более совершенным является **адресный кадр**, в котором каждому коду информации (перемещению, технологической команде, логической информации) присваивается буквенный адрес, который указывает место данного кода в запоминающем устройстве. Это дает возможность не только сохранить повторяющуюся информацию, но и существенно уменьшить длину программноносителя.

Переход на адресный кадр более удобен при использовании восьмидорожечного программноносителя вместо пятидорожечного. Таким образом, в фиксированном и переменном кадрах можно применять как цифровую, так и буквенно-цифровую запись, а для адресного кадра желательно использовать только буквенно-цифровую запись.

Для записи программы на перфоленте в различных странах применяют различные коды. Так, в ФРГ узаконены стандартом VDI3259 код PCS для пятидорожечной перфоленты и коды AEG-PC8A и 8B - для восьмидорожечной перфоленты. В США специально для ЧПУ в 1961 году разработан код EIA (Electronic Industries Association) и код ASCII (American Standard Code for Information Interchange) для восьмидорожечной ленты.

В настоящее время применяют для ЧПУ разработанный в ЭНИМСе буквенно-цифровой код БЦК-5 (нормаль станкостроения Э68-1) и код ISO для применения в вычислительных машинах и устройствах обработки информации кода ISO-7bit.

Коды PC8, PC8A и 8B приняты в ФРГ с целью удобства использования клавиатуры существующих пишущих машинок в сочетании с перфорирующей приставкой.

В коде PC8 используются цифры от 0 до 9, 14 букв, знаки (+), (-) и команды управления телетайпом: IRR, ZWR, < и. Цифры кодируются в коде "3 из 5", буквы в коде "2 из 5" и "4 из 5", "1 из 5" и "5 из 5". Код PC8 исключает однократные ошибки, в особенности для цифр, с по-

мощью контроля на четность.

Код РС8А использовался ранее только фирмой АЕG, но теперь самой фирмой заменяется на код РС8В. В коде РС8В также используются цифры от 0 до 9, знаки (+) и (-), 14 букв, четыре команды управления, знак начала программы () и ее конца (Ende). Остальные 11 букв используются как запасные. Цифры записываются на 5...8 дорожках, 3 и 4 дорожки используются для указания признака букв, 1 и 2 для контроля на поперечную четность. Код РС8В разработан в США.

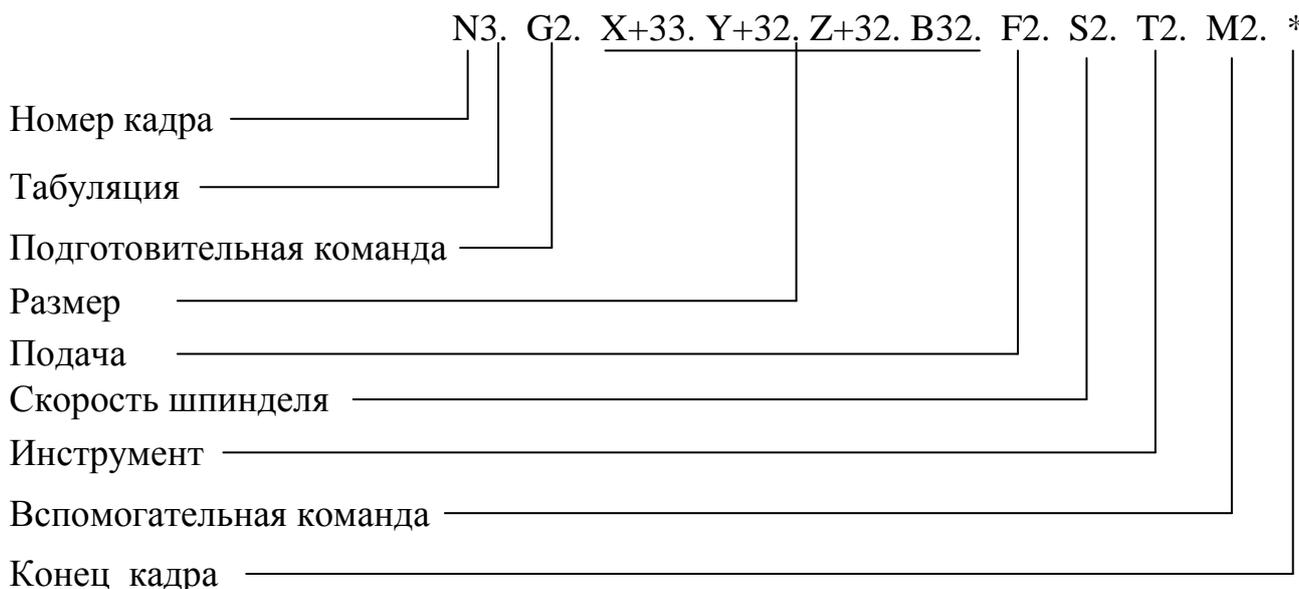
Код EIA - восьмизрядный, позволяющий закодировать 63 символа. Этот код использует только 6 дорожек из 8. Цифры кодируются двоично-десятичным кодом с весами 8-4-2-1 для дорожек 4-3-2-1. Аналогично кодируются буквы (применяются только строчные буквы латинского алфавита) от а до i, от j до r и от s до z. Признак группы букв записывается дополнительно на 6 и 7 дорожках. Восьмая дорожка используется для обозначения только лишь конца кадра, а 5-я - контрольная, обеспечивающая всегда нечетное количество перфораций в строке.

Код ASCII имеет возможность закодировать 127 символов, столько же, сколько и в коде ISO, и используется в основном в вычислительной технике. Основным отличием этого кода от кода ISO является то, что он в значительной степени сохраняет аппаратуру, работающую в коде EIA при необходимости перехода с кода EIA на код ASCII.

Код ISO, применяемый в СНГ, является семизначным кодом для 127 символов на восьмидорожечной перфоленте шириной 25,4 мм. Семь дорожек используются для кодирования информации в двоично-десятичной системе, а 8-я - для контроля считывания информации и дополняет количество перфораций в строке до четного числа. Код ISO обеспечивает получение 16 кодовых обозначений от 0 до 15.

Каждый символ кода (адрес, цифры, знак или признак) располагаются в виде комбинации пробивок (перфораций) на одной строке ленты. В первых четырех дорожках от 0 до 9 признак цифры записывается дополнительными пробивками на 5-й и 6-й дорожках. Буквы от А до О закодированы аналогично цифрами от 1 до 15, а признаком буквы является пробивка на 7-й дорожке. Вторая группа букв от Р до Z закодирована аналогично числам от 16 до 26, а признаком буквы является также дополнительная пробивка на 7-й дорожке.

Помимо адресов код ISO имеет ряд служебных символов, например: (+), (-), (:), (LE), (%) и др. (см. таблицу).



Для обозначения четкого определения требований определяемых системой ЧПУ, и ее возможностей разработаны рекомендации, предусматривающие полный формат кадра. Кадр состоит из слов "номер кадра", слов основной информации и символа "конец кадра", обозначающего конец каждого кадра и предшествующего новому кадру.

Вся информация в кадре должна записываться в строго определенном порядке и не повторяется внутри кадра. Но в каждом кадре может быть не вся вышеуказанная информация, а только часть ее. Кадр должен строиться в следующей последовательности:

1. Номер кадра из трех цифр. Всего возможно 999 номеров в одной программе.

2. Подготовительные команды группы G (режим работы) из двух цифр. Проектом рекомендаций ISO эти команды закреплены определенными кодами. Например :

G00...G09 - команды общего порядка: позиционирование, линейная или круговая интерполяция, ускорение, замедление, выдержка.

G10...G39 - особенности непрерывной обработки: выбор осей, плоскостей, видов интерполяции.

G49...G59 - коррекция размеров инструмента, без отсчета.

G60...G79 - вид работы: точно, быстро.

G80...G99 - стандартные автоматические циклы.

3. Размеры по координатам X, Y и Z. Размер задается шестью позициями, определяющими количество десятичных разрядов до и после заданной (по три позиции) при задании координаты. Кроме того, после адреса записывается знак перемещения, т.е.(+) или (-).

4. Слова "подача" F, и "скорость шпинделя" S выбирают задание режимов резания кодовым числом. ISO предусматривает два способа кодирования: арифметическая прогрессия (3,4 или 5 цифр) или геометрическая прогрессия (две цифры). Второй способ предусматривает большую степень унификации, более перспективен и использован в отечественных системах ЧПУ. При этом подача и скорость выражаются кодом из двух цифр, представляющим $\log f(s)$, а все подачи или скорости выбираются из ряда представляющего целые степени "1,12". При этом 00 соответствует "остановке", 99 - "быстрому ходу", цифры же от 1,12 до 75000(1,12⁹⁹) охватывают весь диапазон используемых на практике величин подачи и скоростей. Линейные подачи, не зависящие от скорости шпинделя, задаются в мм/мин, зависящие - в мм/об; скорости поворотного стола или шпинделя - в об/мин.

5. Слово "инструмент" T выражает в кодированном виде номер инструмента и, при необходимости, номер связанной с ним коррекции. Количество цифр в слове "инструмент" устанавливается в каждом конкретном случае и указывается в обозначении формата. Обычно для обозначения номера инструмента применяют 2 цифры.

6. Вспомогательные команды группы M определяют манипуляции, производимые станком. Их выполнение подтверждается станком, что является необходимым условием для продолжения автоматической работы. Наиболее часто применяемые команды этой группы следующие:

M00 - стол по программе. По этой команде после отработки кадра происходит остановка автоматической работы. Используется при необходимости выполнения отдельных операций оператором: контроль, переустановка деталей и т.д. Команда на продолжение работы дается оператором нажатием кнопки "Пуск".

M02 - конец программы. По этой команде после отработки кадра происходит отключение шпинделя, охлаждения, подачи и СЧПУ приводится в исходное состояние.

M03 - шпиндель по часовой стрелке

- M04 - шпиндель против часовой стрелки
- M05 - стоп шпинделя
- M06 - смена инструмента
- M38 - M40 - выбор диапазона скоростей шпинделя.

Следует отметить, что в одном кадре перфоленты может быть несколько функций G и M, например, G02, G17, G45, G61, G83, но только из разных групп. Например, не может быть в одном кадре функций G01 и G02, т.е. линейная и круговая интерполяция одновременно. То же самое относится и к командам M. Обычно имеется возможность программировать в одном кадре до 4-х и более команд G и M. Ошибочное программирование этих команд из одной группы должно выявляться СЧПУ и вырабатываться в виде "ошибки перфоленты".

Режим работы по циклам используется при последовательном повторении определенных операций, например, при сверлении в детали одинаковых отверстий. В обычном программировании необходимо несколько раз повторить одни и те же кадры, такие как: быстрый подвод, рабочая подача, отвод с включением, реверсирование и выключение шпинделя. При работе с постоянными циклами перед обработкой первого отверстия дается кадр с циклом G90 (начало работы по циклам), после чего в следующий кадр включается, кроме информации о величине перемещения, подачи и т.д., также номер цикла. После окончания первого цикла может быть записана программа для работы по второму циклу и т.д.

Кодированная и декодированная запись программы.

После считывания с программноносителя закодированная числовая программа в системе управления декодируется, причем в системах позиционного координатного управления декодирование цифровой программы осуществляется самой СПУ, установленной у станка.

В системах контурного управления декодирование цифровой программой осуществляется специальными устройствами интерполяторами или кодовыми преобразователями. Эти устройства могут быть встроены в систему ПУ приданную к станку, а могут, находится отдельно от него.

В случае, когда интерpolator расположен отдельно от станка, закодированная числовая программа с интерполятора, записывается на промежуточный программноноситель (обычно на магнитную ленту) в видекомандных импульсов или приращений фазы, которые уже непосредственно могут быть использованы для управления станком. В связи с этим для систем контурного управления значительно упрощается устройство ПУ, находящееся в цехе, непосредственно у станка. Но при этом появляется необходимость в специальных устройствах или перезапись программ на промежуточный программноноситель в виде магнитной ленты, что оказывается целесообразным только при эксплуатации одновременно группы станков с контурными СПУ. Поэтому в настоящее время одинаково широко распространены как кодированный, так и декодированный ввод программ в системы контурного числового управления, а в системах координатного числового управления - кодированный ввод программы.

Однако это не значит, что магнитная лента применяется только в случае декодированного ввода программы. Она широко применяется и для кодированной записи программы, т.к. в этом случае значительно уменьшается длина программноносителя, резко ускоряется работа ЭВМ и исключается основной недостаток магнитной ленты, как программноносителя - плохое ее использование при малых скоростях движения исполнительных органов станка.

Но использование магнитной ленты для кодированной записи программ требует старт - стопного протягивания ленты при очень малой скорости (порядка нескольких мм в сек), что связано с созданием принципиально новых магнитных головок, чувствительных к величине магнитного потока, а не к скорости его изменения, как в обычных головках. Тем не менее, преимущества кодированной записи информации на магнитной ленте позволяют рассчитывать на дальнейшее расширение ее применения для этой цели.

Тема 3.9. Интерполяторы

В станках с контурными СЧПУ формообразование заданного контура между опорными точками аппроксимируется в самой системе управления отрезками прямых линий или других более сложных кривых. Это обеспечивается специальными устройствами интерполяторами.

Интерполяторы могут быть непрерывного типа (аналоговые) и дискретного типа (числовые).

В числовых интерполяторах информация вводится в виде унитарного кода, представляющего собой последовательность импульсов, количество которых по каждой координате станка точно равно числу в кодированном виде, введенному в интерpolator, а время за которое выдается это число импульсов, - заданному времени обработки участка контура от одной опорной точки до другой.

Интерполяторы, кроме аппроксимации заданного профиля, в системах контурного управления выполняют функцию декодирования исходной числовой кодовой программы путем преобразования ее в форму, удобную для восприятия и отработки системой управления станка. Поэтому эти устройства называют еще иногда кодовыми преобразователями.

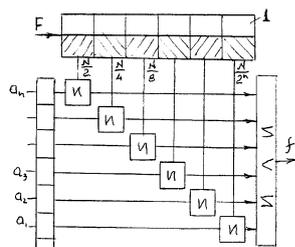
Современные интерполяторы представляют специализированные электронные машины, которые, кроме блоков интерполяции, включают целый ряд дополнительных устройств, обеспечивающих надежную работу интерполятора и правильность отработки заданной программы. К ним относятся блоки задания различных технологических команд, устройства плавного разгона и торможения, устройства контроля считанной информации, блоки коррекции скорости и величин перемещения рабочих органов и т.д.

В зависимости от способа аппроксимации обрабатываемого контура между опорными точками, в настоящее время в промышленности находят применение следующие типы интерполяторов: линейные, линейно-круговые, линейно-параболические и устройства позволяющие моделировать целые поверхности.

Линейно-круговые интерполяторы в среднем имеют в 2-3 раза больше элементов, чем линейные, но зато при их использовании упрощается программирование. Количество вводимой информации сокращается при этом в 1,3...2 раза по сравнению с линейными интерполяторами. Однако при использовании ЭЦВМ и автоматическом программировании целесообразно использовать линейные интерполяторы, как более простые и более надежные.

Линейные интерполяторы.

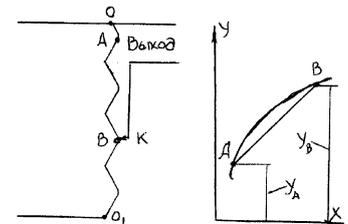
В самом простейшем случае в качестве линейного интерполятора может служить обычный потенциометр, представляющий собой прибор, в состав которого входит сопротивление, позволяющее делить известное напряжение тока в любом отношении. Допустим, что при положении подвижного контакта К в точке А величина снимаемого напряжения пропорциональна ординате $Y(A)$, а при снятии напряжения в точке В - ординате $Y(B)$. Если подвижной контакт потенциометра К перемещается вместе с рабочим органом, то величина снимаемого напряжения на выходе будет изменяться по линейному закону, а участок кривой АВ заменен хордой АВ.



В настоящее время известен ряд принципов построения линейных интерполяторов, основных из которых три: интерpolator с импульсными множителями, интерполяторы на числовых интеграторах с параллельным переносом и интерpolator на счетчиках с переменным коэффициентом деления.

Наибольшее распространение получили интерполяторы с импульсными множителями, обладающие рядом преимуществ, которые и обеспечили их широкое применение. Основной частью такого интерполятора является двоичный или десятичный импульсный множитель, состоящий из триггерного счетчика I, регистра памяти $a_1 a_2 a_3 \dots a_n$, схем совпадения "И" и схемы объединения "ИЛИ". Выходы всех систем "И" связаны со схемой "ИЛИ" откуда управляющие импульсы, вырабатываемые интерpolatorом поступают на головку магнитной записи или непосредственно в схему управления станком.

Заполнение триггерного счетчика I осуществляется от импульсного генератора, частота которого F определяет частоту входных импульсов f , получаемых со схемы "ИЛИ". Время заполнения счетчика называется циклом работы интерполятора. Оно равно времени отработки одного кадра программы от одной опорной точки обрабатываемого контура до другой. Изменяя частоту F, получают различные зна-



чение этого времени, требуемое по программе.

Если обозначить объем счетчика, включая импульс перемещения, через N , а число вводимое в память интерполятора через X , то при рассматриваемом случае двоичного кодирования, получим за один цикл работы интерполятора количество импульсов на его выходе:

$$\Delta x = a_1 \cdot 2^0 + a_2 \cdot 2^1 + a_3 \cdot 2^2 + \dots + a_n \cdot 2^{n-1},$$

где n - число разрядов счетчика

Таким образом, число импульсов на выходе интерполятора, построенного по схеме импульсного умножителя, всегда будет равно числу, введенному в кодированном виде в его память. Этим и обеспечивается основная функция интерполятора, как декодирующего устройства.



Для каждой управляемой координаты в интерполяторе имеется свой регистр памяти, своя схема объединения "ИЛИ" и свои схемы совпадения "И". Счетчик для всех координат общий. Этим обеспечивается одновременное считывание за цикл работы интерполятора всех введенных в его память чисел и в среднем равномерное распределение управляющих импульсов по каждой координате:

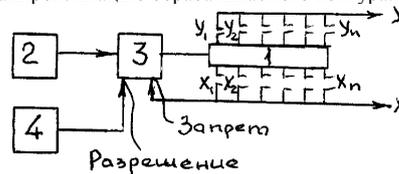
$$\frac{\Delta X}{f_x} = \frac{\Delta Y}{f_y} = \frac{\Delta Z}{f_z} = \dots = \frac{N}{f}$$

где $\Delta X, \Delta Y, \Delta Z$ - числа импульсов, введенные в регистр памяти по координатам;

f_x, f_y, f_z - средняя частота импульсов по координатам;

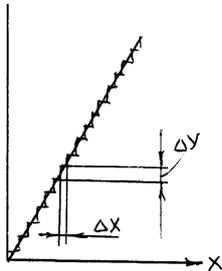
t - время цикла работы интерполятора, равное времени отработки программы.

Прямая пропорциональность, существующая в интерполяторе между средними частотами выходных импульсов и их числами, введенными в память, позволяет получить линейную аппроксимацию обрабатываемого контура.



Однако в крупных продольно-фрезерных станках привод продольной подачи обычно должен быть значительно более мощным, а следовательно, более инерционным, чем остальные, в результате чего обыкновенные СЧПУ с независимыми координатами не могут обеспечивать требуемую точность. В этом случае применяют линейный интерpolator с задающей координатой, т.е. необходимо иметь одну координату независимой (задающей), все остальные зависимыми от нее. При этом форме обрабатываемых деталей на этих станках может соответствовать любое соотношение между скоростями подачи по задающей и зависимым координатам.

Такой интерpolator имеет умножитель 1 на два или большее число выходов с клапаном 3. Работа происходит следующим образом.



Перемещение по задающей оси, например X , задается комбинацией включения контактов $X_1 \dots X_n$ памяти X , импульсы с которой поступают на вход "запрет" клапана 3. Перемещение по управляемой координате, например Y , задается комбинацией включения контактов $Y_1 \dots Y_n$ считывающей памяти Y , импульсы с которой подаются в систему управления координаты Y . На вход "разрешение" клапана 3 поступают импульсы от датчика задающей координаты (перемещения) 4. Таким образом, каждый импульс, поступающий с контактов X , запирает клапан 3, а каждый импульс, поступающий от датчика задающей координаты 4, открывает этот клапан, разрешая доступ импульсов от генератора 2 в умножитель 1. В результате, при поступлении заданного числа импульсов по координате Y от датчика обратной связи поступит число импульсов, равное заданному по оси X .

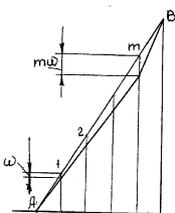
Каким же образом происходит обработка заданного контура в линейных интерполяторах. Любая линия (прямая) в линейных интерполяторах аппроксимируется отрезками прямых параллельных осям координат.

Пусть необходимо обработать некоторый прямолинейный участок. Для этого по осям X и Y подается соответствующее количество импульсов, поступающих от различных разрядов двоичного умножителя. В силу того, что информация выдается дискретно, также ввиду неравномерности выдачи отдельных импульсов, в действительности инструмент будет двигаться не по прямой, а по некоторому ступенчатому профилю, аппроксимирующему эту прямую. При этом максимальная ошибка, т.е. отклонение от теоретической прямой, составляет

$$H_{\max} \leq \sqrt{2 \cdot \left(\frac{n+0,5}{6} - \frac{1}{36} \right)} \cdot j$$

где n - число разрядов умножителя;

j - цена одного импульса.



Или, выражая через наибольшее перемещение L ,

т.е., при возрастании максимально допустимого перемещения по одной оси и фиксированной цене одного импульса наибольшее отклонение аппроксимирующего профиля от заданной прямой будет неограниченно возрастать по логарифмическому закону.

Одним из наиболее эффективных способов повышения точности обработки на станках с ЧПУ является уменьшение цены импульса. Но пропорционального повышения точности с уменьшением импульса не происходит, т.к. при этом увеличивается количество разрядов, необходимых для осуществления одного и того же перемещения. А если максимально возможное перемещение по одной оси фиксировано, то с уменьшением цены импульса пропорционально растет объем умножителя.

Пример: Пусть требуется переместить рабочий орган по оси X на величину $X=789,3$ мм. При цене одного импульса $0,1$ мм требуется 7893 импульса и четырехдекадный счетчик, т.е. объем умножителя должен составить не менее 10000 импульсов. При цене импульса $0,01$ мм требуется 78930 импульсов, т.е. уже пятиразрядный триггерный счетчик.

С целью уменьшения числа разрядов счетчика пользуются многократным повторением кадров, а прямолинейный участок разбивают на несколько проходов, когда объем счетчика интерполятора не позволяет сделать прохода за один кадр.

Пусть необходимо обеспечить проход по прямой АВ. Если разбить этот участок прямой на несколько частей, то можно получить требуемое уменьшение числа участвующих разрядов с соответствующим уменьшением предельной возможности ошибки интерполирования.

Величина максимально возможного перемещения по одной оси X, выраженная в импульсах, в пределах одного кадра определяется объемом счетчика N и выражается соотношением

$$\Delta X_{\max} = N - 1$$

В ряде линейных интерполяторов объем умножителя составляет 10000, а максимально возможное перемещение в пределах одного кадра в импульсах составляет 9999 импульсов. Для программирования линейного перемещения, проекция которого на одну или обе оси, выраженная в числе импульсов, превышает 9999 наиболее естественным является разбиение такого перемещения на ряд кадров с тем, чтобы в пределах каждого кадра перемещения X_i и Y_i по каждой оси не превышала бы максимально возможного. Для того, чтобы точка контура, получающаяся в конце отработки каждого такого кадра, лежала на заданной прямой, необходимо и достаточно, чтобы X_i и Y_i удовлетворяли условию

$$\frac{\Delta Y_i}{\Delta X_i} = \frac{\Delta Y}{\Delta X}$$

где ΔX и ΔY - проекции программируемого прямолинейного перемещения на координатные оси;

ΔX_i и ΔY_i - перемещения, предусмотренные при программировании i-го кадра.

Это может иметь место только тогда, когда ΔX и ΔY имеют общие множители не только равные 1, т.е. $(\Delta X, \Delta Y) \neq 1$. В случае если это условие не выполняется точки A_i не будут лежать на заданной прямой. Разбиение заданного промежутка на ряд кадров таким образом, чтобы точки деления отстояли от заданной прямой на величину, не превышающую величины шага одного импульса не представляет особых затруднений.

Пусть, например, объем умножителя составляет 10000 импульсов и максимально возможное перемещение составляет 9999 импульсов. Если следует запрограммировать линейное перемещение по отрезку, проекции которого на координатные оси составляет $\Delta X = 98132$, $\Delta Y = 87647$ импульсов, то разбивают указанные перемещения на 10 кадров. Основную величину перемещения по каждой оси можно получить путем отбрасывания последней цифры суммарного перемещения, т.е. $\Delta X_i = 9813$ импульсов, $\Delta Y_i = 8764$ импульсов. Оставшиеся по оси $X = 2$ и по оси $Y = 7$ импульсов распределяют по кадрам по возможности равномерно.

Например

	ΔX_i	ΔY_i
1-й кадр	9813	8765
2-й кадр	9813	8764
3-й кадр	9814	8765
4-й кадр	9813	8765
5-й кадр	9813	8764
6-й кадр	9813	8765
7-й кадр	9813	8765
8-й кадр	9814	8765
9-й кадр	9813	8764
10-й кадр	9813	8765

Этот способ дает возможность осуществлять практически сколь угодно большие прямолинейные перемещения, увеличивая ошибку аппроксимации не более чем на величину одного импульса.

В случае, если на осуществление указанного разбиения накладывается дополнительное условие равенства всех кадров, на которые разбивается заданное перемещение, точнее всех кроме одного последнего, в котором осуществляется компенсация ошибки, накопленной на всех остальных кадрах, то задача значительно усложняется и сводится к наиболее точной аппроксимации тангенса

угла наклона заданной прямой к оси абсцисс, представляющего в данном случае рациональную дробь с большими числителем и знаменателем. В этом случае применяют аппарат цепных дробей, являющийся наиболее эффективным.

Деление заданного перемещения с применением цепных дробей не всегда эффективно, т.к. оно математически очень сложно и часто приводит к программе, состоящей из большого числа кадров (более 1000), что, в свою очередь, вызывает большие накопления ошибки аппроксимации. Поэтому в настоящее время чаще применяют деление на неравномерные кадры, что приводит к программе всего из 10 кадров и ошибка программирования не более цены шага одного импульса.

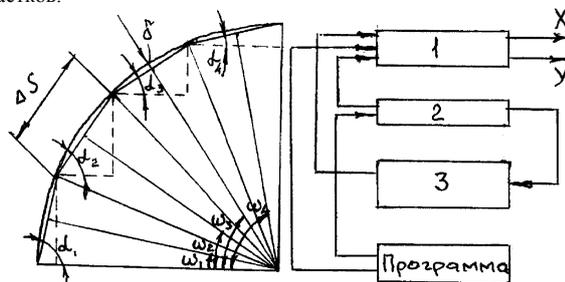
Линейно-круговые интерполяторы.

Наряду с линейными интерполяторами существуют различные типы линейно-круговых интерполяторов, эффективность которых обусловлена широким применением в промышленности деталей с криволинейными поверхностями.

Линейно-круговые интерполяторы при ручном программировании имеют преимущества перед линейными, т.к. уменьшают количество кадров, необходимых для аппроксимации окружности. Самая трудоемкая работа при программировании приходится на вычисление координат опорных точек профиля и на расчет эквидистант. Вместе с тем широкое внедрение автоматического программирования делает обе системы интерполяции равноценными с точки зрения удобства программирования.

Линейно-круговой интерполятор с постоянной памятью.

Такой интерполятор аппроксимирует дугу окружности с помощью линейной интерполяции. Исходя из заданной точности " ", окружность разбивается на N равных участков.



Величина приращения центрального угла ($\Delta\omega$) и сами углы (ω_i) определяются следующим образом:

$$\Delta\omega = \frac{360}{N}; \omega_i = \frac{\Delta\omega}{2} + (j-1) \cdot \Delta\omega, \quad i=1, 2, \dots, N.$$

Для первой четверти:

$$\alpha_i = 90 - \omega_i; \Delta X_i = \Delta S \cdot \cos \alpha_i; Y_i = \Delta S \cdot \sin \alpha_i;$$

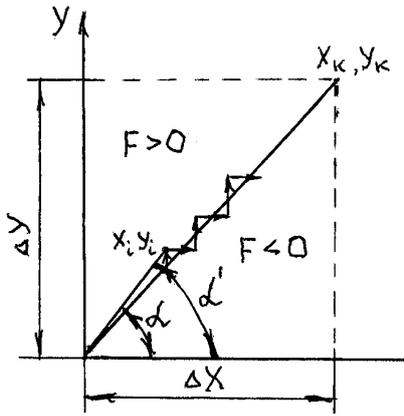
где ΔS - хорда окружности

$$\Delta S = 2R \cdot \sin \frac{\Delta\omega}{2}$$

Абсолютные значения $\sin \alpha_i$ и $\cos \alpha_i$ хранятся в памяти интерполятора и выбираются в соответствующей последовательности, а значе-

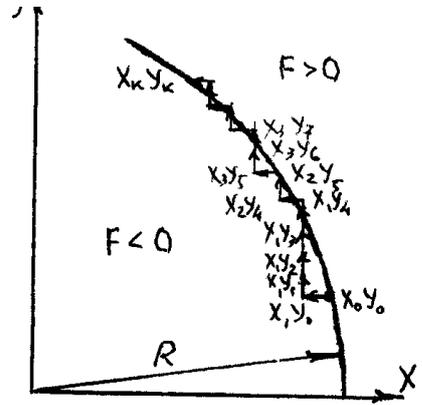
ния ΔS вычисляется и вводится от программы.

Схема имеет линейный интерpolator на умножителях 1, производящий линейную интерполяцию по вводимым в него значениям $\sin\alpha_i$ и $\cos\alpha_i$ из памяти 2. Конец вычислений по участку ломаной определяется счетчиком конца участка 3.



По сигналу счетчика 3 в умножители линейного интерполятора вводятся следующие значения $\sin\alpha_i$, $\cos\alpha_i$, ΔX и ΔY .

Недостатком такого интерполятора является наличие громоздкого запоминающего устройства и погрешности за счет аппроксимации дуги ломанной. Кроме того, необходимо иметь устройство для ликвидации накопленной погрешности, а также трудно ввести в систему коррекцию эквидистанты.



Линейно-круговой интерpolator с оценочной функцией.

Этот тип интерполятора не имеет накопленной погрешности и, кроме того, на его основе сравнительно легко производить автоматический расчет эквидистанты по данному радиусу инструмента.

Рассмотрим линейную часть интерполятора. Работа интерполятора основана на том, что в результате отработки одного шага (импульса) по оси ΔX или ΔY вычисляется функция F , оценивающая по какой оси дать следующий импульс, чтобы перемещение, возникающее в результате этого шага, приближалась к обрабатываемому прямолинейному контуру.

Пусть необходимо обработать приращения ΔX и ΔY , т.е. прийти в точку с координатами x_k и y_k . Прямая, соединяющая начало координат с этой точкой и есть заданная прямая. Т.к. перемещение на один импульс величина конечная, то текущее значение координат точек (X_i, Y_i) может быть как выше (область $F > 0$), так и ниже ($F < 0$) теоретической прямой, а может находиться и на данной прямой ($F = 0$).

Если в результате вычисления оказывается $F > 0$, то импульс всегда выдается по оси X , а если $F < 0$ - то по оси Y . Первый импульс, т.е. движение от начала координат (X_0, Y_0) всегда выдается по оси X . Причем, если интерполируемый отрезок совпадает с осью X ($Y_k = 0$), то траектория интерполяции совпадает с самим отрезком и не выходит из области $F = 0$. Если же интерполируемый отрезок совпадает с осью Y , то при этом первый шаг, который всегда должен быть по оси X и все последующие не делаются.

Пусть текущее значение координат будет X_i и Y_i . Тогда:

$$Y_k/X_k = \operatorname{tg}\alpha \quad \text{и} \quad Y_i/X_i = \operatorname{tg}\alpha'$$

Если $\alpha' > \alpha$, то $F = \operatorname{tg}\alpha' - \operatorname{tg}\alpha > 0$ и точка находится в области $F > 0$.

Если $\alpha' < \alpha$, то точка находится в области $F < 0$.

Текущее значение функции F будет

$$F_{ij} = \operatorname{tg}\alpha' - \operatorname{tg}\alpha = Y_i X_k - X_i Y_k$$

В результате шага по оси X , получим

$$F_{i,j} = Y_i X_k - X_i Y_k$$

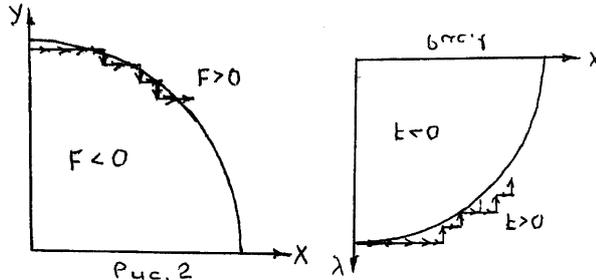
Но $X_i = X_i + 1$, следовательно

$$F_{i,j} = Y_i X_k - (X_i + 1) Y_k = (Y_i X_k - X_i Y_k) - Y_k = F_{ij} - Y_k$$

После шага по оси Y аналогичным образом получим

$$F_{i,j} = F_{ij} + X_k$$

Таким образом, для определения значения функции F после шага по оси X от предыдущего значения функции F отнимается значение Y_k , а после шага по оси Y к предыдущему значению F прибавляется значение X_k . Здесь $i = 1, 2, 3 \dots k$, $j = 1, 2, 3 \dots k$.



Поскольку начальное значение оценочной функции F равно 0 ($F = 0$), то все последующие значения этой функции определяются только с помощью величин X_k и Y_k . При этом знак оценочной функции, определяемый интерполятором, и, получившийся в результате очередного шага, определяет, в свою очередь, направление следующего шага. Окончание процесса интерполяции определяется интерполятором путем сравнения координат промежуточной и конечной точек обработки.

Основным недостатком такого интерполятора является его сравнительная сложность и зависимость скорости обработки от угла наклона обрабатываемого участка.

При круговой интерполяции с оценочной функцией решается уравнение окружности вида $Y = \sqrt{R^2 - X^2}$, при этом обеспечивается воспроизведение окружности с точностью до одного импульса.

Окружность, на которой расположен интерполируемый отрезок дуги, разделяет плоскость на две области $F > 0$ и $F < 0$. Сама окружность представляет собой область, где $F = 0$. Интерполируемый отрезок дуги имеет начальные координаты X_0, Y_0 и конечные - X_k, Y_k . Если промежуточная точка, например X_2, Y_2 находится в области $F > 0$, то очередной шаг делается по оси X , а если в области $F < 0$ (например X, Y) - то по оси Y .

При интерполяции дуги окружности, расположенной в I-м квадранте в направлении против часовой стрелки, при шаге по оси X в направлении "минус", т.е. из точки X_i, Y_i в точку X_{i-1}, Y_i , координата промежуточной точки траектории интерполятора уменьшается на единицу

$$X_i = X_{i-1}$$

При шаге по оси Y из точки X_i, Y_i в точку X_i, Y_{i+1} координата Y промежуточной точки траектории интерполяции увеличивается на единицу

$$Y_j = Y_{j+1}$$

При круговой интерполяции координаты начальной точки траектории $(X_0, Y_0) \neq 0$ и зависят от радиуса интерполируемой дуги окружности в соотношении

$$X_0^2 + Y_0^2 = R^2$$

Величина оценочной функции в начальной точке траектории равна нулю, так как находится на самой дуге (в области $F = 0$).
 $F_{00} = 0$

Значение оценочной функции в промежуточной точке траектории интерполяции с координатами $X_i Y_j$ определяется формулой
 $F_{ij} = X_i^2 + Y_j^2 - R^2$.

При шаге по оси X из т. $X_i Y_j$ в т. $X_{i+1} Y_j$, получим.

$$F_{i+1,j} = X_{i+1}^2 + Y_j^2 - R^2 = (X_i + 1)^2 + Y_j^2 - R^2 = X_i^2 + 2X_i + 1 + Y_j^2 - R^2 = F_{ij} + 2X_i + 1,$$

т.е.

$$F_{i,j+1} = F_{ij} + 2Y_j + 1$$

Аналогично при шаге по оси Y из точки $X_i Y_j$ в т. $X_i Y_{j+1}$, получим

$$F_{i,j+1} = X_i^2 + Y_{j+1}^2 - R^2 = X_i^2 + (Y_j + 1)^2 - R^2 = X_i^2 + Y_j^2 + 2Y_j + 1 - R^2 = F_{ij} + 2Y_j + 1,$$

Т.е.

$$F_{i,j+1} = F_{ij} + 2Y_j + 1$$

Поскольку начальное значение оценочной функции равно нулю ($F_{00}=0$), то все последующие значения этой функции определяются текущими координатами траектории интерполяции.

Один из методов построения кругового интерполятора с оценочной функцией был предложен В.В.Карибским (рис.1). По этому методу следующий шаг по оси Y делается только в том случае, если в результате этого шага функция F оставалась бы больше нуля. Если это условие не выполняется, то делается шаг по оси X.

Другой метод построения кругового интерполятора, предложенный Гроссманом, (рис.2) состоит в том, что в зависимости от знака текущего значения функции F дается шаг по той или иной оси. Если $F < 0$, шаг делается по оси X; если же $F > 0$, то шаг делается по оси Y.

Общим недостатком обоих методов является изменение скорости в процессе обработки в 1,4 раза.

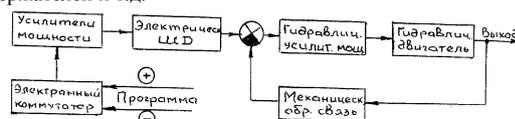
Из сравнения рассмотренных методов круговой интерполяции с точки

зрения количества электронного оборудования, точности обработки траектории, простоты программирования и быстродействия наиболее выгодной является интерполяция с использованием оценочной функции по методу Гроссмана.

Раздел 4. Исполнительные приводы станков с ЧПУ

Тема 4.1. Шаговые приводы подачи

Шаговый привод является простейшим вариантом исполнительного позиционного привода подачи. Достоинством его является простота конструкции, отсутствие каналов обратной связи и средств измерения положения и скорости исполнительного органа, а также естественный характер связи с устройством задания программы в унитарном коде. К недостаткам шагового привода следует отнести существенное ограничение по скорости, необходимость (во избежание пропуска импульсов) плавного разгона при выходе на режим ускоренных перемещений и плавного торможения при выходе из режима, а также невозможный характер потери информации в случае сбоя, т.е. пропуска шага. Уступая в этом смысле следящему приводу, шаговый привод, однако, как более простой, более высокой надежности и низкой стоимости шаговый привод продолжают использовать, особенно при использовании большого числа управляемых по программе координат в малых и средних станках. Кроме того шаговый двигатель применяют для управления различными вспомогательными механизмами станков - поворот и смещение суппортов, резцедержателей и т.д.



Шаговые приводы могут использовать несиловые и силовые шаговые двигатели. В первом случае в состав привода дополнительно входит система усиления крутящего момента, выполненная в виде автономной следящей системы (обычно гидравлической). Во втором случае выходной вал ШД непосредственно связан с винтом или редуктором механизма передачи.

Рассмотрим структуру шагового привода с несиловым ШД. Импульсы программы в унитарном коде поступают на вход электронного коммутатора по одному из двух каналов в зависимости от заданного направления. Электронный коммутатор представляет собой кольцевой сдвиговый регистр, изменяющий свое состояние под действием каждого очередного входящего импульса. Смена состояний коммутатора приводит через усилитель мощности к переключению фаз электрического ШД и повороту его ротора на угловой шаг.

Цена одного шага неизменна и обусловлена особенностями конструкции ШД. ШД является механическим задатчиком своеобразной гидравлической копирующей системы (с жесткой обратной связью), выполняющей функции усиления крутящего момента. Т.е., шаговые перемещения ШД воспроизводятся с усилением на общем силовом входе привода.

Конструктивно ШД и контрольная система усиления крутящего момента составляют единый агрегат. ШД 1 через пару шестерен поворачивает следящий золотник 2 гидравлического усилителя в гайке, связанной с выходным валом гидромотора 5, в силу чего золотник смещается в осевом направлении и из нейтрального исходного положения. При этом во внешних магистралях гидравлического усилителя возникает перепад давления, приложенный к плунжерам гидромотора через неподвижный распределительный узел 4, а выходной вал гидромотора приходит во вращение. Одновременно вращается и гайка винтового механизма обратной связи 3, так что следящему золотнику сообщается осевое перемещение в осевом направлении, противоположном заданному шаговым двигателем.

Таким образом, по мере отработки на выходном валу заданного ШД перемещения золотник возвращается в исходное положение. В исходном положении перепад давления во внешних магистралях гидравлического усилителя равен нулю, а выходной вал гидромотора неподвижен. Направление смещения следящего золотника из нейтрального зависит от направления вращения ШД; для разных направлений сериобразная проточка торцевого распределительного узла соединена в одном случае с давлением, а в другом - со сливом, чем и достигается реверс гидромотора.

Рассмотрим два характерных режима работы системы усиления крутящего момента: режим отработки единичных шагов и режим некоторой постоянной скорости. В первом случае каждому импульсу управления соответствует поворот вала ШД на строго определенный угол, определяемый конструкцией ШД и способом переключения его обмоток, чем обуславливается рассогласование гидроусилителя, равному, соответственно, величине одного углового шага, т.е. до тех пор, пока рассогласование не исчезнет за счет обратной связи.

Режиму постоянной скорости предшествует режим разгона, в котором рассогласование увеличивается до тех пор, пока угловые скорости ШД и гидромотора не уравниваются. Скорость вращения и суммарный угол поворота пропорциональны соответственно частоте и числу поданных импульсов управления.

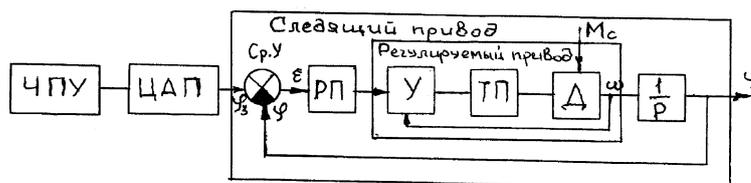
В установившемся режиме рассогласования гидроусилителя момента будет удерживаться на уровне, соответствующем частоте вращения и внешней нагрузке гидромотора. Величина рассогласования определяет динамическую (скоростную) ошибку шагового привода и может, в зависимости от заданной частоты вращения и внешней нагрузке, составлять несколько десятков шагов.

Силовой ШД представляет собой двухстаторную шестиазную машину с реактивным ротором и по конструкции напоминает конструкцию несилового ШД.

Современные быстродействующие ШД являются модифицированными синхронными электростатическими машинами, обмотки которых возбуждаются несинусоидальными сигналами - прямоугольными и ступенчатыми импульсами напряжения с изменяющейся в широких пределах частотой. Ступенчатому характеру напряжений на фазах ШД соответствует дискретное вращение электромагнитного поля в воздушном зазоре двигателя, вследствие чего движение ротора на низкой частоте складывается из последовательности элементарных перемещений, совершенных по аperiodическому или колебательному закону. При возрастании управляющей частоты девиация (отклонение) скорости ротора ШД сглаживается.

Тема 4.2. Следящий привод подачи

По мере совершенствования устройств ЧПУ, увеличение жесткости и точности узлов станка возросли требования к величине ускоренных ходов и быстродействию привода подачи. Скорость ускоренных ходов возрасла с 5 м/мин в станках второго поколения до 10-12 м/мин в многооперационных станках третьего поколения. Для обеспечения высокой точности обработки цена импульса во многих случаях уменьшилась до 1 мкм. Все это обуславливает применение быстродействующего привода с высокой статической и динамической точностью.



Для удовлетворения указанным требованиям был разработан следящий гидропривод, назначением которого является точное воспроизведение входного управляющего сигнала и преобразование его в механическое перемещение. На вход следящего привода поступают управляющие импульсы от интерполятора устройства ЧПУ. Число импульсов определяет величину перемещения, а частота их следования - необходимую скорость.

Импульсный сигнал от ЧПУ преобразуется в аналоговый в цифроаналоговом преобразователе (ЦАП) и поступает на элемент сравнения (Ср.У), в котором образуется сигнал рассогласования ϵ , пропорциональный разности заданного ϕ_3 и фактического ϕ положения исполнительного вала привода (или механизма станка), определяемого с помощью измерительного преобразователя перемещения. Иногда сравнение заданного и фактического положений может осуществляться в импульсной или иной форме. Сигнал рассогласования поступает на предварительный усилитель (У) регулируемого привода который работает в сторону уменьшения рассогласования.

Основной характеристикой следящего электропривода является погрешность положения $\epsilon = \phi_3 - \phi$, которая легко может быть пересчитана на положение исполнительного органа станка.

В прямой цепи следящего электропривода включен тиристорный преобразователь (ТП) и двигатель постоянного тока (Д), не охваченный обратной связью. Тиристорный преобразователь (ТП) и предварительный усилитель (У) системы импульсно-фазового управления являются пропорциональными элементами. Система импульсно-фазового управления (СИФУ) предназначена для преобразования непрерывного (фазового) сигнала в импульсный сигнал управления, фаза которого пропорциональна входному воздействию. Поскольку угол управления α , отсчитывается от момента естественного открывания тиристора, работа СИФУ должна быть согласована с напряжением питания ТП. Управляющие импульсы должны иметь достаточную мощность и высокую крутизну, необходимую для четкого открывания тиристоров.

Напряжение на выходе ТП пропорционально рассогласованию при погрешности ϵ :

$$U = K \cdot \epsilon,$$

где K - общий коэффициент преобразования ТП и СИФУ.

Отношение заданной скорости следящего привода к установившейся погрешности называют добротностью привода по скорости. Если произвольное возмущение $M_c = 0$, то добротность по скорости равна общему статическому коэффициенту преобразования разомкнутой системы следящего привода:

$$D_\omega = \frac{\omega_3}{\epsilon_{уст}} = k_d \cdot k$$

Здесь k_d - коэффициент преобразования двигателя.

Для уменьшения установившейся ошибки необходимо увеличить добротность системы. Однако большие значения коэффициента преобразования ТП и СИФУ (K) могут привести к потере устойчивости, т.е. система может перейти в колебательный режим.

Улучшение статических и динамических характеристик следящего привода может быть получено путем использования корректирующих устройств в контуре регулятора перемещения (РП) так же как и в регулируемом приводе. Для этого используют самые разнообразны способы введения параллельной и последовательной коррекции в следящих системах. В некоторых системах ЧПУ для уменьшения скоростной погрешности используют принцип комбинированного управления, согласно которому на вход следящего привода подается не только сигнал управления, но и компенсирующий сигнал, пропорциональный скорости его изменения. Это позволяет существенно уменьшить скоростную погрешность без увеличения добротности системы, связанной с опасностью потери чувствительности.

Таким образом основой следящего электропривода служит регулируемый привод, элементы которого будут рассмотрены ниже.

Специфическими устройствами, свойственными только следящему электроприводу подачи, являются датчики обратной связи по перемещению и исполнительные двигатели. Датчики обратной связи непосредственно связаны как со схемой электропривода, так и с конструкцией станка и во многом определяют качество системы ЧПУ.

Тема 4.3. Исполнительные электродвигатели

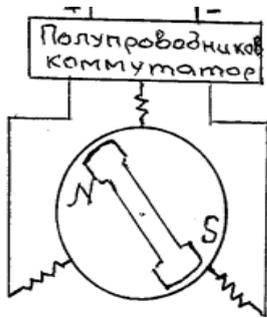
В следящих приводах подачи станков с ЧПУ в настоящее время применяют исполнительные двигатели постоянного тока традиционно исполнения с несколько улучшенными датчиками и регулировочными характеристиками. Такие двигатели имеют повышенную перегрузочную способность и широкий диапазон регулирования частоты вращения. Такие двигатели соединяют с ходовым винтом через редуктор. Массивный якорь двигателя улучшает отвод тепла от обмотки и имеет большую тепловую инерционность, однако существенно снижает быстродействие.

Для улучшения динамических свойств двигателей обычно увеличивают отношение момента двигателя к собственному моменту инерции M/I путем снижения момента инерции вращающихся частей, т.е. делают двигатели малоинерционными. Уменьшение момента инерции достигается за счет резкого увеличения отношения активной длины якоря к его диаметру, которое может достигать 4-х-кратной величины. Обмотка якоря размещается не в пазах, как в обычных машинах, а на его гладкой внешней поверхности, что улучшает охлаждение обмотки и тем самым позволяет увеличить ток якоря и динамический момент. Такие двигатели способны развивать ускорение до 25000 1/c^2 .

Однако малоинерционные двигатели требуют специального динамического согласования с механической системой станка. Если собственная частота двигателя и частота механической системы станка будут соизмеримы, то может произойти потеря устойчивости всей системы электромеханического привода. Поэтому более рациональный путь повышения быстродействия двигателя связан с увеличением динамического момента M двигателя при неизменном моменте инерции его якоря. Двигатели подобного типа получили название высокомоментных.

Существенной конструктивной особенностью высокомоментных двигателей является возбуждение от постоянных ферритовых магнитов. Такое решение конструкции двигателя исключает потери на нагрев обмотки возбуждения, на 10-15% увеличивает КПД и уменьшает размеры двигателя. Высокомоментные двигатели обеспечивают равномерное вращение при частотах до 0,1 об/мин. Номинальная же частота вращения составляет обычно 1000 об/мин, но может быть повышена до 2000 об/мин за счет кратковременной форсировки напряжения якоря. Высокомоментные двигатели обеспечивают 6-10 кратную перегрузку по моменту при низких частотах вращения в течение 20-30 минут, что позволяет устанавливать их непосредственно на ходовой винт механизма подачи. С повышением частоты вращения коммутация двигателя ухудшается и перегрузочная способность снижается.

Ниже приведена типичная конструкция высокомоментного двигателя с ферритовыми магнитами.



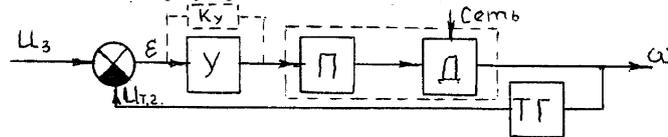
Ферритовые сегменты 1 многополюсной магнитной системы располагаются в цилиндрическом корпусе 2 и охватывают якорь 3. На валу двигателя расположен коллектор 4 со щетками 5. Двигатель снабжен электромагнитным тормозом 6 и встроенным тахогенератором 7. Для осуществления обратной связи по перемещению предусматривается револьвер 8, который связан с валом двигателя прецизионной повышающей передачей 9. Конструкция двигателя допускает применение внешнего вентилятора.

Дальнейшим развитием исполнительных электродвигателей постоянного тока являются вентильные бесконтактные электродвигатели, в котором коммутация (переключение обмоток за счет перераспределения токов и напряжений) осуществляется полупроводниковыми приборами. Это позволяет избавиться от коллектора и щеток и существенно улучшить динамические свойства машины. Обмотка якоря в таких двигателях расположена на неподвижной части машины - статоре, а на роторе расположены постоянные магниты, которые создают ток возбуждения. С помощью полупроводникового коммутатора (инвертора) управляемого в функции поворота ротора по сигналам датчика положения, в такой обмотке создается вращающееся магнитное поле. Вращающий момент возникает

в результате взаимодействия этого поля с полем ротора. Внешне машина напоминает синхронный бесконтактный двигатель. Однако наличие датчика положения приводит к тому, что частоту вращения двигателя можно регулировать посредством изменения напряжения в цепи якоря, а не путем изменения частоты задающего генератора, управляемого инвертором, как в синхронной машине.

Тема 4.4. Регулируемый привод станков с ЧПУ

Регулируемый привод применяют в механизмах главного движения станков с ЧПУ, а кроме того он является главным структурным компонентом следящего привода подачи станков с ЧПУ. Регулируемый привод для станков с ЧПУ выполняют по схеме "тиристорный преобразователь - двигатель" (ТП - Д) и регулируют напряжением в цепи якоря при неизменном возбуждении, что обеспечивает постоянный максимально - допустимый момент на всем диапазоне регулирования.



Особенностью этих приводов является широкий диапазон регулирования частоты вращения от $D = 1:1000$ до $D = 1:50000$, что позволяет полностью обеспечить не только рабочие движения, связанные с технологическим процессом обработки, но также и быстрые установочные перемещения без применения промежуточных механических передач. Минимальная частота вращения привода должна составлять 1 об/мин, а в некоторых случаях 0,1 об/мин.

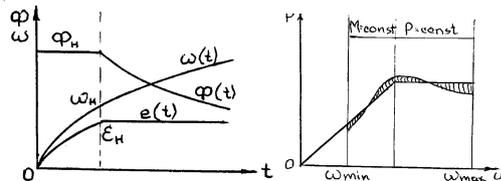
При малых скоростях привод должен обеспечить равномерное перемещение. Современный регулируемый привод должен обладать высоким быстродействием при переходе с одной установочной частоты на другую.

Силовая часть регулируемого привода должна состоять из двигателя Д и силового преобразователя П, который преобразует переменное напряжение на якорь двигателя.

Для увеличения диапазона регулирования привод охватывается жесткой обратной связью по частоте вращения. Для этого на валу двигателя Д устанавливается тахогенератор ТГ, напряжение которого пропорционально угловой скорости. Это напряжение сравнивается с задающим. Разность напряжений задающего и тахогенератора усиливается усилителем У и подается на силовой преобразователь П. Точность работы привода и диапазон регулирования увеличиваются по мере возрастания общего коэффициента передачи К. Однако чрезмерное увеличение К может привести к потере устойчивости системы. Во избежание этого и для обеспечения требуемого быстродействия в приводе применяются специальные корректирующие устройства.

Точность работы привода в большей степени зависит от точности и стабильности характеристик цепи обратной связи по частоте вращения и в первую очередь от стабильности коэффициента передачи тахогенератора. К остальным элементам привода, охваченным обратной связью, таких жестких требований по стабильности характеристик не предъявляется.

Тема 4.5. Приводы главного движения



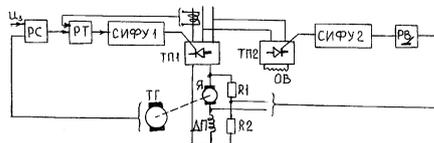
В приводах главного движения станков с ЧПУ преимущественно применяют регулируемые приводы с двигателем постоянного тока и тиристорным преобразователем. Необходимая мощность привода главного движения металлорежущего станка изменяется в функции частоты вращения шпинделя. При этом полностью номинальная мощность не используется при высоких и низких частотах вращения. До 0,5 диапазона регулирования мощность возрастает примерно пропорционально частоте вращения и регулирование нужно производить с постоянным моментом М. Затем мощность достигает максимума и затем незначительно снижается при наибольшей частоте вращения. На этом участке привод можно регулировать с постоянной максимальной допустимой мощностью. Таким образом, привод главного движения станка нуждается в двухзонном регулировании, которое обеспечивают разными способами.

Регулирование с постоянной максимально допустимой мощностью осуществляется путем изменения тока возбуждения при неизменном напряжении на якоре. При этом частота вращения изменяется вверх от номинальной в небольшом диапазоне, который определяется коммутационными возможностями двигателей постоянного тока. Для двигателей постоянного тока серии 2П этот диапазон $D_{p=const} = 1:4$. В этом случае, когда по технологическим требованиям диапазон D_p необходимо увеличить, вводят дополнительную коробку скоростей с автоматическим переключением ступеней с помощью электромагнитных муфт.

Для регулирования с постоянным максимально допустимым моментом необходимо изменять напряжение на якоре при неизменном возбуждении. Частота вращения при этом регулируется вниз от номинала и диапазон регулирования может быть достаточно большим, обычно по технологическим требованиям необходимо иметь $D_{M=const} = 1:20$. Однако в многооперационных станках этот диапазон может быть значительно увеличен. Это связано с необходимостью точного позиционирования шпинделя при смене инструмента.

В связи с этим привод главного движения должен иметь два тиристорных преобразователя: один для питания цепи якоря, другой - для цепи возбуждения. Соответственно этому образуются два контура управления.

Регулирование частоты вращения изменением напряжения на якоре и изменением потока возбуждения можно производить независимо. Однако, во избежание пуска двигателя при пониженном возбуждении в современных приводах главного движения применяют двухзонное зависимое управление. При зависимом управлении магнитный поток остается номинальным до тех пор, пока частота вращения двигателя меньше основной. Повышение частоты вращения двигателя обеспечивается путем ослабления магнитного потока. Схема управления имеет один датчик скорости общий на обе зоны регулирования. Система управления напряжением якоря (ТП - тиристорный преобразователь этой цепи) имеет замкнутый контур по скорости двигателя с регулятором скорости (РС) и подчиненный ему контур тока с регулятором тока (РТ).



В некоторых случаях такой контур может быть заменен системой токоограничения. В целом эта система совпадает с системой регулируемого привода и оптимизируется теми же методами. Некоторое отличие заключается в том, что привод главного движения имеет большую мощность и больший момент инерции. Вследствие этого входная цепь привода обычно имеет задатчик интенсивности, ограничивающей скорость нарастания управляющего сигнала; это необходимо во избежание резких толчков тока при больших значениях задания, поскольку медленно нарастающая ЭДС двигателя не может обеспечить эффективного токоограничения.

Система управления током возбуждения связана с системой управления напряжением якоря через ЭДС двигателя. Сигнал пропорциональный ЭДС снимается с диагонали тахометрического моста образованного якорем двигателя, обмоткой дополнительных полюсов (ДП) и резисторами R1 и R2. Этот сигнал подается на регулятор возбуждения (РВ), имеющий зоны насыщения, и далее через СИФУ-2 управляет работой тиристорного преобразователя ТП-2, питающего обмотку возбуждения (ОБ) двигателя. Поскольку мощность возбуждения не велика применяют упрощенный однофазный преобразователь.

Кроме сигнала, пропорционального ЭДС двигателя, на вход регулятора (РВ) подается опорное напряжение, соответствующее номинальной частоте вращения двигателя. До тех пор пока частота вращения двигателя меньше номинальной, регулятор РВ находится в состоянии насыщения, и по обмотке насыщения протекает номинальный ток. При больших частотах вращения регулятор вступает в работу и начинает уменьшать поток возбуждения двигателя. Совместное действие регуляторов скорости и возбуждения приводит к тому, что во второй зоне регулирования ЭДС остается все время неизменной. Поэтому систему регулирования возбуждения считают контуром регулирования ЭДС, зависимым от контура скорости.

В первой зоне регулирования за счет изменения напряжения на якоре двигателя ЭДС возрастает при неизменном потоке.

Во второй зоне регулируется ток в области возбуждения. При этом стабилизируется ЭДС, а магнитный поток уменьшается.

4.3. Лабораторные работы

<i>№ п/п</i>	<i>Номер раздела дисциплины</i>	<i>Наименование лабораторной работы</i>	<i>Объем (час.)</i>	<i>Вид занятия в интерактивной, активной, инновационной формах, (час.)</i>
1	3.	Программирование операций механической обработки на станках с ЧПУ	34	-
ИТОГО			34	-

4.4. Семинары/ практические занятия

Учебным планом не предусмотрено.

4.5. Контрольные мероприятия: курсовой проект (курсовая работа), контрольная работа, РГР, реферат

Учебным планом не предусмотрено.

5. МАТРИЦА СООТНЕСЕНИЯ РАЗДЕЛОВ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ К ФОРМИРУЕМЫМ В НИХ КОМПЕТЕНЦИЯМ И ОЦЕНКЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

<i>№, наименование разделов дисциплины</i>	<i>Компетенции</i>	<i>Кол-во часов</i>	<i>Компетенции</i>	Σ <i>комп.</i>	<i>t_{ср}, час</i>	<i>Вид учебных занятий</i>	<i>Оценка результатов</i>
			<i>ПК</i>				
			<i>19</i>				
1. Области эффективного применения станков и станочных комплексов		3	+	1	3	Лк, СР	Зачет
2. Станки автоматы и полуавтоматы		8	+	1	8	Лк, СР	Зачет
3. Станки с ЧПУ		86	+	1	86	Лк, ЛР, СР	Зачет
4. Исполнительные приводы станков с ЧПУ		11	+	1	11	Лк, СР	Зачет
<i>всего часов</i>		108	108	1	108		

6. ПЕРЕЧЕНЬ УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

1. Скворцов А. В. Основы технологии автоматизированных машиностроительных производств: учебник / А. В. Скворцов, А. Г. Схиртладзе. – М.; Берлин: Директ-Медиа, 2017. 634 с. http://biblioclub.ru/index.php?page=book_view_red&book_id=469049

7. ПЕРЕЧЕНЬ ОСНОВНОЙ И ДОПОЛНИТЕЛЬНОЙ ЛИТЕРАТУРЫ, НЕОБХОДИМОЙ ДЛЯ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

№ п/п	Наименование издания	Вид занятия	Кол-во экз. в библ., шт.	Обеспеченность, (экз./ чел.)
Основная литература				
1.	Скворцов А. В. Основы технологии автоматизированных машиностроительных производств: учебник / А. В. Скворцов, А. Г. Схиртладзе. – М.; Берлин: Директ-Медиа, 2017. 634 с. http://biblioclub.ru/index.php?page=book_view_red&book_id=469049	Лк, СР	ЭР	1,0
2.	Устройства программного управления в автоматизированном производстве : пособие / А.А. Гончаров, Н.В. Сурба, Е.Н. Велюжинец, Ю.Н. Петренко. - Минск : РИПО, 2017. - 272 с. : схем., табл., ил. - Библиогр. в кн. - ISBN 978-985-503-660-0 ; То же [Электронный ресурс]. - URL: http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=487984	ЛР, СР	ЭР	1,0
Дополнительная литература				
3.	Лучкин, В.К. Проектирование и программирование обработки на токарных станках с ЧПУ: учебное пособие / В.К. Лучкин, В.А. Ванин; Министерство образования и науки Российской Федерации, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Тамбовский государственный технический университет». - Тамбов: Издательство ФГБОУ ВПО «ТГТУ», 2015. - 83 с. - [Электронный ресурс]. - URL: http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=444957	ЛР, СР	ЭР	1,0

8. ПЕРЕЧЕНЬ РЕСУРСОВ ИНФОРМАЦИОННО – ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННОЙ СЕТИ «ИНТЕРНЕТ» НЕОБХОДИМЫХ ДЛЯ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

1. Электронный каталог библиотеки БрГУ http://irbis.brstu.ru/CGI/irbis64r_15/cgiirbis_64.exe?LNG=&C21COM=F&I21DBN=BOOK&P21DBN=BOOK&S21CNR=&Z21ID=.
2. Электронная библиотека БрГУ <http://ecat.brstu.ru/catalog> .
3. Электронно-библиотечная система «Университетская библиотека online» <http://biblioclub.ru> .
4. Электронно-библиотечная система «Издательство «Лань» <http://e.lanbook.com> .
5. Информационная система "Единое окно доступа к образовательным ресурсам" <http://window.edu.ru> .
6. Научная электронная библиотека eLIBRARY.RU <http://elibrary.ru> .
7. Университетская информационная система РОССИЯ (УИС РОССИЯ) <https://uisrussia.msu.ru/> .
8. Национальная электронная библиотека НЭБ <http://xn--90ax2c.xn--p1ai/how-to-search/> .

9. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ДЛЯ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ОСВОЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ

№ п/п	Номер раздела Основные положения раздела, рекомендуемые для СР	Рекомендуемая литература	Форма отчета	Всего часов
1.	1. Области эффективного применения станков и станочных комплексов	[1]	Зачет	2
2.	2. Станки автоматы и полуавтоматы	[1]	Зачет	4
3.	3. Станки с ЧПУ	[1], [2], [3]	Зачет ЛР №1	43
4.	4. Исполнительные приводы станков с ЧПУ	[1]	Зачет	8
ИТОГО				57

9.1. Методические указания для обучающихся по выполнению лабораторных работ

Лабораторная работа № 1

Программирование операций механической обработки на станках с ЧПУ

Цель работы: получение навыков в эксплуатации устройств ЧПУ и механических систем управления оборудованием механической обработки изделий

Порядок выполнения работы:

1. Составить программу токарной обработки вала по чертежу;
2. Составить программу фрезерной обработки детали по чертежу;
3. Составить программу шлифовальной обработки детали по чертежу;

Оборудование и инструмент:

- токарный станок с ЧПУ;
- режущие инструменты.

Структура и содержание отчета:

1. Название лабораторной работы.
2. Цель работы.
3. Порядок выполнения работы.
4. Оборудование и инструмент.
5. Программы обработки операций механической обработки.
6. Выводы по работе.

Задания для самостоятельной работы:

1. Проработать рекомендуемые источники, основную и дополнительную литературу по изучаемому вопросу с целью углубления, систематизации и расширения полученных знаний;
2. Ответить на контрольные вопросы для самопроверки.

Рекомендации по выполнению заданий и подготовке к лабораторной работе:

проработка лекционного материала, основной и дополнительной литературы. Конспектирование прочитанных литературных источников.

Основная литература

1. Устройства программного управления в автоматизированном производстве : пособие / А.А. Гончаров, Н.В. Сурба, Е.Н. Велюжинец, Ю.Н. Петренко. - Минск : РИПО, 2017. - 272 с. : схем., табл., ил. - Библиогр. в кн. - ISBN 978-985-503-660-0 ; То же [Электронный ресурс]. - URL: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=487984>

Дополнительная литература

2. Лучкин, В.К. Проектирование и программирование обработки на токарных станках с ЧПУ : учебное пособие / В.К. Лучкин, В.А. Ванин. - Тамбов : Издательство ФГБОУ ВПО «ТГТУ», 2015. - 83 с. <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=444957>

Контрольные вопросы для самопроверки:

1. Какие команды применяются на станках с ЧПУ?
2. Каковы принципы написания программ обработки на станках с ЧПУ?

9.2. Методические указания по выполнению курсового проекта (курсовой работы), контрольной работы, РГР, реферата

Учебным планом не предусмотрено.

10. ПЕРЕЧЕНЬ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ, ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ПРИ ОСУЩЕСТВЛЕНИИ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО ПРОЦЕССА ПО ДИСЦИПЛИНЕ

Информационно-коммуникативные технологии (ИКТ) используются для:

- получения информации при подготовке к занятиям;
- создания презентационного сопровождения занятий;
- работы в электронной информационной среде.

Стандартное лицензионное программное обеспечение:

1. Microsoft Imagine Premium: Microsoft Windows Professional 7.
2. Microsoft Office 2007 Russian Academic OPEN No Level.
3. Антивирусное программное обеспечение Kaspersky Security.
4. Adobe Reader.

11. ОПИСАНИЕ МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЙ БАЗЫ, НЕОБХОДИМОЙ ДЛЯ ОСУЩЕСТВЛЕНИЯ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО ПРОЦЕССА ПО ДИСЦИПЛИНЕ

<i>Вид занятия</i>	<i>Наименование аудитории</i>	<i>Перечень основного оборудования</i>	<i>№ Лк, ЛР, ПЗ</i>
Лк	Лекционная / семинарская аудитория	Учебная мебель	-
ЛР	Лаборатория Технологии машиностроения	Учебная мебель; Токарный станок 16А20Ф3	ЛР №1
СР	Читальный зал № 1	Учебная мебель; 10-ПК i5-2500/Н67/4Gb (мониторTFT19 Samsung); принтер HP LaserJet P2055D	-

**ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ
ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ**

1. Описание фонда оценочных средств (паспорт)

№ компетенции	Элемент компетенции	Раздел	Тема	ФОС
ПК-19	способность осваивать и применять современные методы организации и управления машиностроительными производствами, выполнять работы по доводке и освоению технологических процессов, средств и систем технологического оснащения, автоматизации, управления, контроля, диагностики в ходе подготовки производства новой продукции, оценке их инновационного потенциала, по определению соответствия выпускаемой продукции требованиям регламентирующей документации; по стандартизации, унификации технологических процессов, средств и систем технологического оснащения, диагностики, автоматизации и управления выпускаемой продукции.	1. Области эффективного применения станков и станочных комплексов	1.1. Области эффективного применения станков и станочных комплексов	Вопрос к зачету № 1.1
		2. Станки автоматы и полуавтоматы	2.1. Основные понятия об автоматизации металлорежущих станков	Вопрос к зачету № 2.1
			2.2. Классификация станков-автоматов и полуавтоматов	Вопрос к зачету № 2.2
			2.3. Системы управления с распределительным валом	Вопрос к зачету № 2.3
			2.4. Автоматы и полуавтоматы параллельного, последовательного и параллельно-последовательного действия	Вопрос к зачету № 2.4
		3. Станки с ЧПУ	3.1. Ретроспектива развития ЧПУ	Вопрос к зачету № 3.1
			3.2. Понятие о ЧПУ станками	Вопрос к зачету № 3.2
			3.3. Классификация ЧПУ станками	Вопрос к зачету № 3.3
			3.4. Преимущества станков с ЧПУ	Вопрос к зачету № 3.4
			3.5. Типовая СПУ и ее особенности	Вопрос к зачету № 3.5
			3.6. Подготовка и порядок подготовки программы	Вопрос к зачету № 3.6
			3.7. Устройства подачи программноносителя и считывания программы	Вопрос к зачету № 3.7
			3.8. Кодирование технологических команд и логической информации	Вопрос к зачету № 3.8
			3.9. Интерполяторы	Вопрос к зачету № 3.9
		4. Исполнительные приводы станков с ЧПУ	4.1. Шаговые приводы подачи	Вопрос к зачету № 4.1
4.2. Следящий привод подачи	Вопрос к зачету № 4.2			
4.3. Исполнительные электродвигатели	Вопрос к зачету № 4.3			
4.4. Регулируемый привод станков с ЧПУ	Вопрос к зачету № 4.4			
4.5. Приводы главного движения	Вопрос к зачету № 4.5			

2. Вопросы к зачету

№ п/п	Компетенции		ВОПРОСЫ К ЗАЧЕТУ	№ и наименование раздела
	Код	Определение		
1.	ПК-19	способность осваивать и применять современные методы организации и управления машиностроительными производствами, выполнять работы по доводке и освоению технологических процессов, средств и систем технологического оснащения, автоматизации, управления, контроля, диагностики в ходе подготовки производства новой продукции, оценке их инновационного потенциала, по определению соответствия выпускаемой продукции требованиям регламентирующей документации; по стандартизации, унификации технологических процессов, средств и систем технологического оснащения, диагностики, автоматизации и управления выпускаемой продукции.	1.1. Области эффективного применения станков и станочных комплексов	1. Области эффективного применения станков и станочных комплексов
			2.1. Основные понятия об автоматизации металлорежущих станков	2. Станки автоматы и полуавтоматы
			2.2. Классификация станков-автоматов и полуавтоматов	
			2.3. Системы управления с распределительным валом	
			2.4. Автоматы и полуавтоматы параллельного, последовательного и параллельно-последовательного действия	
			3.1. Ретроспектива развития ЧПУ	3. Станки с ЧПУ
			3.2. Понятие о ЧПУ станками	
			3.3. Классификация ЧПУ станками	
			3.4. Преимущества станков с ЧПУ	
			3.5. Типовая СПУ и ее особенности	
			3.6. Подготовка и порядок подготовки программы	
			3.7. Устройства подачи программносителя и считывания программы	
			3.8. Кодирование технологических команд и логической информации	4. Исполнительные приводы станков с ЧПУ
			3.9. Интерполяторы	
			4.1. Шаговые приводы подачи	
4.2. Следящий привод подачи				
4.3. Исполнительные электродвигатели				
4.4. Регулируемый привод станков с ЧПУ				
4.5. Приводы главного движения				

3. Описание показателей и критериев оценивания компетенций

Показатели	Оценка	Критерии
знать: <i>ПК-19</i> – современные методы организации и управления машиностроительными производствами; уметь: <i>ПК-19</i> – выполнять работы по автоматизации и управлению технологических процессов в ходе подготовки производства новой продукции; владеть: <i>ПК-19</i> – навыками управления и контроля технологическими процессами в ходе подготовки производства новой продукции.	зачтено	- даны исчерпывающие и обоснованные ответы на все поставленные вопросы; - ответы изложены грамотно, уверенно, логично, последовательно; - опираясь на усвоенные знания, четко увязывает научные положения с практической деятельностью; - свободно владеет основными понятиями дисциплины.
	не зачтено	- допускает существенные ошибки и неточности при ответе на поставленные вопросы; - испытывает трудности в практическом применении полученных знаний; - не может аргументировать научные положения; - не владеет системой основных понятий дисциплины.

4. Методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, навыков и опыта деятельности

Дисциплина «Управление системами и процессами» направлена на ознакомление с методами формообразования поверхностей деталей машин, анализа методов формообразования поверхностей и областей их применения, на получение теоретических знаний и практических навыков определения качественных и количественных характеристик поверхностей деталей.

Изучение дисциплины «Управление системами и процессами» предусматривает:

- лекции;
- лабораторные работы;
- самостоятельную работу;
- зачет.

В ходе освоения раздела 1 Области эффективного применения станков и станочных комплексов обучающиеся должны уяснить области применения станков.

В ходе освоения раздела 2 Станки автоматы и полуавтоматы, обучающиеся должны уяснить основные понятия об автоматизации металлорежущих станков, классификацию станков-автоматов и полуавтоматов.

В ходе освоения раздела 3 Станки с ЧПУ обучающиеся должны уяснить понятие о ЧПУ станками, классификацию ЧПУ станками, типовую СПУ, устройства подачи программносителя и считывания программы, интерполяторы.

В ходе освоения раздела 4 Исполнительные приводы станков с ЧПУ обучающиеся должны уяснить приводы подачи, приводы главного движения.

В процессе проведения лабораторных работ происходит закрепление знаний, формирование умений и навыков программирования операций ЧПУ.

При подготовке к зачету рекомендуется особое внимание уделить вопросам применения программных средств для решения практических вопросов в проектировании новых материалов и технологий.

Удобнее готовиться к лабораторным работам и зачету в читальном зале библиотеки или в специализированном учебном кабинете.

Работа с литературой является важнейшим элементом в получении знаний по дисциплине. Прежде всего, необходимо воспользоваться списком рекомендуемой по данной дисциплине литературой. Дополнительные сведения по изучаемым темам можно найти в периодической печати и Интернете.

АННОТАЦИЯ
рабочей программы дисциплины
Управление системами и процессами

1. Цель и задачи дисциплины

Целью изучения дисциплины является – формирование у обучающихся теоретических и прикладных знаний о современных средствах и системах машиностроительного производства.

Задачами изучения дисциплины является:

- изучение числового программного управления (ЧПУ);
- получение навыков в эксплуатации устройств ЧПУ и механических систем управления оборудованием механической обработки изделий.

2. Структура дисциплины

2.1 Распределение трудоемкости по отдельным видам учебных занятий, включая самостоятельную работу: лекции – 17 часов, лабораторные работы – 34 часа, самостоятельная работа – 57 часов.

Общая трудоемкость дисциплины составляет 108 часов, 3 зачетные единицы.

2.2. Основные разделы дисциплины:

1. Области эффективного применения станков и станочных комплексов.
2. Станки автоматы и полуавтоматы.
3. Станки с ЧПУ.
4. Исполнительные приводы станков с ЧПУ.

3. Планируемые результаты обучения (перечень компетенций)

Процесс изучения дисциплины направлен на формирование следующих компетенций:

ПК-19 – способность осваивать и применять современные методы организации и управления машиностроительными производствами, выполнять работы по доводке и освоению технологических процессов, средств и систем технологического оснащения, автоматизации, управления, контроля, диагностики в ходе подготовки производства новой продукции, оценке их инновационного потенциала, по определению соответствия выпускаемой продукции требованиям регламентирующей документации; по стандартизации, унификации технологических процессов, средств и систем технологического оснащения, диагностики, автоматизации и управления выпускаемой продукции.

4. Вид промежуточной аттестации: Зачет.

*Протокол о дополнениях и изменениях в рабочей программе
на 20__-20__ учебный год*

1. В рабочую программу по дисциплине вносятся следующие дополнения:

2. В рабочую программу по дисциплине вносятся следующие изменения:

Протокол заседания кафедры № _____ от «___» _____ 20__ г.,
(разработчик)

Заведующий кафедрой _____
(подпись)

(Ф.И.О.)

ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ ДЛЯ ТЕКУЩЕГО КОНТРОЛЯ УСПЕВАЕМОСТИ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

1. Описание фонда оценочных средств (паспорт)

№ компетенции	Элемент компетенции	Раздел	Тема	ФОС
ПК-19	способность осваивать и применять современные методы организации и управления машиностроительными производствами, выполнять работы по доводке и освоению технологических процессов, средств и систем технологического оснащения, автоматизации, управления, контроля, диагностики в ходе подготовки производства новой продукции, оценке их инновационного потенциала, по определению соответствия выпускаемой продукции требованиям регламентирующей документации, унификации технологических процессов, средств и систем технологического оснащения, диагностики, автоматизации и управления выпускаемой продукции.	1. Области эффективного применения станков и станочных комплексов	1.1. Области эффективного применения станков и станочных комплексов	Конспект лекций
		2. Станки автоматы и полуавтоматы	2.1. Основные понятия об автоматизации металлорежущих станков	Конспект лекций
			2.2. Классификация станков-автоматов и полуавтоматов	Конспект лекций
			2.3. Системы управления с распределительным валом	Конспект лекций
			2.4. Автоматы и полуавтоматы параллельного, последовательного и параллельно-последовательного действия	Конспект лекций
		3. Станки с ЧПУ	3.1. Ретроспектива развития ЧПУ	Конспект лекций
			3.2. Понятие о ЧПУ станками	Конспект лекций
			3.3. Классификация ЧПУ станками	Конспект лекций
			3.4. Преимущества станков с ЧПУ	Конспект лекций
			3.5. Типовая СПУ и ее особенности	Конспект лекций
			3.6. Подготовка и порядок подготовки программы	Конспект лекций; Отчет по ЛР №1
			3.7. Устройства подачи программноносителя и считывания программы	Конспект лекций
			3.8. Кодирование технологических команд и логической информации	Конспект лекций
			3.9. Интерполяторы	Конспект лекций
		4. Исполнительные приводы станков с ЧПУ	4.1. Шаговые приводы подачи	Конспект лекций
			4.2. Следящий привод подачи	Конспект лекций
4.3. Исполнительные электродвигатели	Конспект лекций			
4.4. Регулируемый привод станков с ЧПУ	Конспект лекций			
4.5. Приводы главного движения	Конспект лекций			

2. Описание показателей и критериев оценивания компетенций

Показатели	Оценка	Критерии
знать: ПК-19 – современные методы организации и управления машиностроительными производствами; уметь: ПК-19 – выполнять работы по автоматизации и управлению технологических процессов в ходе подготовки производства новой продукции; владеть: ПК-19 – навыками управления и контроля технологическими процессами в ходе подготовки производства новой продукции.	зачтено	- даны исчерпывающие и обоснованные ответы на все поставленные вопросы; - ответы изложены грамотно, уверенно, логично, последовательно; - опираясь на усвоенные знания, четко увязывает научные положения с практической деятельностью; - свободно владеет основными понятиями дисциплины.
	не зачтено	- допускает существенные ошибки и неточности при ответе на поставленные вопросы; - испытывает трудности в практическом применении полученных знаний; - не может аргументировать научные положения; - не владеет системой основных понятий дисциплины.