

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ
БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
«САМАРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АЭРОКОСМИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ имени академика С.П. КОРОЛЕВА
(национальный исследовательский университет)» (СГАУ)

Проничев Н.Д., Смелов В.Г.

МНОГООСЕВЫЕ ОБРАБАТЫВАЮЩИЕ ЦЕНТРЫ

Инновационный курс лекций

Работа выполнена по мероприятию блока 1 «Совершенствование
образовательной деятельности» Программы развития СГАУ

на 2009 – 2018 годы по проекту «Разработка образовательных стандартов СГАУ по специальности 160700.65 – Проектирование авиационных и ракетных двигателей и направлению подготовки бакалавров 160700.62 – Двигатели летательных аппаратов со сквозной документацией и создание исследовательских лабораторных работ и прогрессивных технологий лекционных заданий»

Соглашение № 1/4 от 03.06 2013 г.

САМАРА 2013

УДК621.9 (075)+621.431.75(075)

ББК34.6Я7+39.55Я7

П 815

Авторы: **Проничев Николай Дмитриевич,**

Смелов Виталий Геннадиевич.

Рецензент: Скуратов Д. Л., д-р техн. наук, профессор

Редакторская обработка Н.В. Николаева

Компьютерная верстка Н.В. Николаева

Проничев, Н.Д. Многоосевые обрабатывающие центры [Электронный ресурс]: инновац. курс лекций / Н.Д. Проничев, В. Г. Смелов; М-во образования и науки РФ, Самар. гос. аэрокосм. ун-т им. С. П. Королева (нац. исслед. ун-т). – Электрон. и граф. дан. (4,6 Мбайт). - Самара, 2013. -1 эл. опт. диск (CD-ROM).

Инновационный курс лекций предназначен для студентов факультета «Двигатели летательных аппаратов»: бакалавров специальности 160700.62 – Двигатели летательных аппаратов (ФГОС-3), изучающих дисциплины: «Разработка оптимальных технологических процессов с использованием CAE/CAD/CAM/PDM систем» в 6 и 8 семестрах, и специалистов направления 160700.65 – Проектирование авиационных и ракетных двигателей (ФГОС–3), изучающих дисциплины: «Инновационные технологии производства АД и ЭУ» в 9 и А семестрах, «Виртуальная сборка АД и ЭУ» в А семестре.

Подготовлено на кафедре ПДЛА.

© Самарский государственный

аэрокосмический университет, 2013

СОДЕРЖАНИЕ

Общие сведения о гибкой автоматизации производства.....	6
1.1. Основные понятия гибкой автоматизации производства	6
1.2. Сущность производственных систем.....	7
Станки, используемые в гибких производственных системах	8
1.3. Общие сведения	8
1.4. Производительность и надежность станков.....	11
1.5. Технологическая гибкость и автоматизация.....	11
1.6. Точность станков	12
1.7. Агрегатирование станков.....	12
Основы числового программного управления	12
1.8. Автоматическое управление.....	12
1.9. Особенности устройства и конструкции вертикально-фрезерного станка с ЧПУ	14
1.10. Функциональные составляющие (подсистемы) ЧПУ.....	15
1.10.1. Подсистема управления	16
1.10.2. Подсистема приводов	16
1.10.3. Функционирование системы ЧПУ	21
1.11. Языки для программирования обработки.....	22
Введение в программирование обработки	23
1.12. Прямоугольная система координат	23
1.13. Написание простой управляющей программы.....	24
1.14. Создание УП на персональном компьютере	27
1.15. Передача управляющей программы на станок.....	29
1.16. Проверка управляющей программы на станке.....	30
1.17. Советы по технике безопасности при эксплуатации станков с ЧПУ.....	33
Станочная система координат.....	35
1.18. Нулевая точка станка и направления перемещений	35
1.19. Нулевая точка программы и рабочая система координат	37
1.20. Компенсация длины инструмента	40
1.21. Абсолютные и относительные координаты	42
1.22. Комментарии в УП и карта наладки.....	44
Структура управляющей программы	46
1.23. G и M коды.....	46
1.24. Структура программы.....	47

1.25.	Слово данных, адрес и число	49
1.26.	Модальные и немодальные коды.....	49
1.27.	Формат программы	50
1.28.	Строка безопасности.....	53
1.29.	Важность формирования УП	54
Станки с ЧПУ и обрабатывающие центры токарной группы		56
1.30.	Тенденции развития	56
1.31.	Компоновочные схемы	57
1.32.	Технологические возможности.....	61
Станки с ЧПУ и обрабатывающие центры сверильно-фрезерно-расточной группы		61
1.33.	Тенденции развития	62
1.34.	Компоновочные схемы	62
Конструкция многоцелевых станков типа гексапода		63
Шлифовальные станки с ЧПУ		65
Устройства для замены деталей и режущих инструментов		66
Основы управления точностью обработки в ГПС		66
1.35.	Требования к деталям, обрабатываемым в ГПС механообработки	66
1.36.	Обоснование необходимости управления процессом достижения требуемой точности в ГПС	67
1.37.	Координатные системы МЦС с ЧПУ и этапы достижения точности при обработке.	68
1.38.	Формирование размерных связей, определяющих точность обработки на МЦС с ЧПУ	69
1.39.	Процесс накопления погрешностей обработки на вертикальном МЦС с ЧПУ ..	74
1.40.	Количественная оценка погрешностей обработки на вертикальном МЦС с ЧПУ	77
1.41.	Размерные связи и процесс образования погрешностей диаметральных размеров при растачивании отверстий на МЦС. Количественная оценка возможной точности обработки	79
1.42.	Формирование размера динамической настройки.....	81
1.43.	Погрешность позиционирования. Управление погрешностями станка с ЧПУ ..	82
1.44.	Пути управления точностью обработки на МЦС с ЧПУ	87
1.45.	Управление размером статической настройки на вертикальном МЦС с ЧПУ ...	88
1.46.	Управление размером установки на вертикальном МЦС с ЧПУ	90
1.47.	Количественная оценка возможной точности обработки линейных размеров на вертикальном МЦС с ЧПУ, оснащённом СНИ и СКПУ	92

1.48.	Управление процессом достижения точности диаметральных размеров на МЦС с ЧПУ	94
1.49.	Адаптивные системы управления станками с ЧПУ.....	97
1.50.	Адаптивное управление точностью обработки по размеру динамической настройки.....	99
1.51.	Адаптивное управление точностью обработки по размеру статической настройки.....	103
1.52.	Адаптивное управление точностью обработки по размерам динамической и статической настройки	106
1.53.	Измерительный комплекс МЦС с ЧПУ для управления точностью обработки в ГПС	108
	Список использованной литературы	110

ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О ГИБКОЙ АВТОМАТИЗАЦИИ ПРОИЗВОДСТВА

1.1. Основные понятия гибкой автоматизации производства

Учитывая неоднородность автоматизированных средств производства, следует уточнить основные понятия, термины и определения, используемые в машиностроении промышленного производства. За основу принята терминология по ГОСТ 26228—84.

Производство — комплекс скоординированных рабочих процессов, в которых сознательная целевая деятельность людей направлена на создание материальных благ (продукты, услуги) либо информационных потоков для удовлетворения соответствующих потребностей общества.

Система — собрание материальных или виртуальных (схема, математическая модель) объектов, идентифицированных с учетом свойств и особенностей, отличающих данную систему от всех прочих систем. С этой точки зрения под системой можно понимать любой технический объект, в котором выделены связи между входными и выходными параметрами, даже без рассмотрения физических или иных явлений, происходящих во время функционирования объекта и определяющих условия этого функционирования. Типичный пример такого подхода — системы резания.

Производственная система (ПС) — статичная или динамичная комбинация людских, материальных и финансовых ресурсов, обеспечивающая превращение действий на входе в систему (работа персонала, предметы и орудия труда, информация) в результаты на выходе из системы (промышленные изделия, материализованные услуги, новая информация).

Изготовление — часть процесса производства, в ходе реализации которой с помощью средств производства, технологий изготовления происходит превращение сырья и полуфабрикатов в новые промышленные изделия.

Технологическая система (ТС) — совокупность функционально связанных средств технологического оснащения, предметов производства, финансов и исполнителей, предназначенная для выполнения того или иного технологического процесса либо операции. Так, например, станочная ТС может служить для обработки конкретной поверхности детали или как одна из многих подсистем входить в общую систему для обработки детали, а в дальнейшем — сборки машины.

Техническая система — комплекс, выполняющий конкретные функции в технологической системе. Название таких систем определяется их целевым назначением. Например, в металлорежущем станке это могут быть гидравлическая система, система управления, система надзора и диагностики и т.д.

Структура системы — комплект пространственно-временных связей между элементами системы.

Подсистема — система низшего уровня, выделенная в сложной системе.

Автоматизация производства — использование технических средств для автоматического управления и контроля производственных процессов. При этом в отличие от механизации, которая направлена на облегчение физического труда работника, автоматизация нацелена на сокращение (устранение) непосредственного участия человека в производственном процессе и ориентацию его на программирование и общий надзор над процессом. Автоматизация может охватывать средства производства (технологические машины), отдельные составляющие процессов изготовления (манипуляция предметами,

их транспортирование, складирование, контроль), а также процесс изготовления полностью (комплексная автоматизация).

Гибкая автоматизация производства (ГАП) — автоматизация, обеспечивающая быстрое и легкое переоснащение (переналадку) и смену программы работы средств производства в соответствии с изменениями требований производства. Такая автоматизация является антиподом *жесткой автоматизации*, предназначенной для производства изделий только одного типа, трансформация которой требует весьма значительных затрат времени, труда и финансовых ресурсов.

Гибкий производственный модуль (ГПМ) — единица технологического оборудования, автоматически осуществляющая технологические операции в пределах ее технологических характеристик, способная работать автономно и в составе гибких производственных систем или ячеек. В ГПМ входят устройства: ЧПУ, адаптивного управления, контроля и измерения, диагностики.

Гибкая производственная ячейка (ГПЯ) — управляемая средствами вычислительной техники совокупность нескольких ГПМ и систем обеспечения функционирования, способная работать автономно и в составе гибкой производственной системы при изготовлении изделий в пределах подготовленного запаса заготовок и инструмента. В систему обеспечения функционирования ГПЯ входят автоматизированная система управления технологическим процессом, автоматизированная система управления технологическим оборудованием, автоматизированная транспортно-складская система, система автоматического контроля, автоматизированная система инструментального обеспечения, автоматизированная система удаления отходов и др.

Гибкая производственная система (ГПС) — управляемая средствами вычислительной техники совокупность технологического оборудования, состоящая из разного сочетания ГПМ и(или) ГПЯ, автоматизированной системы технической подготовки производства и системы обеспечения его функционирования, обладающая возможностью автоматизированной переналадки при изменении программы производства изделий, разновидности которых ограничены технологическими возможностями оборудования.

1.2. Сущность производственных систем

Гибкая автоматизация производства может быть частичной или комплексной. В последнем случае кроме автоматизации непосредственно технологических процессов автоматизируются также все необходимые вспомогательные процессы и сводятся к минимуму функции обслуживания. Такая автоматизация обеспечивает автоматическую работу производственной системы в течение длительного времени.

Главная особенность ГПС по сравнению с прежними формами организации производства, обеспечивающая высокую производительность (например, автоматические линии), - возможность производства целой группы изделий в произвольном (в соответствии с требованиями дня) порядке и небольшими партиями, причем такая организация производства не оказывает значительного влияния на его экономические показатели. В настоящее время под ГПС понимают системы, включающие средства производства, которые характеризуются легкостью переналадки и адаптации к изменяющимся требованиям производства. Цель использования ГПС — достижение эффективности производства, сравнимой с эффективностью массового производства, но для небольших партий разнородных деталей.

Наиболее часто ГПС рассматривают как комплексную систему технологических машин (в большинстве случаев — металлорежущих станков), транспортных средств, оснастки и прочих средств производства, которые полностью управляются с помощью компьютера. Станки в этом случае укомплектованы оснасткой для смены заготовок и режущих инструментов, что обеспечивает возможность обработки различных деталей без потерь времени на переналадку станка.

В последнее время ГПС часто трактуют как способ организации производства, обеспечивающий полное управление производственным процессом и рационализирующий этот процесс. Такой подход означает необходимость анализа каждой составляющей производства продукции на данном предприятии и тщательной временной стыковки с другими составляющими.

Используя ГПС, можно обеспечить:

- гибкость выбора различных заготовок для обработки в течение определенного времени;
- возможность добавления или удаления конкретной заготовки из разработанного ранее производственного задания на обработку деталей;
- гибкость технологического маршрута, т.е. возможность замены станка для обработки конкретной детали, например в случае изменения производственного задания или отказа станка;
- возможность быстрого внедрения в производство конструктивных изменений в обрабатываемых деталях;
- возможность изменений в программе выпуска конкретных деталей;
- возможность производства различных деталей в разных ГПС в рамках одного предприятия.

Возможности ГПС весьма привлекательны для лидеров современного промышленного производства. С одной стороны, они позволяют объединить высокую производительность с малыми объемами партий деталей или изделий, с другой — внедрить безлюдные технологии и значительно снизить производственные расходы на заработную плату. А это дает предприятию возможность быстрее, чем когда-либо, реагировать на требования рынка.

СТАНКИ, ИСПОЛЬЗУЕМЫЕ В ГИБКИХ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ СИСТЕМАХ

1.3. Общие сведения

Металлообрабатывающее оборудование является одним из главных факторов, определяющих развитие народного хозяйства страны. Эффективность его использования непосредственно влияет на производство новых машин для всех отраслей промышленности, сельского хозяйства и т.д., а это в конечном счете характеризует уровень жизни общества. В настоящее время ни одна страна не производит всей потребной ей номенклатуры оборудования, специализируясь только на некоторых его типах. Однако уровень развития современного производства требует использования практически всей номенклатуры металлообрабатывающего и сопутствующего

вспомогательного оборудования. Поэтому ознакомление с тенденциями развития и технологическими возможностями современных металлорежущих станков не только представляет интерес, но и является необходимым при разработке технологии и изготовлении современных машин.

В общем случае понятие «металлорежущие станки» включает:

- непосредственно станки для работы в различных типах производства (одиночные станки, автоматизированные и автоматические линии, производственные системы и т.д.);
- комплектующие для производства металлорежущих станков универсального назначения (двигатели, шпиндельные узлы, направляющие, шарико-винтовые пары и т.д.); современный станок на 50...70 % состоит из таких комплектующих;
- приспособления, обеспечивающие использование станков для конкретного производства;
- системы управления вместе с соответствующим компьютерным оборудованием (несмотря на то что такой продукцией занимаются предприятия по производству электроники, они всегда ориентированы на потребности конкретных предприятий — производителей станков);
- контрольно-измерительные приспособления, измерительные машины, системы надзора и диагностики;
- компьютерные системы и пакеты прикладных программ для разработки конструкций, технологии, планирования и организации производства;
- режущие инструменты и инструментальную оснастку.

Совершенствование металлорежущих станков направлено на рационализацию и интенсификацию производства. Современные станки должны удовлетворять качественно новым потребностям промышленности, что определяет требования к их конструкции: обеспечить, с одной стороны, высокую производительность и экономичность работы, а с другой — удовлетворение требований экологии и охраны окружающей среды.

Современные металлорежущие станки характеризуются весьма высоким техническим уровнем по сравнению с другими технологическими машинами. Тенденции развития станкостроения указаны на схеме 1.

К основным факторам, влияющим на развитие станкостроения, можно отнести:

- повышение скорости резания до уровня, максимально допустимого с точки зрения безопасности работы станка; согласно европейским нормам такие скорости превосходят 1000 м/мин (в настоящее время до 100 000 м/мин), а процесс получил название «обработка со сверхвысокими скоростями»;
- обработку лучом лазера, используемым в качестве инструмента;
- обработку без использования смазывающе-охлаждающих технологических средств (СОТС), являющихся одним из основных источников загрязнения окружающей среды;
- точную обработку деталей из закаленных сталей на токарных станках, позволяющую исключить дорогостоящий и экологически грязный процесс шлифования.

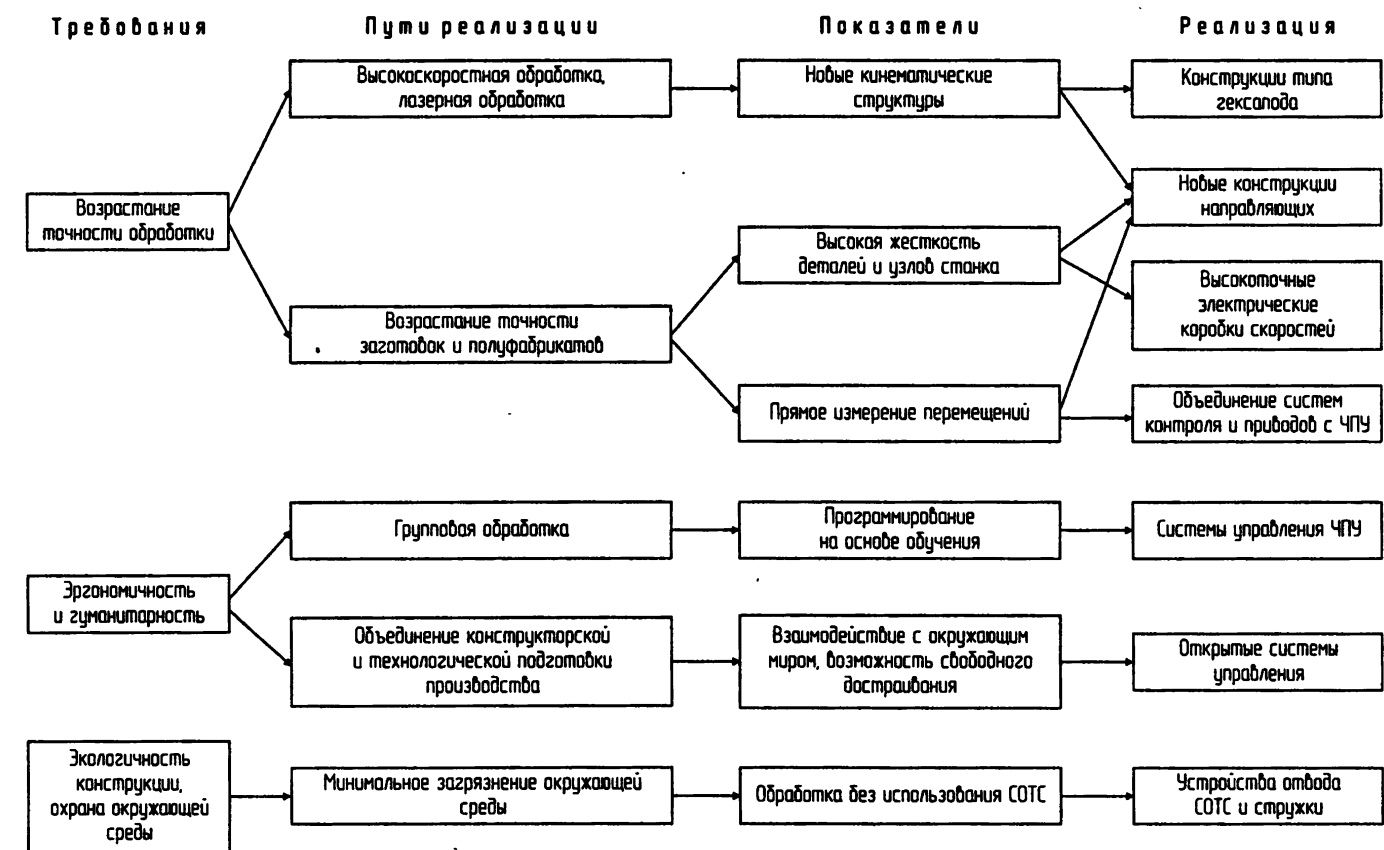


Рисунок 1.1 – Тенденции развития современных металлорежущих станков

1.4. Производительность и надежность станков

Повышение производительности и надежности станков может быть обеспечено двумя способами. Первый из них основан на сокращении количества действий, связанных с настройкой, подналадкой и ремонтом станка, потребного на эти цели времени и обеспечивается путем использования проверенных технических решений при проектировании деталей и узлов станка; новых высокопрочных конструкционных материалов и технологий, обуславливающих высокую износостойкость деталей и узлов станка; плано-предупредительных ремонтов (ППР).

Второй способ — оснащение станка датчиками и системами надзора и диагностики (мониторинга), которые распознают отклонения в работе и сигнализируют об этом прежде, чем наступит отказ станка. Такие системы могут быть использованы также при ремонте станка.

Повышение производительности обработки традиционно связано со снижением основного и вспомогательного времени. Основное время может быть сокращено путем увеличения режимов обработки. Однако такой подход предъявляет к станку жесткие дополнительные требования: высокая статическая, динамическая и тепловая жесткость конструкции; использование компьютеров с очень большим объемом памяти, обеспечивающих точные пространственные перемещения режущих инструментов; наличие устройств смены инструментов повышенной вместимости, с малым временем смены инструмента; наличие устройств автоматической смены деталей. Легко заметить, что последние два требования направлены на сокращение вспомогательного времени.

1.5. Технологическая гибкость и автоматизация

Технологическая гибкость станка вместе с гибкостью систем управления и обеспечения заготовками обуславливает гибкость всей ПС. Это означает простую и относительно быструю приспособляемость к изменению требований производства, в частности быстрое перепрограммирование и переналадку для обработки новых деталей малыми сериями.

Расширение технологических возможностей станка позволяет сократить время обработки детали; уменьшить количество станков и занимаемые ими производственные площади; исключить из производственного цикла время и стоимость транспортирования деталей между отдельными станками, время закрепления и снятия их со станка, манипулирования и т.д.; ликвидировать специальные приспособления для базирования и закрепления деталей.

Отличительные особенности современных станков — автоматизация их рабочего цикла, легкость обслуживания, работа с ограниченным участием оператора, автоматизированный надзор и диагностика условий работы станка и процесса обработки, контроль размеров и точности обработки.

Еще в 90-е гг. XX в. считалось, что главная цель автоматизации станка — обеспечение его работы в безлюдном режиме (ночи, выходные дни, праздники). Это вызвало необходимость дополнительной комплектации станков системами манипулирования (в том числе роботами), транспортирования, инструментообеспечения и т.д. Так возникли ГПМ, ГПЯ, ГПС и другие средства гибкой автоматизации производства. Однако они не предусматривали автоматизацию функций, которые выполняет оператор.

Под автоматизацией понимают наряду с обеспечением безлюдной работы «разумность» функционирования, т.е. самообслуживание и оценку изменений условий работы во времени, введение необходимых корректив, контроль качества обработки, возможность принятия решений. Такое развитие было бы невозможно без современной компьютерной техники.

1.6. Точность станков

Высокая точность обработки является одним из основных требований к металлорежущему станку, которое определяет его конкурентоспособность. На точность обработки оказывают влияние:

- геометрическая точность станка, в частности взаимная перпендикулярность и параллельность направляющих, поверхностей столов, осей шпинделя, револьверных головок, поворотных столов, а также точное соединение всех деталей и узлов;
- статические, динамические и термические свойства несущей конструкции;
- а надежность системы управления всеми движениями узлов станка, обеспечивающая отработку команд в нескольких осях и с высокими скоростями перемещения;
- точность систем измерения перемещений узлов станков, обеспечивающих точность позиционирования в пределах $\pm 0,001$ мкм.

Кроме перечисленных факторов важную роль в обеспечении точности обработки играют точность работы сервоприводов, возможность контроля обработанных деталей, износ режущих инструментов, диагностика состояния станка.

1.7. Агрегатирование станков

Производство и технологические возможности станка должны быть максимально адаптированы к требованиям потребителя. Один из путей удовлетворения этих требований — удешевление станков на основе их агрегатирования, т.е. применения нормализованных модулей. Такой подход традиционно использовался и используется при производстве агрегатных станков, однако в последние годы он распространяется и на производство ГПМ и ГПС. Это связано с появлением на рынке высококачественных комплектующих (винтовые пары, шпиндельные узлы, направляющие, несущие конструкции из легких сплавов, системы управления), с использованием которых можно относительно просто разработать станок потребной конфигурации. В качестве примеров такой разработки можно привести компоновки токарных многоцелевых и агрегатных станков.

ОСНОВЫ ЧИСЛОВОГО ПРОГРАММНОГО УПРАВЛЕНИЯ

1.8. Автоматическое управление

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

автоматическим управлением, а не покупать относительно дешевые универсальные станки?

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

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

Третьим плюсом является **высокая точность и повторяемость обработки**. По одной и той же программе вы сможете изготовить с требуемым качеством тысячи практически идентичных деталей. Ну и наконец, числовое программное управление **позволяет обрабатывать такие детали, которые не возможно изготовить на обычном оборудовании**. Это детали со сложной пространственной формой, например, штампы и пресс-формы.

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

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

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

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

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



Рисунок 3.1 – Стойка ЧПУ Heidenhain TNC430

1.9. Особенности устройства и конструкции вертикально-фрезерного станка с ЧПУ

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

Рассмотрим общую конструкцию вертикально-фрезерного станка с ЧПУ, который является наиболее универсальным и востребованным для любого типа производства (рис. 3.2 и 3.3). *Станина* (1) предназначена для крепления всех узлов и механизмов станка. *Рабочий стол* (2) может перемещаться в продольном (влево/вправо) и поперечном (вперед/назад) направлениях по *направляющим* (3).

На рабочем столе закрепляют заготовки и различные технологические приспособления. Для этого на столе имеются специальные Т-образные пазы. *Шпиндель* (4) предназначен для зажима режущего инструмента и придания ему вращения. Шпиндель закреплен на *колонне* (5), которая может перемещаться в вертикальном направлении (вверх/вниз). От точности вращения шпинделя, его жесткости и виброустойчивости в значительной мере зависят точность и качество обработки. Таким образом, рассматриваемый станок является 3-х осевым.

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

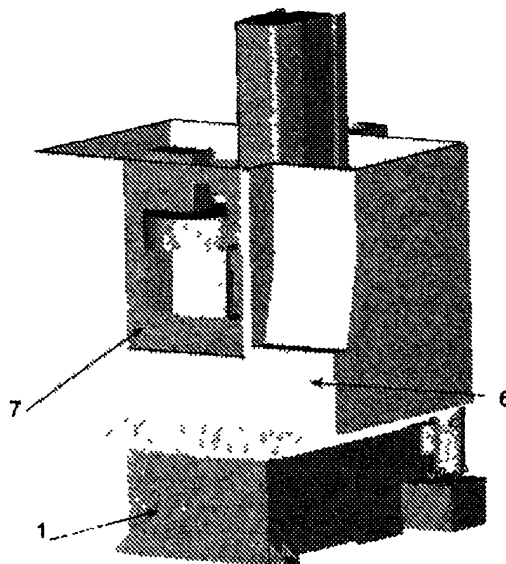


Рисунок 3.2 – Корпус станка

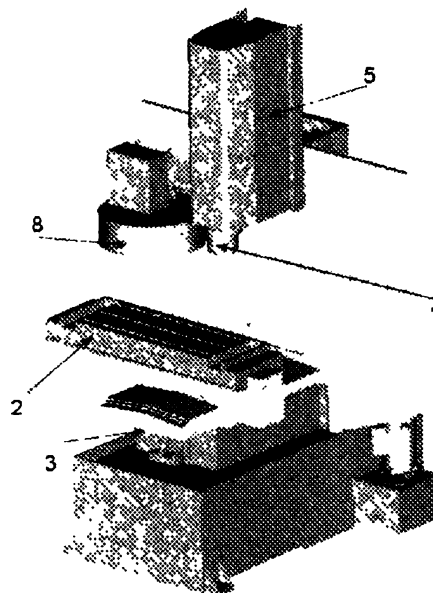


Рисунок 3.3 – Конструктивные элементы станка

1.10. Функциональные составляющие (подсистемы) ЧПУ

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

Условно СЧПУ можно разделить на три подсистемы:

- подсистему управления,
- подсистему приводов,
- подсистему обратной связи.

1.10.1. Подсистема управления

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

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

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

В последнее время стало появляться все больше открытых, ПК - совместимых систем управления. Их аппаратная начинка практически такая же, как и у вашего домашнего персонального компьютера. Преимущество такого метода - в доступности и дешевизне электронных компонентов, большинство из которых можно приобрести в обычном компьютерном магазине. Однако есть и недостаток. Пока считается, что надежность таких систем ниже, чем у закрытых систем управления.

1.10.2. Подсистема приводов

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

Высокоточные ходовые винты

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

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

Двигатели

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

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

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

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

Шаговый двигатель с переменным магнитным сопротивлением имеет несколько полюсов на статоре и ротор из магнитно-мягкого материала (реактивный ротор). На рисунке 3.4 показан двигатель, имеющий шесть полюсов на статоре, ротор с четырьмя зубьями и три независимые обмотки, каждая из которых приходит на противоположные полюса статора.

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

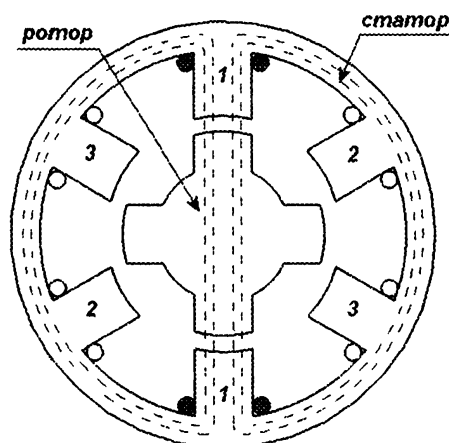


Рисунок 3.4 – Устройство штампованного двигателя с переменным магнитным сопротивлением

Шаговый двигатель с постоянными магнитами состоит из статора с обмотками и ротора с постоянными магнитами. На рисунке 3.5 показан двигатель, имеющий две пары полюсов статора и три пары полюсов ротора. При подаче электрического тока в одну из обмоток, ротор займет положение, при котором разноименные полюса статора и ротора будут находиться напротив друг друга. Для непрерывного вращения ротора необходимо попеременно подавать электрический ток в 1 и 2 обмотки, при этом шаг вращения составит 30 градусов.

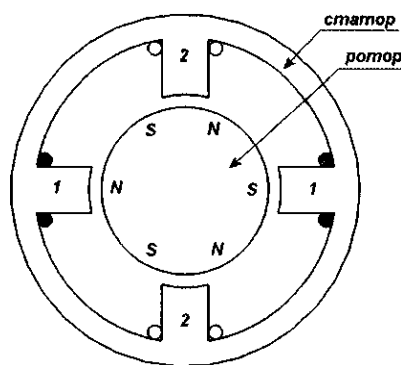


Рисунок 3.5 - Устройство шагового двигателя с постоянными магнитами

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

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

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

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

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

Подсистема обратной связи

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

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

Системы замкнутого типа используют внешние датчики для проверки необходимых параметров.

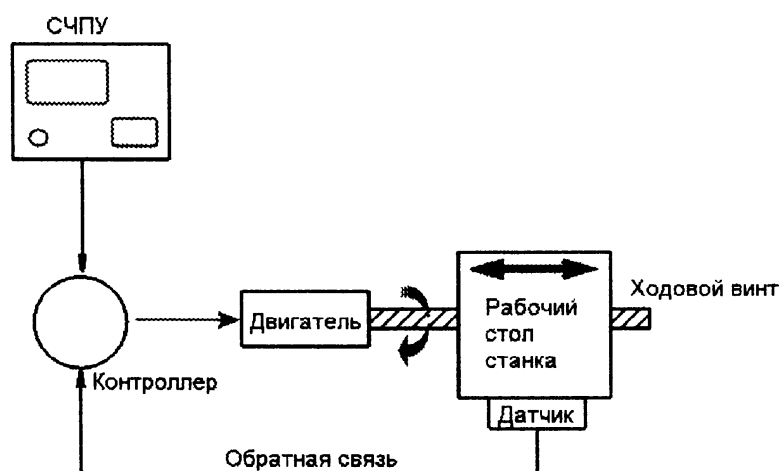


Рисунок 3.6 – Схема обратной связи на станке с ЧПУ

Датчики, используемые для определения положения

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

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

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

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

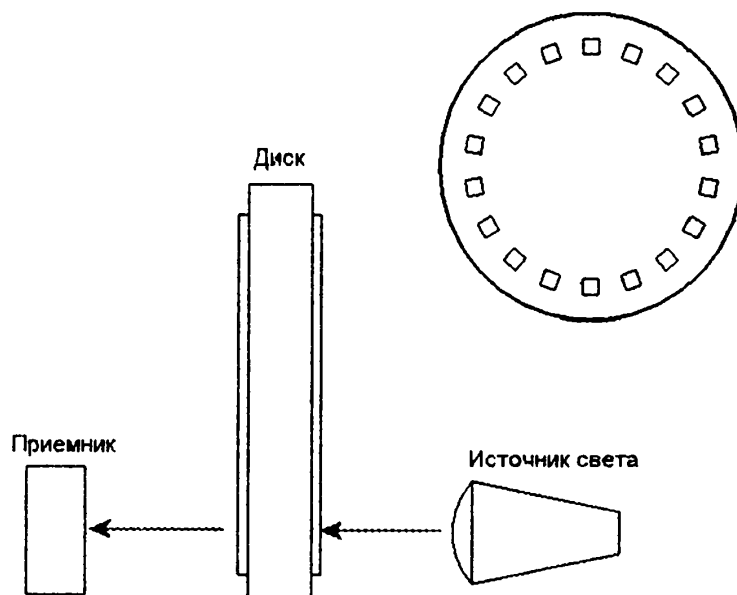


Рисунок 3.7 – Вращающийся датчик положения

Линейные датчики положения используются практически во всех современных станках с ЧПУ для точного определения абсолютной или относительной позиции исполнительных органов. Датчики содержат два взаимосвязанных узла, растровую шкалу и считывающую головку (рисунок 3.8). *Растровая шкала* (1), расположенная вдоль направляющих, представляет собой линейку с маленькими прямоугольными прорезями (растрами). Считывающая головка, перемещающаяся вместе с исполнительным органом станка, состоит из *осветителей* (2), *фотоприемников* (3) и *индикаторной пластины* (4). Причем осветители и индикаторная пластина находятся с одной стороны от растровой шкалы, а фотоприемники с другой.

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

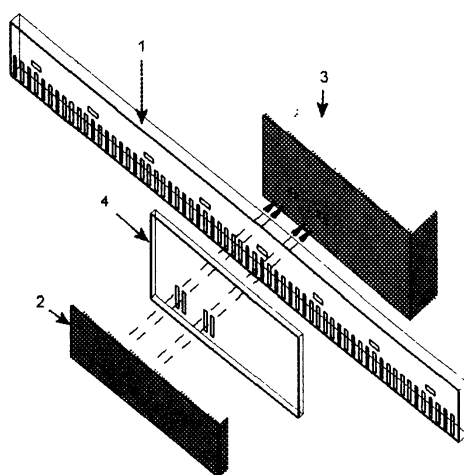


Рисунок 3.8 – Линейный датчик положения

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

Датчики состояния исполнительных органов

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

1.10.3. Функционирование системы ЧПУ

Выше была рассмотрена работа трех подсистем по отдельности. Ниже пойдет речь о функционировании всей системы в целом СЧПУ.

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

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

Будет рассмотрен простейший вариант - перемещение вдоль одной оси. Допустим требуется переместить рабочий стол прямолинейно, но не параллельно ни одной из осей станка (рисунок 3.9). Для того чтобы выполнить такое перемещение система ЧПУ вынуждена строить между точками 1 и 2 множество опорных точек и двигать рабочий стол по этим точкам "ступенчато", попеременно включая подачу то по одной оси, то по другой. При этом нужно поддерживать такое соотношение скоростей движения по осям, чтобы траектория перемещения соответствовала заданной траектории. Работу по расчету этих промежуточных опорных точек выполняет специальное устройство, входящее в состав подсистемы управления - интерполятор. **Интерполятор непрерывно в**

соответствии с заданными перемещениями поддерживает функциональную связь между опорными точками и оценивает отклонения от заданной траектории, стремясь свести их к минимуму. Эти "ступеньки" имеют некоторое отклонение от заданной траектории перемещения. Величина отклонения полученной "ступенчатой" траектории будет равна или кратна цене импульса (разрешению) системы ЧПУ или импульса формируемого датчиком обратной связи. Так как в современных станках разрешение системы ЧПУ приближается к 0.001 мм (1мкм), то получаемое перемещение можно рассматривать как гладкое.

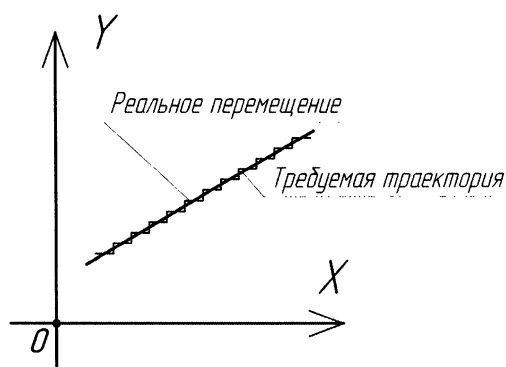


Рисунок 3.9 - При перемещении из точки 1 в точку 2 система ЧПУ строит множество опорных точек и перемещает исполнительный орган "ступенчато", попеременно включая подачу то по одной оси, то по другой.

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

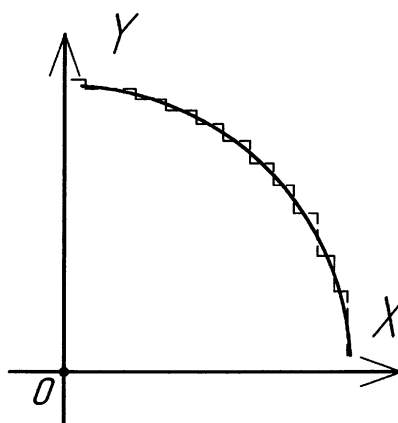


Рисунок 3.10 – Схема круговой интерполяции

1.11. Языки для программирования обработки

С момента появления первых станков с ЧПУ до внедрения новейших обрабатывающих центров появились различные языки для программирования обработки. Сегодня программирование в G и M кодах является наиболее популярным. **Язык G и M кодов основывается на положениях Международной организации по стандартизации (ISO)**

и Ассоциации электронной промышленности (EIA). Официально этот язык считается стандартом для американских и европейских производителей оборудования с ЧПУ, и иногда его называют «ИСО 7 бит». Однако производители систем ЧПУ хоть и придерживаются этих стандартов для описания основных функций, но допускают вольности и отступления от правил, когда речь заходит о каких-либо специальных возможностях своих систем.

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

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

Некоторые производители систем ЧПУ предлагают диалоговый язык программирования. Этот язык упрощает общение с системой, особенно для новых операторов, так как основой для него служат англоязычные предложения, сокращения, вопросы и графические элементы, которые вводятся оператором станка в интерактивном режиме.

ВВЕДЕНИЕ В ПРОГРАММИРОВАНИЕ ОБРАБОТКИ

1.12. Прямоугольная система координат

Прямоугольная система координат служит математической базой программирования обработки. Более 300 лет назад французский математик Декарт придумал систему, которая позволяет человеку описать положение любой точки в пространстве. В простейшем случае прямоугольная система координат представляет собой две пересекающиеся под прямым углом линии. Эти линии называются осями, а точка их пересечения является началом координат.

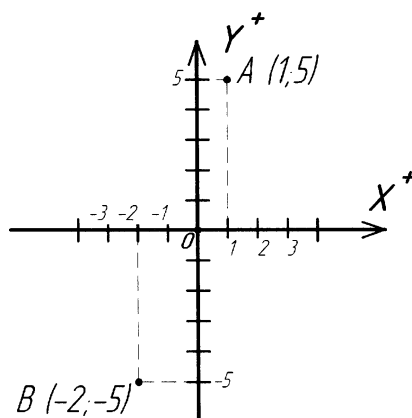


Рисунок 4.1 – Прямоугольная система координат на плоскости

Оси обозначаются буквами X и Y. Координатная система с двумя осями X и Y позволяет описать **положение точки на плоскости**. Расстояние от начала координат до точки A вдоль оси X, является (x) координатой этой точки. Расстояние от начала координат до точки A вдоль оси Y, является (y) координатой этой точки. Координаты точки принято указывать в скобках.

Сначала пишется координата по оси X, а затем по оси Y. Таким образом на рисунке 4.1 находится точка A(1;5).

У каждой оси есть положительное и отрицательное направление. Когда координата имеет отрицательное значение, то это означает, что точка лежит либо левее начала координат, либо ниже. Например, точка B имеет следующие координаты: $x = -2$, $y = -5$. Если точка лежит на какой-либо оси, то одна из ее координат обязательно равна нулю.

Пересечение трех взаимно перпендикулярных плоскостей образует трехмерную систему координат, которая используется для описания положения точки в пространстве. К двум имеющимся осям X и Y добавляется третья ось Z. Координаты точки также указываются в скобках и идут в алфавитном порядке (x;y;z).

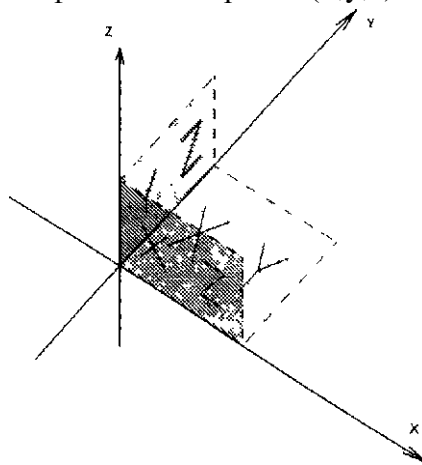


Рисунок 4.2 - Прямоугольная пространственная система координат

1.13. Написание простой управляющей программы

Детали, обрабатываемые на станке с ЧПУ можно рассматривать как геометрические объекты. Во время обработки вращающийся инструмент и заготовка перемещаются относительно друг друга по некоторой траектории. УП описывает движение определенной точки инструмента - его центра. Траекторию инструмента представляют состоящей из отдельных, переходящих друг в друга участков. Этими участками могут быть прямые линии, дуги окружностей, кривые второго или высших порядков. Точки пересечения этих участков называются опорными или узловыми точками. Как правило, в УП содержатся координаты именно опорных точек.

Напишем небольшую программу для обработки паза на рисунке 4.4. Зная координаты опорных точек, сделать это будет не трудно. Подробно не будет рассматриваться код всей УП, внимание акцентируем на написание строк (кадров УП), непосредственно отвечающих за перемещение через опорные точки паза. Для обработки паза сначала нужно переместить фрезу в точку T1 и опустить ее на соответствующую глубину. Далее необходимо переместить фрезу последовательно через все опорные точки и вывести инструмент вверх из материала заготовки. Найдем координаты всех опорных точек паза и для удобства поместим их в таблицу.

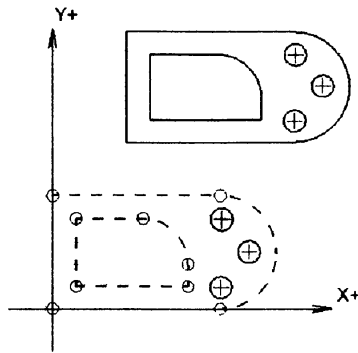


Рисунок 4.3 - Любую деталь можно представить в виде совокупности геометрических элементов. Для создания программы обработки необходимо определить координаты всех опорных точек

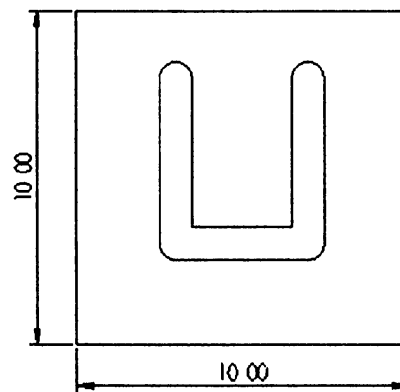


Рисунок 4.4 - Необходимо создать программу для обработки паза. Глубина паза равна 1 мм

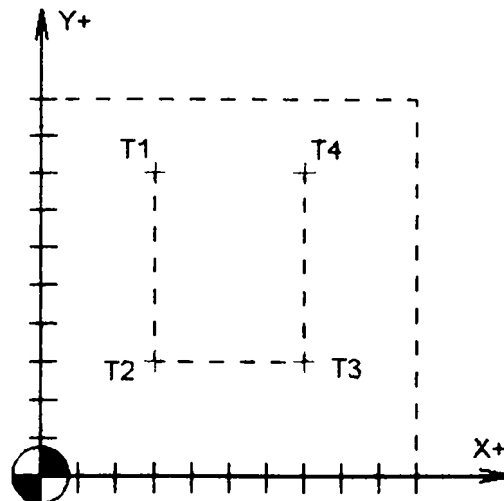


Рисунок 4.5 - Поместим деталь в прямоугольную систему координат и найдем координаты четырех опорных точек

Подведем режущий инструмент к первой опорной точке.

N50 G00 X3 Y8

Следующие два кадра заставляют инструмент опуститься на требуемую глубину в материал заготовки.

N60 G00 Z0.5
 N70 G01Z-1F25

Таблица 1 – Координаты опорных точек

Тока	Координата по Оси X	Координата по оси Y
T1	3	8
T2	3	3
T3	7	3
T4	7	8

Как только инструмент окажется на нужной глубине (1 мм), можно перемещать его через все опорные точки для обработки паза:

N80 G01X3 Y3
 N90G01 X7 Y3
 N100G01X7 Y8

Теперь следует вывести инструмент из материала заготовки - поднять на небольшую высоту:

N110G01Z5

Соберем все кадры вместе, добавим несколько вспомогательных команд и получим окончательный вариант программы:

Кадры управляющей программы	Пояснения
%	Символ начала программы
O0001 (PAZ)	Номер программы (0001) и ее название (PAZ)
N10 G21 G40 G49 G54 G80 G90	Строка безопасности
N20M06T01(FREZA D1)	Вызов инструмента №1
N30G43 H01	Компенсация длины инструмента №1
N40 M03 S1000	Включение оборотов шпинделя (1000 об/мин)
N50 G00 X3 Y8	Ускоренное перемещение в опорную точку T1
N60 G00 Z0.5	Ускоренное перемещение инструмента в Z0.5
N70 G01 Z-1 F25	Перемещение на глубину 1 мм на подаче 25 мм/мин
N80 G01 X3 Y3	Перемещение инструмента в точку T2 (25 мм/мин)
N90 G01 X7 Y3	Перемещение инструмента в точку T3 (25 мм/мин)
N100 G01 X7 Y8	Перемещение инструмента в точку T4 (25 мм/мин)
N110 G01 Z5	Подъем инструмента вверх в Z5 (25 мм/мин)
N120 M05	Выключение оборотов шпинделя
N130 M30	Завершение программы
%	Символ конца программы

1.14. Создание УП на персональном компьютере

Существует два способа для записи (набора) управляющих программ:

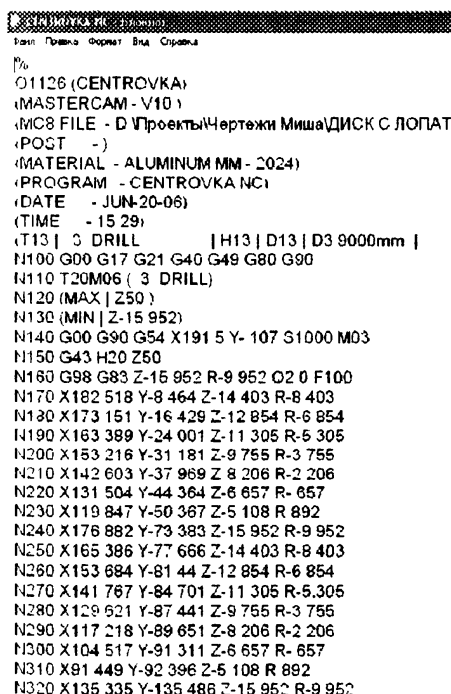
- при помощи стойки ЧПУ станка (цеховое программирование);
- используя персональный компьютер с последующей передачей в стойку ЧПУ.

Цеховое программирование в настоящее время считается малоэффективным и используется крайне редко. Во-первых, клавиши стойки ЧПУ менее удобны, чем клавиатура ПК. Во-вторых, программное обеспечение СЧПУ предоставляет меньшие возможности по редактированию программ. В-третьих, ручной ввод УП в память СЧПУ физически мешает оператору запустить процесс обработки деталей на этом станке.

Набор текста программы обработки на компьютере с последующей передачей в СЧПУ станка является гораздо более эффективным способом работы.

Код УП можно набирать в любом текстовом редакторе и сохранять в соответствующем формате. Например, использовать всем известный "Блокнот" из стандартного набора операционной системы Windows.

Есть множество различных текстовых редакторов, которые были специально созданы для работы с кодом УП. Эти редакторы (назовем их редакторами УП) предоставляют широкие возможности по написанию и редактированию станочного кода. Например, они позволяют добавлять или удалять пробелы, автоматически нумеровать строки и перемещать курсор к коду смены инструмента. Эти функции не нужны обычному текстовому редактору, но очень полезны при создании и отладке программ обработки. Наиболее продвинутые редакторы УП имеют инструменты для графической проверки кода и трансляции его на станок.



```
О1126 (CENTROVKA)  
(MASTERCAM - V10)  
(MC8 FILE - D:\Проекты\Чертежи Миша\ДИСК С ЛОПАТ  
(POST - )  
(MATERIAL - ALUMINUM MM - 2024)  
(PROGRAM - CENTROVKA NC)  
(DATE - JUN-20-06)  
(TIME - 15 29)  
(T13 | 3 DRILL | H13 | D13 | D3 9000mm |  
N100 G00 G17 G21 G40 G49 G80 G90  
N110 T20M06 ( 3 DRILL)  
N120 (MAX | Z50)  
N130 (MIN | Z-15 952)  
N140 G00 G90 G54 X191.5 Y- 107 S1000 M03  
N150 G43 H20 Z50  
N160 G98 G83 Z-15 952 R-9 952 Q2 0 F100  
N170 X182.518 Y-8.464 Z-14.403 R-8.403  
N180 X173.151 Y-16.429 Z-12.854 R-6.854  
N190 X163.389 Y-24.001 Z-11.305 R-5.305  
N200 X153.216 Y-31.181 Z-9.755 R-3.755  
N210 X142.603 Y-37.969 Z 8.206 R-2.206  
N220 X131.504 Y-44.364 Z-6.657 R- 657  
N230 X119.847 Y-50.367 Z-5.108 R 892  
N240 X176.882 Y-73.383 Z-15.952 R-9.952  
N250 X165.386 Y-77.666 Z-14.403 R-8.403  
N260 X153.684 Y-81.44 Z-12.854 R-6.854  
N270 X141.767 Y-84.701 Z-11.305 R-5.305  
N280 X129.621 Y-87.441 Z-9.755 R-3.755  
N290 X117.218 Y-89.651 Z-8.206 R-2.206  
N300 X104.517 Y-91.311 Z-6.657 R- 657  
N310 X91.449 Y-92.396 Z-5.108 R 892  
N320 X135.335 Y-135.486 Z-15.952 R-9.952
```

Рисунок 4.6 - Записать УП можно в обычном текстовом редакторе. Например, в «Блокноте» операционной системы Windows.

Стоит отметить, что некоторые текстовые редакторы сохраняют файлы в специальном формате, который содержит информацию о размере шрифта, полях, цвете и др. Код УП не

содержит таких данных, а состоит исключительно из "чистого" текста в формате Американского стандартного кода для обмена информацией (ASCII). Стандарт ASCII является открытым и может читаться любым текстовым редактором. Файлы такого формата, скорее всего, будут иметь расширение ".txt".

Станки с ЧПУ работают в формате G и M кодов в соответствии со стандартами EIA/ISO. Код этого стандарта аналогичен ASCII, но есть ряд небольших отличий. Формат ASCII использует коды окончания строки и перевода каретки в конце каждой строки. В текстовом редакторе для перехода на новую строку вы просто нажимаете клавишу "Enter", но не видите кода, который переводит вас на новую строку, хотя на самом деле он присутствует. Система ЧПУ требует, чтобы в конце каждого кадра УП стоял знак конца кадра, например (;) или (*). Поэтому, если вы пишете программу на компьютере, то она выглядит так:

```
N50 GOO
X230 N60G01
Y300 N70 GO
I Z100
```

А если та же программа вводится прямо со стойки ЧПУ, то она, возможно, будет выглядеть следующим образом (придется добавить символ конца кадра в каждую строку УП):

```
N50 G00
X230; N60G01
Y300; N70
G01Z100;
```

Если вы создаете программу на компьютере и затем передаете ее на станок, то знак конца кадра помещается в конец каждого кадра УП при передаче в большинстве случаев автоматически.

Ошибка в программе обработки может повлечь за собой массу проблем. В лучшем случае ошибка обернется сломанным инструментом или "запоротой" деталью, а в худшем - может привести к повреждению станка или травме оператора. Опытный программист знает, что дешевле и проще проверить программу заранее на компьютере, чем ошибиться при выполнении обработки на станке. Основной метод проверки УП на компьютере заключается в графической симуляции обработки. Такая симуляция может выглядеть как прорисовка траектории центра инструмента или как полная имитация механической обработки на станке с демонстрацией процесса удаления материала.

В первом случае, программист может обнаружить ошибку в УП, просто наблюдая за траекторией перемещения центра инструмента на мониторе компьютера. Такая симуляция называется бэкплотом (Backplot). Бэкплот позволяет легко увидеть ошибку, которую тяжело распознать при простом просмотре кода УП. Сравните два варианта одной и той же программы в таблице 2.

Во втором варианте, в кадре N90 можно заметить, что десятичная точка стоит не на своем месте. Программа обработки может иметь достаточно большой объем, и такую маленькую ошибку распознать в коде будет крайне тяжело. Бэкплот моментально покажет, что траектория перемещения инструмента качественно не соответствует тому, что было задумано программистом.

Таблица 2 - В одном из кадров УП допущена ошибка.

Правильный вариант	Ошибочный вариант
N80 G01 X3. Y3.	N80G01 X3. Y3.
N90 G01 X7. Y3.	N90G01 X7. Y.3

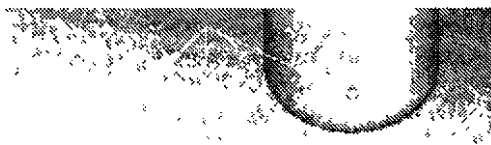


Рисунок 4.7 - Правильный вариант УП для обработки паза



Рисунок 4. - Ошибочный вариант УП для обработки паза

Твердотельная верификация (verification - проверка) является мощным инструментом по проверке УП на компьютере. В отличие от бэкплота, программы твердотельной верификации демонстрируют процесс удаления материала заготовки и позволяют увидеть полный результат работы УП-модель готовой детали. На полученную "виртуальную" деталь можно посмотреть с разных сторон и понять, все ли элементы выполнены правильно, нет ли зарезов и столкновений инструмента с заготовкой.

Бэкплот обычно используют в процессе написания и отладки программы, а твердотельную верификацию лишь на заключительном этапе проверки.

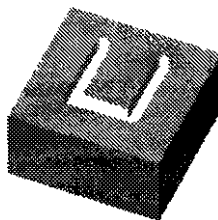


Рисунок 4.9 - Твердотельная верификация - это удобный и наглядный способ проверки управляющей программы

1.15. Передача управляющей программы на станок

После того, как вы создали и проверили программу обработки при помощи ПК, ее необходимо передать на станок. Для передачи УП с компьютера в СЧПУ станка используется специальное коммуникационное программное обеспечение. В большинстве случаев связь осуществляется в соответствии со стандартом RS-232. При этом СОМ-порт компьютера соединяется кабелем со специальным разъемом на корпусе станка или панели УЧПУ. Для передачи данных необходимо, чтобы УЧПУ станка и коммуникационная

программа были синхронизированы. Это достигается соответствующей настройкой параметров СЧПУ и коммуникационной программы. Как правило, коммуникационная программа и кабель поставляются вместе со станком, а информацию о настройке параметров СЧПУ для связи станка и компьютера можно получить из "родной" документации. Стоит отметить, что при передаче данных в соответствии с RS-232 желательно, чтобы длина кабеля не превышала 15 метров.

Для передачи УП, размер которых превышает размер свободной памяти СЧПУ, используется режим DNC. Режим DNC или режим прямого числового управления позволяет выполнять программу обработки прямо из компьютера, не записывая ее в память СЧПУ. УП считывается из компьютера в буфер памяти СЧПУ кадр за кадром (точнее порциями). Как только система определяет, что один кадр выполнен, она его удаляет и загружает следующий, и так далее - до конца программы. Для работы в режиме прямого числового управления необходимо, чтобы СЧПУ станка было соответствующим образом подготовлено производителем, а на персональном компьютере находилась коммуникационная программа с поддержкой DNC режима.

Некоторые станки оборудованы собственными дисководами, что дает возможность передавать УП и другие данные в СЧПУ при помощи традиционных программных носителей - дискет и флэш-карт.

Самые "продвинутые" стойки ЧПУ поддерживают работу в локальной сети, что позволяет передавать данные более быстро и удобно, а некоторые из них позволяют выходить в Интернет и обеспечивают возможность дистанционного мониторинга системы и решения проблем непосредственно производителем станка в режиме реального времени.

1.16. Проверка управляющей программы на станке

Общие сведения

После написания УП, проверяется она на компьютере и передается в память СЧПУ. Затем необходимо провести тест программы обработки прямо на станке. Дело в том, что не все ошибки, содержащиеся в программе, могут быть распознаны инструментами верификации на компьютере. Вы можете легко увидеть, что фреза идет не в ту координату, но можете не заметить, что нет команды на включение вращения шпинделя или на подачу смазывающе-охлаждающей жидкости (СОЖ).

Но даже если в коде УП нет ни одной ошибки, оператор станка может случайно внести в корректора СЧПУ неверные значения длины и радиуса инструментов или ошибиться в "привязке" к детали, что неизбежно приведет к браку. Для того чтобы исключить любую ошибку, перед изготовлением реальной детали, прямо на станке производят пробный прогон или тестовую обработку.

В таблице 3 приведены типичные ошибки программиста или оператора станка с ЧПУ и их последствия.

Тестовые режимы станка с ЧПУ

Большинство современных станков с ЧПУ имеют тестовые режимы для дополнительной проверки УП. Основной тестовой функцией является отработка УП на холостых ходах (Dry run).

Таблица 3 – Возможные ошибки программиста и оператора

Ошибка	Последствия
Не включена подача СОЖ при обработке, когда это необходимо	Испорченный инструмент Ухудшение качества поверхности
Неправильные режимы резания	Испорченный инструмент/ Заготовка сдвигается в приспособлении
В инструментальном магазине станка находится неправильный инструмент	Деталь с неверными размерами (брак)
Не включены обороты шпинделя при обработке	Испорченный инструмент/ Испорченная заготовка
Неправильный порядок выполнения операций. Например, сначала нарезание резьбы, затем сверление (должно быть наоборот)	Сломанный инструмент/ Испорченная заготовка
В корректорах стоят неправильные значения	Испорченный инструмент или заготовка/ Деталь с неверными размерами (брак)
Траектория перемещения инструмента пересекается с приспособлением	Сломанный инструмент/ Испорченное приспособление
При обработке нескольких карманов, инструмент после обработки первого из них не был во вращен в безопасную позицию над деталью для перемещения к следующему карману	Испорченная деталь/ Сломанный инструмент
Оператор станка неправильно 'привязался' к обрабатываемой детали (неправильно установлена рабочая система координат)	Деталь с неверными размерами (брак)/ Испорченный инструмент/ Испорченная заготовка

При запуске УП в этом режиме станок блокирует перемещения исполнительных органов по оси Z, по осям X и Y или по всем осям одновременно. Например, если ваш станок блокирует ось Z, то будут осуществляться перемещения по осям X и Y, при этом шпиндель будет вращаться как обычно. Это позволит вам спокойно посмотреть, как работает вся УП без опасения "зарезаться" в материал заготовки. Вообще, поведение станка в этом режиме может быть различным, поэтому перед работой в режиме отработки УП на холостых ходах внимательно прочтите руководство оператора станка.

Режим покадровой отработки (Single block) предназначен для выполнения программы обработки по отдельным кадрам. СЧПУ приостанавливает работу в конце каждого кадра и ожидает, когда оператор нажмет клавишу "Старт цикла" для исполнения следующего кадра. Пользуясь этим режимом легко увидеть, пришел ли инструмент в правильную позицию или в программе есть ошибка. Обычно режим покадровой отработки УП применяется совместно с режимом отработки УП на холостых ходах или при "поднятой" нулевой точке детали.

Может показаться, что перечисленные тестовые режимы станка с ЧПУ немного устарели в эпоху современных компьютеров и мощных программ верификации. С одной стороны это так. Но с другой стороны, эти режимы позволяют новому оператору проще и спокойнее учиться программированию обработки и реальной работе на станке.

Применяются и другие методы для цеховой проверки УП. Контролировать правильность перемещений в программе обработки оператору помогает экранный режим, который называется "Distance to GO" ("Оставшееся расстояние"). Многие СЧПУ имеют функцию отображения оставшегося расстояния перемещения по каждой из осей. Перейдя в этот режим, оператор видит, сколько миллиметров (дюймов) осталось переместиться инструменту в текущем кадре УП. К примеру, вы знаете, что фрезе нужно пройти до касания с поверхностью заготовки по оси Z 50 мм, а в строке Z экранного режима "Distance to GO" стоит 100 мм. Это означает, что фреза пройдет лишних 50 мм и врежется в материал заготовки. Таким образом, информация об оставшемся расстоянии перемещения позволяет оператору сравнивать фактическое и заданное расстояния перемещения визуально и дает возможность избежать серьезной ошибки.

Зачастую для проверки УП применяются методы, не использующие тестовые режимы станка с ЧПУ. Например, после установки рабочей системы координат ("привязке" к детали) можно поднять нулевую точку на безопасную высоту над поверхностью заготовки. Эта высота должна быть немного больше, чем самое "глубокое" перемещение инструмента в данной УП. Таким образом, выполнение данной программы обработки ни чем не будет отличаться от заданного, за исключением того, что инструмент будет "резать воздух".

Пожалуй, самым реалистичным способом проверки УП является настоящая обработка "ненастоящего" материала. Обработав заготовки из специального воска или пластика, вы поймете, что на самом деле делает ваша программа. При этом можно использовать очень высокие режимы резания и не бояться сломать инструмент или испортить заготовку из дорогостоящего металла

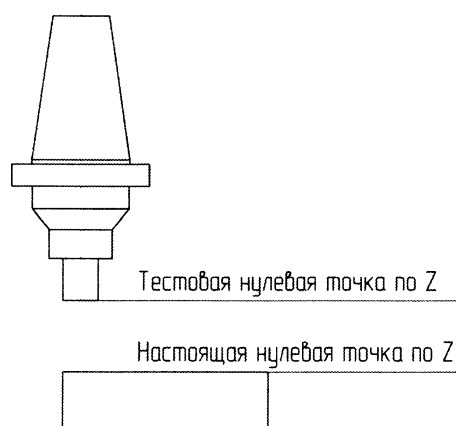


Рисунок 4.10 - Очень часто перед настоящей обработкой детали «поднимают» нулевую точку по оси Z и УП «прогоняют по воздуху»

Последовательность полной проверки УП

- 1). Выполните графическую проверку кода программы на компьютере методами бэкплота и твердотельной верификации.
- 2) Осуществите дополнительные проверки программы и настройки станка:

все ускоренные перемещения выполняются над поверхностью заготовки на безопасном расстоянии

в УП номера инструментов и номера корректоров совпадают
инструмент, установленный в инструментальном магазине станка соответствует инструменту, описанному в УП

инструмент надежно закреплен в патроне
в стойке ЧПУ находятся правильные значения компенсации длины и радиуса инструментов

назначены верные режимы резания
шпиндель вращается в правильном направлении
в УП присутствует команда на включение СОЖ при необходимости
операции обработки выполняются в правильном порядке
черновые операции производятся перед чистовыми операциями
заготовка надежно закреплена в приспособлении
инструмент перемещается от одного обрабатываемого элемента детали к другому на безопасном уровне по оси Z

3). Выполните графическую проверку программы на стойке ЧПУ, если это возможно.

4). Отработайте УП на холостых ходах:
включите режим покадровой отработки УП
уменьшите скорость рабочей подачи
сместите нулевую точку детали на безопасное расстояние над поверхностью заготовки и прогоните программу "по воздуху"

5). Верните нулевую точку из безопасного положения в нормальное положение, отмените режим покадровой отработки УП и выполните обработку детали с уменьшенными рабочими режимами.

6). Проверьте размеры детали. При необходимости произведите корректировку значений длины и радиуса инструментов или самой программы.

1.17. Советы по технике безопасности при эксплуатации станков с ЧПУ

Станок с ЧПУ - это сложный агрегат, состоящий из различных механических узлов, электрических и электронных компонентов. Для обеспечения безопасности внимательно ознакомьтесь с общими правилами эксплуатации станков с ЧПУ:

К эксплуатации и ремонту станка допускается только персонал, ознакомленный с соответствующей документацией станка и СЧПУ.

Всегда необходимо пользоваться защитными очками и специальной обувью. При необходимости используйте перчатки, пылезащитную маску и средства защиты слуха.

При работе на станке не рекомендуется носить кольца, часы, различные украшения и галстуки. Длинные волосы должны быть собраны и прикрыты рабочим головным убором.

4) Эксплуатация станка разрешается лишь в том случае, если вы убедились, что регулярно производилось обслуживание станка и что он находится в отличном техническом состоянии.

5) Необходимо убедиться, что станок заземлен надлежащим образом.

Не приступать к работе на станке, если от него исходит необычное или слишком сильное тепло, шум, наблюдается выделение дыма или вибрация. При этом необходимо срочно обратиться к производителям станка или в сервисную службу.

Доступ к электрическим компонентам станка разрешается только специально обученному персоналу.

Нельзя применять в качестве очистителей и СОЖ ядовитые и воспламеняющиеся вещества.

Не открывать защитные дверцы и кожуха пока какое-либо из устройств станка находится в движении.

Зона вокруг станка должны быть сухой и хорошо освещенной.

Перед закреплением инструмента необходимо убедиться, что все поверхности устройства крепления инструмента чистые.

Не применять в станке изношенные, хрупкие и дефектные инструменты.

Не превышать номинальную мощность станка.

Не оставлять инструмент и детали в местах, в которых они могли бы соприкоснуться с подвижными частями станка.

Регулярно проверять уровень смазки и охлаждающего средства.

Во время обработки не предпринимать наладку инструмента или крепление деталей.

Поддерживать достаточно безопасное расстояние до всех точек "зашемления" (мест изгиба шлангов и проводов) и избегать опасных ситуаций

Обязательно знать расположение клавиш аварийного останова станка.

Не оставлять станок без присмотра во время его работы.

При контакте с обработанными деталями обращать внимание на наличие острых кромок.

Не удаляйте стружку голыми руками. Используйте для этого крючок или другое приспособление, убедившись в полной остановке частей станка. Не производите очистку станка с помощью воздушного шланга.

Не пытайтесь остановить или затормозить перемещения исполнительных органов станка голыми руками или с помощью приспособлений.

Не применять для крепления инструмента и заготовки дефектные или грязные патроны, держатели и приспособления.

Запрещается предпринимать какие-либо конструктивные изменения станка без согласования с производителем станка или сервисной службой

25) Не допускайте, чтобы при работе со станком вас отвлекали другие люди.

Ни в коем случае не совершайте на станке операций, которых вы не понимаете. В случае сомнений обязательно проконсультируйтесь со специалистом.

Никогда не работайте внутри станка, если кто-либо работает со стойкой ЧПУ. Перейдите в режим редактирования "Edit" для предотвращения случайного перемещения исполнительных органов станка.

Уделяйте особое внимание перемещениям на ускоренной подаче. Соблюдайте безопасное расстояние над поверхностью заготовки для таких перемещений.

Перед началом обработки проверьте УП всеми доступными способами.

зания и не бояться сломать инструмент или испортить заготовку из дорогостоящего металла.

СТАНОЧНАЯ СИСТЕМА КООРДИНАТ

1.18. Нулевая точка станка и направления перемещений

Система координат станка с ЧПУ является главной расчетной системой, определяющей перемещения исполнительных органов. Оси координат располагают параллельно направляющим станка, что позволяет при создании УП легко задавать направления и расстояния перемещений.

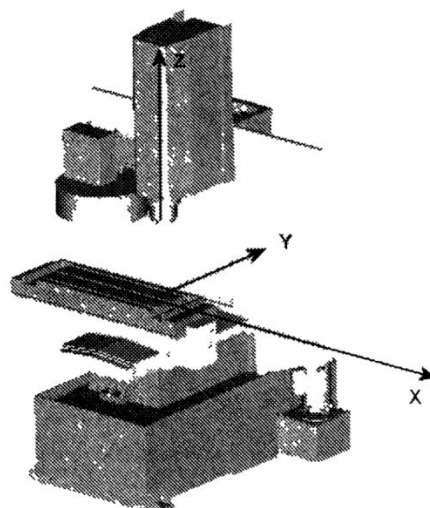


Рисунок 5.1 – Оси координат системы станка расположены параллельны направляющим

Правая система координат является стандартной для всех станков с ЧПУ. В этой системе положительные направления координатных осей определяются по правилу "правой руки". Если большой палец указывает положительное направление оси X , указательный - оси Y , то средний укажет на положительное направление оси Z . В качестве положительного направления оси Z принимают вертикальное направление вывода инструмента (например, сверла) из заготовки. То есть ось Z всегда связана со шпинделем станка. Как правило, за X принимают ось, вдоль которой возможно наибольшее перемещение исполнительного органа станка. При этом ось X перпендикулярна оси Z и параллельна плоскости рабочего стола. Если вы определили на станке направления осей X и Z , то по правилу "правой руки" вы однозначно сможете сказать, куда "смотрит" ось Y . Оси X , Y , Z указывают положительные направления перемещений инструмента относительно неподвижных частей станка.

При создании УП программист всегда исходит из правила, что именно инструмент перемещается относительно неподвижной заготовки.

Дело в том, что одни станки с ЧПУ действительно перемещают колонну, шпиндель и соответственно вращающийся инструмент относительно неподвижной заготовки, а другие станки, наоборот - перемещают рабочий стол с заготовкой относительно вращающегося инструмента. Получаем противоположные направления перемещений. Если бы не было этого правила, то программист вынужден был бы думать, а что собственно перемещается и в какую сторону А так все просто - система ЧПУ сама определит, в каком направлении нужно переместить тот или иной узел станка.

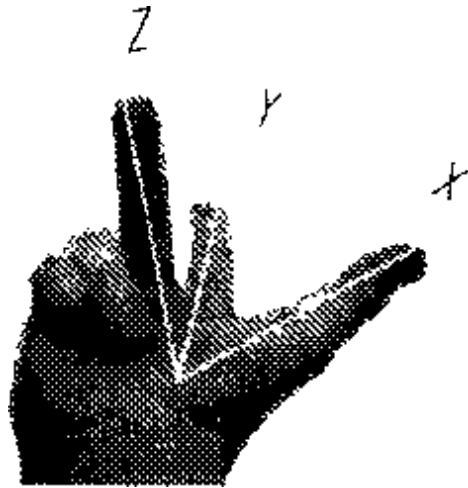


Рисунок 5.2 - Правило "правой руки" для определения положительных направлений осей координатной системы станка

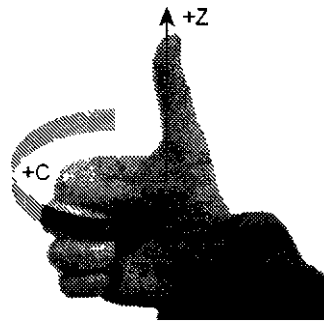


Рисунок 5.3 - Если расположить большой палец правой руки в положительном направлении оси, то остальные согнутые пальцы обозначат положительное направления вращения вокруг этой оси

Кроме линейных перемещений конструкция некоторых станков позволяет совершать круговые перемещения. Под круговым перемещением подразумевается, например, поворот оси шпинделя фрезерного станка. Однако само рабочее вращение шпинделя не входит в это понятие. Круговые перемещения инструмента обозначают латинскими буквами А (вокруг оси Х), В (вокруг оси Y) и С (вокруг оси Z). Положительные направления вращений вокруг этих осей определяются очень просто. Если расположить большой палец по направлению оси, то другие согнутые пальцы покажут положительное направление вращения.

Положения исполнительных органов характеризуют их базовые точки, которые выбираются с учетом конструкции станка. Например, базовой точкой для шпинделя фрезерного станка с ЧПУ является точка пересечения его торца с собственной осью вращения. Для рабочего стола - точка пересечения его диагоналей или один из углов. Положение базовой точки относительно начала координат станка с ЧПУ (нулевой точки станка) называется позицией исполнительного органа в системе координат станка или машинной позицией (machine-станок). При работе станка в любой момент времени вы можете увидеть на экране стойки ЧПУ текущую машинную позицию (например, рабочего стола) по любой из осей относительно "нуля станка". В документации станка пределы возможных перемещений рабочих органов, как правило, указывают пределами смещений базовых точек. Эти данные являются очень важной характеристикой станка, так как они определяют максимально возможные габариты обрабатываемой заготовки.

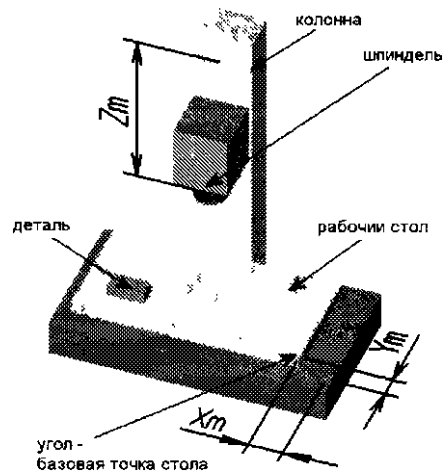


Рисунок 5.4 - Расстояния X_m , Y_m и Z_m от нулевой точки станка до базовых точек исполнительных органов определяют машинные позиции

Нулевая точка станка - это физическая позиция, установленная производителем станка при помощи концевых выключателей или датчиков. После включения станка необходимо переместить исполнительные органы в его нулевую точку, для того чтобы СЧПУ смогла определить или "обнулить" их машинную позицию или другими словами нужно синхронизировать СЧПУ и станок. Дело в том, что в момент включения станка, СЧПУ еще не знает реального положения исполнительных органов и если не выполнить возврата в нуль, то станок просто "откажется" работать. Когда исполнительный орган приходит в нулевую точку станка, то происходит замыкание контактов специального датчика или конечного выключателя, СЧПУ получает электрический сигнал и машинная позиция обнуляется. Процедура возврата в нуль станка является стандартной и для ее осуществления любой станок имеет специальный режим и соответствующие клавиши на панели УЧПУ.

1.19. Нулевая точка программы и рабочая система координат

Для того чтобы обработать заготовку на станке необходимо соответствующим образом установить систему координат. Электронная природа СЧПУ позволяет нам легко помещать систему координат в любую позицию станка, просто нажимая определенные кнопки на панели УЧПУ. При написании УП программист "не забывает" себе голову вопросом, о том, в каком именно месте рабочего стола будет установлена заготовка. Он знает, что перед выполнением обработки оператор станка "привяжет" к закрепленной на столе заготовке систему координат, в которой создана программа. Другими словами - установит рабочую систему координат или нулевую точку программы (детали).

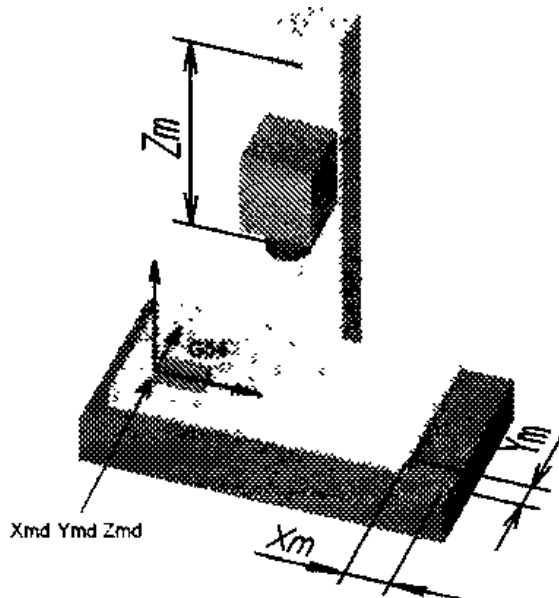


Рисунок 5.5. - Задача оператора - определить координаты X_{md} , Y_{md} , Z_{md} одного из углов детали в системе координат станка и занести их в регистры рабочих смещений, например в G54. После этого, система ЧПУ принимает этот угол за нулевую точку для расчета всех перемещений по программе. В отличие от физического нуля станка, нулевая точка программы (детали) является логической.

Обычно рабочую систему координат по осям X и Y устанавливают в один из углов или центр детали, а за нуль по оси Z принимают самую верхнюю поверхность детали. Это облегчает программисту выполнение расчетов, а оператору проще "привязываться" и контролировать во время работы перемещения инструмента.

Предположим, что нужно обработать некоторую деталь. Программист решил, что нулевой точкой программы по осям X и Y будет нижний левый угол детали, а по оси Z - верхняя плоскость детали. После этого рассчитал координаты опорных точек, написал программу обработки и сообщил оператору станка о расположении нулевой точки программы. Оператор станка должен установить нулевую точку рабочей системы координат (нуль программы или детали) в определенный программистом угол детали. Для этого нужно найти координаты этого угла в системе координат станка (машинные координаты) и "объяснить" СЧПУ, что именно эта точка является исходной для расчетов всех перемещений. То есть, можно сказать, что рабочая система координат находится внутри системы координат станка и зависит от нее.

Для нахождения машинной позиции элемента детали или "привязки" используются различные методы, о которых вы узнаете чуть позже.

После того, как оператор определил все координаты (x, y, z) требуемого угла детали в системе координат станка, ему необходимо ввести значения этих координат в регистры рабочих смещений памяти СЧПУ. Под рабочим смещением понимается расстояние от нуля станка до нуля детали вдоль определенной оси. Оператор вводит эти координаты в память системы, используя цифровые клавиши стойки ЧПУ. Таким образом, обработка ведется в новой рабочей системе, координаты которой отличаются от соответствующих машинных координат на величины рабочих смещений. Обратите внимание на то, что в отличие от физического нуля станка, нулевая точка программы (детали) является логической.

Современные СЧПУ позволяют запоминать множество смещений. Благодаря нескольким рабочим системам координат программист может использовать одну и ту же УП для обработки нескольких закрепленных на рабочем столе деталей. При этом нет необходимости выполнять программирование для каждой детали в отдельности. Вместо этого, СЧПУ просто смещает рабочую координатную систему (нулевую точку программы) к следующей детали, подлежащей обработке.



Рисунок 5.6 - Многие станки с ЧПУ позволяют устанавливать несколько рабочих систем координат.

Для установки различных рабочих систем координат используются соответствующие G коды. В большинстве случаев, G54 обозначает первую рабочую систему координат, G55 - вторую, G56 - третью и т.д. В программе обработки вы можете увидеть, например, такой кадр:

```
N20 G21G54 G90
```

Кадр N20 активирует первую рабочую систему координат G54.

Назначение нулевой точки программы - важный шаг при создании управляющей программы. Нулевая точка программы устанавливается для реализации требуемой последовательности и повторяемости обработки. Создание любой УП можно условно разбить на два этапа. На первом этапе технолог-программист анализирует информацию, полученную из конструкторской (чертежи, эскизы) и технологической документации (маршрутные карты, операционные карты) и, учитывая конструкционные и технические возможности станка с ЧПУ, окончательно определяет технологические операции и маршрут обработки, назначает режущий и вспомогательный инструмент, выявляет комплекты конструкторских и технологических баз. И только на втором этапе производится окончательный расчет траектории инструмента по опорным точкам и создание УП. Исходя из этого, при назначении нулевой точки программы используют несколько правил.

Первое, но не основное правило - удобство программирования. Например, если расположить деталь в первом квадранте прямоугольной системы координат, то это немного упростит процесс расчета траектории из-за того, что все опорные точки этой детали будут описываться положительными координатами.

Второе правило, более важное - нулевая точка программы должна совпадать с конструкторской базой. Это значит, что если на чертеже размеры стоят от левого верхнего угла детали, то лучше, если именно в этом углу и будет находиться нуль детали. А если

размеры указываются от центрального отверстия, то нулем детали следует назначить центр этого отверстия.

Если заготовка устанавливается в тиски, то вы должны учитывать несколько моментов. У тисков есть подвижная и неподвижная губки. Предположим, вы установили нулевую точку на поверхности (границе), примыкающей к подвижной губке тисков (рисунок 5.7 б). Размеры заготовок могут немного отличаться, и соответственно, оператор станка для получения правильных размеров должен каждый раз "перепривязываться", то есть заново находить координаты нулевой точки. Если же нулевая точка установлена на поверхности, примыкающей к неподвижной губке тисков (рисунок 5.7 а), то координаты нулевой точки не изменятся при любых отклонениях размеров заготовки.

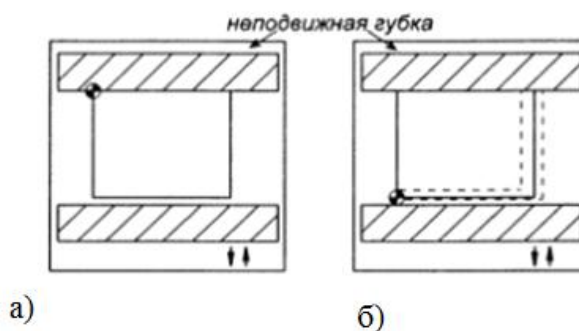


Рисунок 5.7 - Варианты расположения нулевой точки в тисках

В большинстве случаев нулевая точка устанавливается относительно уже подготовленных поверхностей. Хорошо, когда на станок с ЧПУ приходит заготовка с обработанным "в размер" наружным контуром. Это позволяет точно и надежно ее закрепить и гарантировать постоянство координат нулевой точки.

Очень часто для обработки детали требуется несколько установок. Например, сначала нужно фрезеровать паз с одной стороны детали, а затем, после переустановки - с другой стороны. В этом случае, необходимо убедиться, что базирование осуществляется по одной и той же поверхности, иначе существует вероятность, что вы "промахнетесь" - не обеспечите требуемых размеров и точности.

Нулевая точка выбирается и устанавливается относительно определенного конструктивного элемента детали. Как правило, этим элементом является один из углов детали (заготовки) или центр отверстия. Будьте внимательны при обработке детали с несколькими установками и всегда "отслеживайте" расположение базовых поверхностей и нулевой точки.

1.20. Компенсация длины инструмента

При выполнении УП базовая позиция шпинделя (точка пересечения торца и оси вращения) определяется запрограммированными координатами. Проблема заключается в том, что в базовой позиции шпинделя обработка резанием не осуществляется. Обработка производится кромкой режущего инструмента, которая находится на некотором расстоянии от базовой точки шпинделя. Для того чтобы в запрограммированную координату приходила именно режущая кромка, а не шпиндель, необходимо "объяснить" СЧПУ на какую величину по оси Z нужно сместить эту базовую точку.

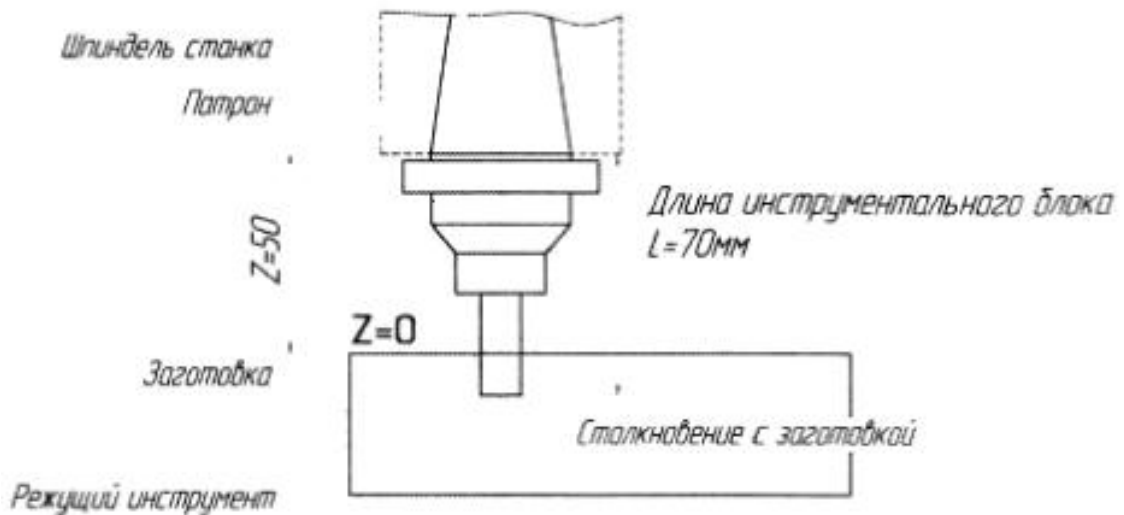


Рисунок 5.8 - Если необходимо переместить инструмент длиной 70 мм в Z50, а компенсация длины инструмента не произведена, то произойдет опасное столкновение с деталью

Перед началом обработки оператор должен измерить длину каждого из инструментов, используемых в программе и ввести числовые значения длин в соответствующие регистры компенсации длины инструмента (или в таблицу инструментов). Смещение базовой точки шпинделя на величину длины инструмента называется компенсацией длины инструмента.

Компенсация длины инструмента на большинстве современных станков активируется командой G43, а отменяется при помощи G49 или H00. При создании УП программист не указывает напрямую значение длины инструмента (он еще не знает точной длины), а использует "ссылку" на соответствующий регистр компенсации инструмента в памяти СЧПУ. Например, следующая строка программы активирует компенсацию длины инструмента №2:

N025 G43 H02 Z50.

При этом H указывает на соответствующий регистр компенсации длины. H02 - на регистр инструмента №2, H03 - на регистр инструмента №3 и т.д. Вообще, компенсация длины инструмента сильно "упрощает жизнь" программисту - ему не нужно думать о точной длине инструментов и дает возможность оператору станка "играть" значением в регистре компенсации длины, добиваться требуемых размеров детали по оси Z.



Рисунок 5.9 - Если нужно переместить инструмент в **Z50** и в программе есть код компенсации длины инструмента, то режущая кромка фрезы не дойдет до поверхности детали ровно **50 мм**

1.21. Абсолютные и относительные координаты

Все приведенные ранее программные примеры и пояснения основывались на программировании в абсолютных координатах. При абсолютном способе программирования координаты точек отсчитываются от постоянного начала координат.

При относительном (инкрементальном) способе отсчета за нулевое положение каждый раз принимается положение исполнительного органа, которое он занимал перед началом перемещения к следующей опорной точке координат в таблице 4.

Таблица 4 - Опорные точки паза при абсолютном и относительном программировании

Тока	Абсолютные координаты		Относительные координаты	
	Координата по Оси X	Координата по оси Y	Координата по Оси X	Координата по оси Y
T1	3	8	3	8
T2	3	3	0	-5
T3	7	3	4	0
T4	7	8	0	5

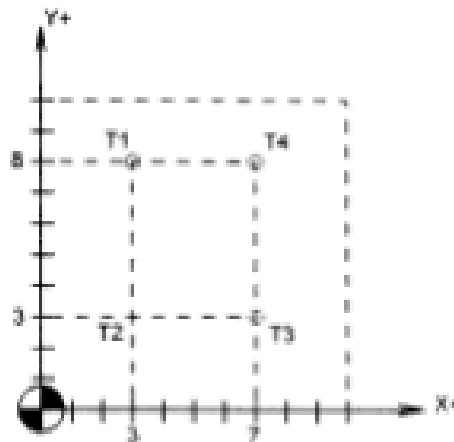


Рисунок 5.10 - При абсолютном способе программирования (G90) - координаты точек отсчитываются от одного "неподвижного" нуля

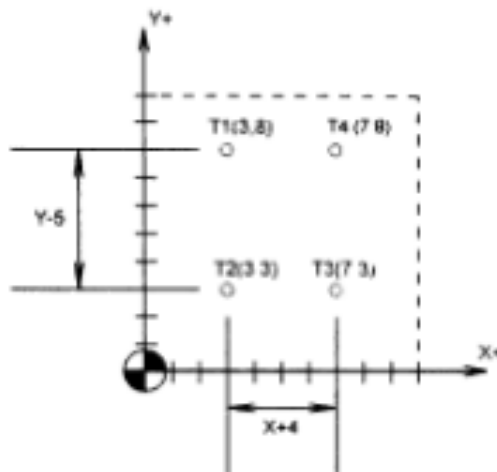


Рисунок 5.11 - Относительный способ программирования (G91). Координаты точки T2 отсчитываются от точки T1, точки T3 от T2. точки T4 от T3.

Из этих примеров видно, как изменятся координаты опорных точек паза и программа обработки при относительном способе программирования

Абсолютное программирование

```
%
O0001 (PAZ ABS)
N10 G21 G40 G49 G54 G80 G90
N20 M06 T01 (FREZAD1)
N30 G43 H01
N40 M03S1000
N50 G00 X3 Y8
N60 G00 Z0.5
N70G01Z-1F25
N80 G01 X3 Y3
N90 GO 1X7 Y3
N100G01X7 Y8
N110G01Z0.5
N130 M05
N140 M30
%
```

Относительное программирование

```
%
O0001 (PAZ INCR)
N10 G21 G40 G49 G54 G80 G91
N20M06T01 (FREZAD1)
N30 G43 H01
N40M03S1000
N50 G00 X3 Y8
N60 G00 Z0.5
N70 G01 Z-1 F25
N80 G01 XO Y-5
N90G01 X4 YO
N100 G01 XO Y5
N110G01Z0.5
N120 G91 G28 XO YO
N130 M05
N140 M30
%
```

Программирование в относительных координатах было обязательным условием при работе на многих станках с ЧПУ старых моделей. Современные системы ЧПУ позволяют свободно работать и с абсолютными и с относительными координатами. Для переключения из одного режима работы в другой используются команды G90 (абсолютное программирование) и G91 (относительное программирование). В случае появления одной координатной ошибки при относительном способе программирования, все последующие перемещения будут неправильными.

1.22. Комментарии в УП и карта наладки

Если вы работаете постоянно, каждый день создаете хотя бы по одной программе для станка с ЧПУ, то через некоторое время обнаружите, что в вашем компьютере накопилось довольно много рабочих файлов. Практически не возможно запомнить все технологические подробности и нюансы работы с той или иной программой. Оператор станка обязательно должен представлять, что делает конкретная УП, и обладать определенной информацией для настройки станка на работу. Например, где находится нулевая точка программы, какие режущие инструменты используются. В настоящее время эта информация сохраняется в основном двумя способами: с помощью комментариев в программе и карты наладки.

Комментарии представляют собой обычные предложения, при помощи которых программист доводит до оператора станка определенную технологическую информацию. Как правило, в комментариях содержится следующие данные:

- Дата и время создания УП
- Номер чертежа
- Материал заготовки
- Данные о рабочей системе координат
- Размеры инструмента
- Названия технологических операций

Для того чтобы ввести комментарии в УП необходимо использовать специальные символы (знаки) программирования. В качестве таких символов для большинства СЧПУ применяются круглые скобки или точка с запятой. Перед символами комментариев, не принято ставить номера кадров, если комментарии занимают кадр полностью.

```
...  
(TOOL #3)
```

```
...  
или
```

```
...  
; TOOL #3
```

У систем ЧПУ могут существовать различные ограничения на работу с комментариями. Например, некоторые стойки позволяют вводить комментарии длиной только до 32 символов.

Учтите, что существуют станки, имеющие полноразмерную клавиатуру, которая позволяет вводить комментарии прямо со стойки ЧПУ, и станки с ограниченной клавиатурой, СЧПУ которых не позволяет вводить и редактировать комментарии. Большинство СЧПУ работают с латинскими буквами, поэтому, если вы будете писать комментарии на русском (при помощи ПК), то на станке они будут нечитаемые.

Пример УП с комментариями:

```
%  
O0045 (SKOBA)  
(MATERIAL - ALUMINUM MM - 2024)  
(DATE -NOV-14-04)  
(TIME - 16:43)
```

```

(T2 I FREZA I H2 I D2 I D20.0000mm | | CONTOUR.. )
(T4 I SVERLO I H4 I D4 I D10.0000mm | | PECK DRILL )
N100 GOO G17 G21 G40 G49 G80 G90 N102 (FREZEROVANIE) N104 T2
N106 M06 (FREZA 20) N108 (MAX|Z100.) N110 (MIN|Z-3.)
N112 GOO G90 G54 X-76.761 Y-42.321 S2000 M03
N114 G43 H2Z100.
N116Z10.
N118G01Z-3.F250. N120 Y55.302 N122 X81.529
N124 Y-42.321 N126 X-76.761 N128 Z7. N130 G00Z100. N136 M01
N138(SVERLENIE) N140 T4
N142 M06 (SVERLO 10) N144 (MAX|Z100.) N146 (MIN|Z-5)
N148 GOO G90 G54 X-63.052 Y44.772 S1200 M03
N150 G43 H4Z100.
N152 G98 G83 Z-5. RIO. Q2. F45.
N154 X-40.798 Y53.25
N156 X8.213 Y47.421
N158 X52.19 Y49.806
N160 G80
N162 M05
N168 G90
N170 M30
%
```

При работе на станках с ЧПУ могут использоваться следующие виды документации: операционная карта, карта операционных эскизов, карта наладки станка, карта наладки инструмента, расчетно-технологическая карта. В настоящее время многие предприятия используют формальный подход к применению подобной стандартизованной документации, используют карту наладки произвольной формы. Исходя из этого, можно сказать, что карта наладки - документ, содержащий всю необходимую технологическую информацию для настройки станка на определенную работу, включая эскиз детали и приспособления, описание режущего инструмента, положения нулевой точки программы, режимов и времени обработки. Такая карта наладки помогает вспомнить о том, как нужно обрабатывать ту или иную деталь, спустя некоторое время, когда программист и оператор станка с ЧПУ успели позабыть технологические особенности изготовления детали. Следует отметить, что комментарии в УП и карта наладки не заменяют друг друга, а используются совместно.

Карту наладки можно создать при помощи обычного листа бумаги и карандаша. Попробуйте схематично изобразить деталь, нулевую точку и крепежные элементы. Не забудьте записать порядок операций и данные режущего инструмента. Многие CAD/CAM системы умеют автоматически генерировать карту наладки и инструментальную карту, в которой содержатся подробные сведения о применяемом в данной УП режущем инструменте.

СТРУКТУРА УПРАВЛЯЮЩЕЙ ПРОГРАММЫ

1.23. G и M коды

Программирование обработки на современных станках с ЧПУ осуществляется на языке, который обычно называют языком ИСО (ISO) 7 бит или языком G и M кодов. Коды с адресом G, называемые подготовительными, определяют настройку СЧПУ на определенный вид работы. Коды с адресом M называются вспомогательными и предназначены для управления режимами работы станка.

Например, если программист хочет, чтобы инструмент перемещался по прямой линии, он использует G01. А если необходимо произвести смену инструмента, то в программе обработки он указывает M06.

Для управления многочисленными функциями станка с ЧПУ применяется довольно большое число различных кодов. Тем не менее, изучив набор основных G и M кодов, вы легко сможете создать управляющую программу.

В таблице 5 приведен список базовых кодов, которые мы подробно рассмотрим в этой и последующих главах. А в главе "Справочник G и M кодов"* вы найдете подробное описание всех стандартных кодов и примеры их использования.

Таблица 5 – Базовые коды программирования обработки

Код (функция)	Назначение кадра с кодом
Осевое перемещение	
G00	Ускоренный ход - перемещение на очень высокой скорости в указанную точку G00X10. Y20. Z25
G01	Линейная интерполяция - перемещение по прямой линии на указанной скорости подачи G01X10. Y20. F100
G02	Круговая интерполяция - перемещение по дуге по часовой стрелке на указанной скорости подачи G02X10. Y20. R10. F100
G03	Круговая интерполяция - перемещение по дуге против часовой стрелки на указанной скорости подачи G03X10. Y20.R10.F100
Настройка	
G20	Ввод дюймовых данных G20 G00X10. Y20
G21	Ввод метрических данных G21 G00X10. Y20.
G90	Абсолютное позиционирование - все координаты отсчитываются от постоянной нулевой точки G90 G00X10. Y20
G91	Относительное позиционирование - все координаты отсчитываются от предыдущей позиции G91 G00X10. Y20
Обработка отверстий	
G81	Цикл сверления G81 X10. Y20. Z-5. F30.
G82	Цикл сверления с задержкой на дне отверстия G82 X10. Y20. Z-5. R1. P2. F30
G85	Цикл растачивания отверстия G85 X10. Y20 Z-5. F30

Вспомогательные коды (функции)	
M00	Запрограммированный останов - выполнение программы временно прекращается
M01	Запрограммированный останов по выбору выполнение программы временно прекращается, если активирован режим останова по выбору
M03	Прямое вращение шпинделя - шпиндель вращается по часовой стрелки
M04	Обратное вращение шпинделя - шпиндель вращается против часовой стрелки
M05	Останов шпинделя
M06	Автоматическая смена инструмента M06 T02
M08	Включение подачи охлаждающей жидкости
M09	Выключение подачи охлаждающей жидкости
M30	Конец программы, перевод курсора к началу программы

1.24. Структура программы

Для знакомства со структурой УП давайте взглянем более пристально на уже созданную ранее программу обработки паза (см. главу №3):

```
%
O0001 (PAZ)
N10 G21 G40 G49 G54 G80 G90
N20M06 T01 (FREZA D1)
N30 G43 H01
N40 M03 S1000
N50 G00 X3 Y8
N60 G00 Z0.5
N70G01Z-1F25
N80 G01X3 Y3
N90 GO 1X7 Y3
N100 G01 X7 Y8
N110G01Z5
N120 M05
N130 M30
%
```

Управляющая программа является упорядоченным набором команд, при помощи которых определяются перемещения исполнительных органов станка и различные вспомогательные функции. Любая программа обработки состоит из некоторого количества строк, которые называются кадрами УП. **Кадр управляющей программы** - составная часть УП, вводимая и обрабатываемая как единое целое и содержащая не менее одной команды. Система ЧПУ считывает и выполняет программ} кадр за кадром. Очень часто программист назначает каждому кадру свой номер, который расположен в начале кадра и обозначен буквой N. В нашей программе вы можете увидеть номера кадров с N10

до N130. Большинство станков с ЧПУ позволяют спокойно работать без номеров кадров, которые используются исключительно для удобства зрительного восприятия программы и поиска в ней требуемой информации. Поэтому, наша программа обработки может выглядеть и следующим образом:

```
%  
O0001 (PAZ)  
G21 G40 G49 G80 G54 G90  
M06T01 (FREZAD1)  
G43 H01  
M03 S1000  
G00 X3 Y8  
G00 Z0.5  
G01 Z-1 F25  
G01 X3 Y3  
G01 X7 Y3  
G01 X7 Y8  
G01Z5  
M05  
M30  
%
```

Программисту рекомендуется располагать номера кадров с интервалом в 5 или 10 номеров, чтобы при необходимости можно было вставить в программу дополнительные кадры.

В самом начале УП обязательно должен находиться код начала программы % и номер программы (например, O0001). Два этих первых кадра не влияют на процесс обработки, тем не менее, они необходимы, для того чтобы СЧПУ могла отделить в памяти одну программу от другой. Указание номеров для таких кадров не допускается.

```
%  
O0001 (PAZ)
```

Кадр №10 настраивает систему ЧПУ на определенный режим работы с последующими кадрами УП. Например, G21 означает, что станок будет работать в метрической системе, то есть перемещения исполнительных органов программируются и выполняются в миллиметрах, а не в дюймах. Иногда такие кадры называют **строками безопасности**, так как они позволяют перейти системе в некоторый стандартный режим работы или отменить ненужные функции.

```
N10 G21 G40 G49 G54 G80 G90
```

Следующие кадры говорят станку о необходимости подготовки к обработке. Для этого, нужно поставить инструмент из магазина в шпиндель (кадр N20), активировать компенсацию длины инструмента (кадр N30) и заставить шпиндель вращаться в нужном направлении на указанной скорости (кадр N40). Также вы можете использовать символы комментариев. СЧПУ игнорирует любой текст, заключенный в круглые скобки, что позволяет, например, указать в кадре диаметр или наименование применяемой фрезы.

```
N20 M06 T01 (FREZAD1) N30 G43 H01 N40 M03 S1000
```


Кадры с номерами от N50 до N110 непосредственно отвечают за обработку детали. В этой части УП содержатся коды, предназначенные для перемещения инструмента в указанные координаты. Например, кадр N80 перемещает инструмент в точку с координатами X3, Y3 со скоростью подачи равной 25 миллиметров в минуту.

```
N50 G00 X3 Y8 N60 G00 Z0.5 N70 G01Z-1F25 N80 G01 X3 Y3 N90 G01X7 Y3 N100 GO
1X7 Y8 N110G01Z0.5
```

Заключительные кадры предназначены для останова шпинделя (кадр N120) и завершения программы (кадр N130): N120 M05 N130 M30

%

Схематично любую УП можно представить в виде следующих областей:

Начало программы (шапка)

Вызов первого инструмента

Основная часть УП - рабочие перемещения

Смена инструмента

Основная часть УП - рабочие перемещения

Конец программы (шапка)

1.25. Слово данных, адрес и число

Управляющая программа состоит из множества различных кадров В свою очередь, каждый кадр УП состоит из слов данных. А слово данных строится из адреса (буквы) и относящегося к нему числа Например, адрес Y относится к оси Y, а следующее за адресом число обозначает координаты вдоль этой оси.

G01X3 Y3-кадрУП G - адрес 01 - число

G01 - слово данных (G код)

X - адрес 3 - число

X3 - слово данных

Y - адрес 3 - число

Y3 - слово данных

Не обязательно чтобы число, относящееся к G или M коду, имело ведущие нули (нули перед числом), например G01, G02, G03 и т.д. Можно писать просто G1, G2, G3. Тем не менее, многие программисты в силу привычки предпочитают вариант с ведущими нулями.

Учтите, что система ЧПУ работает далеко не со всеми адресами. Например, стойка Fanuc откажется воспринимать латинские буквы E, U, V и W, если они не относятся к макропрограмме. Это не значит, что вы не сможете загрузить в память станка программу, содержащую перечисленные адреса. Загрузить ее можно, но при попытке выполнить такую программу система ЧПУ, скорее всего, выдаст сообщение об ошибке.

1.26. Модальные и немодальные коды

Все станочные коды можно разделить на два класса, в зависимости от их способности сохраняться в памяти СЧПУ. **Немодальные коды действуют только в том кадре, в котором они находятся. Модальные коды, напротив, могут действовать бесконечно долго, пока их не отменят другим кодом.**

Выделяют несколько групп кодов, в зависимости от функции, которую они выполняют (табл. 6). Два модальных кода из одной группы не могут быть активными в одно и то же время. Например, G02 и G03 находятся в группе кодов осевых перемещений, и вы не можете применять оба этих кода сразу. Один из этих кодов обязательно отменит действие другого. Это как попытаться ехать на автомобиле одновременно и вправо и влево. Однако вы можете одновременно использовать коды из разных функциональных групп. Например, в одном кадре можно написать G02 и G90.

Особенностью модальных кодов является то, что не нужно вводить активный код в последующие кадры. Например, код G01 используется для перемещения инструмента по прямой линии. Если нам необходимо совершить множество прямых перемещений, то не обязательно в каждом последующем кадре писать G01. Для отмены кода G01 необходимо применить один из кодов той же самой функциональной группы (G00, G02 или G03). Большинство из G кодов являются модальными. Программист должен знать, к какой группе и к какому классу принадлежит тот или иной код.

Хотя M коды обычно не делят на модальные и немодальные, однако этот термин все же можно применить и к ним. Например, можно выделить группу M кодов отвечающих за подачу охлаждающей жидкости (M07, M08, M09) или за вращение шпинделя (M03, M04, M05). Тем не менее, большинство M кодов нужно рассматривать как немодальные. Некоторые стойки ЧПУ допускают программирование только одного M кода в кадре.

Таблица 6 – Коды по группам

Функциональная группа	Коды
Перемещение	G00, G01, G02, G03
Тип координатной системы	G90, G91
Единицы ввода данных	G20, G21
Постоянные циклы	G80, G81, G82, G83, G84, G85 ...
Рабочая система координат	G54, G55, G56, G57, G58...
Компенсация длины инструмента	G43, G44, G49
Коррекция на радиус инструмента	G40, G41, G42
Возврат в постоянных циклах	G98, G99
Активная плоскость обработки	G17, G18, G19

1.27. Формат программы

Одна и та же управляющая программа может выглядеть по-разному. В качестве примера этого явления приведем фрагмент все той же программы обработки паза:

```

...
N70 G01 Z-1 F25
N80 G01 X3 Y3
N90 G01 X7 Y3
N100 G01 X7 Y8
N110 G01 Z0.5
...

```

Так как G01 является модальным кодом, то совсем не обязательно указывать этот код в каждом кадре линейных перемещений. Поэтому, данный фрагмент УП может выглядеть следующим образом:

```
...  
N70 G01 Z-1 F25  
N80 X3 Y3  
N90 X7 Y3  
N100 X7 Y8  
N110 Z0.5
```

СЧПУ читает первый кадр, в котором задается линейное перемещение по оси Z на глубину 1 мм (Z-1). Затем считывается второй кадр, в котором присутствуют координаты, но нет другого G кода. Так как G01 является модальным кодом, то он сохраняется в памяти и используется СЧПУ для работы с новыми координатами. Можно сказать, что адреса X и Y также являются модальными. То есть значения координат сохраняются в памяти, пока СЧПУ не заменит (обновит) их другими значениями координат. Таким образом, данный фрагмент УП можно переписать еще раз:

```
...  
N70 G01 Z-1 F25  
N80 X3 Y3  
N90 X7  
N100 Y8  
N110 Z0.5
```

Система ЧПУ читает программу обработки кадр за кадром. При этом в буфер памяти системы попадает один или несколько кадров целиком. Для современных систем ЧПУ не принципиально, в каком месте кадра находится тот или иной код (слово данных). Однако некоторые станки, имеющие старые системы ЧПУ, могут быть очень придирчивы к порядку слов данных в кадре и к пробелам между ними. Для современной стойки три приведенных ниже кадра будут иметь совершенно одинаковый эффект:

```
N01 G55 G01 X30.45 Y2.35 M08  
N02 M08 Y2.35 G55 X30.45 G01  
N03 G01 X30.45 Y2.35 G55 M08
```

Для того чтобы программисту было легче создавать и читать УП рекомендуется следующий порядок расположения слов данных и знаков программирования в кадре:

1. Код пропуска кадра (/)
2. Номер кадра (N)
3. Подготовительные функции (G коды)
4. Адреса осевых перемещений (X, Y, Z, I, J, K, A, B, C)
5. Команда подачи (F)
6. Команда числа оборотов (S)
7. Вспомогательные функции (M коды)

После номера кадра N обычно следует G код. Это как глагол в предложении - G коды говорят нам, какую функцию несет каждый кадр. Далее следуют адреса и координаты

позиций осевых перемещений. М коды обычно ставятся в конец кадра. Это правило действует, когда в кадре присутствует G код. Тем не менее, если в кадре нет G кода, то многие программисты предпочитают ставить М код в начало:

```
...  
N40 M03 S1000  
N50 GOO X3 Y8  
...
```

В УП не допускаются пробелы между адресом (буквой) и числом или внутри G и M кодов. В приведенном кадре есть несколько ошибок и СЧПУ станка обязательно будет на них "ругаться":

```
N50 G 00 X3 Y8
```

Большинство современных стоек прекрасно работает и без пробелов между словами данных. Удаление пробелов позволяет сократить размер управляющей программы. Однако человеку, в отличие от компьютера, будет не привычно читать УП в таком варианте. Сравните два варианта одного и того же кадра:

- 1). N50 G00 X3 Y8
- 2). N50G00X3Y8

Первый вариант явно читается легче, что означает меньшую вероятность ошибки при написании или проверке программы обработки.

Номера кадров для большинства современных СЧПУ не обязательны. Они используются для облегчения поиска требуемой информации в УП и для создания переходов к определенному кадру в некоторых особых случаях. Поэтому, фрагмент программы, с которым мы работаем:

```
...  
N70 G01 Z-1 F25  
N80 X3 Y3  
N90 X7  
N100 Y8  
N110 Z0.5  
...
```

перепишем следующим образом:

```
...  
G01 Z-1 F25  
X3 Y3  
X7  
Y8  
Z0.5  
...
```

Необходимо уделить особое внимание **числовому формату**, с которым ваша стойка ЧПУ сможет работать. Обычно система ЧПУ работает с десятичным форматом и позволяет использовать несколько знаков до десятичной точки и несколько знаков после нее (например, 999.999). Возможны различные варианты употребления ведущих (перед десятичной точкой) и последующих (после десятичной точки) нулей. Сравните:

```
Z0.1
```

Z.1

Z0.100

В некоторых случаях наличие десятичной точки в определенных словах данных обязательно, а в других случаях недопустимо. Поэтому внимательно ознакомьтесь с разделом документации станка с ЧПУ, в котором говорится о формате программирования.

При работе с положительными числами не требуется вводить знак "+", так как СЧПУ исходит из положительного значения числа, если не введен никакой знак. Но при необходимости ввода отрицательного числового значения, знак "-" должен быть запрограммирован обязательно.

Теперь мы можем сравнить первоначальный вариант программы обработки паза и новый вариант, созданный в этой главе (табл. 7). Не смотря на то, что второй вариант УП имеет меньший размер (экономия программной памяти системы ЧПУ) его гораздо труднее читать.

Следовательно, работая с "экономичной" версией УП появляется вероятность сделать ошибку или ее не заметить. Так как современные СЧПУ и компьютеры обладают достаточно большим объемом памяти, то нет смысла "экономить байты", убирая пробелы между словами данных, не ставя номера кадров и забывая про комментарии.

Таблица 7 – Два варианта одной программы

Обычная УП	Сжатая УП
%	%
O0001 (PAZ)	O0001 (PAZ)
N10 G21 G40 G49 G54 G80 G90	G21G40G49G54G80G90
N20 M06 T01 (FREZA D1)	M6T1
N30 G43 H01	G43H1
N40 M03 S1000	M3S1000
N50 G00 X3 Y8	GOX3Y8
N60 G00 Z0.5	Z.5
N70G01Z-1F25	G1Z-1F25
N80 GO 1 X 3 Y3	X3Y3
N90 GO 1 X 7 Y3	X7
N100G01X7 Y8	Y8
N110G01Z0.5	Z.5
N120 G91G28 XO YO Z0	G91G28X0Y0Z0
N130 M05	M5
N140 M30	M30
%	%

1.28. Строка безопасности

Строкой безопасности называется кадр, содержащий G коды, которые переводят СЧПУ в определенный стандартный режим, отменяют ненужные функции и обеспечивают безопасную работу с управляющей программой. В нашей программе для обработки паза строкой безопасности является кадр N10.

N10 G21 G40 G49 G54 G80 G90

Как вы уже знаете, многие коды являются модальными и остаются активными в памяти СЧПУ до тех пор, пока их не отменят. Возможны ситуации, когда ненужный модальный G код не был отменен. Например, если программа обработки была прервана по каким-либо причинам в середине. Строка безопасности, которая обычно находится в начале УП или после кадра смены инструмента позволяет "восстановить" забытые G коды и выйти в привычный режим работы.

Давайте поближе познакомимся с G кодами, находящимися в типичной строке безопасности.

Код G21 говорит станку о том, что все перемещения и подачи рассчитываются и осуществляются в миллиметрах, а не в дюймах (G20). Так как станки производятся и работают в разных странах, то существует возможность переключения между дюймовым и метрическим режимами. Поэтому включение этого кода в состав строки безопасности гарантирует работу в правильном режиме.

Код G40 отменяет автоматическую коррекцию на радиус инструмента. Коррекция на радиус инструмента предназначена для автоматического смещения инструмента от запрограммированной траектории. Коррекция может быть активна, если вы в конце предыдущей программы забыли ее отменить (выключить). Результатом этого может стать неправильная траектория перемещения инструмента и, как следствие, испорченная деталь.

Код G49 отменяет компенсацию длины инструмента.

Код G54 на большинстве современных станков позволяет активизировать одну из нескольких рабочих систем координат. Предыдущая управляющая программа могла работать в другой системе координат, например в G55. Как и большинство G кодов, G код рабочей системы координат является модальным и сохраняется активным в памяти СЧПУ до тех пор, пока его не отменят. Для того чтобы избежать ошибки, в строку безопасности включают код требуемой рабочей системы координат (G54-G59).

Код G80 отменяет все постоянные циклы (например, циклы сверления) и их параметры. Отмена постоянных циклов необходима, так как все координаты после G кода постоянного цикла относятся непосредственно к нему и для выполнения других операций нужно "сказать" системе ЧПУ, что цикл закончен.

Код G90 активизирует работу с абсолютными координатами. Хотя большинство программ обработки создается в абсолютных координатах, возможны случаи, когда требуется выполнять перемещения инструмента в относительных координатах (G91).

1.29. Важность формирования УП

Нет особого смысла уменьшать размер УП, а есть смысл сделать так, чтобы программа обработки была хорошо читаемой. Хорошая читаемость программы обеспечивается четкой структурой, комментариями, номерами кадров и пробелами между словами данных, то есть ее форматом. Однако, это не единственная причина для форматирования УП. Второй причиной является совместимость. Если все программисты в вашей компании будут использовать одинаковый формат, то каждый из них без особых хлопот разберется в программе своего коллеги, сможет найти ошибку и исправить ее.

Пожалуй, самой важной причиной для форматирования УП является специфика многоинструментальной обработки на современных станках с ЧПУ. Особенность этой работы заключается в частой смене инструмента и в многократном использовании одного

и того же инструмента. У оператора станка с ЧПУ может возникнуть необходимость перезапуска программы с определенного номера инструмента или операции. Для этого требуется особая технология написания УП, нужна определенная избыточность информации.

Опытный программист всегда включает в УП некоторый набор дополнительных команд, позволяющих оператору станка "стартовать" из определенных кадров программы. Этими командами могут быть не только команды включения требуемых оборотов шпинделя S и MO3, но и строки безопасности, команды на выполнение компенсации длины и коррекции на радиус инструмента.

Это означает, что одна управляющая программа может состоять из множества "минипрограмм":

```
%
O0002
(PROGRAM NAME - T)
( DATE=DD-MM-YY - 15-09-04 TIME=HH:MM - 22:55)
N100 G21
N102 G00 G17 G40 G49 G80 G90
(1 OPERATION)
N104 T1 M6
N106 GOO G90 G54 X-88.783 Y47.985 AO. S1000M3
N108 G43H1Z100.
...
(2 OPERATION)
N134 T2 M6
N136 GOO G90 G54 X-88.783 Y47.985 AO. S1000M3
N138 G43 H2Z100.
...
(3 OPERATION)
N164 T3 M6
N166 GOO G90 G54 X-88.783 Y47.985 AO. S1000M3
N168 G43 H3Z100.
...
(4 OPERATION)
N194 T4 M6
N196 GOO G90 G54 X-88.783 Y47.985 AO. S1000M3
N198 G43 H4Z100.
...
(5 OPERATION)
N224 T5 M6
N226 GOO G90 G54 X-88.783 Y47.985 AO. S2000M3
N228 G43 H5 Z100.
...
N248 M08
N250 G28 XO YO ZO
N252 M30
```

%

СТАНКИ С ЧПУ И ОБРАБАТЫВАЮЩИЕ ЦЕНТРЫ ТОКАРНОЙ ГРУППЫ

1.30. Тенденции развития

Станки с ЧПУ и обрабатывающие центры токарной группы обеспечивают обработку главным образом тел вращения, причем наряду с различными операциями токарной обработки выполняется сверление, развертывание, нарезание резьб, фрезерование поверхностей, расположенных как на оси детали, так и перпендикулярно к ней, наклонно либо с эксцентриситетом. Таким образом, рассматриваемые станки многофункциональны, с преобладанием токарных операций. Это означает, что их компоновки и структура подобны традиционным токарным станкам, деталь крепится во вращающемся шпинделе, а подачи имеют режущие инструменты.

Сформулируем основные требования, предъявляемые к указанной группе:

1) быстрое и гибкое переоснащение станка и наладка его для обработки новых деталей, что достигается:

- оптимизацией рабочего пространства, обеспечивающей свободное перемещение всех рабочих органов, доступность для наладчика и простоту обслуживания. В случае ручной замены заготовок и инструментов также обеспечивается их легкодоступность, а при автоматизации этих функций — свободное пространство для манипулирования и гарантированная очистка элементов базирования и закрепления от загрязнения;
- возможностью замены автоматического управления (ЧПУ) ручным;
- простотой наладки и обслуживания, что не требует длительного обучения;

2) низкая себестоимость обработки, обеспечиваемая за счет:

- агрегатирования конструкции станка, позволяющего быстро приспособить базовую конструкцию к требованиям конкретного потребителя;
- резкого увеличения скоростей рабочих и установочных перемещений и, как следствие, снижения времени рабочего цикла;

3) изменение конструктивной структуры токарных станков в результате:

- выполнения установочных перемещений и движений подачи не суппортом с револьверными головками, а пинолью электрошпинделя, имеющей значительно меньшую массу;
- использования дополнительного шпинделя для перехвата заготовки в ходе обработки;
- все более широкого применения вертикальной компоновки, упрощающей автоматизированную установку заготовок и отвод стружки;

4) возможность выполнения различных технологических операций, поскольку до 80 % всех деталей после токарной обработки требует дополнительно сверления, фрезерования, резьбообработки.

Комплексная обработка деталей обеспечивается за счет:

- применения инструментальных револьверных головок значительной вместимости, в том числе с возможностью вращения инструментов;

- использования дополнительного шпинделя для перехвата заготовки с целью ее обработки с другой стороны;
 - увеличения мощности привода главного движения, а также диапазонов частот вращения шпинделя и подач;
 - использования управляемого вращения шпинделя;
 - применения лазера для выполнения сварки, поверхностной закалки и резки;
 - а использования новых инструментальных материалов, например сверхтвердых, для замены шлифования точением;
- 5) высокая точность обработки, достижение которой возможно вследствие:
- все более широкого использования базовых деталей из полимербетонов с высокими динамическими и термическими свойствами, обеспечивающих минимальные механические и тепловые деформации станка, а также гасящих вибрации;
 - применения точных сервоприводов, позволяющих значительно повысить точность позиционирования;
 - использования измерительных устройств для контроля размеров детали в ходе обработки;
- 6) увеличение производительности и надежности работы, достигаемое в результате:
- резкого увеличения скоростей рабочих и установочных перемещений и, как следствие, снижения времени рабочего цикла;
 - значительной мощности приводов;
 - сокращения времени обработки вследствие возрастания скоростей рабочих и быстрых перемещений и скорости удаления стружки;
 - высокой гибкости процесса и возможности обработки детали со всех сторон без перезакрепления;
 - использования систем надзора и диагностики состояния инструментов и станка;
- 7) экологичность и безопасность работы, обеспечиваемая посредством:
- работы без использования или с минимальным использованием СОТС;
 - приспособлений, защищающих оператора от травм в случае поломок и аварий.

1.31. Компоновочные схемы

В настоящее время используется целый ряд компоновок станков и обрабатывающих центров токарной группы в зависимости от их технологического назначения. Станки с горизонтальной осью вращения шпинделя изделия по принципу закрепления деталей можно классифицировать следующим образом:

- 1) закрепление деталей в патроне с возможностью обработки с одной стороны, с управляемым вращением относительно оси С; один суппорт с возможностью перемещения по осям Х и Z, на котором установлена револьверная головка с неподвижными (резцы) и вращающимися (сверла, фрезы) инструментами (рис. 7.1, а). Вращающиеся инструменты в зависимости от конструкции головки перемещаются как параллельно, так и перпендикулярно к оси детали;
- 2) закрепление деталей в патроне с поджатием задним центром (рис. 7.1, б); компоновочная схема аналогична схеме, приведенной на рис. 7.1, а;

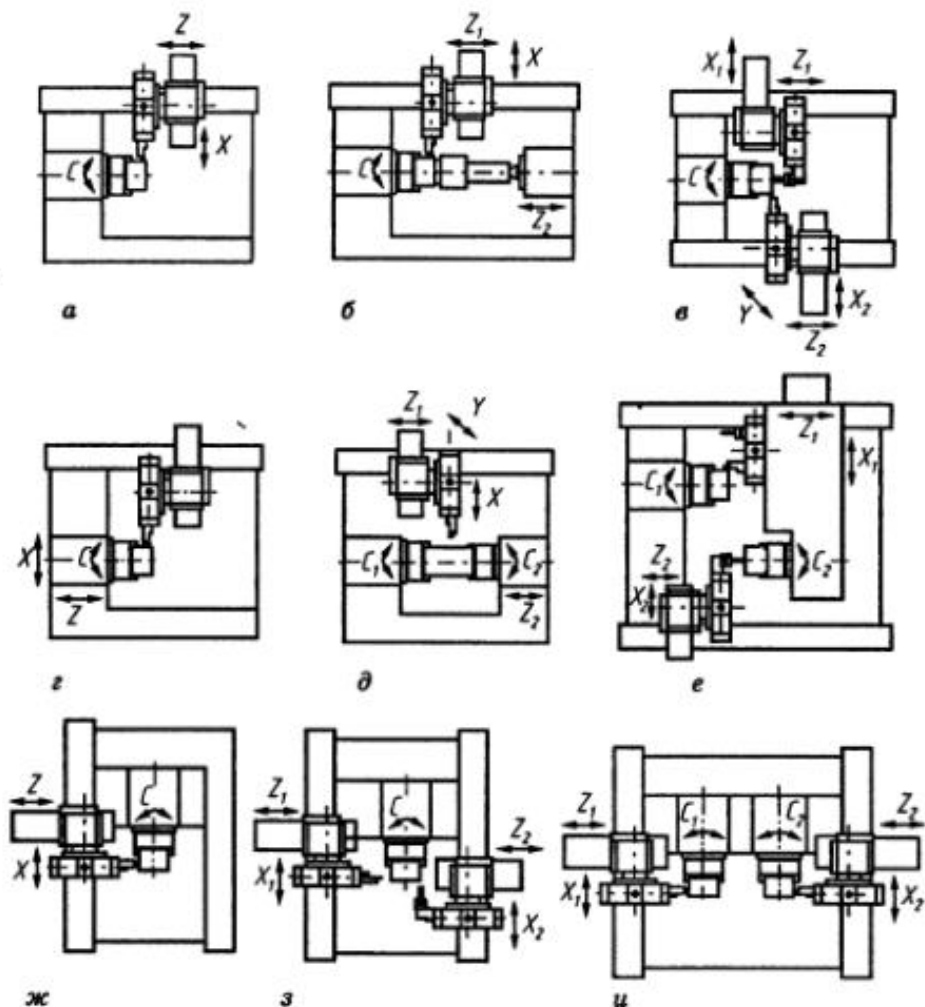


Рисунок 7.1 – Компоновочные схемы станков токарной группы с горизонтальной осью вращения детали

- 3) закрепление деталей в патроне с возможностью обработки с одной стороны, с управляемым вращением относительно оси C ; два независимых суппорта с револьверными головками, несущими неподвижные и вращающиеся инструменты. Суппорты расположены с двух сторон относительно шпинделя станка, один имеет перемещения по осям X_1 и Z_1 , второй — по осям X_2 , Z_2 и Y (рис 7.1, в);
- 4) закрепление деталей в патроне с возможностью обработки с одной стороны, с управляемыми перемещениями шпинделя относительно осей X , Z и C ; неподвижная револьверная головка с неподвижными (резцы) и вращающимися (сверла, фрезы) инструментами (рис 7.1, г). Такая компоновка возможна только при использовании электрошпинделей;
- 5) закрепление деталей сначала в основном, а затем во вспомогательном (перехватывающем) патроне с управляемым вращением относительно оси C (рис 7.1, д). Вспомогательный патрон перемещается относительно оси Z_2 , револьверная головка расположена между патронами и имеет перемещения относительно осей Z_x , X_u иногда — оси Y .

Перехват обрабатываемой детали осуществляется без остановки вращения основного шпинделя вследствие синхронизации частот вращения обоих патронов. Станок обеспечивает обработку детали со всех сторон;

- б) закрепление деталей сначала в основном, а затем во вспомогательном (перехватывающем) патроне с управляемым вращением относительно оси С (рис. 7.1, е), причем функция перехвата осуществляется одним из гнезд револьверной головки. Две револьверные головки имеют перемещения относительно осей Z1, X1 и Z2, X2 соответственно. Станок обеспечивает обработку детали со всех сторон;
- 7) закрепление коротких деталей (типа диска) в патроне с управляемым вращением относительно оси С (рис. 7.1, ж) и одной револьверной головкой, вмещающей резцы и вращающиеся инструменты. Головка перемещается вдоль осей Z и X;
- 8) закрепление коротких деталей (типа диска) в патроне с управляемым вращением относительно оси С (рис. 7.1, з) и двумя револьверными головками с резцами и вращающимися инструментами. Головки имеют перемещения вдоль осей Z1, X1 и Z2, X2;
- 9) закрепление коротких деталей (типа диска) в двух патронах с параллельными осями (рис. 7.1, и) с управляемым вращением относительно оси С и двумя револьверными головками с резцами и вращающимися инструментами. Головки имеют перемещения вдоль осей Z1, X1 и Z2, X2.

Станки с вертикальной осью вращения шпинделя изделия (карусельные) используются в основном для обработки крупных тяжелых деталей. Их можно классифицировать следующим образом:

- 1) закрепление деталей в патроне с возможностью обработки с одной стороны, с управляемым вращением относительно оси С; один суппорт с возможностью перемещения по осям X и Z, на котором установлена револьверная головка с неподвижными (резцы) и вращающимися (сверла, фрезы) инструментами (рис. 7.2, а). Вращающиеся инструменты в зависимости от конструкции головки перемещаются как параллельно, так и перпендикулярно к оси детали;
- 2) закрепление деталей в патроне с поджатием задним центром (рис. 7.2, б); компоновочная схема аналогична схеме, приведенной на рис. 7.2, а;
- 3) закрепление деталей в патроне с возможностью перемещения шпинделя вдоль осей X и Z и управляемым вращением относительно оси С; револьверная головка с неподвижными (резцы) и вращающимися (сверла, фрезы) инструментами установлена на станине и имеет только движение деления (рис. 7.2, в). Вращающиеся инструменты в зависимости от конструкции головки перемещаются как параллельно, так и перпендикулярно к оси детали. Такая компоновка возможна только при использовании электрошпинделей;
- 4) закрепление деталей в патроне с возможностью обработки с одной стороны, с управляемым вращением относительно оси С; два независимых суппорта с револьверными головками, несущими неподвижные и вращающиеся инструменты. Суппорты расположены с двух сторон относительно шпинделя станка; один имеет перемещения по осям X1 и Z1 другой — по осям X2, Z2 (рис. 7.2, г);
- 5) закрепление деталей в патроне с поджатием задним центром, с управляемым вращением относительно оси С; два независимых суппорта с револьверными головками расположены с двух сторон относительно шпинделя станка и перемещаются один по осям X1, Z1 другой — по осям X2, Z2 (рис. 7.2, д);

- б) закрепление деталей в патроне с возможностью обработки с одной стороны, с управляемым вращением относительно оси С; два независимых суппорта с револьверными головками, несущими неподвижные и вращающиеся инструменты, расположены с двух сторон относительно шпинделя станка, один перемещается по осям X1,Z1 другой — по осям X2, Z2- Шпиндель имеет верхнее расположение (рис. 7.2, е);
- 7) два параллельных шпинделя изделия с закреплением деталей в патроне (рис. 7.2, ж); в остальном компоновка аналогична схеме, приведенной на рис. 7.2, г;
- 8) два параллельных шпинделя изделия с закреплением деталей в патроне с поджатием задним центром (рис. 7.2, з); в остальном компоновка аналогична схеме, показанной на рис 7.2, г;
- 9) два параллельных электрошпинделя изделия с верхним расположением, с закреплением деталей в патроне (рис 7.2, и); в остальном компоновка аналогична схеме 7.2, г.

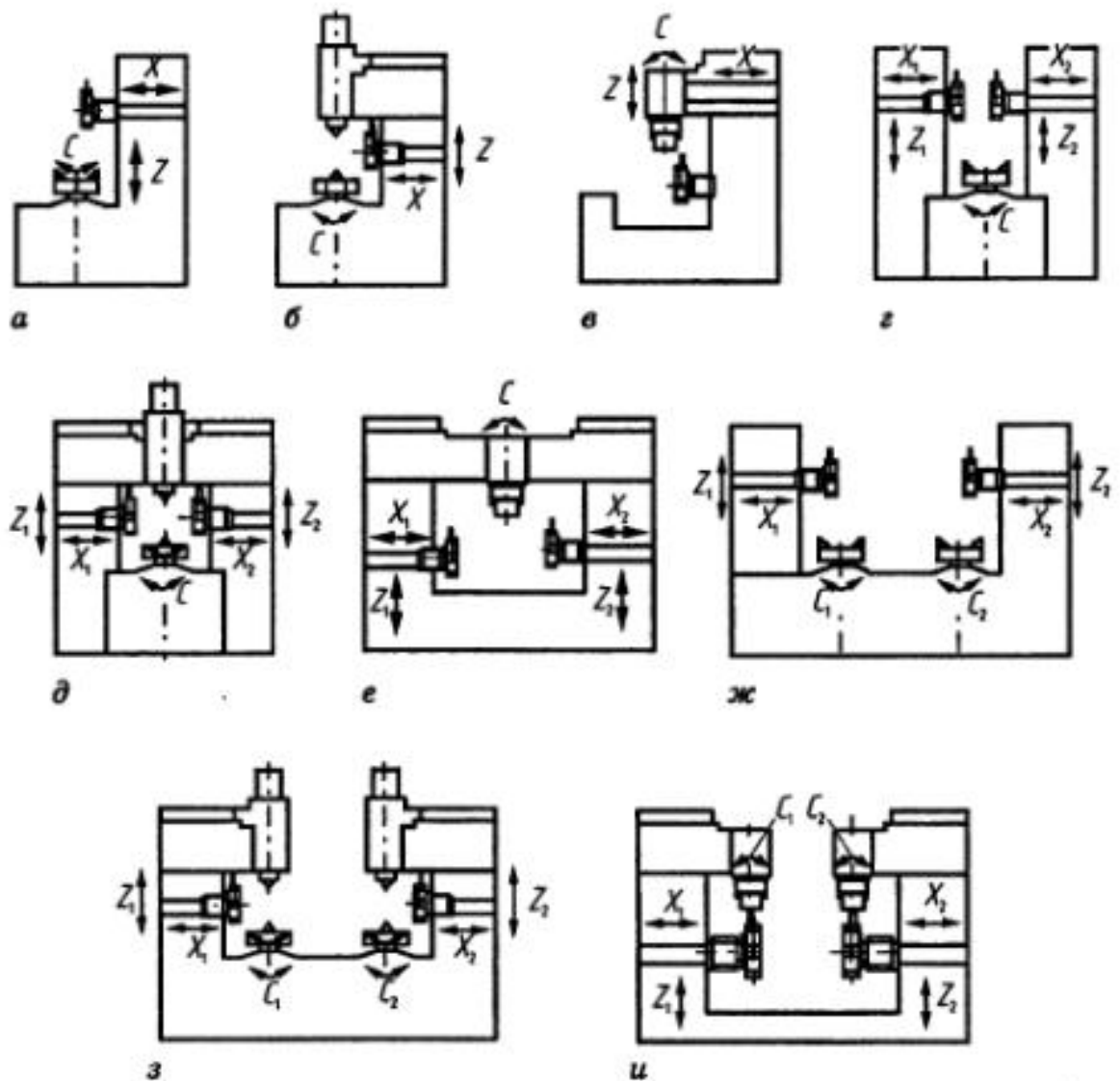


Рисунок 7.2 – Компоновочные схемы станков токарной группы с вертикальной осью вращения детали

1.32. Технологические возможности

Анализ конструкций деталей типа тел вращения показывает, что более 80 % из них кроме простейших цилиндрических, конических и торцовых поверхностей имеют прямые и винтовые канавки и выступы, плоские поверхности, произвольным образом расположенные в пространстве, окна, глубокие отверстия и т.п. В связи с этим современные ГАП все чаще вместо традиционных токарных станков с ЧПУ используют многоцелевые токарные станки. В этом случае, как отмечалось выше, револьверные головки кроме традиционных инструментов (неподвижно закрепленных в головке) могут быть оснащены инструментами с независимым вращением параллельно, перпендикулярно или наклонно к оси детали. Такие головки характеризуются малым временем замены инструмента на рабочей позиции, сравнительно небольшими размерами и могут иметь ось вращения как параллельную, так и перпендикулярную к оси обрабатываемой детали.

Сочетание целого ряда перемещений требует введения в кинематическую схему станка соответствующих осей управления.

Наряду с рассмотренными выше компоновками токарных станков и ГПМ получают распространение и другие компоновки, с более широкими технологическими возможностями, например:

- установка поперечного суппорта для резцов и осевых инструментов около каждого токарного шпинделя наряду с одной или двумя револьверными головками;
- введение в конструкцию 4-6 шпинделей изделия вместо одного с возможностью поворота шпиндельного барабана на постоянный угол (рис. 3.10), что позволяет использовать оборудование с ЧПУ в крупносерийном и массовом производстве; подготовительно-заключительное время в этом случае в 4-5 раз меньше, чем при использовании традиционных многошпиндельных токарных автоматов;
- введение в состав станка твердотельного лазера для обеспечения обработки с подогревом и обработки поверхностей сложной формы (рис. 3.11);
- замена одной из традиционных револьверных головок на инструментальный шпиндель с возможностью управляемого поворота его оси на произвольный угол; инструментальный магазин в этом случае содержит до 100 режущих инструментов;
- установка в револьверной головке червячной зуборезной фрезы, что в случае координации перемещений по соответствующим осям обеспечивает возможность нарезания на детали зубьев и исключает необходимость операций зубообработки;
- введение в состав многоцелевого токарного станка шлифовального шпинделя что позволяет совмещать операции точения и шлифования.

В конечном счете появляется возможность комплексной обработки детали на одном РМ без ее перемещения со станка на станок, обеспечивается соответствующее базирование без потерь точности и т.д.

СТАНКИ С ЧПУ И ОБРАБАТЫВАЮЩИЕ ЦЕНТРЫ СВЕРИЛЬНО-ФРЕЗЕРНО-РАСТОЧНОЙ ГРУППЫ

1.33. Тенденции развития

Станки сверлильно-фрезерно-расточной группы в процессе совершенствования претерпели значительные изменения с точки зрения как конструкции, так и технологических возможностей. Анализ современных станков позволяет выделить следующие их особенности:

- 1) большое разнообразие конструкций в зависимости от размеров и массы обрабатываемых деталей, свойств обрабатываемого материала, выполняемых операций, уровня автоматизации, количества осей управления и т.д.;
- 2) различная организация рабочего пространства с целью обеспечения управления по нескольким осям; облегчения транспортирования стружки; повышения производительности на основе использования многшпиндельных головок, размещенных в инструментальных магазинах наряду с традиционными инструментами; возможности обработки детали с нескольких сторон путем использования поворотных и глобусных столов;
- 3) использование перспективных структур типа гексапода;
- 4) изменение конструкций приводов главного движения путем замены традиционных кинематических цепей, обеспечивающих частоту вращения до 8000... 15 000 об/мин, электрошпинделями с частотами вращения до 100 000 об/мин;
- 5) изменение конструкций приводов подачи путем замены традиционных двигателей постоянного и переменного тока на линейные двигатели; уровень рабочих подач доходит до 30 м/мин, а быстрых ходов — до 120 м/мин и более;
- 6) возрастание точности обработки вследствие применения новых систем управления, использования технологий сверхскоростной обработки, увеличения точности позиционирования узлов станка до $\pm 0,001$ мм и палет с деталями до $\pm 0,002$ мм, минимализации зазоров в соединениях узлов и элементов станка;
- 7) повышение статической, динамической и термической жесткости вследствие компьютеризации и визуализации расчетов станка; повышения жесткости конструкций, стандартизации и унификации используемых узлов, использования новых конструкционных материалов (сотовые конструкции, полимербетоны и т.п.);
- 8) новые механизмы замены палет с изделиями и режущих инструментов, обеспечивающих резкое сокращение времени замены;
- 9) использование лазера в качестве инструмента, что позволяет обеспечивать не только прецизионную обработку, но и сварку отдельных элементов детали непосредственно на станке;
- 10) повышение надежности работы станка на основе широкого использования систем периодической и непрерывной (мониторинг) диагностики его работоспособности.

1.34. Компонентные схемы

В настоящее время используется целый ряд компоновок станков и обрабатывающих центров сверлильно-фрезерно-расточной группы в зависимости от их технологического назначения:

- 1) с горизонтальной и вертикальной осью вращения шпинделя;

- 2) с крестовым столом, имеющим рабочие перемещения в горизонтальной плоскости вдоль осей X и Y , и пинолью шпинделя, перемещающейся вдоль оси Z (рис.7.3, а);
- 3) со столом, перемещающимся вдоль оси X , шпиндельной бабкой, имеющей перемещение вдоль оси Y , и пинолью шпинделя, перемещающейся относительно оси Z (рис 7.3, б);
- 4) со шпиндельной бабкой, имеющей перемещение вдоль осей X, Y, Z (рис. 7/3, в);
- 5) портального типа (рис 7.3, г).

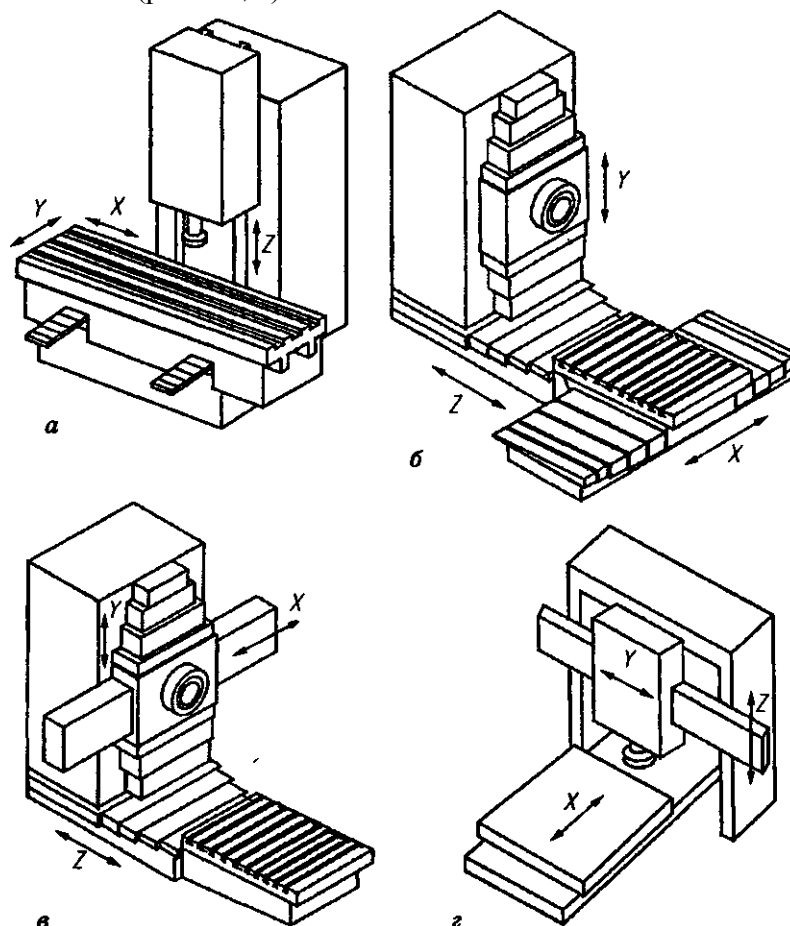


Рисунок 7.3 - Компоновочные схемы станков сверлильно-фрезерно-расточной группы

КОНСТРУКЦИЯ МНОГОЦЕЛЕВЫХ СТАНКОВ ТИПА ГЕКСАПОДА

Традиционные кинематические структуры металлорежущих станков основаны на объединении нескольких поступательных и (или) вращательных перемещений. Такое объединение требует весьма жестких и материалоемких конструкций базовых деталей станка, а инструмент связан с корпусом открытой кинематической цепью.

Новый подход к компоновке станков основан на использовании замкнутых кинематических цепей. В этом случае приводы так называемой рабочей платформы (место крепления детали или инструмента) обеспечивают непосредственный контакт режущего инструмента с деталью, не перемещая никаких дополнительных узлов и элементов станка. Такие структуры получили название гексаподов.

Как любые инновационные идеи, гексаподы имеют свои достоинства и недостатки. С одной стороны, они характеризуются: высокой жесткостью и точностью обработки; возможностью реализации движений с шестью степенями свободы; малыми массами подвижных узлов; высокими скоростями и ускорениями по всем осям; отсутствием специальных фундаментов для монтажа станка в цехе; простотой конструкции корпусных деталей; преобладанием растягивающих и сжимающих усилий, отсутствием усилий изгиба; унификацией приводов по всем осям; простотой сборки.

С другой стороны, можно отметить следующее: соотношение пространства для обработки и всего объема, занимаемого станком, хуже по сравнению с традиционными станками; любое линейное перемещение требует одновременного управления сразу по шести осям; необходимо иметь шесть независимых приводов для перемещений рабочей платформы; ограничен угол поворота рабочей платформы; для его увеличения необходима дополнительная ось поворота (привод и система управления); затруднен контроль точности перемещений; имеются значительные тепловые удлинения вдоль осей в связи с большей длиной узлов.

По сравнению с традиционными станками гексаподы имеют в 5-10 раз большую жесткость и повышенную в 2-3 раза точность. Наиболее вероятные области их использования: обработка литейных форм и матриц, лопаток турбин и других деталей с пространственно-сложной формой; шлифование и заточка режущих инструментов с пространственным профилем; автоматическая сборка и сварка; лазерная, плазменная и струйная обработка; обработка кристаллов и ювелирных изделий.

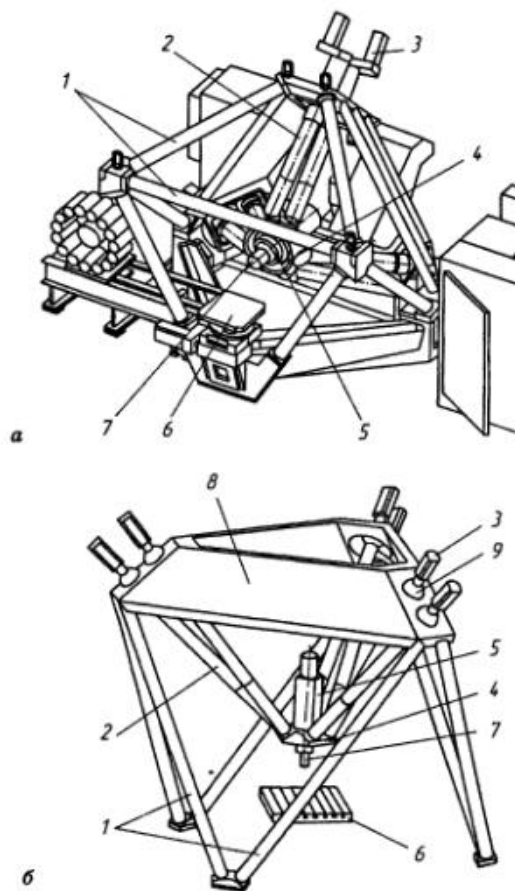


Рисунок 9.1 - Структуры гексаподов с горизонтальной (а) и вертикальной (б) осями вращения шпинделя фирмы «Ingersolb»: 1 — несущая конструкция; 2 — рычаг управляемой длины; 3 —

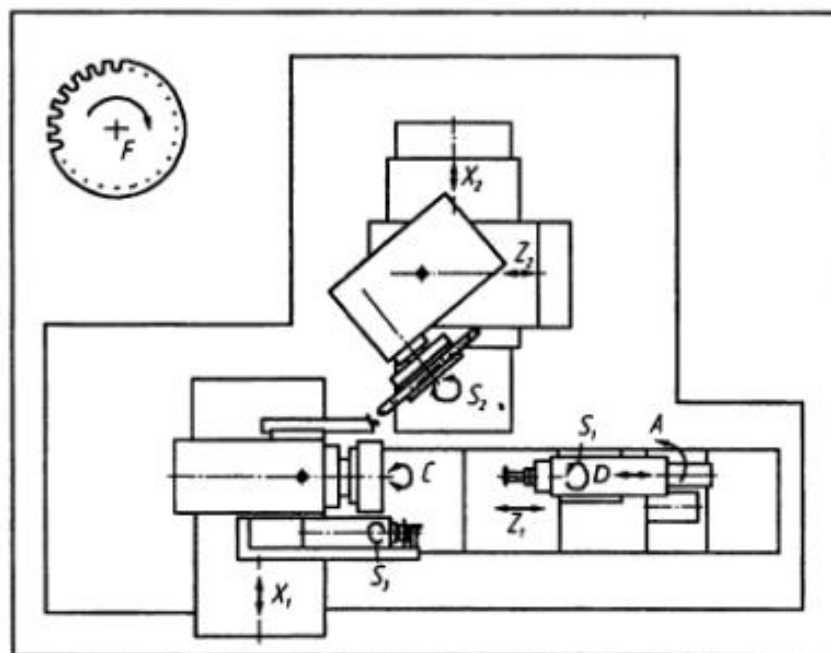
двигатель; 4 — рабочая платформа; 5 — электрошпиндель; 6 — рабочий стол; 7 — режущий инструмент; 8 — каркас; 9 — шарнир

ШЛИФОВАЛЬНЫЕ СТАНКИ С ЧПУ

Современные шлифовальные станки с ЧПУ по сравнению с традиционными шлифовальными станками претерпели следующие изменения:

- 1) все линейные перемещения осуществляются с помощью шарико-винтовых пар с приводом от двигателей постоянного тока;
- 2) правка круга выполняется алмазным карандашом или роликом с управлением от системы ЧПУ;
- 3) используются ультразвуковые датчики для точного подвода круга к детали после быстрого перемещения; длина трассы перехода к рабочей подаче составляет 0,25 мкм;
- 4) широко применяются новые конструкционные материалы для изготовления направляющих и базовых деталей (пластмассы, искусственные граниты и т.п.);
- 5) имеются устройства динамической балансировки шлифовального круга вместе с планшайбой, системы измерения и контроля; это исключает влияние на процесс обработки таких факторов, как износ шлифовального круга, возникновение колебаний, тепловые и механические деформации узлов станка и т.п., обеспечивает требуемую точность обработки и шероховатость обработанной поверхности;
- 6) имеются магазины со шлифовальными кругами и устройствами для их правки;
- 7) расширен диапазон режимов шлифования, что позволяет в ходе одного и того же цикла обработки использовать различные виды шлифования — от глубинного до прецизионного.

Схема шлифовального станка для обработки наружных, внутренних и торцовых поверхностей показана на рис. 10.1.



УСТРОЙСТВА ДЛЯ ЗАМЕНЫ ДЕТАЛЕЙ И РЕЖУЩИХ ИНСТРУМЕНТОВ

Надежное транспортирование стружки из рабочей зоны в условиях работы ГПС является важной Задачей. С этой целью стремятся прежде всего обеспечить формирование раздробленной стружки в виде сравнительно мелких элементов. Такая форма стружки достигается при использовании правильно подобранной формы передней поверхности инструмента либо принудительным стружкодроблением путем корректировки управляющей программы или использования специальных устройств

Раздробленная стружка падает на поддон станка, откуда удаляется с помощью транспортеров различных конструкций (рисунок 11.1).

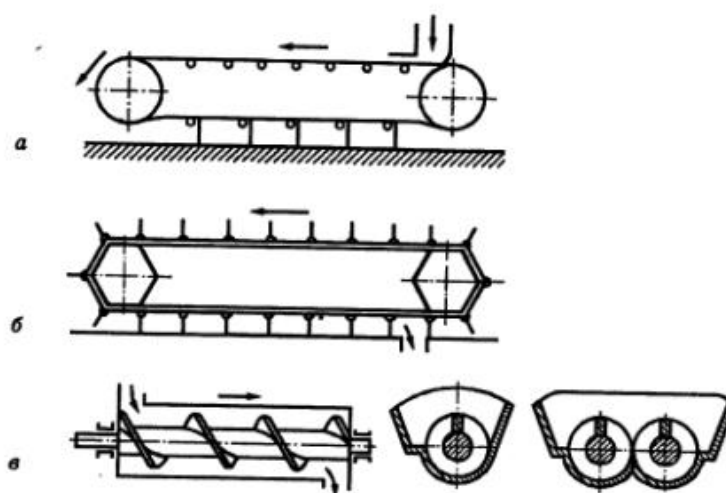


Рисунок 11.1 - Транспортеры для удаления стружки из рабочей зоны: а — ленточный; б — скребковый; в — шнековый с одним и двумя шнеками

ОСНОВЫ УПРАВЛЕНИЯ ТОЧНОСТЬЮ ОБРАБОТКИ В ГПС

1.35. Требования к деталям, обрабатываемым в ГПС механообработки

В целом требования к конструкции и к чертежам деталей, обрабатываемых в ГПС соответствуют аналогичным требованиям, предъявляемым при проектировании обработки деталей на станках с ЧПУ. В основу этих требований положены два принципа:

- обеспечение нормальных условий механической обработки резанием в автоматическом цикле;
- удобство программирования обработки.

Для деталей, обрабатываемых в ГПС, необходимо также обеспечить возможность автоматического выполнения загрузки, транспортирования и других вспомогательных переходов. Добавляется и ряд новых специфических требований.

Детали, обрабатываемые в ГПС, должны иметь:

- сходство материалов, конструктивно-геометрических параметров и технологических операций;
- явно выраженные базы и признаки ориентации.

Конструкция деталей должна обеспечивать возможность выполнения как можно большего числа переходов за одну установку. Для деталей, не имеющих конструктивных отверстий и элементов, которые могли бы служить базами, необходимо вводить технологические отверстия и жестко увязывать их к конструктивными элементами.

Следует четко отделять обрабатываемые поверхности от необрабатываемых, предусматривая выступы.

Класс точности обработки не должен превышать точность, обеспечиваемую станками с ЧПУ. Координаты всех элементов, в том числе отверстий следует задавать в прямоугольной системе. Размеры, определяющие взаимное расположение обрабатываемых поверхностей нужно задавать от базовой поверхности.

Нежелательны резьбовые отверстия менее М6. Недопустима обработка больших торцов отверстий с обратной стороны стенок детали. Сопряжения обрабатываемых поверхностей целесообразно выполнять с одинаковыми радиусами по всему контуру, при чем как внутреннему, так и наружному.

Твердость заготовок должна колебаться в небольших пределах.

1.36. Обоснование необходимости управления процессом достижения требуемой точности в ГПС

В ГПС применяется большое число разнообразного взаимозаменяемого вспомогательного инструмента и взаимозаменяемой технологической оснастки: спутников, зажимных приспособлений, адаптеров. Несмотря на высокую точность изготовления, наличие большого количества оснастки приводит к образованию длинных и разветвленных размерных связей и, как следствие к большим погрешностям обработки. Суммарная величина этих погрешностей может достигать величины 0,08 - 0,1 мм, что в несколько раз превышает погрешность позиционирования рабочих органов станка, равную 0,01 - 0,03 мм и установленные на обработку допуски линейных и диаметральных размеров (0,03...0,05 мм).

В этих условиях необходимо производить подналадку оборудования по результатам выполнения первых проходов или обработки первых деталей. Это приводит к потере производительности и дополнительными затратам труда высококвалифицированного наладчика-оператора. Кроме того, теряется смысл организации ГПС, поскольку она в этом случае не позволяет обеспечивать требуемую точность обработки в автоматическом режиме.

Чтобы исключить постоянные подналадки можно предъявлять более жесткие требования к точности применяемой контрольно-измерительной и технологической оснастки, к режущему и вспомогательному инструменту. Но это значительно повышает затраты на их изготовление и эксплуатацию.

Таким образом, в ГПС необходимо автоматически управлять процессом достижения требуемой точности с помощью специальных систем. Реализацию этого направления можно рассмотреть на примере обработки корпусной детали на вертикальном многоцелевом станке (МЦС) с ЧПУ.

1.37. Координатные системы МЦС с ЧПУ и этапы достижения точности при обработке.

Технологическая система МЦС с ЧПУ (рисунке 12.1) представляет собой совокупность нескольких координатных систем (КС).

Σ_c - КС станка; физически она представлена перемещениями рабочих органов по трем взаимно перпендикулярным направлениям. Начало отсчета (нуль станка) - точка с нулевыми значениями перемещений рабочих органов. С помощью системы ЧПУ начало отсчета может быть перенесено в любую точку рабочего пространства станка (плавающий нуль).

Σ_d - КС детали, физически она представлена комплектом технологических баз детали. Относительно нее задаются и в большинстве случаев выдерживаются все размеры обрабатываемых поверхностей.

$\Sigma_{пп}$ - КС позиционного приспособления; физически она представлена комплектом исполнительных поверхностей для базирования спутника.

$\Sigma_{сп}$ и Σ_a - КС спутника и адаптера; физически они представлены комплектом их основных баз.

Σ_i - КС инструмента; она построена на его режущих кромках.

$\Sigma_{ит}$ - исходная (нулевая) система отсчета координатных перемещений рабочих органов станка. Начало этой КС называется исходной точкой (ИТ). От нее отсчитывается величина запрограммированного перемещения инструмента или детали. Положение ИТ фиксируется на этапе статической настройки.

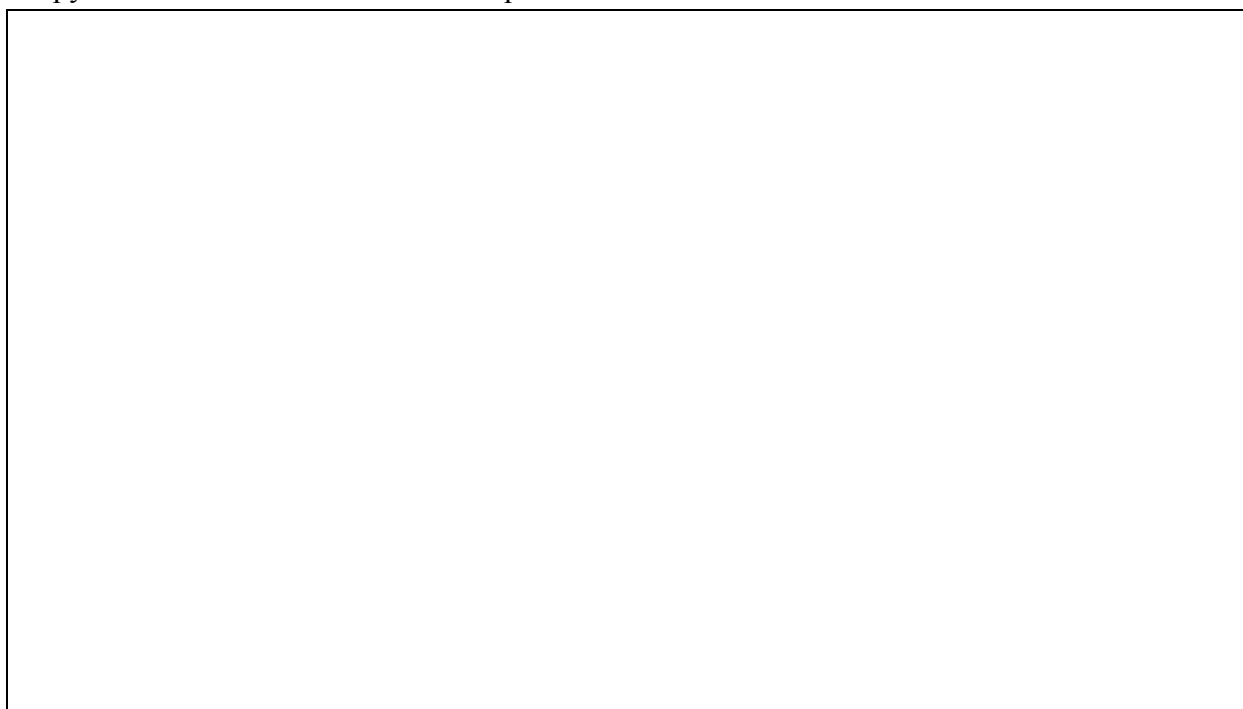


Рисунок 12.1 - Координатные системы МЦС с ЧПУ

Для осуществления процесса обработки с заданной точностью между указанными системами координат должны быть установлены требуемые размерные связи. Как известно, процесс достижения точности при обработке состоит из трех отдельных связанных этапов:

- 1). Установка обрабатываемой заготовки.
- 2). Статическая настройка технологической системы.
- 3). Динамическая настройка технологической системы.

На каждом этапе формируются свои размерные связи, причем выдерживаемый при обработке окончательный размер $A\Delta$ является замыкающим звеном размерной цепи:

$$\bar{A}\Delta = \bar{A}Y + \bar{A}C + \bar{A}D,$$

где: $\bar{A}Y$, $\bar{A}C$, $\bar{A}D$ - соответственно размеры установки, статической и динамической настройки.

Для обеспечения требуемой точности при обработке детали в ГПС необходимые размерные связи должны устанавливаться автоматически. Рассмотрим, как это осуществляется при торцовом фрезеровании корпусной детали на МЦС с ЧПУ по вертикальной оси - координате Z .

1.38. Формирование размерных связей, определяющих точность обработки на МЦС с ЧПУ

Фрезерование плоскости Π осуществляется на вертикальном МЦС с ЧПУ (рисунке 12.2) в размер $A\Delta(Z)$, который формируется по координате Z .

Обработка выполняется при установке заготовки - 1 на спутнике - 3 через адаптер (или зажимное приспособление) - 2. Спутник - 3 установлен в позиционное приспособление - 4, которое соответствующим образом закреплено на столе станка - 5 и составляет с ним единое целое. Инструмент предварительно настроен на оптическом приборе и устанавливается в шпиндель автоматически из инструментального магазина.

Значение размера $A\Delta(Z)$ определяется размерной цепью "А" (рисунке 12.2,а):

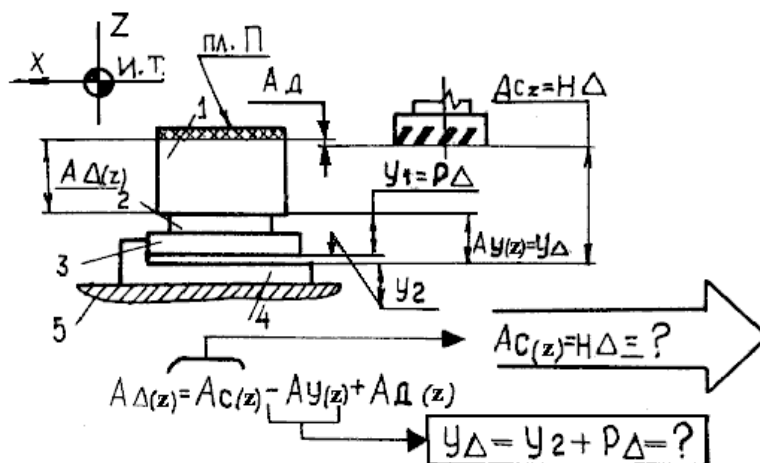
$$A\Delta(Z) = AC(Z) - AY(Z) + AD(Z).$$

Составляющие звенья $AC(Z)$ и $AY(Z)$ цепи "А" формируются в результате нескольких последовательных этапов.

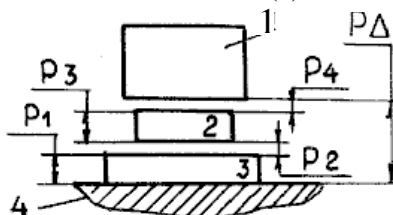
Формирование размера $AY(Z)$ осуществляется на этапе установки спутника с деталью на станок (рисунке 12.2, а), в процессе которого определяется положение технологических баз детали в системе координат станка. На рисунке это представлено размерной цепью "У". Решение указанной задачи, в свою очередь, осуществляется в два этапа.

На первом этапе производится установка детали на спутник (рисунке 12.2,б) и решается задача определения положения технологической базы детали относительно основной базы спутника - (размерная цепь "Р"). На втором этапе спутник с деталью устанавливается на позиционное приспособление станка (рисунке 12.2, а). При этом решается задача совмещения основной базы спутника с установочной поверхностью позиционного приспособления (звено "У2"). В результате технологическая база детали занимает в системе координат станка положение, определяемое размером:

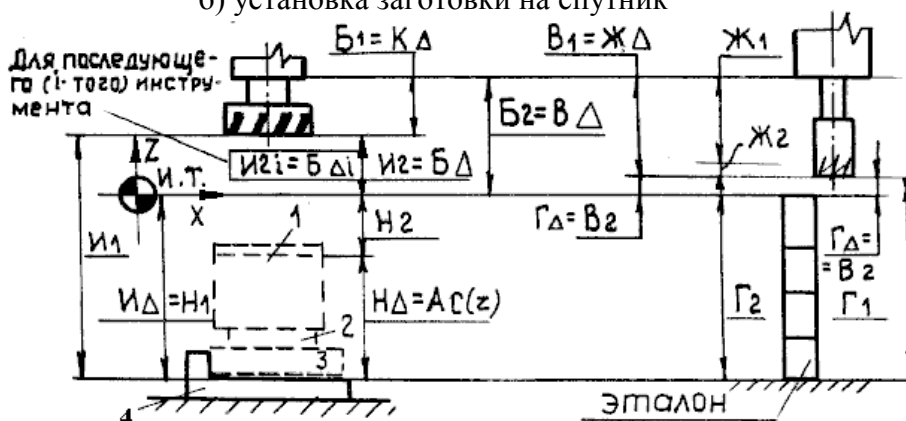
$$Y\Delta = AY(Z).$$



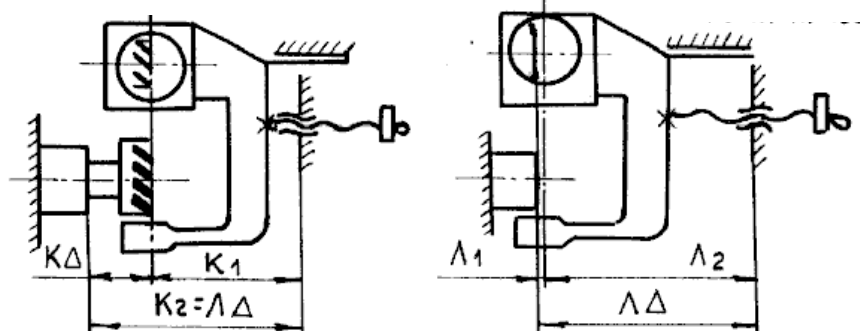
а) выход инструмента на размер $A_{\Delta(z)}$



б) установка заготовки на спутник



в) настройка начала отсчета (ИТ)



г) измерение вылета инструмента д) настройка прибора

Рисунок 12.2 - . Схема формирования размерных связей по координате Z при обработке детали на вертикальном МЦС с ЧПУ

Таким образом,

$$A_{y(z)} = Y_{\Delta};$$

$$Y_{\Delta} = Y_2 + P_{\Delta};$$

$$\mathbf{P}_{\Delta} = \mathbf{P}_1 + \mathbf{P}_2 + \mathbf{P}_3 + \mathbf{P}_4.$$

Формирование размера $\mathbf{A}_{C(z)}$ осуществляется в процессе размерной настройки станка и при работе фрезы по программе, в результате чего определяется положение режущих кромок инструмента в системе координат станка (рисунке 12.2, в) относительно установочной плоскости позиционного приспособления (размерная цепь “**Н**”), то есть:

$$\mathbf{A}_{C(z)} = \mathbf{H}_{\Delta} = \mathbf{H}_1 - \mathbf{H}_2,$$

где: \mathbf{H}_1 - размер, определяющий положение исходной точки относительно установочной плоскости позиционного приспособления;

\mathbf{H}_2 - размер, определяющий перемещение фрезы по программе.

Решение этой задачи, в свою очередь, осуществляется в три этапа.

На первом этапе производится настройка положения нуля отсчета программных перемещений исходной точки (ИТ) с помощью эталона (размерная цепь “**Г**”), то есть:

$$\mathbf{Г}_{\Delta} = \mathbf{Г}_1 - \mathbf{Г}_2.$$

Инструмент, участвующий в реализации этого этапа, установлен в шпинделе станка. Он, естественно, имеет погрешность установки, обусловленную точностью изготовления держателя инструмента (оправки) и колебаниями усилия закрепления, что учитывается размерной цепью “**Ж**”:

$$\mathbf{Ж}_{\Delta} = \mathbf{Ж}_1 + \mathbf{Ж}_2.$$

Замыкающие звенья “**Г**_Δ” и “**Ж**_Δ” входят составляющими звеньями в размерную цепь “**В**”, определяющую положение торца шпинделя станка относительно ИТ, то есть:

$$\mathbf{В}_{\Delta} = \mathbf{В}_1 + \mathbf{В}_2;$$

$$\mathbf{В}_1 = \mathbf{Ж}_{\Delta}; \quad \mathbf{В}_2 = \mathbf{Г}_{\Delta}.$$

На втором этапе определяется положение режущих кромок торцевой фрезы, установленной в шпиндель, относительно ИТ. Положение определяется размерной цепью “**Б**”, куда замыкающее звено $\mathbf{В}_{\Delta}$ входит в качестве составляющего:

$$\mathbf{Б}_{\Delta} = \mathbf{Б}_2 - \mathbf{Б}_1;$$

$$\mathbf{Б}_2 = \mathbf{В}_{\Delta};$$

$$\mathbf{Б}_{\Delta} = \mathbf{И}_2.$$

В свою очередь, размер $\mathbf{Б}_1$, характеризующий вылет торцевой фрезы относительно торца шпинделя определяется на оптическом приборе вне станка.

Размерные связи, возникающие при настройке вылета фрезы, отражаются размерными цепями “**К**” и “**Л**” (рисунке 12.2,г,д), то есть:

$$\mathbf{Б}_1 = \mathbf{К}_{\Delta};$$

$$\mathbf{К}_{\Delta} = -\mathbf{К}_1 + \mathbf{К}_2;$$

$$\begin{aligned} \mathbf{K}_1 &= \mathbf{L}_\Delta ; \\ \mathbf{L}_\Delta &= \mathbf{L}_1 + \mathbf{L}_2. \end{aligned}$$

Положение ИТ для торцевой фрезы относительно установочной плоскости позиционного приспособления - **4**, на который в дальнейшем устанавливается спутник - **3** с адаптером - **2**, несущим заготовку (рисунке 12.2,в) определяется размерной цепью “**И**”, куда замыкающее звено **B**_Δ входит как составляющее звено:

$$\begin{aligned} \mathbf{I}_\Delta &= \mathbf{I}_1 - \mathbf{I}_2; \\ \mathbf{I}_2 &= \mathbf{B}_\Delta ; \\ \mathbf{I}_\Delta &= \mathbf{H}_1. \end{aligned}$$

На третьем этапе осуществляется программируемый вывод режущих кромок настроенного инструмента в координату **H**₂, заданную управляющей программой относительно ИТ. Торцевая фреза устанавливается приводами станка на размер **A**_{C(z)}:

$$\begin{aligned} \mathbf{A}_{C(z)} &= \mathbf{H}_\Delta ; \\ \mathbf{H}_\Delta &= \mathbf{H}_1 - \mathbf{H}_2. \end{aligned}$$

Формирование размера **A**_Δ (z) может быть структурно представлено системой размерных цепей, показанных в таблице 8. Структура этой системы уравнений подчеркивает многоэтапность формирования размера **A**_Δ (z) и позволяет установить определенную закономерность, заключающуюся в том, что замыкающее звено каждого предшествующего этапа входит составляющим звеном в размерную цепь последующего этапа. А это говорит о том, что мы имеем дело в данном случае с процессом накопления погрешностей.

Таблица 8 - Формирование размера $A_{\Delta(z)}$ на вертикальном МЦС с ЧПУ

ЭТАПЫ	РАЗМЕРНЫЕ СВЯЗИ	ОЧЕРЕДНОСТЬ
Установка заготовки на спутник	$P_{\Delta} = P_1 + P_2 + P_3 + P_4$	8
Установка спутника на станок	$Y_{\Delta} = Y_1 + Y_2$	9
обработка (получение размера до базы при фрезеровании – координата вертикального МЦС)	$A_{\Delta(z)} = A_{D(z)} + A_{C(z)} - A_{Y(z)}$	11
Программируемый выход инструмента на размер статической настройки	$H_{\Delta} = H_1 - H_2$	10
Фактический вылет инструмента	$I_{\Delta} = I_1 - I_2$	7
Определение коррекции системой ЧПУ	$B_{\Delta} = -B_1 + B_2$	6
Настройка инструмента	$K_{\Delta} = K_2 - K_1$	2
Настройка прибора	$L_{\Delta} = L_1 + L_2$	1
Введение коррекции в систему ЧПУ	$V_{\Delta} = V_2 - V_1 = V_{\Delta}$	5
Установка инструмента в шпиндель станка	$J_{\Delta} = J_1 + J_2$	3
Материализация исходной точки	$\Gamma_{\Delta} = \Gamma_1 - \Gamma_2$	4

1.39. Процесс накопления погрешностей обработки на вертикальном МЦС с ЧПУ

Процесс накопления погрешностей при обработке детали на вертикальном МЦС с ЧПУ можно условно представить схемой (рисунок 12.3). Из приведенной схемы накопления погрешностей следует, что в структуре погрешности размера статической настройки $\omega_{Ac(z)}$ можно выделить три группы составляющих:

- 1). Погрешность настройки начала (ИТ) отсчета - $\omega_{нно}$;
- 2). Погрешность настройки инструмента - $\omega_{ни}$;
- 3). Погрешность позиционирования рабочего органа - $\omega_{поз}$.

В структуре погрешности размера установки $\omega_{Ay(z)}$ имеют место две группы составляющих:

- 1). Погрешность установки заготовки на спутник - $\omega_{з-сп}$;
- 2). Погрешность установки спутника на позиционное приспособление - $\omega_{сп-п}$.

Суммарная ожидаемая погрешность $\omega_{A\Delta(z)}$ равна:

$$\overline{\omega_{A\Delta(z)}} = \overline{\omega_{Ay(z)}} + \overline{\omega_{Ac(z)}} + \overline{\omega_{A\Delta(z)}}$$

где: $\overline{\omega_{A\Delta(z)}}$, $\overline{\omega_{Ay(z)}}$, $\overline{\omega_{Ac(z)}}$, $\overline{\omega_{A\Delta(z)}}$ - соответственно погрешности размеров детали, установки, статистической и динамической настройки по координате Z .

Учитывая вероятностный характер появления указанных выше погрешностей, можем записать:

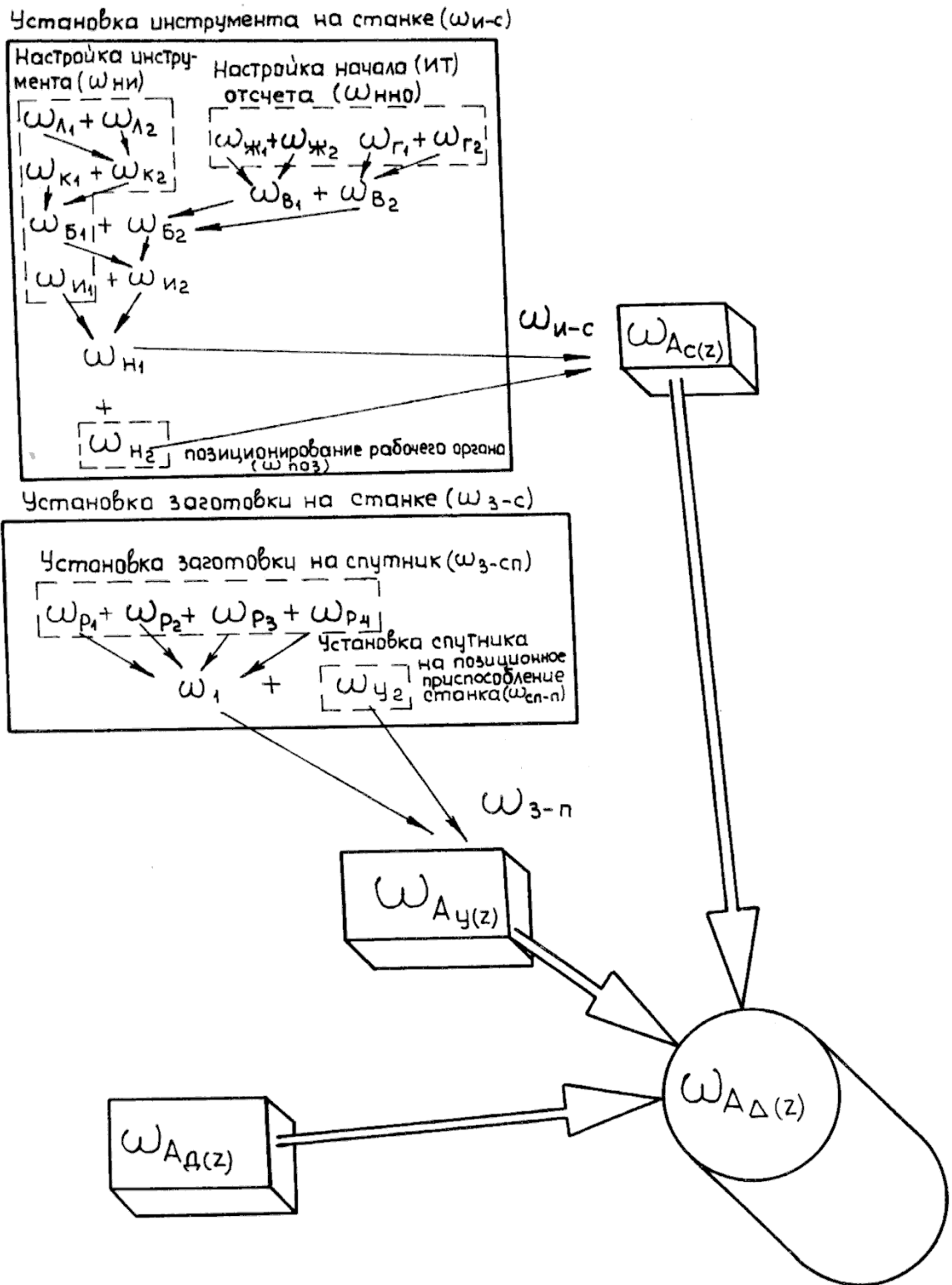


Рисунок 12.3 - Схема накопления погрешностей обработки по размеру $A_{\Delta}(z)$.

Поскольку все составляющие погрешности являются случайными величинами, то для определения суммарных погрешностей $\omega_{Ay(z)}$ и $\omega_{Ac(z)}$ их надо суммировать вероятностным способом:

$$\boxed{\hspace{15em}} \quad (2)$$

$$\boxed{\hspace{15em}} \quad (3)$$

Физический смысл составляющих погрешностей $\omega_{Ay(z)}$ и $\omega_{Ac(z)}$ приведен в таблице 9.

Таблица 9 - Физический смысл составляющих погрешностей $\omega_{Ay(z)}$ и $\omega_{Ac(z)}$.

№ n/n	Обозначение погрешности	Физический смысл погрешности
1	ω_{P1}	Погрешность (допуск) изготовления спутника ($\omega_{СП}$)
2	ω_{P2}	Погрешность установки (базирования и закрепления) адаптера на спутник ($\omega_{А-СП}$)
3	ω_{P3}	Погрешность (допуск) изготовления адаптера ($\omega_{А}$)
4	ω_{P4}	Погрешность установки заготовки на адаптер ($\omega_{З-А}$)
5	ω_{y2}	Погрешность установки спутника на позиционное приспособление ($\omega_{СП-П}$)
6	ω_{L1}	Погрешность совмещения имитатора торца шпинделя на приборе для настройки с оптическим перекрестием окуляра
7	ω_{L2}	Погрешность прибора для настройки инструмента
8	ω_{K1}	Погрешность настройки вылета (длины) инструмента
9	$\omega_{Ж1}$	Погрешность, характеризующая возможное смещение концевых оправок в продольном (осевом) направлении при установке в гнездо шпинделя
10	$\omega_{Ж2}$	Погрешность, характеризующая возможное смещение концевых оправок, установленных в гнездо шпинделя, при их

		зажиме
11	$\omega_{Г1}$	Погрешность установки инструмента по щупу
12	$\omega_{Г2}$	Погрешность (допуск) изготовления эталона
13	$\omega_{И1}$	Погрешность установки рабочего органа по настраиваемой координате (Z)
14	$\omega_{И2}$	Погрешность позиционирования по координате Z

1.40. Количественная оценка погрешностей обработки на вертикальном МЦС с ЧПУ

Произведем количественную оценку возникающих погрешностей обработки на примере вертикального МЦС с ЧПУ модели 743 ВМФ2, имеющего погрешность позиционирования по оси **Z** - $\omega_{И2} = 0,016$ мм.

Погрешность динамической настройки в условиях чистовой обработки примем $\omega_{Ад(z)} = 0,005$ мм (по данным ЭНИМС).

Точность изготовления технологической оснастки примем по 6 качеству в соответствии с отраслевыми нормами $\omega_A = \omega_{СП} = 0,02 - 0,04$ мм.

При использовании указанной оснастки величины ω_{P2} , ω_{P4} , ω_{y2} зависят от принятой схемы базирования, конструктивных особенностей заготовки, способа приложения силового замыкания и находятся (по данным ЭНИМС) в пределах 0,005 - 0,03 мм. Остальные необходимые данные возьмем на основе имеющихся статистических и производственных данных.

Количественная оценка погрешностей $\omega_{Ay(z)}$, $\omega_{Ac(z)}$ и $\omega_{A\Delta(z)}$ приведена в таблице 10.

Таблица 10 - Количественная оценка погрешностей обработки на вертикальном МЦС.

№ п/п	Погрешность	Величина составляющей погрешности
1	установки $\omega_{Ay(z)}$	Принимаем: $\omega_{P1} = \omega_{СП} = 0,02$ мм; $\omega_{P2} = \omega_{A-СП} = 0,015$ мм; $\omega_{P3} =$ $\omega_A = 0,02$ мм; $\omega_{P4} = \omega_{3-A} = 0,015$ мм; $\omega_{y2} = \omega_{СП-П} = 0,015$ мм; <div style="border: 1px solid black; height: 20px; width: 50%; margin: 5px 0;"></div> <div style="border: 1px solid black; height: 20px; width: 50%; margin: 5px 0;"></div>

2	статической настройки $\omega_{Ac(z)}$	Принимаем $\omega_{Л1} = 0,005$ мм; $\omega_{Л2} = 0,003$ мм; $\omega_{К1} = 0,028$ мм; $\omega_{Ж1} = 0,043$ мм; $\omega_{Ж2} = 0,036$ мм; $\omega_{Г1} = 0,02$ мм; $\omega_{Г2} = 0,005$ мм; $\omega_{И1} = 0,023$ мм; $\omega_{И2} = 0,016$ мм;
3	динамической настройки $\omega_{Ad(z)}$	Принимаем $\omega_{Ad(z)} = 0,005$ мм (по данным ЭНИМС)
4	суммарная $\omega_{\Delta(z)}$	<input type="text"/> = <input type="text"/>

Аналогичные размерные связи с последующей количественной оценкой ожидаемой точности обработки могут быть построены для координатных направлений **X** и **Y**.

Итоговые данные ожидаемой точности обработки линейных размеров по всем осям координат на вертикальном МЦС с ЧПУ приведены в таблице 11. В таблице 12 приведены (по данным Мосстанкина) основные усредненные параметры точности, которые должны быть выдержаны при обработке в машиностроении большинства (порядка 80 - 85%) корпусных деталей. Из сравнения таблиц 11 и 12 следует, что требуемые параметры точности линейных размеров корпусных деталей не обеспечиваются при обработке их на рассмотренном МЦС с ЧПУ.

Таблица 11 - Ожидаемая точность обработки линейных размеров на вертикальном МЦС с ЧПУ.

Погрешность	Направление выдерживаемого размера		
	Z	X,Y	X-Y
$\omega_{\Delta(z)}$, мм	0,082	0,07	0,1
$\omega_{Ac(z)}$, мм	0,072	0,06	0,084
$\omega_{Ay(z)}$, мм	0,038	0,035	0,049
$\omega_{Ad(z)}$, мм	0,005	0,005	0,007

Таблица 12 - Основные параметры точности корпусных деталей машиностроения

№ пп	Параметр	Требуемая точность параметра, мм
1.	Расстояние между плоской поверхностью и технологической базой детали	0,03 -0,05
2.	Расстояние между плоскими поверхностями: на одной стороне детали на противоположных сторонах детали	0,03 - 0,05 не более 0,05
3.	Расстояние между осью растачиваемого отверстия и технологической (конструкторской) базой детали	0,05
4.	Расстояния между осями растачиваемых отверстий	0,05

1.41. Размерные связи и процесс образования погрешностей диаметральных размеров при растачивании отверстий на МЦС. Количественная оценка возможной точности обработки

Особенностью растачивания отверстий в корпусных деталях на многоцелевых станках (МЦС) является применение взаимозаменяемых консольных расточных оправок, настройка которых производится на оптических приборах вне станка.

Формирование диаметра расточного отверстия (рис. 12.4, а) D_{Δ} определяется размерной цепью “А”:

$$D_{\Delta} = 2 \cdot A_{\Delta};$$

$$A_{\Delta} = R_{\Delta};$$

$$A_{\Delta} = A_1 + A_2 + A_3,$$

где: A_1 - размер настройки инструмента на приборе;

A_2 - размер установки конуса оправки в шпинделе;

A_3 - биение посадочного конуса.

Размер A_1 будет формироваться в ходе выполнения двух следующих друг за другом этапов: настройка прибора и настройка инструмента.

При настройке инструмента

$$A_1 = B_{\Delta} = \Sigma B_i = B_1 + \dots + B_i,$$

где: B_i - звенья размерной цепи “В”, определяющей настройку инструмента.

При настройке прибора:

$$B_1 = V_{\Delta} = \Sigma V_i,$$

где: V_i - звенья размерной цепи “В”, определяющей настройку прибора.

Рассмотрим структурные размерные связи образования диаметрального размера при растачивании. Можно отметить, что принципиально этот процесс ничем не отличается от ранее рассмотренных процессов образования линейных размеров. В

результате выполнения вышеназванных этапов настройки, на каждом из них возникают погрешности (таблица 13), которые являются составляющими для накопленной погрешности диаметрального размера. Учитывая это обстоятельство структура накопления погрешностей по размеру A_{Δ} будет иметь следующий вид:

$$\overline{\omega}_{A\Delta} = \overline{\omega}_{R\Delta} = \overline{\omega}_{A1} + \overline{\omega}_{A2} + \overline{\omega}_{A3};$$

$$\overline{\omega}_{A1} = \overline{\omega}_{B\Delta} = \overline{\omega}_{B1} + \dots + \dots + \overline{\omega}_{Bi};$$

$$\overline{\omega}_{B1} = \overline{\omega}_{B\Delta} = \overline{\omega}_{B1} + \dots + \dots + \overline{\omega}_{Bi}.$$

Если произвести количественную оценку суммарной погрешности диаметрального размера, то она будет равна:

$$\omega_{A\Delta} = \omega_{R\Delta} = 0,043 \text{ мм};$$

$$\omega_{D\Delta} = 2\omega_{R\Delta} = 0,086 \text{ мм}.$$

Полученная точность даже без учета погрешности динамической настройки не удовлетворяет техническим условиям на обработку корпусных деталей, поскольку диаметральные размеры основных отверстий задаются как правило по 7-8 квалитетам точности (для отверстий диаметром $\varnothing 30 \dots 100 \text{ мм}$ ТН7 = 0,021...0,035мм, ТН8 = 0,033...0,054мм).

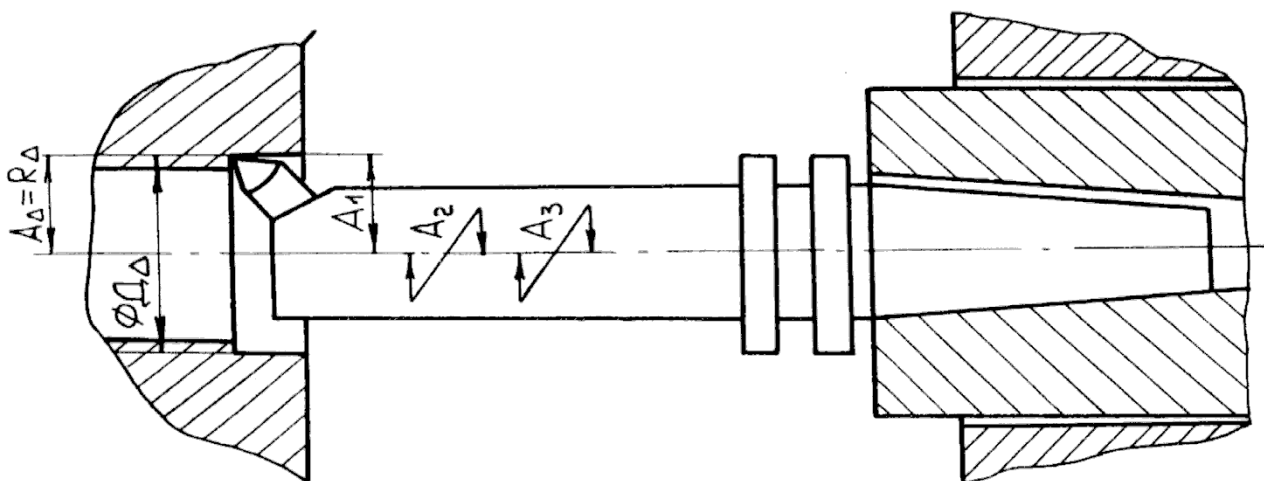
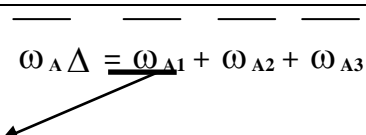
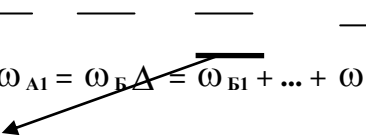
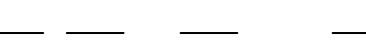


Рисунок 12.4 - . Накопление погрешностей при растачивании отверстий на МЦС с ЧПУ

Принимая во внимание результаты расчета, можно объяснить тот факт, что обработка точных отверстий на станках с ЧПУ выполняется обычно мерным инструментом, а расточные оправки и борштанги используются, как правило, для предварительной и получистовой обработки. Следовательно, работать взаимозаменяемым расточным инструментом в условиях ГПС и добиваться при этом высокой точности не представляется возможным. Поэтому необходимы другие способы настройки с целью получения высокой точности диаметральных размеров.

Таблица 13 - Формирование размерных связей, определяющих точность диаметрального размера растачиваемого отверстия.

Этап	Размерные связи	Очередность этапа
Установка инструмента в шпиндель станка	$\omega_{\Delta} \Delta = \omega_{\Delta 1} + \omega_{\Delta 2} + \omega_{\Delta 3}$ 	3
Настройка инструмента	$\omega_{\Delta 1} = \omega_{\Delta} \Delta = \omega_{\Delta 1} + \dots + \omega_{\Delta i}$ 	2
Настройка прибора	$\omega_{\Delta 1} = \omega_{\Delta} \Delta = \omega_{\Delta 1} + \dots + \omega_{\Delta i}$ 	1

1.42. Формирование размера динамической настройки

Причиной появления размера динамической настройки A_d являются упругие перемещения технологической системы под действием силы резания. В первом приближении для определения размера динамической настройки необходимо знать жесткость технологической системы j и действующее усилие резания P_y , направленное по нормали к обрабатываемой поверхности:



С точки зрения точности отрицательным фактором является колебание размера A_d , то есть наличие погрешности ω_{A_d} . На колебание размера динамической настройки ω_{A_d} наиболее сильное влияние оказывают такие случайные факторы, как колебания припуска и твердости материала заготовок, а так же затупление режущего инструмента.

Изменение размера динамической настройки A_d в зависимости от колебания припуска заготовки $\Delta_{заг}$ и твердости материала заготовки ΔC_p можно определить по формулам:

$$\left[\text{Box} \right]; \left[\text{Box} \right],$$

где: t - глубина резания, мм;

S - подача, мм;

C_p - коэффициент, учитывающий твердость материала заготовки;

q - коэффициент, учитывающий другие условия обработки;

λ - коэффициент, учитывающий отношение нормальной составляющей P_y к общей силе резания.

Как следует из приведенных формул точность заготовок в значительной степени определяет колебание размера динамической настройки. Точность заготовок, в свою очередь, непосредственно зависит от метода их получения. В условиях единичного и мелкосерийного производства, на долю которого приходится примерно 70-75% всей продукции машиностроения, методы получения заготовок отличаются сравнительно

невысокой точностью (литье в песчаные формы, свободная ковка в подкладных штампах, горячая штамповка в открытых штампах и др.). Допускаемые отклонения на размеры отливок из чугуна, стали, цветных металлов и сплавов в разовые формы, регламентированные ГОСТ, составляют 2-6мм для деталей средних размеров и 10-20мм - для крупногабаритных деталей. Допуски на изготовление поковок, получаемых ковкой в подкладных штампах согласно ГОСТ составляют 2-12мм и более в зависимости от размера заготовок.

Сильное влияние на точность обработки оказывает колебание твердости обрабатываемого материала. Так, согласно проведенным исследованиям рассеивание твердости материала иногда достигает 30-40% от среднего значения твердости в пределах одной партии и до 17-25% на одной детали.

При использовании обычных станков с ЧПУ для уменьшения погрешности $\omega_{\text{Ад}}$ используют традиционные пути:

1. Обработка в несколько проходов.
2. Обработка на заниженных режимах.
3. Ручной ввод коррекции в УП оператором.
4. Увеличение жесткости технологической системы.

Первые три пути связаны с потерей производительности обработки, а последний - с удорожанием станка.

Автоматический процесс обработки в ГПС исключает непосредственное участие рабочего в его выполнении и корректировке. Следовательно на станке с ЧПУ, работающем в ГПС компенсация колебания размера динамической настройки должна осуществляться автоматически.

1.43. Погрешность позиционирования. Управление погрешностями станка с ЧПУ

Погрешность позиционирования не следует отождествлять с разрешающей способностью системы ЧПУ станка. Последняя определяет то минимальное расстояние (Δl), которое может быть задано и соответственно отработано рабочими органами станка. Погрешность позиционирования $\omega_{\text{поз}}$ характеризует практически достигаемую точность выхода рабочего органа в заданную управляющей программой точку позиционирования. Как правило, погрешность позиционирования $\omega_{\text{поз}}$ в несколько раз (2-4) превышает разрешающую способность станка Δl .

Прежде всего выделим место указанной погрешности в общей структуре основных погрешностей станка с ЧПУ (рис. 11.1).

Из схемы следует, что общая погрешность позиционирования станка с ЧПУ включает в себя следующие составляющие погрешности:

1. Систематические погрешности позиционирования, обусловленные неточностью изготовления ходовых винтов, приводящих в движение рабочие органы станка, и погрешностями датчиков позиционирования, осуществляющих задание положения и контроль перемещения рабочих органов.



Случайные погрешности

ПОГРЕШНОСТИ СТАНКА

Систематические погрешности

Тепловые деформации

Динамические деформации, вибрации

Статическая деформация под изменяющейся нагрузкой

Позиционный разброс

Погрешность датчика позиционирования

Систематическая погрешность позиционирования

Геометрические неточности

Статические деформации под постоянной нагрузкой

Погрешности позиционирования

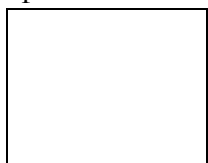
Рисунок 12.5 - Структура погрешностей станка с ЧПУ

2. Случайную погрешность в виде позиционного разброса, обусловленную неодинаковым позиционированием рабочего органа при его нескольких повторяющихся выходах в одну и ту же заданную программой координату.

В целом погрешность позиционирования представляет собой суммарную накопленную погрешность приводов станка.

Наличие погрешности позиционирования приводит к тому, что при нескольких последовательно осуществляемых в одном и том же координатном направлении (например положительном) позиционированиях рабочего органа в произвольной точке А он может занять любое положение в пределах $6S$ (рисунок 12.6).

Средняя погрешность позиционирования определяется как среднее арифметическое погрешностей X_i по n позиционированиям:

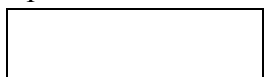


Разброс погрешности (рассеивание) определяется среднеквадратичным отклонением:



Если рабочий орган будет приближаться (двигаться) к точке позиционирования с другой стороны (в отрицательном направлении - « \downarrow »), то соответствующая этому направлению движения кривая распределения погрешности позиционирования будет смещена относительно первой кривой, как показано на рисунке 12.7.

Величина смещения кривых распределения характеризуется так называемым реверсивным валом:



Систематическая погрешность позиционирования при движении в противоположных направлениях равна:



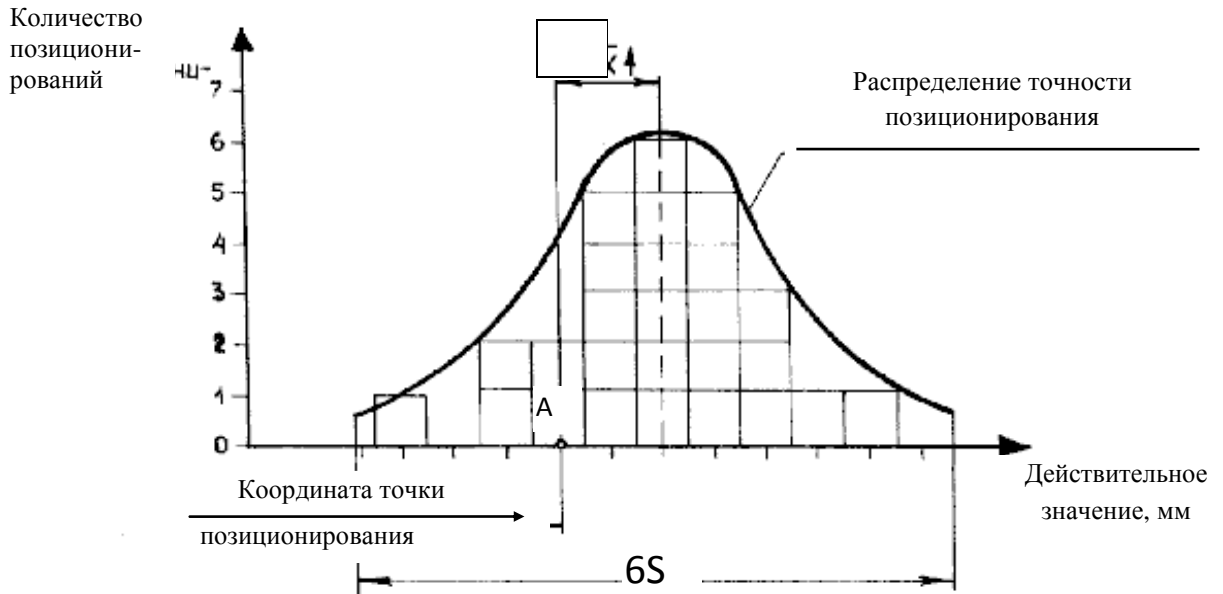


Рисунок 12.6 - Точность позиционирования при движении рабочего органа в одном направлении.

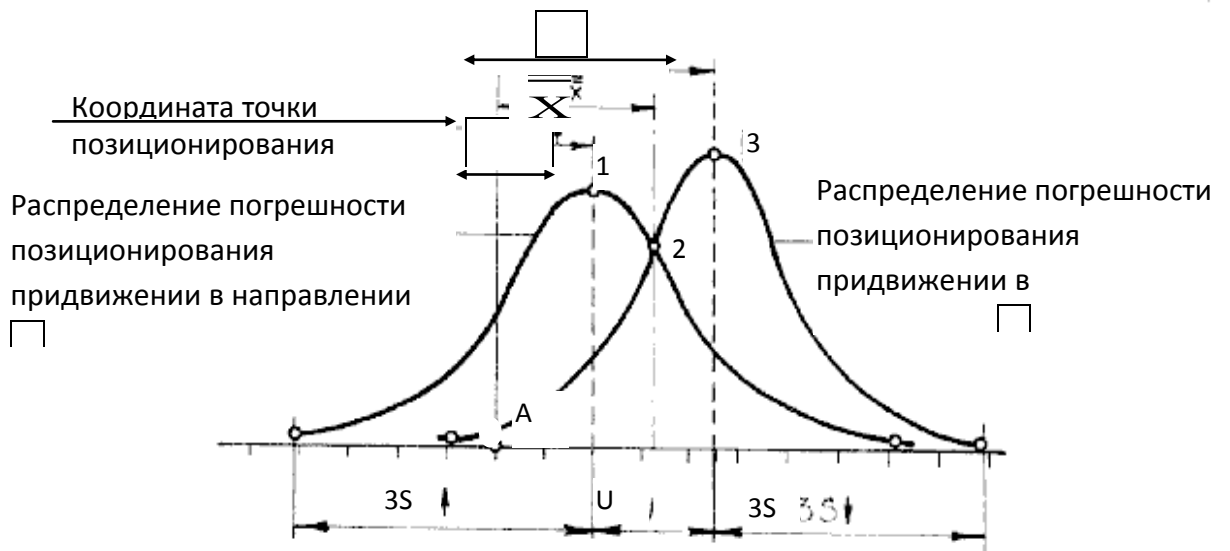


Рисунок 12.7 - Точность позиционирования при движении рабочего органа в противоположных направлениях.

Погрешность \square по каждому координатному направлению не остается постоянной в пределах всей длины перемещения рабочих органов. Ее изменение представлено на рисунке 12.8. На графиках (рисунок 12.8): величина P_0 определяет минимальную систематическую погрешность позиционирования; P - максимальную погрешность позиционирования; величина $P_{sj} = 6S_j$ - позиционный разброс.

Приведенные выше параметры наиболее объективно характеризуют точность позиционирования по каждой из осей координат станка с ЧПУ.

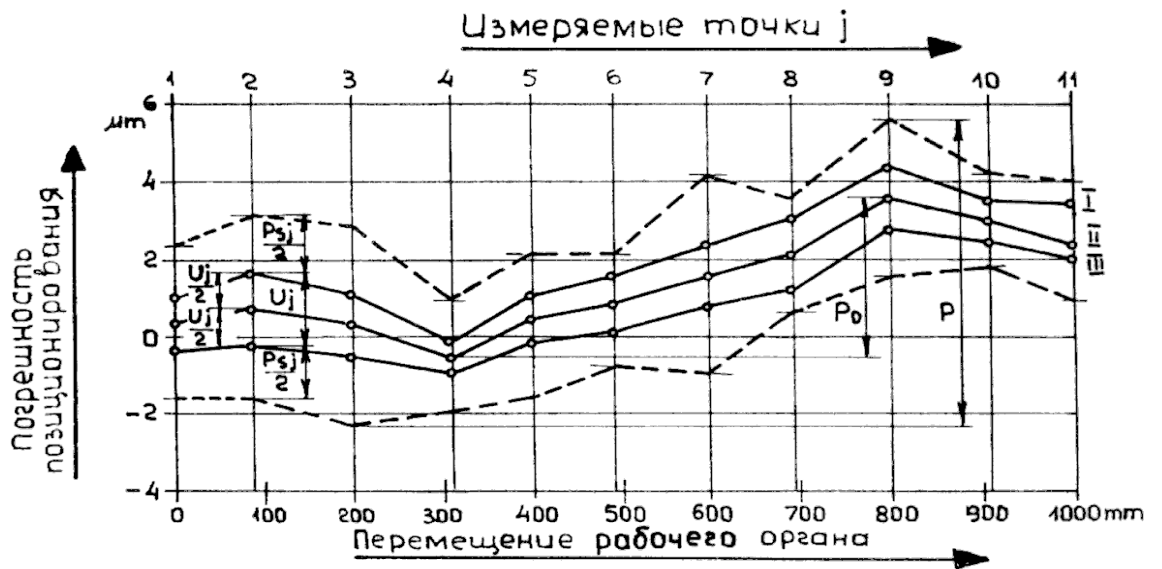


Рисунок 12.8 - Графическое представление погрешности позиционирования в зависимости от длины перемещения рабочего органа.

Естественно, что эти параметры могут быть установлены для каждого изготовленного станка путем проведения его испытаний и аттестации.

Точность позиционирования, а следовательно и точность обработки, может быть повышена за счет компенсации систематических погрешностей позиционирования P_0 путем введения соответствующей коррекции в размер статической настройки по специально заложенным в системы ЧПУ алгоритмам, отражающим закономерность изменения P_0 по каждой управляемой координате в зависимости от длины перемещения. Аналогично можно компенсировать погрешности датчика позиционирования и другие систематические погрешности станка с ЧПУ. Можно принять меры и к компенсации средних погрешностей позиционирования P и P_{sj} , когда рабочий орган движется в каком-то одном (положительном \uparrow или отрицательном \downarrow) направлении. Компенсировать же позиционный разброс P_{sj} не представляется возможным.

Таким образом, точность обработки на станке с ЧПУ нового поколения может быть повышена за счет управления его систематическими и случайными погрешностями. Назовем ее системой компенсации погрешностей станка (СКПС). Применение СКПС обеспечивает увеличение точности позиционирования в 2 раза. В общем случае СКПС представляет собой набор соответствующих алгоритмов (их число примерно равно числу компенсируемых погрешностей), жестко заложенных в память устройства ЧПУ и воздействующих на специально предусмотренный в конструкции станка блок коррекции привода (БКП). СКПС вносит коррекцию в движение рабочих органов станка в зависимости от координат расположения их в рабочей зоне, нагрузки, температуры, вибрации и т.д.

1.44. Пути управления точностью обработки на МЦС с ЧПУ

Анализ полученной структуры формирования размерных связей на МЦС с ЧПУ позволяет сделать вывод, что основными причинами низкой точности обработки на МЦС с ЧПУ являются:

1. Накопление погрешностей, обусловленное многозвенными размерными связями, образующимися как в процессе установки заготовки на станок, так и в процессе размерной настройки станка и инструмента.

2. Погрешности станка.

3. Колебание размера динамической настройки.

Повышение точности обработки может быть достигнуто двумя путями:

Первый путь - уменьшение величины всех составляющих погрешностей. Этот путь предполагает изготовление и эксплуатацию более точных приспособлений, спутников, зажимных приспособлений (адаптеров), прецизионных приборов для настройки инструмента и другой контрольной оснастки. Очевидно, что это вызовет повышение себестоимости обработки и не приведет к резкому сокращению погрешностей, так как все основные этапы формирования размерных связей сохраняются и процесс накопления погрешностей продолжает действовать.

Второй путь является наиболее перспективным. Для его реализации на МЦС с ЧПУ необходимо создавать четырех-контурную систему автоматического управления точности обработки:

1-й контур - система настройки инструмента (СНИ), реализующая управление размером статической настройки (A_C).

2-й контур - система компенсации погрешностей установки (СКПУ), реализующая управление размером установки (A_Y).

3-й контур - система адаптивного управления (САУ), реализующая управление размером динамической настройки упругими перемещениями технологической системы (A_D).

4-й контур - система компенсации погрешностей станка (СКПС).

1.45. Управление размером статической настройки на вертикальном МЦС с ЧПУ

Управление размером статической настройки на вертикальном МЦС с ЧПУ осуществляется системой настройки инструмента (СНИ) и реализуется следующим образом (рис.12.9).

На плоскости стола станка в пределах зоны допустимых перемещений инструмента по настраиваемой координате (в рассматриваемом случае это координата Z) устанавливается прецизионный датчик касания, положение измерительной пяты которого строго определено относительно установочной плоскости приспособления (звено D_2). Момент касания режущей кромки инструмента измерительной пяты датчика определяется системой управления и учитывается отсчетно-измерительной системой (ОИС) посредством вычисления величины L_1 , косвенно отражающей длину инструмента. Погрешность измерения датчика учитывается звеном D_1 .

После касания первого инструмента начало отсчета переносится в плоскость измерительной позиции. Затем инструмент поочередно заменяется и каждый проходит через позицию измерения. Система настройки автоматически определяет фактический размер каждого инструмента по отношению к первому. Эта информация заносится в блок инструментального корректора для каждого инструмента.

Данная процедура выполняется один раз, когда инструмент устанавливается в магазин. При замене износившегося инструмента его дублер также должен пройти аттестацию.

После того, как произведена аттестация всех инструментов, начало отсчета переносится с измерительной позиции датчика в исходную точку начала отсчета величины программных перемещений (ИТ), заданную программистом на этапе разработки управляющей программы. Решение данной задачи отражается размерной цепью «Д»:

$$D_{\Delta} = D_3 - D_2 - D_1.$$

Здесь D_3 - звено, определяющее удаление ИТ от установочной (базовой) поверхности позиционного приспособления.

В свою очередь погрешность размера:

$$\omega_{D_{\Delta}} = \omega_{D_3} + \omega_{D_2} + \omega_{D_1},$$

где: ω_{D_3} - погрешность расположения (переноса) ИТ относительно базовой поверхности позиционного приспособления;

ω_{D_2} - погрешность расположения (выставки) измерительной пяты датчика относительно базовой поверхности приспособления;

ω_{D_1} - погрешность измерения датчика.

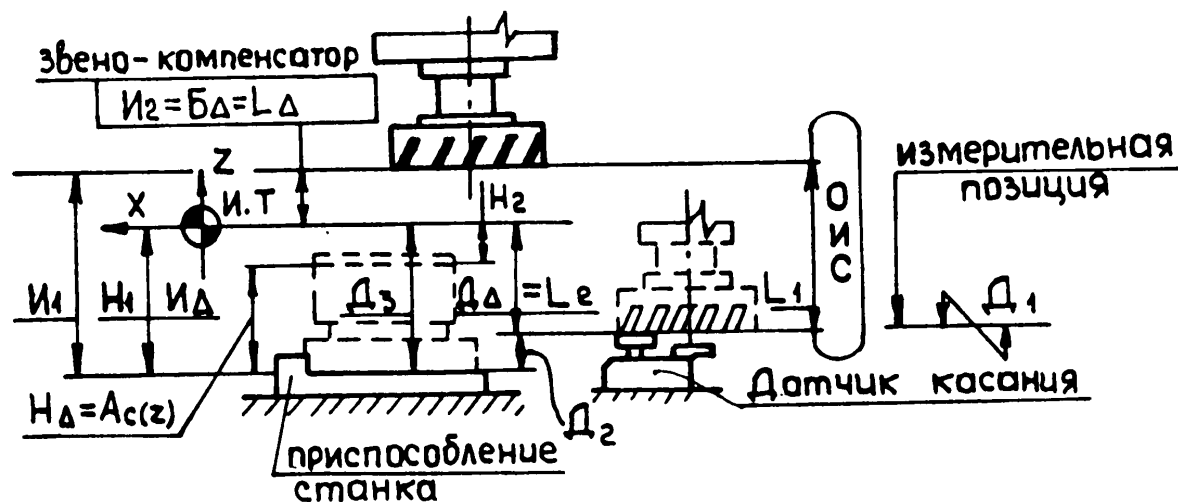


Рисунок 12.9 - Управление размером статической настройки инструмента при помощи СНИ

В результате решения вопроса размерной настройки инструмента отпадает необходимость в применении эталонов, щупов и т. д. Из процесса настройки исключается дорогостоящий оптический прибор.

Конструкции датчиков для контроля длины вылета инструментов могут быть самые разнообразные (рис. 12.10): электроконтактные (рис. 12.10,а), индуктивные (рис. 12.10,б), емкостные, лазерные и т.д.

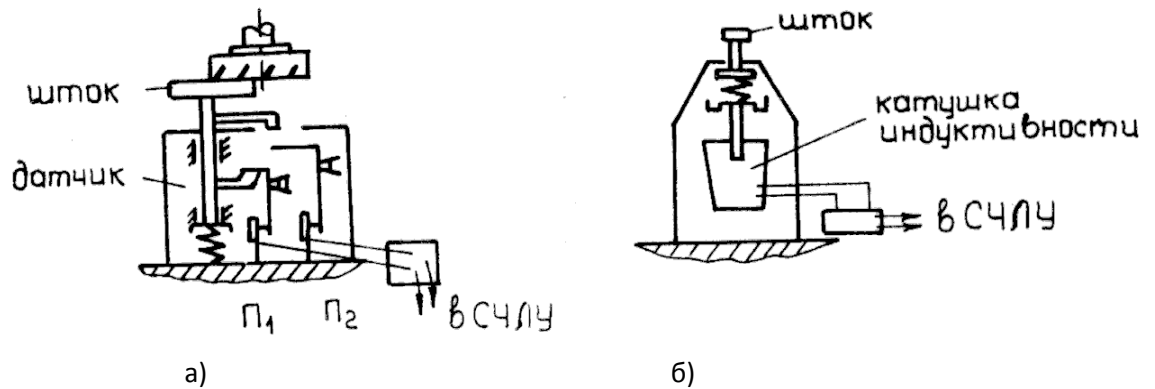


Рисунок - 12.10. Датчики касания: а) электроконтактный, б) индуктивный

При управлении процессом статической настройки описанным выше способом погрешность размера статической настройки $A_{c(z)}$ - будет складываться из погрешностей размеров H_2 (запрограммированное перемещение фрезы при обработке) и L_{Δ} , который определяется с помощью СНИ и соответственно равен (см. рис. 12.9):

$$L_{\Delta} = L_1 - L_2 = B_{\Delta};$$

$$L_2 = D_{\Delta}$$

Допуск звена L_1 то есть ω_{L1} , характеризует точность отсчетно-измерительной системы (ОИС). В данном случае она определяется погрешностью позиционирования рабочего органа станка по координате Z ($\omega_{L1} = \omega_{H2}$). Принимая во внимание вероятностный характер взаимодействия размерных связей, можно погрешность статической настройки определить по формуле:

$$\boxed{\phantom{L_{\Delta} = L_1 - L_2 = B_{\Delta}}}. \tag{1}$$

Рассматриваемая СНИ может быть использована и для проведения повторной поднастройки по мере износа режущего инструмента.

1.46. Управление размером установки на вертикальном МЦС с ЧПУ

Сущность решения задачи управления размером установки $A_{y(z)}$ состоит в следующем.

Станок оснащается измерительной телеметрической головкой или шуповой головкой, которая представляет собой прецизионный датчик касания. Головка хранится в инструментальном магазине, может быть автоматически установлена в шпиндель и подключена к отчетно-измерительной системе станка. При этом станок переводится в режим измерения. Кроме этого на столе станка устанавливается габарит (своеобразный эталон), с помощью которого можно тарировать положение измерительной головки после установки ее в шпиндель станка.

После установки спутника с заготовкой в позиционное приспособление, приводы станка выводят стол в измерительную позицию по координатам X и Y . С помощью измерительной головки (рис. 12.11) определяются два размера: Ψ_3 (тарировка головки) и Ψ_1 (положение технологической базы заготовки). Рабочая поверхность установочного габарита (эталоны) выставлена относительно базовой поверхности позиционного приспособления на строго фиксированный размер Ψ_4 . Звенья Ψ_2 и Ψ_5 характеризуют точность измерения размеров телеметрической щуповой головкой.

Алгебраическая сумма составляющих звеньев размерной цепи « Ψ » определяет фактический размер установки $A_{y(z)факт}$.

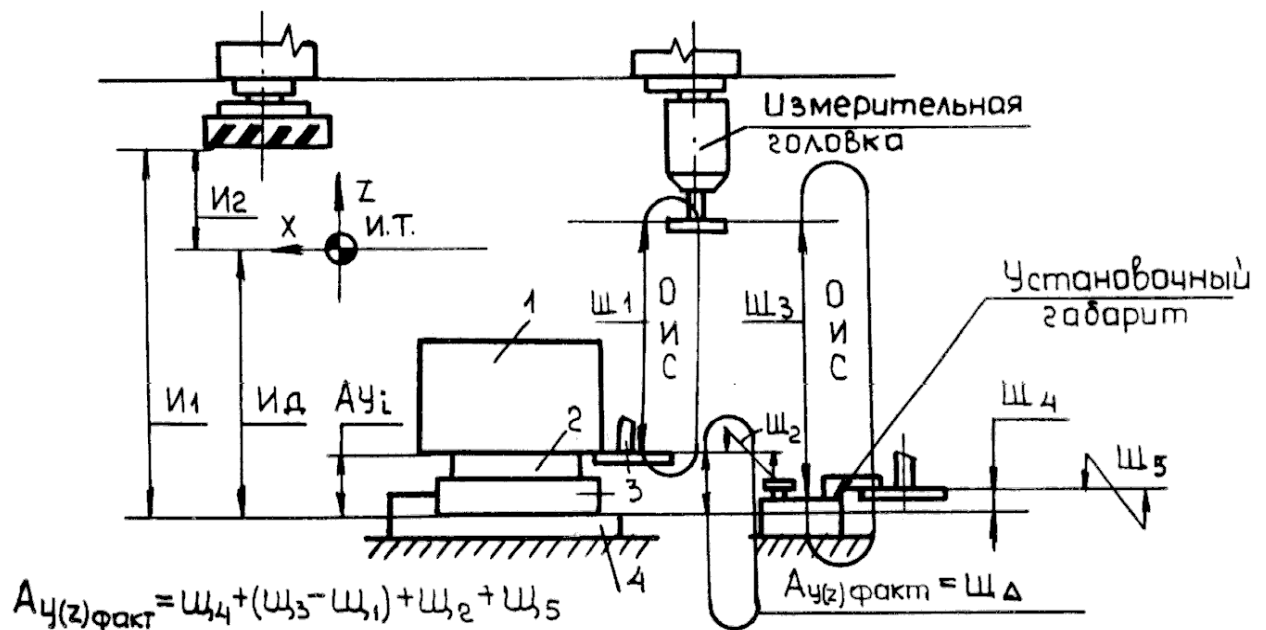


Рисунок - 12.11. Определение фактического размера установки $A_{y(z)факт}$ с помощью измерительной головки:

(1 - заготовка; 2 - адаптер; 3 - спутник; 4 - позиционное приспособление).

$$A_{y(z)факт} = \Psi_{\Delta} = \Psi_4 + \Psi_3 - \Psi_1 - \Psi_2 - \Psi_5.$$

В свою очередь погрешность размера установки:

(2)

где: ω_{Ψ_1} , ω_{Ψ_3} - погрешность позиционирования рабочего органа станка по координате Z ($\omega_{\Psi_1} = \omega_{\Psi_3} = \omega_{H2}$);

ω_{Ψ_2} , ω_{Ψ_5} - погрешность измерения, допускаемая измерительной головкой;

ω_{Ψ_4} - погрешность выставки рабочей поверхности габарита относительно базовой поверхности позиционного приспособления.

Полученное значение размера установки $A_{y(z)факт}$ в системе управления размерной настройки сравнивается с заданным на этапе разработки управляющей программы. В результате сравнения определяется величина необходимой поправки (коррекции). Существуют принципиально два возможных варианта реализации коррекции.

Первый вариант - отработать коррекцию в контуре размера установки детали $A_{y(z)}$. Для этого необходимо иметь точный механизм малых перемещений закрепленного спутника с заготовкой относительно позиционного приспособления. Решить эту задачу сложно, как в конструктивном, так и в метрологическом плане.

Второй вариант - отработать коррекцию в контуре размера статической настройки инструмента $A_{c(z)}$, то есть за счет смещения исходной точки.

Очевидно, что второй вариант внесения поправки является более перспективным, поскольку его проще реализовать. Кроме того такой вариант введения коррекции размера установки надежнее.

1.47. Количественная оценка возможной точности обработки линейных размеров на вертикальном МЦС с ЧПУ, оснащем СНИ и СКПУ

На основе полученных зависимостей (1) и (2) оценим предельно возможную точность получения размера обработки $A_{\Delta(z)}$ от базы детали по координатному направлению Z , то есть погрешность $\omega_{A_{\Delta(z)}}$, и отдельно ее составляющие: погрешность установки $\omega_{Ay(z)}$ и статической настройки $\omega_{Ac(z)}$ (табл. 14). Сравним полученные величины с одноименными погрешностями, которые имеют место при обработке на том же вертикальном МЦС с ЧПУ (модели 243ВМФ2), который не оснащен системами СНИ и СКПУ (табл. 15). После проведения расчетов сравним также численное значение суммарной погрешности обработки $\omega_{A_{\Delta(z)}}$ с основными требованиями к точности линейных размеров, предъявляемыми к обработке корпусных деталей на станках с ЧПУ и в ГПС.

Из таблицы 15 следует, что применение в составе вертикального МЦС систем СНИ и СКПУ позволяет существенно уменьшить значение погрешностей установки $\omega_{Ay(z)}$ и статической настройки $\omega_{Ac(z)}$ соответственно в 1,6 и 3 раза. Общая же точность обработки $\omega_{A_{\Delta(z)}}$ увеличивается в 2,3 раза и примерно соответствует предъявляемым требованиям к точности обработки линейных размеров корпусных деталей (примерно 0,03 - 0,05 мм). Дальнейшего повышения точности обработки можно ожидать за счет применения систем СКПС и САУ.

Из анализа результатов расчета следует так же, что особое внимание следует уделить повышению точности позиционирования рабочих органов станка и измерительной головки а также точности ее измерения. Эти мероприятия позволяют добиться дальнейшего сокращения составляющих погрешностей статической настройки ω_{Ac} и установки ω_{Ay} .

Таблица 14 -Количественная оценка погрешностей $\omega_{Ay(z)}$, $\omega_{Ac(z)}$ и $\omega_{A\Delta(z)}$ на вертикальном МЦС с ЧПУ, оснащённом СНИ и СКПУ.

№ п/п	Погрешность	Количественная оценка
1	установки $\omega_{Ay(z)}$	Принимаем: $\omega_{\text{Щ1}} = \omega_{\text{Щ3}} = 0,016\text{мм}$; $\omega_{\text{Щ2}} = \omega_{\text{Щ5}} = 0,005\text{мм}$; $\omega_{\text{Щ4}} = 0,005\text{мм}$ <input type="text"/> <input type="text"/>
2	статической настройки $\omega_{Ac(z)}$	Принимаем: $\omega_{H2} = 0,016 \text{ мм}$; $\omega_{L1} = 0,016 \text{ мм}$; $\omega_{D1} = \omega_{D2} = \omega_{D3} = 0,005\text{мм}$ <input type="text"/> <input type="text"/>
3	динамической настройки $\omega_{Ad(z)}$	Принимаем: $\omega_{Ad(z)} = 0,005 \text{ мм}$ (по данным ЭНИМС)
4	Суммарная $\omega_{A\Delta(z)}$	<input type="text"/> = <input type="text"/>

Таблица 15 - Точность обработки линейного размера по координате **Z** на МЦС с ЧПУ.

Погрешность по координате Z	МЦС с ЧПУ, оснащенный СНИ и СКПУ	МЦС с ЧПУ без СНИ и СКПУ	Увеличение точности, раз

$\omega_{Ac(z)}$, мм	0,024	0,072	3
$\omega_{Ay(z)}$, мм	0,024	0,038	1,6
$\omega_{A\Delta(z)}$, мм	0,035	0,082	2,3

1.48. Управление процессом достижения точности диаметральных размеров на МЦС с ЧПУ

Ранее указывалось, что взаимозаменяемый расточной инструмент (резцовые блоки, расточные оправки и борштанги обычной конструкции) в условиях автоматической работы в условиях ГПС не обеспечивает требуемую точность диаметральных размеров.

С целью повышения точности растачивания необходимо иметь возможность осуществления автоматической настройки расточного инструмента в радиальном направлении после его установки в шпиндель станка. Для этого необходимо выполнение следующих условий:

1. Нужно располагать специальной расточной оправкой, конструкция которой позволяла бы осуществлять автоматическую регулировку вылета резца в радиальном направлении по команде системы управления.

2. После установки расточной оправки в шпиндель станка необходимо иметь возможность определять фактический вылет резца относительно оси вращения шпинделя $R_{ф}$.

3. Измеренное значение $R_{ф}$ необходимо сравнивать с заданным настроечным вылетом резца $R_{н}$ и определять величину необходимой коррекции вылета резца $\Delta R = R_{ф} - R_{н}$.

4. Вылет резца нужно корректировать на полученную величину ΔR .

Процесс образования требуемого диаметрального размера в автоматическом режиме можно представить следующей схемой (рис. 12.12). Настройка вылета резца осуществляется при помощи системы автоматической настройки (САН). В состав САН входят специальная расточная оправка **4**, радиальное положение резца **1** в которой может регулироваться с помощью клинового механизма **2**, приводимого от двигателя **5**, управляемого блоком временного срабатывания (БВС) **3**. Контроль вылета щупа в оправке осуществляется с помощью датчиков D_1 и D_2 , установленных на столе станка. Расстояние между датчиками A_2 должно быть известно и строго зафиксировано.

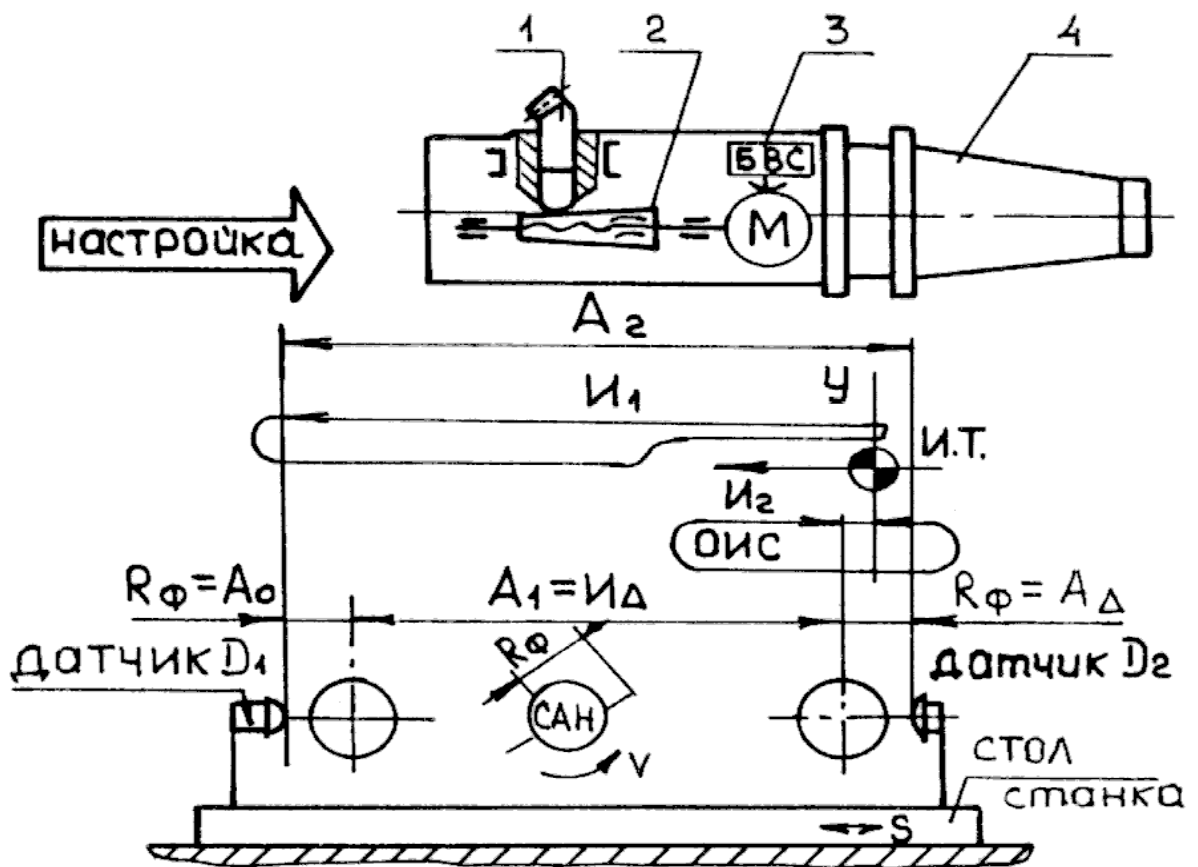


Рисунок 12.12 - Автоматическая размерная настройка расточного инструмента.

После установки расточной оправки в шпиндель приводы станка подводят рабочий стол в измерительную позицию. При движении из исходной точки (ИТ) и касании резцом оправки попеременно датчиков D_1 и D_2 с помощью отсчетно-измерительной системы (ОИС) определяется расстояние A_1 . Как замыкающее звено размерной цепи «И», оно равно:

$$A_1 = И_{\Delta} = И_1 - И_2 + И_3 + И_4.$$

Тогда:

$$\overline{\omega}_{A_1} = \overline{\omega}_{И_{\Delta}} = \overline{\omega}_{И_1} + \overline{\omega}_{И_2} + \overline{\omega}_{И_3} + \overline{\omega}_{И_4},$$

где: $A_1, И_{\Delta}$ - размер, связывающий оси оправки при касании ее датчиков D_1 и D_2 ;

$\omega_{A_1}, \omega_{И_{\Delta}}$ - погрешность размера, связывающего оси оправки при касании ее датчиков D_1 и D_2 ;

$И_1, И_2$ - размеры, определяющие положение оси оправки относительно ИТ при касании ее щупа датчиков D_1 (размер $И_1$) и D_2 (размер $И_2$); эти размеры фиксируются ОИС;

$\omega_{И_1} = \omega_{И_2}$ - погрешности определения размеров $И_1$ и $И_2$ ОИС;

они равны погрешности позиционирования шпинделя по координате X;

$\omega_{И_3} = \omega_{И_4}$ - погрешность измерения датчиков D_1 и D_2 .

После установления размера A_1 определяется фактический вылет резца относительно оси оправки:

$$\boxed{\phantom{0,5(\omega_{A2} + \omega_{A1})}};$$

$$\omega_{A\Delta} = 0,5(\omega_{A2} + \omega_{A1}),$$

где: ω_{A2} - погрешность установки датчиков на фиксированное расстояние A_2 .

Учитывая вероятностный характер взаимодействия составляющих погрешностей, входящих в $\omega_{A\Delta}$, можно записать:

$$\boxed{\phantom{0,5(\omega_{A2} + \omega_{A1})}}.$$

После определения R_{ϕ} , как указывалось ранее, производится поднастройка расточной оправки на величину $\Delta R = R_{\phi} - R_n$. При поднастройке будет допущена определенная погрешность $\omega_{\text{пн}}$, обусловленная неточностью работы механизмов и электроаппаратуры, заложенных в конструкцию расточной оправки.

Таким образом, радиальная суммарная погрешность настройки расточной оправки с помощью САН будет равна:

$$\text{на радиус } \omega_{R\Delta} = \omega_{A\Delta} + \omega_{\text{пн}};$$

$$\text{на диаметр } \omega_{D\Delta} = 2 \cdot \omega_{R\Delta} = 2 \cdot (\omega_{A\Delta} + \omega_{\text{пн}}).$$

Окончательно имеем:

$$\boxed{\phantom{2 \cdot (\omega_{A\Delta} + \omega_{\text{пн}})}}.$$

Произведем количественную оценку достижимой точности автоматической диаметральной настройки вылета расточного резца с помощью САН (табл. 13.1).

Таблица 16 - Количественная оценка достижимой точности автоматической диаметральной настройки с помощью САН.

№ п/п	Погрешность	Количественная оценка
1	$\omega_{\text{пн}}$	Принимаем $\omega_{\text{пн}} = 0.002$ мм (по данным ЭНИМС)
2	$\omega_{D\Delta}$	Принимаем: $\omega_{\text{и1}} = \omega_{\text{и2}} = 0.012$ мм; $\omega_{\text{и3}} = \omega_{\text{и4}} = 0.005$ мм; $\omega_{A2} = 0.005$ мм; <div style="border: 1px solid black; height: 20px; width: 100%; margin-top: 5px;"></div> <div style="border: 1px solid black; height: 20px; width: 100%; margin-top: 5px;"></div>

Полученный результат свидетельствует о том, что применение САН в условиях ГПС позволяет значительно увеличить точность обработки отверстий по сравнению со взаимозаменяемым расточным инструментом.



Таким образом, использование САН в совокупности со специальными расточными оправками, допускающими тонкую регулировку вылета резца, позволяет производить в автоматическом режиме на МЦС обработку отверстий корпусных деталей, допуск которых задан по 7-8 квалитетам точности (для отверстий $\varnothing 30...100\text{мм}$ ТН7 = 0,021...0,035мм; ТН8 = 0,033...0,054мм).

1.49. Адаптивные системы управления станками с ЧПУ

При работе на единичных станках с ЧПУ задача достижения требуемой точности может быть решена при составлении управляющих программ за счет соответствующего построения цикла обработки, выбора оптимальных режимов резания, предварительного искажения траектории и т.д. Перечисленные мероприятия образуют так называемую систему **пассивного адаптивного управления**.

При автоматизации мелкосерийного производства, для которого характерен весьма широкий диапазон изменения режимов резания, параметров обрабатываемых деталей, припуска и твердости заготовок, система пассивного адаптивного управления не может обеспечить оптимальные показатели процесса обработки. Это стало возможным лишь при использовании адаптивных систем (АС).

Экономической предпосылкой создания первых АС явилось требование производить обработку с экономически эффективными режимами резания на дорогостоящем оборудовании. Технической предпосылкой создания АС явилось требование повысить точность обработки за счет компенсации колебаний размера динамической настройки A_d , обусловленных действием таких случайных факторов как изменение припуска и твердости материала заготовки, затупление режущего инструмента и т. д. Как указывалось ранее, размер динамической настройки A_d в совокупности с размерами установки A_y и статической настройки A_c определяет замыкающий размер A_{Δ} , выдерживаемый при обработке, то есть:

$$A_{\Delta} = A_y + A_c + A_d.$$

Из анализа формулы могут быть предложены три способа сокращения погрешности обработки, обусловленной влиянием размера динамической настройки A_d :

1. Адаптивное управление размером динамической настройки A_d .
2. Адаптивное управление размером статической настройки A_c .
3. Адаптивное управление одновременно размерами динамической и статической настройки (комбинированный способ).

АДАПТИВНЫЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ
СТАНКАМИ С ЧПУ

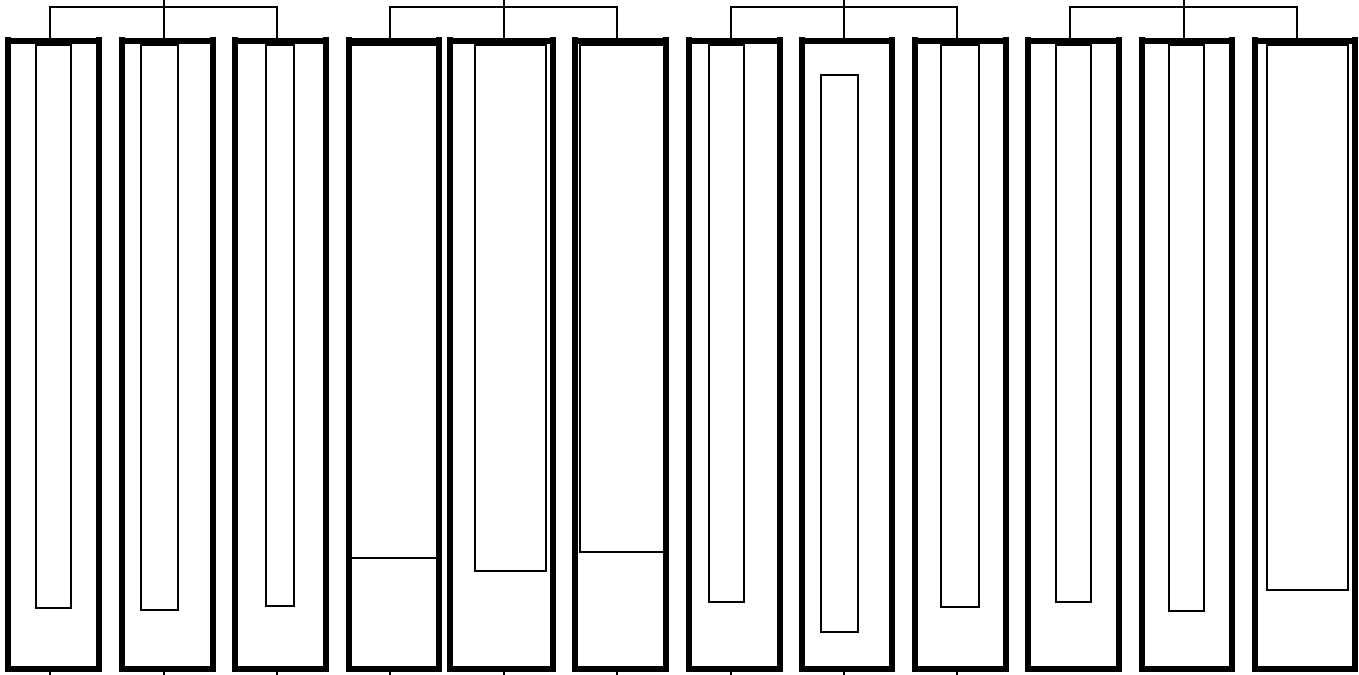
Активные **Пассивные**

Управление режимами
резания

Управление точностью
обработки

Управление режимами
резания и точностью
обработки

Адаптивная коррекция
управляющих программ



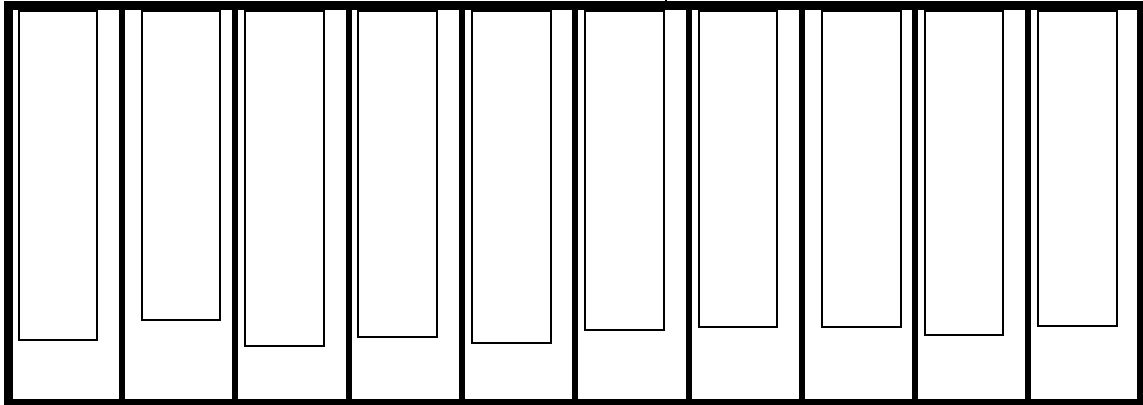
Автономные
(специализированные)

От системы типа CNC

От системы типа DNC

Измеряемые

параметры



Параметры		регулирования		
Подача	Скорость резания	Подача и скорость резания	Глубина резания	Жесткость элементов технологической системы

Рис. 12.14. Классификация систем адаптивного управления станками с ЧПУ

1.50. Адаптивное управление точностью обработки по размеру динамической настройки

Адаптивные системы (АС), реализующие это направление, обеспечивают стабилизацию размера динамической настройки A_d путем внесения в него поправки. Величина A_d определяется АС косвенным путем посредством измерения определенного физического параметра β , характеризующего состояние процесса обработки и находящегося в функциональной зависимости от A_d . В качестве параметра β могут быть приняты упругие перемещения звеньев технологической системы, сила резания или ее составляющая, крутящий момент, мощность, ток в обмотках двигателей и т.д.

Во время обработки непрерывно измеряется фактическое значение параметра - $\beta_{\text{факт}}$ и сравнивается с заданным значением - $\beta_{\text{исх}}$, которое пропорционально заданному уровню динамической настройки A_d . Если при этом обнаруживается рассогласование $\Delta \beta = \beta_{\text{факт}} - \beta_{\text{исх}}$, которое в свою очередь пропорционально отклонению размера A_d - (ΔA_d), то исполнительный механизм АС изменяет размер динамической настройки до тех пор, пока $\Delta \beta$ не станет равным нулю, а следовательно и размер A_d , не станет равным допустимому значению.

Поправка в размер динамической настройки A_d вносится посредством изменения силы резания или жесткости технологической системы. Второе направление обычно трудно реализуемое. Поэтому большинство АС в качестве регулятора использует силу резания.

Сила резания P_y является функцией многих переменных

$$P_y = \lambda \cdot C_p \cdot S^q \cdot t,$$

где: t - глубина резания;

S - подача;

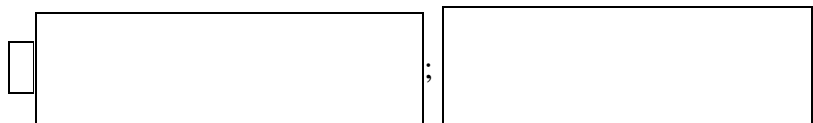
C_p - коэффициент, учитывающий твердость обрабатываемого материала;

q - коэффициент, учитывающий другие условия обработки;

λ - коэффициент, характеризующий отношение составляющей P_y к общей силе резания

P .

Ранее указывалось, что на изменение размера динамической настройки A_d наиболее сильное влияние оказывают колебания припуска $\Delta_{заг}$ и твердости материала ΔC_p заготовки, то есть:



Из приведенных формул следует, что универсальным параметром, за счет которого можно управлять силой резания, величинами ω_{Ad1} и ω_{Ad2} является подача.

На рис. 12.15 показана схема станка с ЧПУ, оборудованного АС управления упругими перемещениями.

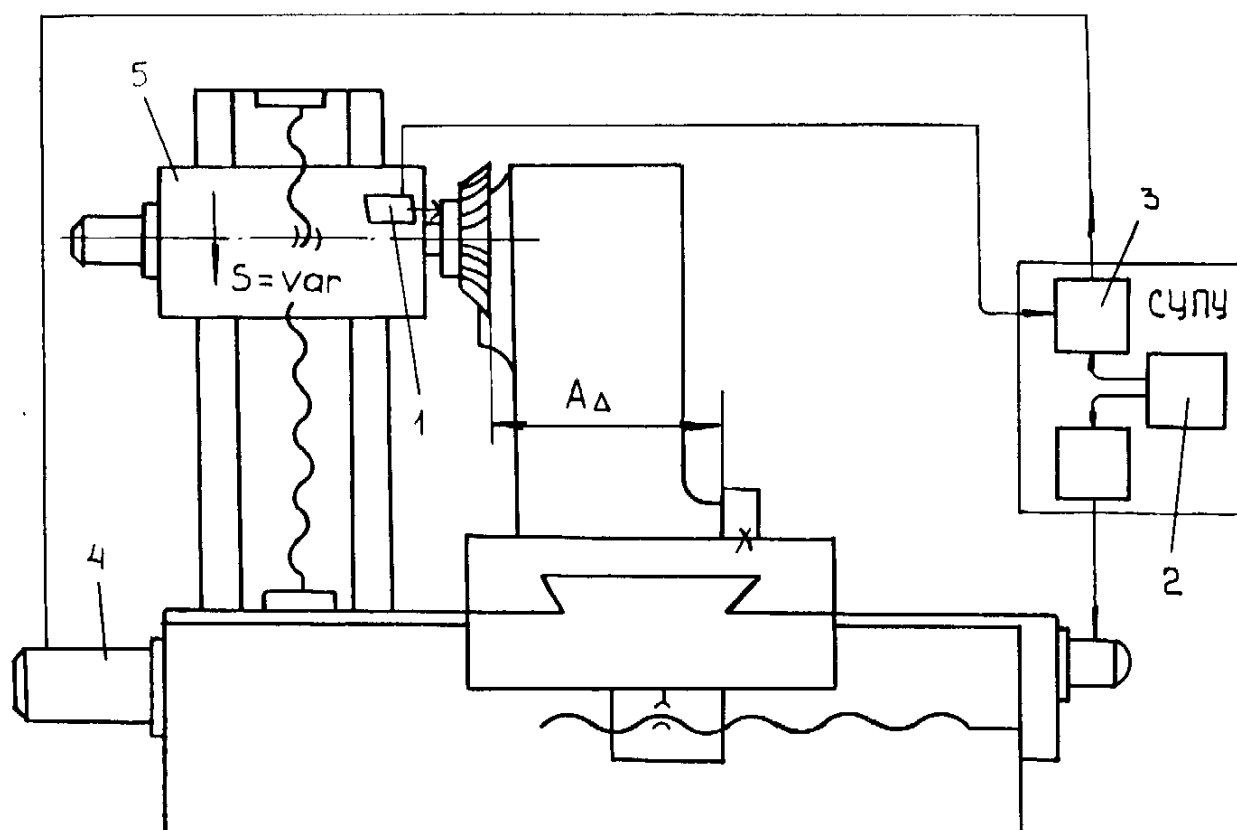


Рисунок 12.15 - Адаптивное управление упругими перемещениями технологической системы на станке с ЧПУ.

Данная адаптивная система работает следующим образом.

Интерполятор **2** СЧПУ задает величину рабочей подачи через блок **3**, управляющий движением инструмента по координате Y , приводу **4**, который сообщает шпиндельной бабке **5** рабочую подачу S при расчетных величинах припуска на обработку и твердости материала обрабатываемой заготовки. На шпиндельной бабке станка установлен датчик **1**, измеряющий упругое перемещение шпинделя относительно бабки.

В тех случаях, когда припуск и твердость материала оказываются больше, сила резания увеличивается, а следовательно возникает отклонение величины A_d динамической настройки, измеряемого датчиком упругих перемещений **1**. Датчик передает по каналу

обратной связи фактическое значение размера динамической настройки $A_{д.факт}$ в блок **3**, где эта величина сопоставляется с заданным исходным значением $A_{д.исх}$. После этого отрабатывается знак рассогласования и автоматически вносится изменение в величину подачи **S** до тех пор, пока величина упругого перемещения не достигнет требуемой.

Недостатком использования подачи, как регулятора силы резания, является изменение шероховатости обработанной поверхности.

Для адаптивного управления процессом обработки необходимо непрерывно или с некоторой периодичностью измерять параметр процесса резания. Вопрос измерения параметров процесса резания - один из наиболее сложных при реализации АС.

В различных АС измеряемыми параметрами могут быть составляющие силы резания, крутящий момент на шпинделе, мощность резания, износ инструмента, температура резания, вибрации и т.д. В связи с этим были разработаны различные по назначению, принципу действия и конструкции измерительных устройств.

Для измерения составляющих силы резания P_x , P_y , P_z разработан ряд двух и трех компонентных механических измерительных устройств, основанных на принципе измерения деформаций звеньев технологической системы под действием силы резания. Как правило, в технологическую систему вводится звено, имеющее хорошую упругую характеристику. По деформации этого звена определяют величину действующей силы. На этом принципе сконструированы различные динамометрические устройства в виде стола, шпиндельного узла, резцедержки (для токарных станков) и т.д.

Накладные динамометрические столы (НДС) применяют главным образом в АС фрезерных станков, режущих плоско-шлифовальных, расточных, сверлильных. Они позволяют измерять составляющие силы резания, а в ряде случаев и крутящего момента. НДС выполняются в виде самостоятельных узлов и устанавливаются без каких-либо других работ по встраиванию в технологическую систему.

На рис. 12.16 показан двухкомпонентный НДС типа СДМ, состоящий из двух прямоугольных плит **1** и **2**, соединенных между собой четырьмя упругими элементами **3** круглого сечения, расположенными симметрично относительно осей **X-X** и **Y-Y**. Нижняя плита закрепляется на столе станка. На верхней плите устанавливается приспособление для обрабатываемой заготовки. Для базирования и крепления приспособления на верхней плите имеются точные базирующие отверстия **6** и Т-образные пазы. Упругие элементы **3** из пружинной стали являются сменными и подбираются комплектом элементов любого диаметра, что позволяет варьировать жесткость НДС (от 10 до 200 кгс/мм). Принцип работы НДС состоит в следующем. Под действием силы резания верхняя плита смещается относительно нижней, а датчики **4** и **7**, установленные в кронштейнах **5** и **8** на нижней плите, воспринимают это смещение, которое соответствует составляющим P_x и P_y .

Для фрезерных станков с ЧПУ разработаны НДС различных габаритов (до 1500 × 700мм) в зависимости от размеров стола станка.

Для измерения составляющих силы резания разработаны так же конструкции динамометрических шпиндельных узлов. На рис. 12.16 показана фрезерная головка с динамометрическим шпиндельным узлом (ДШУ) для измерения составляющих силы резания P_x и P_y .

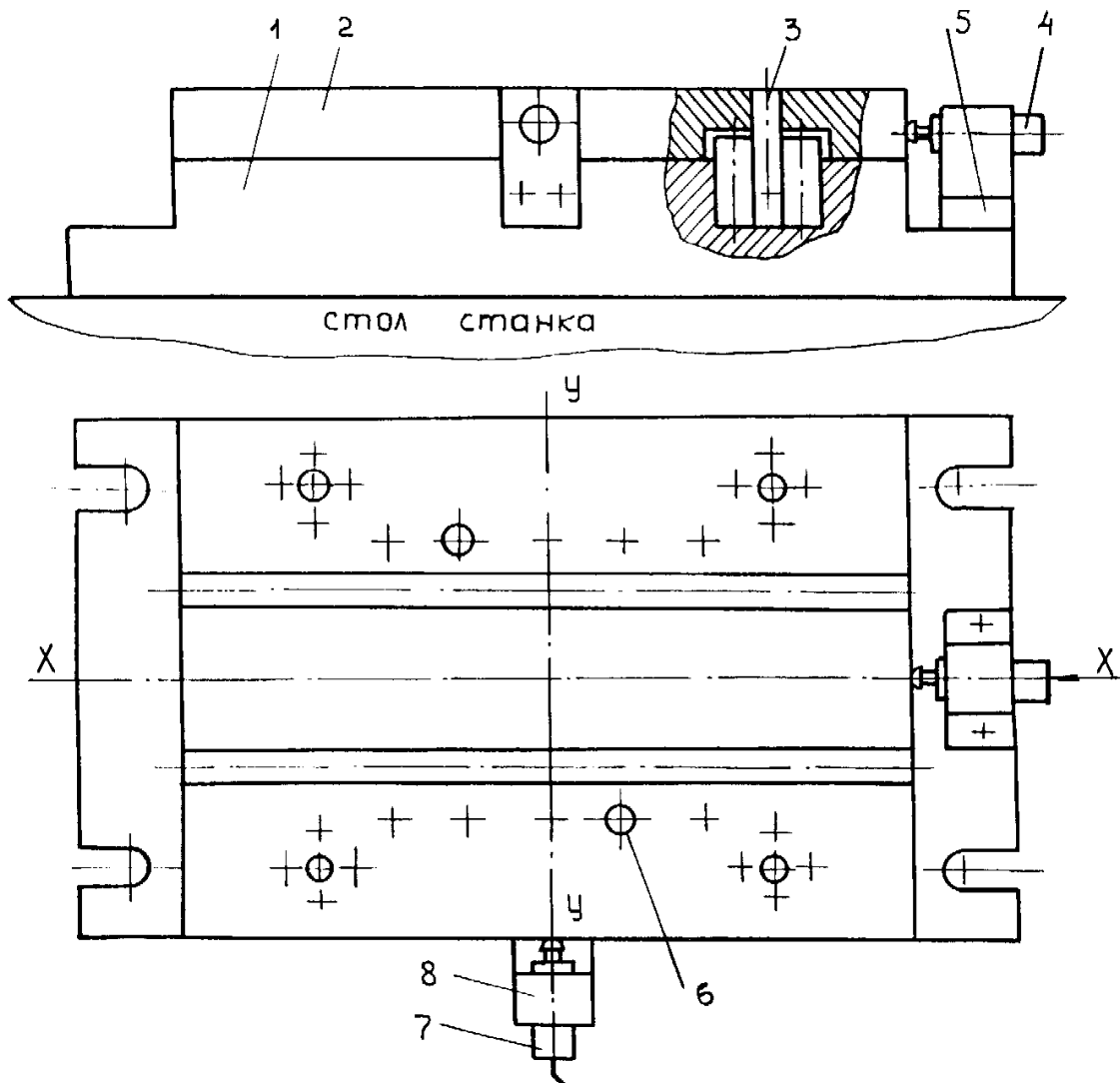


Рисунок 12.15 - Двухкомпонентный накладной динамометрический стол типа СДМ

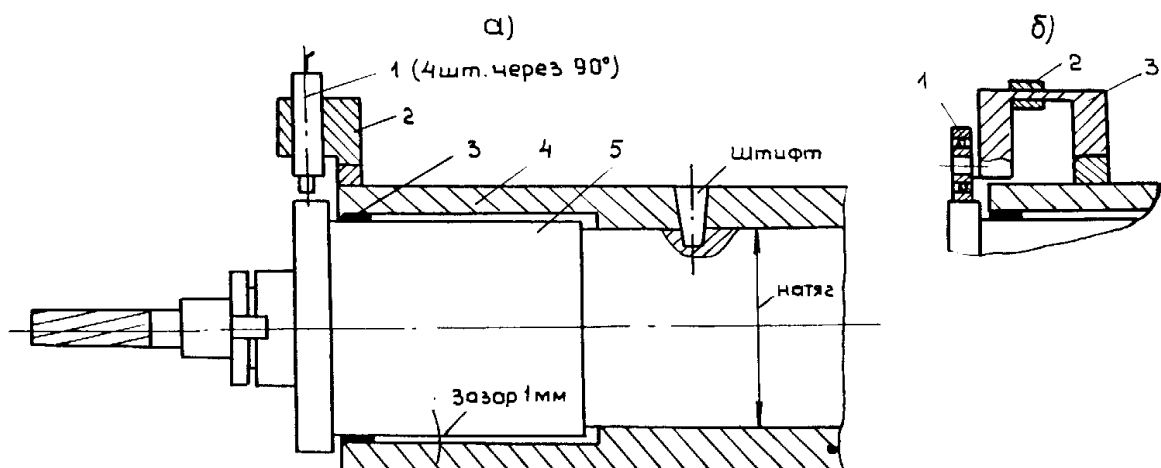


Рисунок 12.16 - Динамометрический шпиндельный узел:

- а) с индуктивными датчиками;
- б) с наклеенными резисторами.

В корпусе **4** головки установлен с натягом упругий стакан **5**, в котором монтируется шпиндель с подшипниками. Передняя часть стакана выполнена с зазором 1мм. Между стаканом и корпусом имеется демпфирующее резиновое кольцо **3**. На корпусе головки установлены четыре кронштейна **2** с индуктивными датчиками **1**, регистрирующими составляющие усилия резания P_x и P_y по величинам упругих деформаций стакана **5**. Вместо индуктивных датчиков могут применяться наклеенные резисторы **2** (рис. 13.5, б). Последние регистрируют P_x , P_y по упругой деформации корпуса **3**. На корпусе закреплен подшипник **1**, находящийся в контакте с упругим стаканом **5**. Как в первом, так и во втором случае, для компенсации температурных деформаций стакана, два противоположных датчика работают в режиме алгебраического сложения с учетом знака перемещения.

В последнее время для измерения сил резания разработаны специальные конструкции динамометрических шпиндельных подшипников, которые напрямую без каких либо дополнительных устройств регистрируют в процессе обработки составляющие усилия резания.

Следует особо отметить, что динамометрические устройства помимо своего участия в работе АС, могут выполнять на станке такую важную функцию, как контроль состояния и работоспособности режущего инструмента. Регистрируя увеличение силы резания по мере затупления инструмента, они могут своевременно информировать систему ЧПУ о необходимости его замены.

1.51. Адаптивное управление точностью обработки по размеру статической настройки

Адаптивные системы (АС) рассматриваемого типа обеспечивают компенсацию отклонения размера динамической настройки A_d путем внесения поправки в размер статической настройки.

Как и в ранее рассмотренных АС, величина размера динамической настройки A_d определяется системой адаптивного управления косвенным путем посредством измерения определенного физического параметра β (сила резания, крутящий момент или мощность привода, сила тока, деформации звеньев технологической системы и т. д.). Во время обработки величина β непрерывно измеряется и в виде сигнала поступает в вычислительное устройство адаптивной системы, в котором на основе заранее заложенной в него зависимости $A_d = f(\beta)$ находится фактическая величина $A_{d.факт}$ и сравнивается с заданным (исходным) значением $A_{d.исх}$.

При наличии отклонения $\Delta A_d = A_{d.факт} - A_{d.исх}$ система управления станком вносит поправку ΔA_c , в размер статической настройки, равную по величине ΔA_d и противоположную ей по знаку. Принцип внесения поправки заключается в регулировании

расстояния между режущей кромкой (или кромками - для многолезвийной обработки) инструмента и технологической базой детали.

Управление размером статической настройки может реализоваться двумя принципиально различными способами: с помощью специальных приводов малых перемещений по осям координат или с помощью приводов подач станка.

В первом случае компенсация упругих деформаций технологической системы достигается смещением с помощью автономного привода малых перемещений обрабатываемой заготовки относительно стола станка, движущегося по заданной программе. Структурная схема такой АС показана на (рис. 12.17).

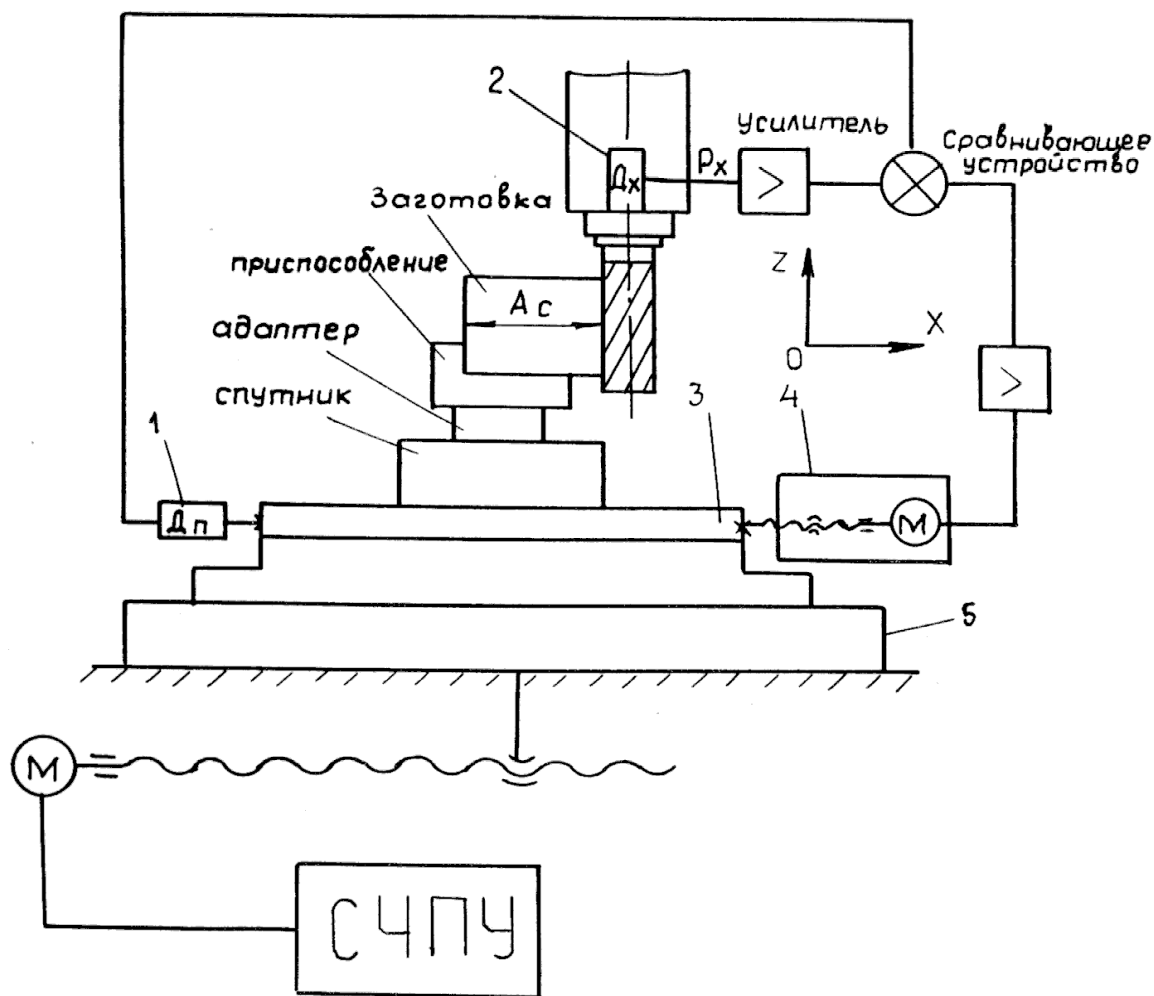


Рисунок 12.17 - Структурная схема АС управления точностью обработки с независимым контуром самонастройки.

Предварительно усиленный сигнал с датчика 2 деформации Δ_x поступает на исполнительный привод малых перемещений 4, сдвигающий верхнюю плиту накладного динамометрического стола 3 вместе с установленным на ней спутником с заготовкой, закрепленной через адаптер в приспособлении, относительно стола 5 стакана. Величина корректирующего перемещения соответствует деформации технологической системы а его направление - противоположно.

Реализация данного способа управления размером статической настройки не зависит от типа приводов, системы ЧПУ и места установки основного датчика. В систему может

быть введена также обратная связь по корректирующему перемещению ΔA_x заготовки относительно стола станка с помощью датчика обратной связи **1** и сравнивающего устройства.

Второй способ компенсации упругих деформаций технологической системы основан на введении корректирующего воздействия непосредственно через приводы подачи станка. На рис. 12.18 приведена структурная схема АС, реализующей этот способ.

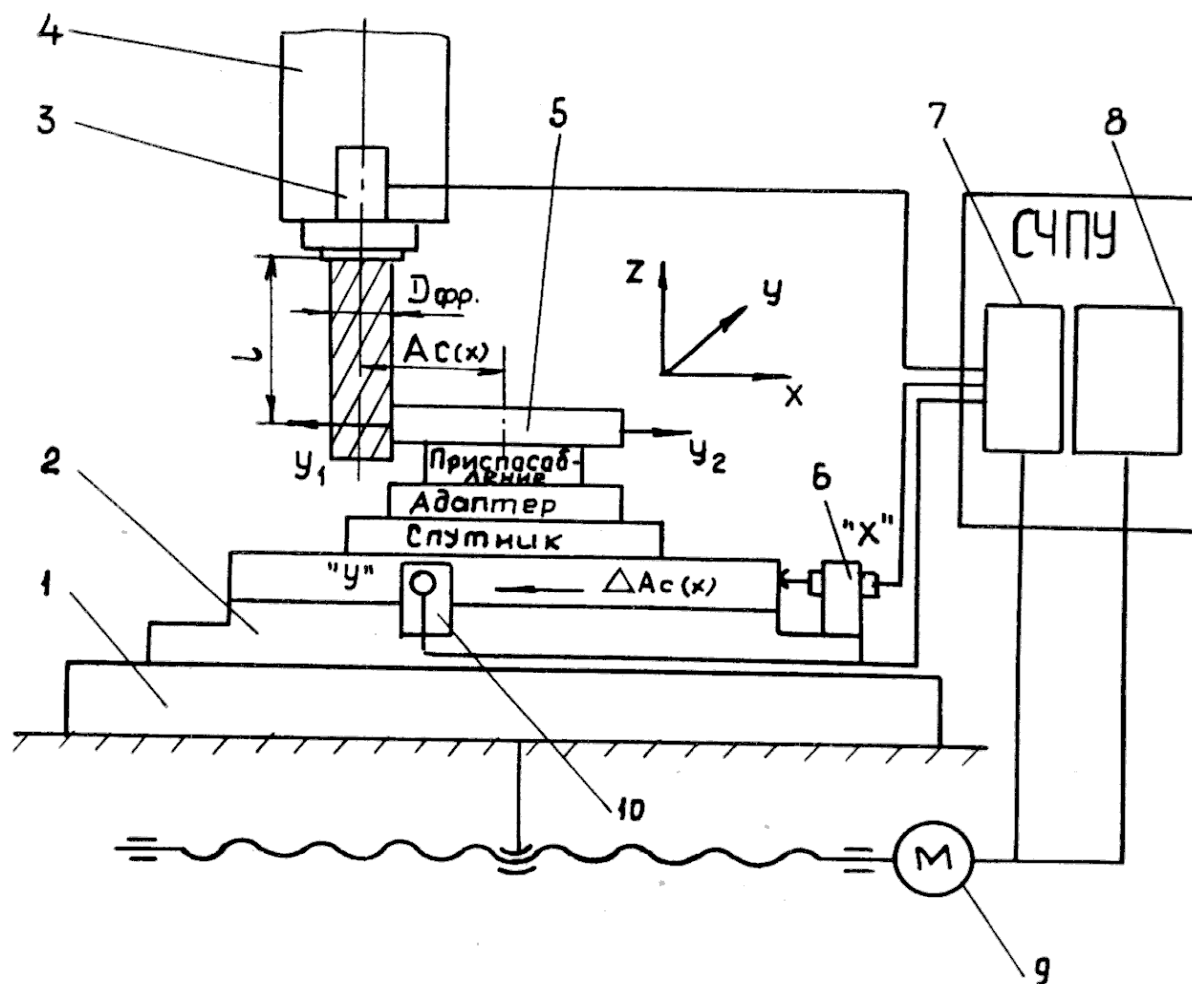


Рисунок - 12.18 Схема АС управления точностью обработки путем компенсации упругих деформаций технологической системы через привод подачи станка

На схеме:

1 - стол станка; **2** - накладной динамометрический стол (НДС); **3** - датчик деформаций технологической системы; **4** - шпиндель станка; **5** - заготовка; **6** - датчик регистрации упругих деформаций НДС по оси **X**; **7** - блок обработки корректирующего сигнала; **8** - блок задания перемещений стола станка по осям **X** и **Y**; **9** - привод подачи стола по оси **X**; **10** - датчик регистрации упругих деформаций НДС по оси **Y**.

В рассматриваемом примере величина и направление корректирующего перемещения, $\Delta A_{c(x)}$ например по координате **X**, определяется как сумма деформации технологической системы X_1 и динамометрического стола X_2 :

$$\Delta A_{c(x)} = X_1 + X_2. \quad (1)$$

Поскольку,

$$\boxed{}; \boxed{}, \text{ то } \boxed{},$$

где: **j1** и **j2** - соответственно жесткости технологической системы и динамометрического стола.

С учетом приведенных формул выражение (1) можно представить следующим образом:

$$\boxed{}. \quad (2)$$

Входящая в выражение (2) жесткость динамометрического стола **j2** известна, а жесткость технологической системы **j1** определяется в основном наиболее слабым ее звеном, которым в данном случае является концевая фреза. Жесткость последней может быть определена опытным или расчетным путем в зависимости от ее диаметра **D_{фр}** и длины вылета из шпинделя **l**.

В СЧПУ корректирующий сигнал от блока **7** суммируется с основным, задаваемым блоком **8**. Результирующее перемещение стола будет равно:

$$\boxed{}$$

где: **V_x**- перемещение стола на **1°** поворота вала двигателя привода подачи;

α_{хз} - угол поворота вала шагового двигателя подачи.

Угол поворота вала шагового двигателя подачи является результатом сложения запрограммированного поворота **α_х** и корректирующего поворота **Δα_х**, компенсирующего упругие отжатия при обработке, то есть:

$$\boxed{}$$

Соответственно корректирующее перемещение равно:

$$\boxed{}$$

1.52. Адаптивное управление точностью обработки по размерам динамической и статической настройки

В отличие от ранее рассмотренных АС, которые являются одноконтурными, данные АС относятся к двухконтурным и реализуют комбинированный способ управления точностью обработки. В этих АС имеет место комбинация описанных выше двух способов, что является более эффективным, но и более сложным в конструктивном исполнении. Например, при больших колебаниях припуска и твердости материала заготовки внесение поправки посредством изменения подачи (управление размером динамической настройки **A_д**) может привести к колебаниям шероховатости обработанной поверхности и выходу ее за допустимые пределы. Во избежание этого уменьшают диапазон изменения подачи. Чтобы

сохранить при этом точность обработки, вводят дополнительное управление размером статической настройки A_c . Это устраняет часть отклонения ΔA_d , некомпенсированную из-за ограничения диапазона изменения подачи.

Структурная схема АС, управляющей размерами статической и динамической настройки, приведена на рис. 12.19

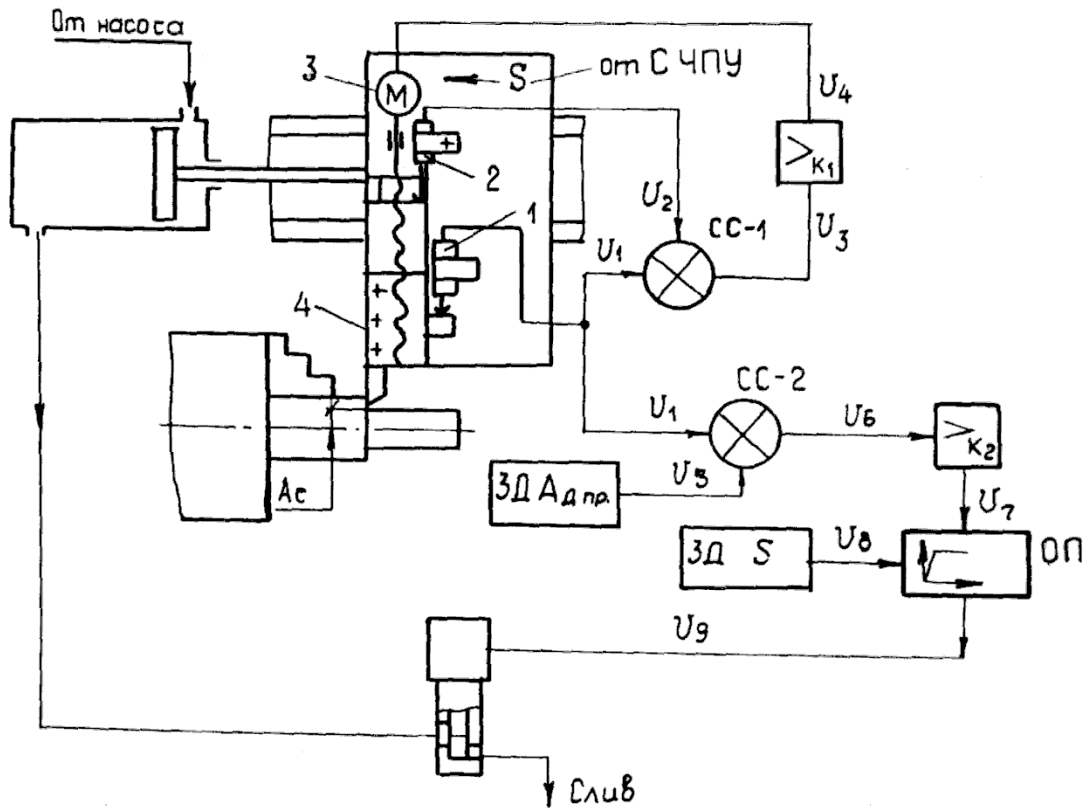


Рисунок 12.18 - Структурная схема двухконтурной АС, управляющей размерами статической и динамической настройки.

Один контур обеспечивает перемещение суппорта в радиальном направлении на величину $\Delta A_c = \Delta A_d$. Второй контур, имеющей задатчики предельной величины упругого перемещения $\text{ЗД } A_d \text{ пр.}$ и наибольшего значения продольной подачи $\text{ЗД } S$, обеспечивает автоматический поиск и поддержание оптимального значения продольной подачи. Бесступенчатое регулирование подачи достигается с помощью следящего золотника СЗ с электроуправлением, встроенным на выходе гидросистемы станка.

АС работает следующим образом. С индуктивного датчика 1 на схемы сравнения СС-1 и СС-2 непрерывно поступает информация V_1 , соответствующая величине A_d . На схему СС-1 поступает также сигнал V_2 от датчика обратной связи 2 , регистрирующего положение резцедержателя 4 . Сигнал рассогласования V_3 усиливается до $V_4 = K_1 \cdot V_3$ и подается на привод малых перемещений 3 , выполняющий регулирование размера статической настройки ($\Delta A_c = \Delta A_d$). На схему СС-2 поступает также от задатчика $\text{ЗД } A_d \text{ пр.}$ сигнал V_5 , соответствующий величине $A_d \text{ пр.}$. Сигнал рассогласования V_6

усиливается до $V_7 = K_2 \cdot V_6$ и подается через ограничитель подачи **ОП** следящего золотника **СЗ**. Задатчики **ЗД** A_d пр., **ЗД** S и ограничитель подачи **ОП** формируют сигнал V_9 , соответствующий оптимальному значению продольной подачи.

1.53. Измерительный комплекс МЦС с ЧПУ для управления точностью обработки в ГПС

При изготовлении корпусных деталей в гибких автоматизированных производствах для управления точностью обработки необходимо каждый станок оснащать разветвленным измерительным комплексом. Этот комплекс в своем составе должен иметь (рис. 12.20):

- **трехкоординатную телеметрическую головку**, хранящуюся в инструментальном магазине станка. Головка должна автоматически устанавливаться в шпиндель станка и через каналы связи давать в систему управления сигналы о своем положении в шпинделе станка и о положении технологических баз детали на станке (**СКПУ**). По результатам "обработки" сигналов, поступающих от головки, система управления должна выработать управляющее воздействие на коррекцию управляющей программы движения рабочих органов станка;

- **трехкоординатную кабельную головку**, установленную на столе станка. Посредством данной головки автоматизируется процесс размерной настройки каждого инструмента, хранимого в магазине станка, и автоматически настраивается положение исходной точки начала отсчета программных перемещений рабочих органов (**СНИ**);

- **трехкоординатный блок коррекции приводов (БКП)** станка, который электронным способом (с помощью ЭВМ) компенсирует систематические и случайные погрешности станка (**СКПС**);

- **систему датчиков**, позволяющих регистрировать фактические параметры процесса обработки и управлять точностью и производительностью на базе системы адаптивного управления (**САУ**);

Оснащение станка таким измерительным комплексом позволяет:

- автоматизировать процесс размерной настройки технологической системы каждого отдельного станка;

- исключить необходимость ручной корректировки оператором процесса достижения требуемой точности изготовления детали, то есть иными словами автоматизировать этот процесс;

- снизить капитальные затраты, связанные с изготовлением вспомогательного инструмента, технологической и контрольно-измерительной оснастки.

Сказанное в полной мере можно отнести к МЦС для обработки тел вращения с той лишь разницей, что телеметрическая и кабельная головка, а также блок коррекций должны быть двухкоординатными. Однако выпускаемые в последнее время токарные МЦС позволяют выполнять и фрезерные работы. Для этих станков перечисленные устройства должны быть трехкоординатными.

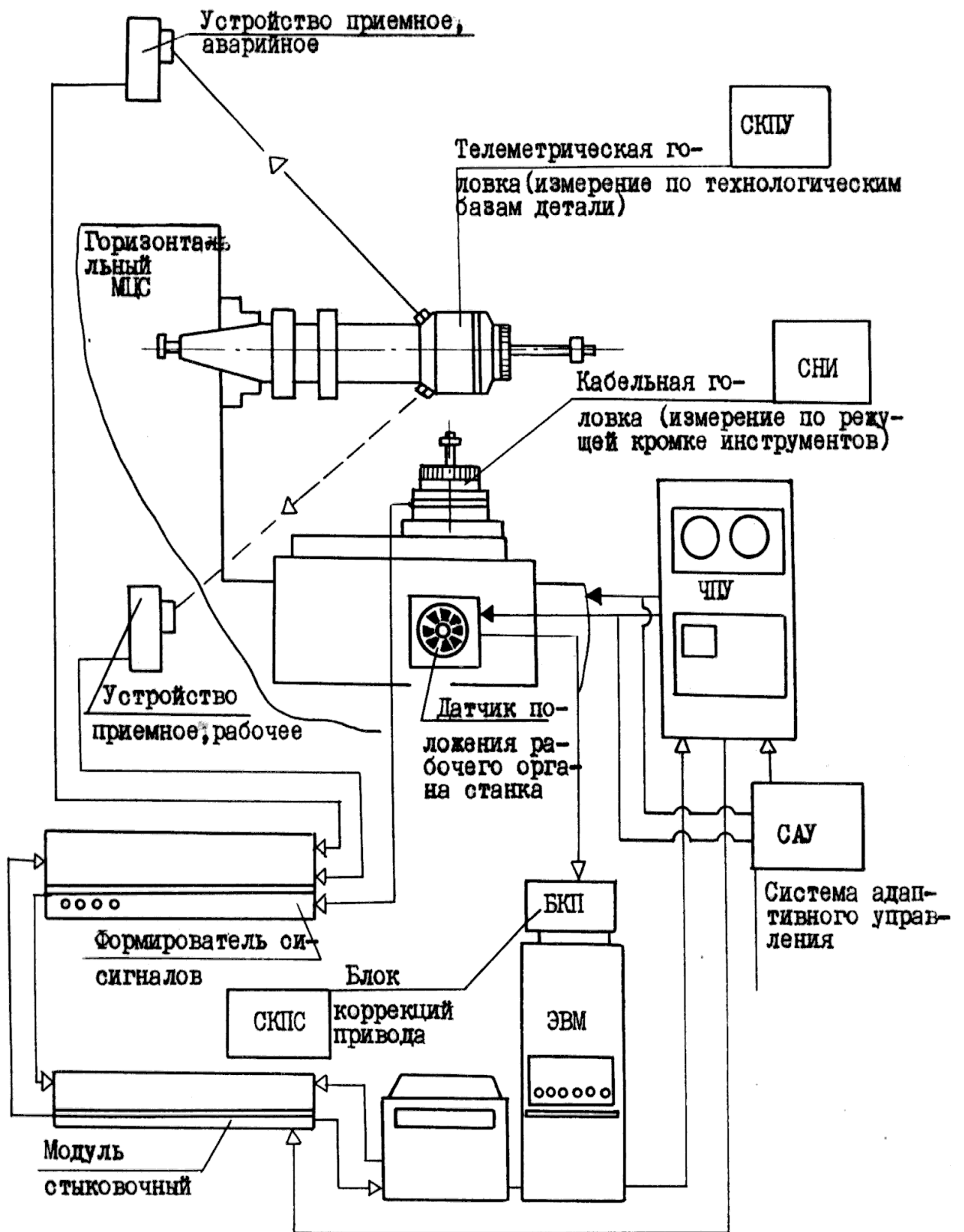


Рисунок 12.20 - Измерительный комплекс МС с ЧПУ для управления процессом достижения точности обработки.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Фельдштейн Е.Э. Обработка деталей на станках с ЧПУ: учеб. пособие/ Е.Э. Фельдштейн, М.А. Корниевич. – 3-е изд., доп. – Минск: Новое знание, 2008. – 299с.: ил. – (техническое образование). (Главы 1,2, 6-11).
2. Ловыгин А.А., Васильев А.В., Кривцов С.Ю. Современный станок с ЧПУ и CAD/CAM система. – М.: «Эльф ИПР», 2006, 286 с., илл. (Главы 3-5)