Силаев А.А., ЕфремкинС.И.

Гибкие производственные системы и современные системы с ЧПУ

Волжский

2024

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РФ
ВОЛЖСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ (ФИЛИАЛ)
ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО БЮДЖЕТНОГО ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО
УЧРЕЖДЕНИЯ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«ВОЛГОГРАДСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Силаев А.А, Ефремкин С.И.

Гибкие производственные системы и современные системы с ЧПУ

Электронное учебное пособие

Волжский

2024

УДК 681.5(07)
ББК 32я73
С 36

Рецензенты:
канд. техн. наук, доцент, филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г.Волжском
Болдырев И.А.;
начальник производственно-конструкторского отдела
ООО Группа «ПРИВОД»
Задворский С.Н.

Издается по решению редакционно-издательского совета
Волгоградского государственного технического университета

Силаев, А.А.
Гибкие производственные системы и современные системы с ЧПУ [Электронный ресурс] : учебное пособие / А. А. Силаев, С. И. Ефремкин ; Министерство науки и высшего образования Российской Федерации, ВПИ (филиал) ФГБОУ ВО ВолгГТУ. – Электрон. текстовые дан. (1 файл: 2,98 МБ). – Волжский, 2024. – Режим доступа: http://lib.volpi.ru. – Загл. с титул.экрана.
ISBN 978-5-9948-4892-0

В пособии рассмотрены гибкие производственные системы, их состав и структура, а также современные системы с числовым программным управлением. Приведены примеры построения гибких систем.

Пособие рассчитано на студентов магистров очной и заочной формы обучения направления 15.04.04 «Автоматизация технологических процессов и производство».

Илл. 37, табл. 5, библиограф.: 12 назв.

ISBN 978-5-9948-4892-0

© Волгоградский государственный технический университет, 2024
© Волжский политехнический институт, 2024

Содержание

Введение ... 4
1 История развития гибких производственных систем ... 5
1.1 Развитие ГПС в странах ... 6
1.2 Развитие ГПС в СССР ... 8
2 Состав и классификация гибких производственных систем ... 13
2.1 Гибкий производственный модуль ... 14
2.1.1 Роботизированный технологический комплекс ... 16
2.2 Гибкая производственная ячейка ... 25
2.3 Система обеспечения функционирования ... 27
2.3.1 Автоматизированная транспортно-складская система ... 28
2.3.2 Автоматизированная система инструментального обеспечения ... 32
2.3.3 Система автоматического контроля ... 34
2.3.4 Автоматизированная система управления технологическим оборудованием 35
2.4 Классификация ГПС ... 36
2.5 Задачи проектирования гибких производственных систем ... 38
2.6 Методика проектирования гибких производственных систем ... 40
3 Современные системы с числовым программным управлением ... 43
3.1 Основные движения и системы координат станка с ЧПУ ... 48
3.1.1 Координатная система станка с ЧПУ ... 53
3.2 Нулевые и исходные точки станков с ЧПУ ... 56
3.2.1 Нулевая точка M ... 59
3.2.2 Исходная точка R ... 60
3.2.3 Нулевая точка заготовки W ... 61
3.2.4 Нулевая точка инструмента E ... 62
3.2.5 Нулевая точка инструмента B ... 63
3.2.6 Нулевая точка инструмента N ... 64
3.3 Язык программирования станков с ЧПУ G-code ... 64
3.3.1 Подготовительные (основные) команды ... 67
3.3.2 Технологические (вспомогательные) команды ... 70
3.3.3 Функциональные значения (параметры команд) ... 71
4 Классификация современных систем ЧПУ ... 74
Список литературы ... 77

Введение

Постоянно возрастающие требования к изделиям влекут за собой их усложнение, увеличение трудоемкости и частую сменяемость. Выпуск изделий носит мелкосерийный и единичный характер. Тенденция мелкосерийного характера производства прочно заняла свое место – 70...85 % изделий обрабатываются в условиях единичного и мелкосерийного производства.

Высокая динамика обновления требует автоматизации мелкосерийного механообрабатывающего производства. Однако формальный перенос опыта работы автоматизированных и автоматических поточных линий для изготовления деталей в массовом производстве на сложные, многономенклатурные производственные процессы мелкосерийного производства без учета его специфики не дает существенного эффекта.

Анализ тенденции автоматизации производства показывает, что основным направлением является применение станков с числовым программным управлением (ЧПУ), загрузочных, транспортных и складских роботов, управляемых от ЭВМ, т.е. создание гибких производственных систем (ГПС) механической обработки.

Совершенствование систем автоматического управления неразрывно связано с повышением надежности их функционирования, надежности входящих в них технических устройств. В настоящем учебном пособии рассмотрены особенности проектирования и применения гибких производственных систем.

Данное пособие рассчитано на подготовку студентов магистратуры направления 15.04.04 «Автоматизация технологических процессов и производств» очной и заочной формы обучения.

1. История развития гибких производственных систем

Согласно ГОСТ 26228-90 [4] гибкая производственная система (ГПС) – это управляемая средствами вычислительной техники совокупность технологического оборудования, состоящего из разных сочетаний гибких производственных модулей и (или) гибких производственных ячеек, автоматизированной системы технологической подготовки производства и системы обеспечения функционирования, обладающая свойством автоматизированной переналадки при изменении программы производства изделий, разновидности которых ограничены технологическими возможностями оборудования.

Развитие ГПС ведет свое начало с двух точек:

- С одной стороны – увеличение партии одновременно обрабатываемых деталей за каждую переналадку за счет нормализации деталей и унификации узлов, их обработки группами, специализации производства;
- С другой стороны – создание переналаживаемых оборудования и автоматических линий.

Первая половина XX в. характеризуется углублением разделения производства на серийное и массовое, которое предъявляет различные требования к составу металлорежущего оборудования.

В единичном и серийном производствах преобладали универсальные станки, большое количество приспособлений, высокая квалификация рабочего.

В массовом производстве, наоборот, использовались узкоспециализированные станки и автоматические линии. Низкая производительность труда при использовании универсальных станков и невозможность использования для быстроменяющихся объектов производства оборудования массового производства значительно тормозили развитие всего производства.

Стремление повысить эффективность многономенклатурного единичного и мелкосерийного производства привело к пониманию того, что в современных многономенклатурных технологических комплексах должны обеспечиваться интенсификация и автоматизация технологических операций, компьютеризация технологического процесса и их согласование с операциями транспортирования, складирования и управления.

1.1 Развитие ГПС в странах

Первый станок с числовым программным управлением (ЧПУ) был изобретен сыном владельца компании ParsonsInc, Джоном Пэрсонсом, который работал в инженерном отделе компании, принадлежавшей его отцу. Эта компания специализировалась на производстве пропеллеров, лопастей и сопутствующих частей для вертолетов.

Персонс младший был первым, кто запатентовал идею использования станка, обрабатывающего материалы для пропеллеров и других деталей при помощи программы, которая выполнялась вследствие считывания нужной информации с перфокарт.

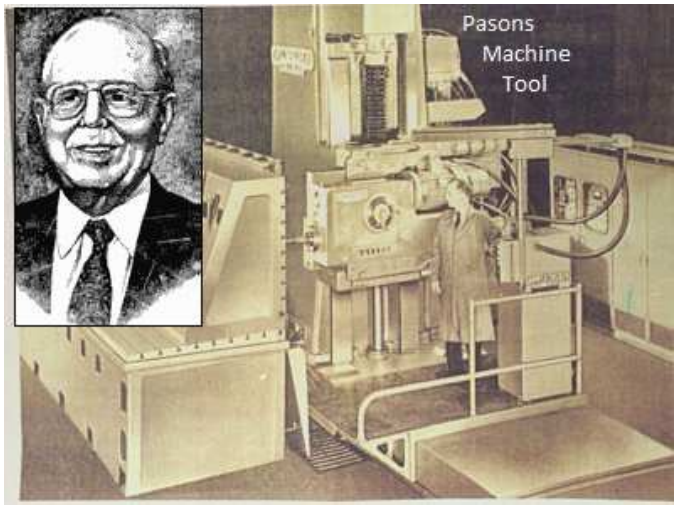

Рисунок 1.1 – Первый станок с ЧПУ

Первый станок с ЧПУ был отличен от остальных тем, что имел гораздо сложнее конструкцию и управление, и поэтому его использование в промышленности затруднялось, а иногда и вовсе было невозможно.

Самая первая установка ЧПУ была разработана и произведена корпорацией BendixCorp. в 1954 году, а спустя всего год (в 1955 году) эти устройства массово начали применять в станкостроении и в доработке старого оборудования на производствах. Оборудование с ПУ медленно набирало свою популярность в мире, поскольку многие люди относились к данной новинке технологического прогресса довольно скептически и недоверчиво.

Для того чтобы доказать обратное, Министерство обороны Соединенных Штатов изготовило 120 экземпляров станков с ЧПУ за свой счет. В дальнейшем эти станки были сданы в аренду частным и государственным фирмам, занимающимся обработкой различных материалов и выпуском продукции из них. Спустя небольшой промежуток времени, в 1958 году был разработан первый язык символьного программирования, называющийся APT (AutomaticallyProgrammedTools).

Первым станком с ЧПУ в Японии был пресс для штамповки револьверных головок фирмы «Фудзицучинки» (ныне «Фудзицу»), созданной в 1956 г. Компьютеризованные ЧПУ появились в 70-х годах, когда микропроцессоры стали популярными и цена на микроэлементы памяти упала.

В Японии говорят, что гибкие производственные системы (ГПС) базируются на гибкой системе обеспечения материалами. Первые японские автоматически управляемые транспортные средства были произведены в 1970 г. фирмой «ДайфукуМэшинериУоркс», использовавшей импортированную технику.

Общее количество отгруженных станков на конец 1981 г. было около 3 тыс. В 1969 г. в Японии появился автоматизированный товарный склад. Их быстрое распространение приходится на начало 70-х годов.

1.2 Развитие ГПС в СССР

Первыми станками с ЧПУ производства СССР, для использования в промышленности, были токарно-винторезный автомат 2К63ПУ, а также токарно-карусельный автомат 1541n. Их разработали и начали массово выпускать в 60-х годах прошлого столетия.

Данные автоматы управлялись при помощи как систем ПРСЗК (работали совместно с ними), так и других систем управления промышленным оборудованием. Немного позже были изобретены и запущены в производство вертикально-фрезерные автоматы с ЧПУ, получившие название 6Н13 и которые были укомплектованы системой «Контур-ЗП», при помощи которой и осуществлялось непосредственное управление станком. К концу 70-х годов прошлого века на токарное оборудование с ЧПУ стали устанавливать системы 2Р22 и Электроника НЦ-31, которые были выпущены также отечественными производителями.

Начиная с 80-х гг. XX в. в машино- и приборостроительных отраслях промышленности начинают создаваться ГПС, в которых при реализации как вспомогательных, так и основных технологических процессов значительное место отводится промышленным роботам.

«В нашей стране на разных предприятиях уже действует около 60 гибких систем. «Мы намечаем выпуск, – отмечал министр станкостроительной и инструментальной промышленности Б. В. Бальмонт, – литейных, кузнечно-прессовых, различных металлорежущих гибких автоматизированных модулей. Так, московский завод «Красный пролетарий» должен наладить серийный выпуск токарных модулей для обработки легких деталей, а Рязанский завод – для тяжелых, Харьковский завод им. Косиора – шлифовальных, Горьковский завод – фрезерных. Ряд предприятий организует выпуск фрезерно-расточных модулей на базе станков типа «обраба-

тывающий центр», – именно так писала газета «Известия» 30 ноября 1983 года.

Началу формирования концепции ГПС предшествовал ряд объективных экономических, технологических, технических и научных предпосылок. Так, постоянный рост части валового продукта, выпускаемого в серийном и мелкосерийном производстве, привел к необходимости поиска путей повышения качества продукции и снижения ее себестоимости путем автоматизации технологических процессов. С целью разрешения противоречий, обусловленных частой сменой номенклатуры и ростом общих объемов производства, разработчики вернулись к уже хорошо апробированным и испытанным методам групповой технологии обработки (основоположник проф. А. П. Соколовский, зав. кафедрой «Технологии машиностроения» Ленинградского политехнического института им. М. И. Калинина).

К началу восьмидесятых годов был создан большой парк перенастраиваемого оборудования и средств управления. Станки с ЧПУ, обрабатывающие центры, промышленные роботы позволяют оперативно менять программы и переключаться с выпуска одной продукции на другую. Средства управления, выполненные на базе современных микропроцессоров, способны обеспечить управление достаточно сложными техническими объектами, причем они могут сравнительно легко перепрограммироваться. Успехи математики и информатики к концу семидесятых годов привели к созданию достаточно совершенных алгоритмических методов диспетчирования и управления производственными процессами.

Одним из ярких примеров внедрения гибких производственных систем в СССР является комплекс АЛП-3-2, в который входят 8 обрабатывающих центров, 2 автоматизированных склада и 2 транспортные системы. Он выполняет работу 70 универсальных станков. Данный комплекс был оснащен станками с ЧПУ, автоматизированными транспортно-

накопительными системами, управляемыми мини-ЭВМ. В результате годовой выпуск деталей 370 наименований увеличился на 20%, повысилась производительность труда, высвобождено 30% производственных площадей.

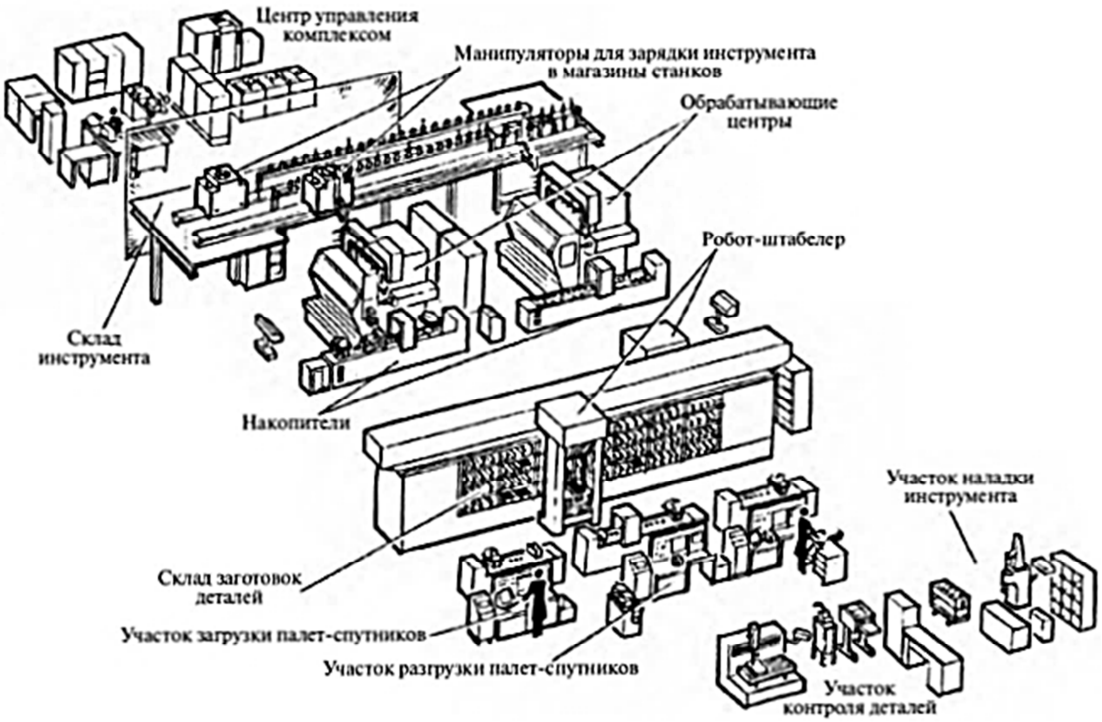

Рисунок 1.2 – Структура комплекса АЛП-3-2

Основным сдерживающим фактором в развитии систем с ЧПУ было развитие компьютерных систем и их стоимость, а также производительность вычислительных систем и развитие CAD/CAM систем.

Бурное развитие микроэлектроники в конце 90 годов заложило рост производства систем с ЧПУ в мире в 2000-х годах.

В настоящее время гибкие производственные системы оказывают существенное влияние и на экономическое развитие отдельных стран и регионов, в связи с чем становятся предметом государственной экономической стратегии большинства государств.

Высокие темпы роста многих развивающихся стран, как показывает мировой опыт, связаны именно с повышением их вовлеченности в ГПС, что подтверждает опыт Китая, Индии, государств Центральной и Восточ-

ной Европы, Юго-Восточной Азии. В современной мировой экономике ГПС многонациональных компаний (МНК) генерируют около 80 % международных торговых потоков, формируют и определяют конкурентоспособность стран, их инвестиционную привлекательность, роль в международном разделении труда и мировом воспроизводственном процессе.

Внедрение автоматизированного управления в гибкую производственную систему так или иначе несет перераспределение функций, которое зависит от того или иного оборудования. Краткая характеристика функций, выполняемых в машиностроительном производстве, представлена в таблице 1.1

Таблица 1.1 – Распределение функций

Функции	**Станок с ручным управлением**	**Станок С ЧПУ**	**Обрабатывающий центр**	**ГПС**
Транспортировка заготовок к станку	Человек	Человек	Человек	Машина
Установка и крепление заготовок	Человек	Человек	Человек	Машина
Выбор и установка режущего инструмента	Человек	Человек	Машина	Машина
Управление подачей и скоростью резания	Человек	Машина	Машина	Машина
Управление геометрией резания	Человек	Машина	Машина	Машина
Смена инструмента и перемещений	Человек	Человек	Машина	Машина

Разгрузка детали со станка	Человек	Человек	Человек	Машина

Таким образом, внедрение гибких производственных систем предполагает перевод любого производственного предприятия в полностью автоматический режим работы.

Среди преимуществ гибких производственных систем выделяют:

- сокращение объемов незавершенного производства в 2…2,5 раза;
- сокращение длительности производственного цикла в 5…6 раз;
- повышение коэффициентов загрузки оборудования до 0,8…0,9;
- сокращение количества технологического оборудования на 50…75%;
- сокращение количества обслуживающего персонала на 50…60%;
- уменьшение периода освоения новых изделий на 50…60%;
- снижение брака в 4…5 раз.

Среди недостатков ГПС:

- высокая первоначальная стоимость внедрения системы,
- сложное предварительное планирование,
- требование квалифицированной рабочей силы.

2. Состав и классификация гибких производственных систем

Гибкая производственная система представляет собой систему с комплексно автоматизированным производственным процессом, работа всех компонентов которой (технологического оборудования, транспортных средств, средств контроля и инструментообеспечения и др.) координируется как единое целое системой управления, обеспечивающей быстрое изменение программ функционирования технических средств системы при смене объекта производства. Структура ГПС приведена на рисунке 2.1.

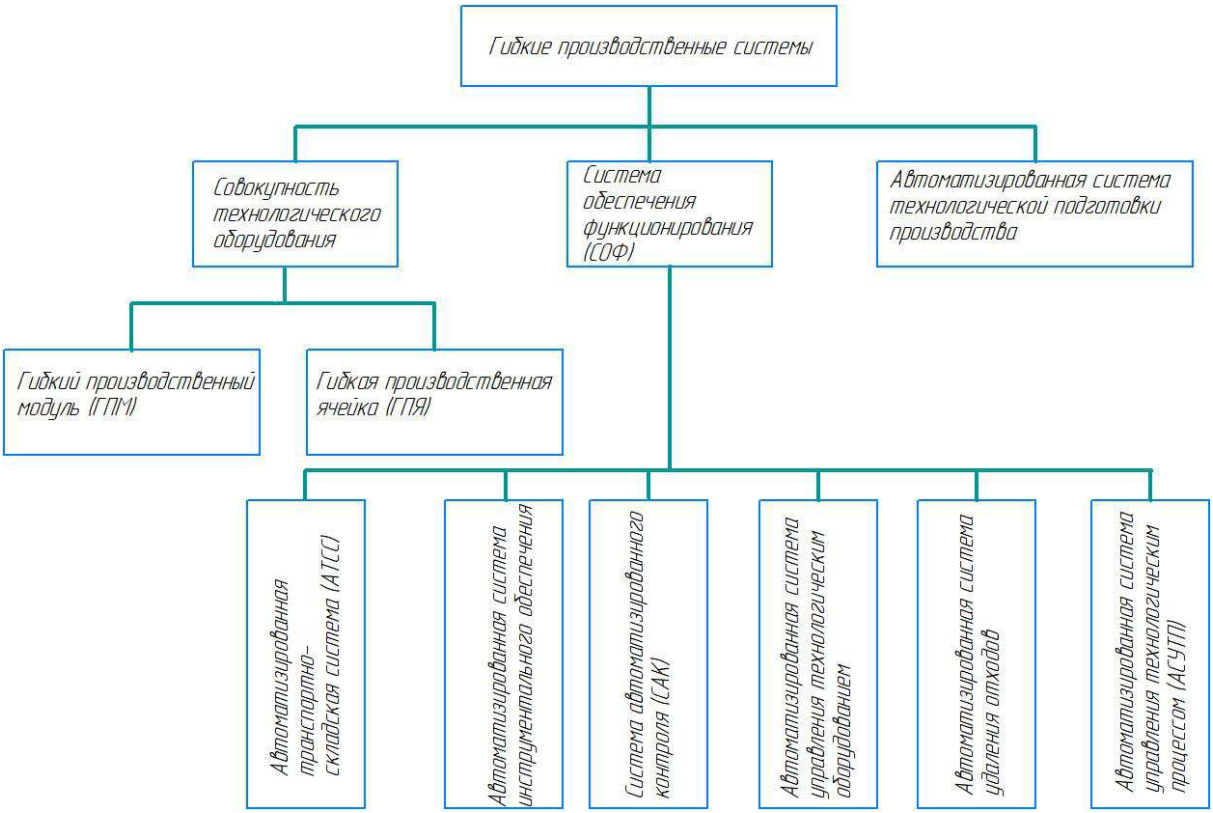

Рисунок 2.1 – Структура гибкой производственной системы

К основным частям ГПС относят:

- гибкий производственный модуль (ГПМ),
- гибкая производственная ячейка (ГПЯ),
- система обеспечения функционирования гибкой производственной системы и гибкой производственной ячейки (СОФ ГПС и ГИЯ).

2.1 Гибкий производственный модуль

Гибкий производственный модуль – это единица технологического оборудования, автоматически осуществляющая технологические операции в пределах его технических характеристик, способная работать автономно и в составе гибких производственных систем или гибких производственных ячеек.

В средства автоматизации ГПМ в общем случае входят:

- устройство числового программного управления (ЧПУ) для автоматизации последовательности действий рабочих органов технологического оборудования, включая смену заготовок, изделий, инструмента, подачу смазывающе-охлаждающей жидкости, удаление отходов и переналадки;
- устройство адаптивного управления для автоматизации регулирования параметров технологического процесса, при изменении условий его выполнения;
- устройство контроля и измерения вовремя операции или после операции для автоматизации дополнительной наладки оборудования;
- устройство диагностики оборудования для автоматизации выявления и устранения неисправностей и т.д.

Рассмотрим типовые компоновки ГПМ.

Представленный на рисунке 2.2 ГПМ, состоит из двух токарных станков 7 с ЧПУ и обслуживающего эти станки промышленного робота портального типа. Каретка 1 с установленной на ней механической рукой 2 перемещается по направляющим портала 5, смонтированного на колоннах 6. Рука 2 манипулятора двухзвенная и состоит из плечевого и локтевого рычажно-шарнирных механизмов. На базирующем фланце конечного звена руки установлен механизм головки (кисти) 3 с захватным устройством 4. Манипулятор имеет четыре степени подвижности: перемещение каретки

по порталу, поворот руки в плечевом шарнире, поворот руки в локтевом шарнире, поворот кисти вокруг своей оси на угол 90 или 180°. Кроме того, для зажима и разжима деталей предусмотрено движение губок схвата.

В состав гибкой производственной системы для токарной обработки помимо основного технологического оборудования (станков 7 и обслуживающего их робота) входят вспомогательные накопительные устройства 8 для установки в них в ориентированном положении заготовок и обработанных деталей, также находящихся в рабочей зоне манипулятора, и ограждение.

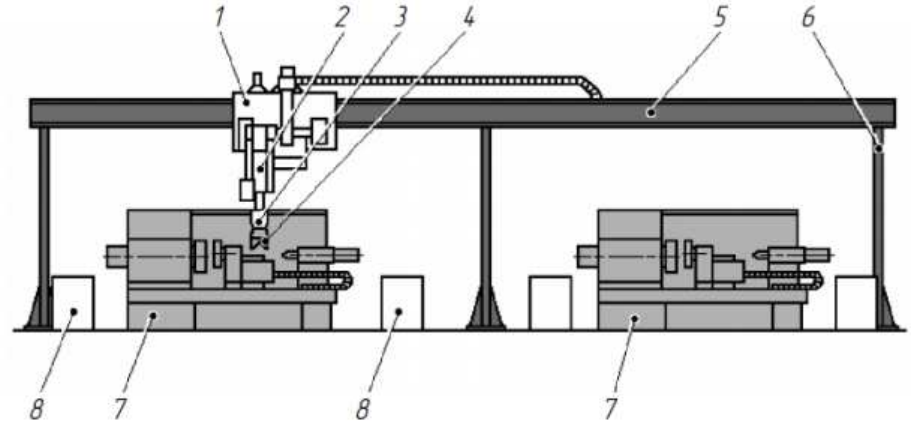

Рисунок 2.2 – Гибкий производственный модуль токарного типа

Другим примером ГПМ для токарной обработки является реализация с напольным роботом. Робот имеет одну горизонтальную выдвижную руку и вертикальную колонну, вокруг оси которой рука поворачивается. На рисунке 2.3 приведена схема ГПМ, состоящего из токарного станка 6, обслуживающего его универсального промышленного робота 2 и транспортно-накопительного устройства 1 для заготовок и обработанных деталей.

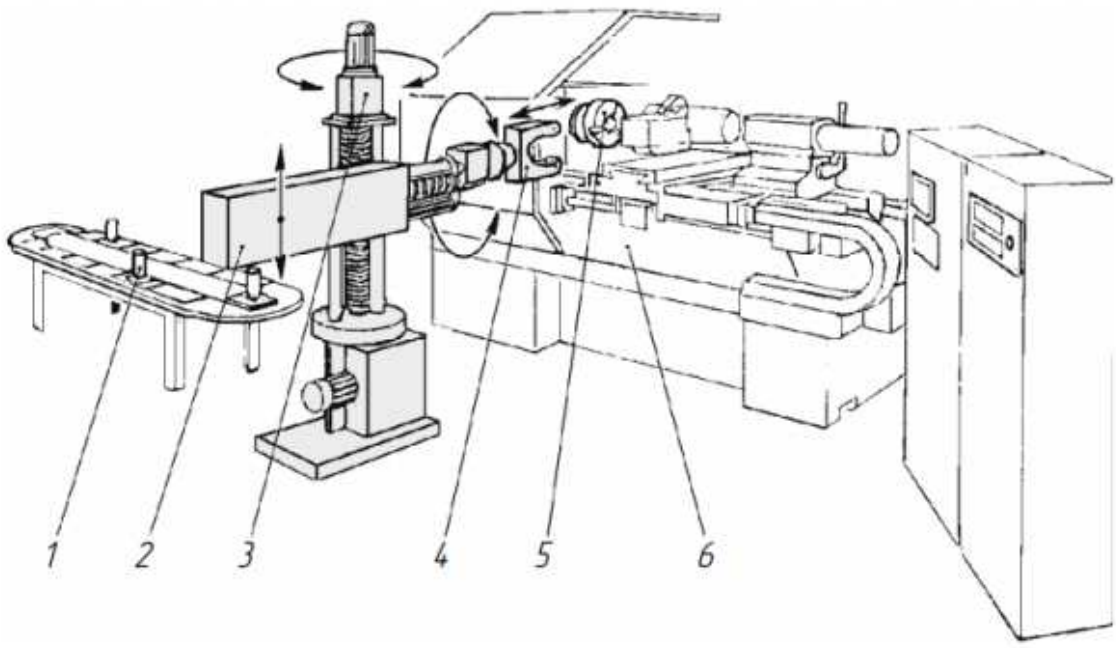

Рисунок 2.3 – ГПМ со станком и роботом напольного типа

Рабочая зона робота охватывает загрузочные и разгрузочные позиции транспортера-накопителя, зону обработки на станке, примыкающую к его шпинделю, контрольно-измерительную позицию специального автоматического устройства.

2.1.1 Роботизированный технологический комплекс

Частным случаем ГПМ является роботизированный технологический комплекс (РТК). Роботизированный технологический комплекс (РТК) состоит из единицы технологического оборудования, промышленного робота и средств оснащения (устройств накопления, ориентации и поштучной выдачи изделий). РТК может функционировать автономно, осуществляя многократно циклы обработки. Если РТК предназначены для работы в составе ГПС, то они должны иметь автоматизированную переналадку и возможность встраивания в систему.

Промышленный робот (ПР) – автоматическая машина, стационарная или передвижная, состоящая из исполнительного устройства в виде манипулятора, имеющего несколько степеней подвижности, и перепро-

граммируемого устройства программного управления для выполнения в производственном процессе двигательных и управляющих функций.

Перепрограммируемость – свойство промышленного робота заменять управляющую программу автоматически или при помощи человека. К перепрограммированию относится изменение последовательности и (или) значений перемещений по степеням подвижности и управляющих функций с помощью средства управления.

Основные преимущества промышленных роботов:

- повышение производительности выполнения операций по сравнению с использованием ручного труда рабочих;
- возможность многократно выполнять повторяющиеся операции с высокой точностью, что обеспечивает высокое качество изделия;
- способность работать в неблагоприятных для человека условиях (например, при выполнении тяжелых и монотонных работ, в запыленных и загрязненных средах), отсутствие ограничений, свойственных человеку.

При работе в составе гибких производственных ячеек или гибких производственных систем средства автоматизация ГПМ определяются организацией информационных и материальных потоков.

Системы управления промышленных роботов разделяются на типы:

1. Цикловое управление;
2. Позиционное управление;
3. Контурное управление;
4. Адаптивное управление.

Цикловое управление – управление исполнительным устройством промышленного робота, при котором осуществляется программирование последовательности выполнения его движений.

Цикловое управление применяется для ПР, выполняющих несложные вспомогательные операции по обслуживанию технологического обо-

рудования при простых повторяющихся циклах движений. Примером может служить операция по загрузке металлорежущего станка заготовками, взятыми в ориентированном положении из определенной позиции устройства поштучной выдачи заготовок (рисунок 2.4). Более того, такая схема предполагает строго определенное расположение всех устройств с тем, чтобы обеспечить минимум однообразных перемещений рабочего органа ПР.

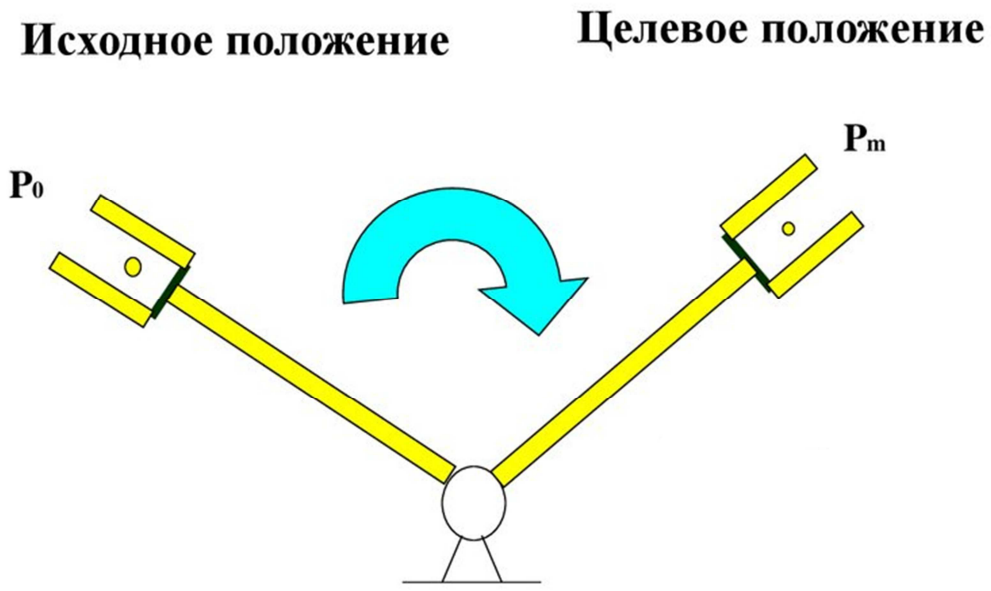

Рисунок 2.4 – Схема ПР циклового управления

Для роботов с цикловым управлением характерны простые алгоритмы управления, невысокая стоимость, но малый объем информации управляющих программ и низкие функциональные возможности.

Позиционное управление – управление исполнительным устройством промышленного робота, при котором движение его рабочего органа происходит по заданным точкам позиционирования без контроля траектории движения между ними.

Позиционное программное управление широко применяют в самых различных ПР, т.к. оно отличается более высокой универсальностью и гибкостью, возможностью автоматической отработки циклов движений с тысячами точек позиционирования. В устройствах позиционного управле-

ния реализуются алгоритмы перемещений рабочих органов «от точки к точке» с автоматическим разгоном и торможением.

К примеру, с помощью позиционной системы управления можно организовать загрузку станка ориентированными заготовками из кассет (рисунок 2.5). Кроме того, возможно обслуживание нескольких станков без особых требований к траектории перемещения рабочего органа ПР.

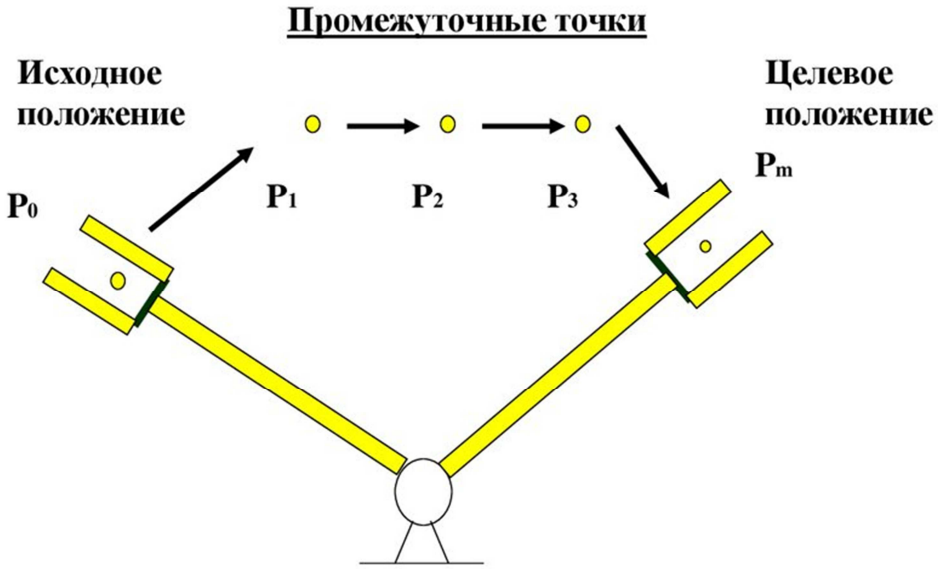

Рисунок 2.5 – Схема ПР позиционного управления

Контурное управление – управление исполнительным устройством промышленного робота, при котором движение его рабочего органа происходит по заданной траектории с установленным распределением во времени значений скорости.

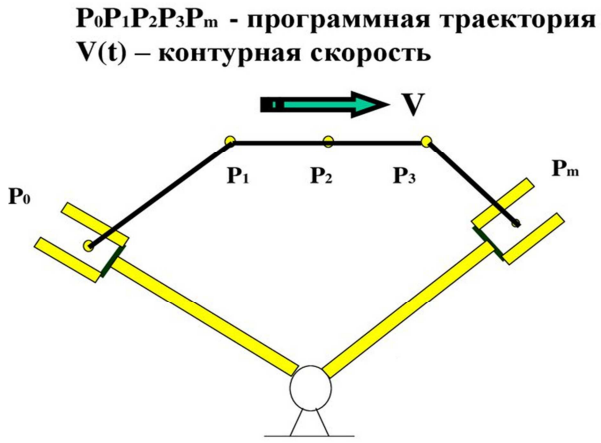

Рисунок 2.6 – Схема ПР контурного управления

Многие роботизированные производственные операции (окраска распылением, сборка, снятие заусенцев и др.) требуют контурного управления. При автоматизации таких технологических процессов ПР обычно представляет собой единицу основного технологического оборудования, выполняющего операции по изменению качественных характеристик изделий. При контурном управлении реализуется непрерывная отработка перемещений рабочего органа ПР по двум и более координатам одновременно.

Адаптивное управление – управление исполнительным устройством промышленного робота с автоматическим изменением управляющей программы в функции от контролируемых параметров состояния внешней среды. ПР с адаптивным управлением оснащены устройствами очувствления (системами технического зрения, сенсорными и другими устройствами) для получения информации об окружающей среде, предмете производства и состоянии механизмов робота. Они выполняют сложные операции в условиях с заранее неизвестными изменениями производственной ситуации, к которым должны приспосабливаться.

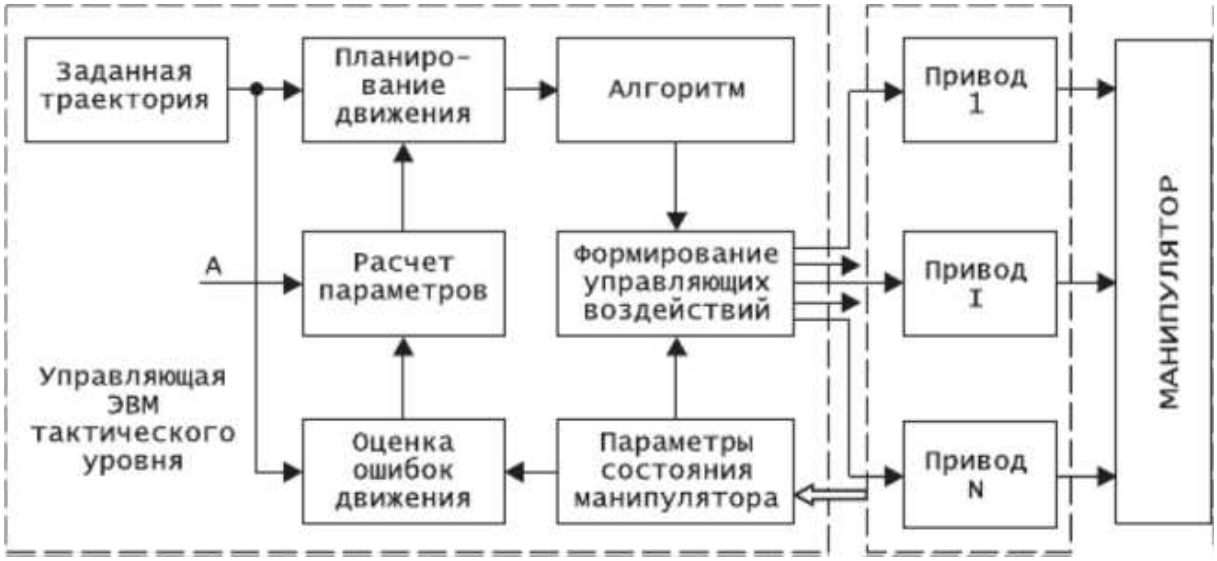

Рисунок 2.7 – Схема адаптивного управления ПР

Примером является операция дуговой сварки, при выполнении которой необходим поиск места стыка свариваемых деталей, а затем движение вдоль стыка при определенных ориентации и расстоянии электрода относительно стыка. Другой пример: загрузка металлообрабатывающего станка заготовками из обычной тары, где они расположены в неориентированном положении.

Существуют три базовые структурные разновидности роботизированных технологических комплексов.

1. РТК первого типа, образованные на основе единицы технологического оборудования, промышленного робота и вспомогательных устройств, где ПР осуществляет загрузку-разгрузку оборудования.
2. РТК второго типа, состоящие из группы технологического оборудования, вспомогательных устройств и одного или нескольких ПР, которые кроме загрузки-разгрузки оборудования осуществляют межоперационное транспортирование изделий.
3. РТК третьего типа, в которых ПР кроме вспомогательных операций выполняют ряд технологических, таких как сборка, окраска распылением и т.д.

В зависимости от сочетания количества ПР и обслуживаемого технологического оборудования различают три разновидности РТК:

1. однопозиционные, в которых один ПР обслуживает единицу технологического оборудования;
2. групповые, включающие один ПР, который обслуживает группу однотипного или разнотипного технологического оборудования;
3. многопозиционные, включающие группу роботов, выполняющих взаимосвязанные или взаимодополняющие функции по обслуживанию одной или нескольких единиц технологического оборудования (например, один ПР выполняет заливку металла в машину литья под давлением, а другой снимает готовые отливки).

По типу конструкции промышленные роботы можно разделить на несколько групп.

Декартовые (картезианские) роботы. Обычно имеют три взаимно перпендикулярные линейные оси перемещения. Рабочее пространство ПР в этом случае имеет форму параллелепипеда. Эта группа роботов отличается простотой конструкции. Благодаря малому количеству шарниров достигается высокая жесткость конструкции и достаточно низкая стоимость.

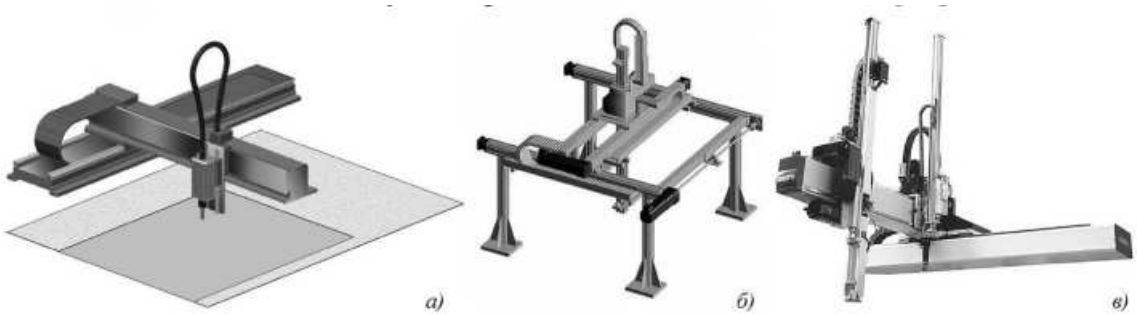

Рисунок 2.8 – Декартовые (картезианские) роботы (а) принципиальная схема, б) портального типа, в) типа XYZ)

К недостаткам можно отнести низкое соотношение размеров обслуживаемого и занимаемого роботом пространств, ограниченные возможности ориентирования инструмента и сложность выполнения операций в ограниченном пространстве. Ввиду малого числа управляемых осей (обычно их три) такие роботы нашли наибольшее применение при выполнении таких операций, как работа с листовым материалом (например, сверление, разрезание, склеивание), разливка жидкостей, укладка и фасовка изделий и т.п. Таким образом, для обслуживания металлообрабатывающих станков такие роботы практически не пригодны.

Роботы SCARA. Впервые представлены японскими компаниями SankyoSeiki, Pentel и NEC в 1981 году. Роботы получили название «сборочная роботизированная рука с избирательной гибкостью» (SelectiveComplianceAssemblyRobotArm), или сокращенно SCARA. Достоинство роботов заключается в параллельном расположении осей соединений, обеспечивающем легкую подвижность руки.

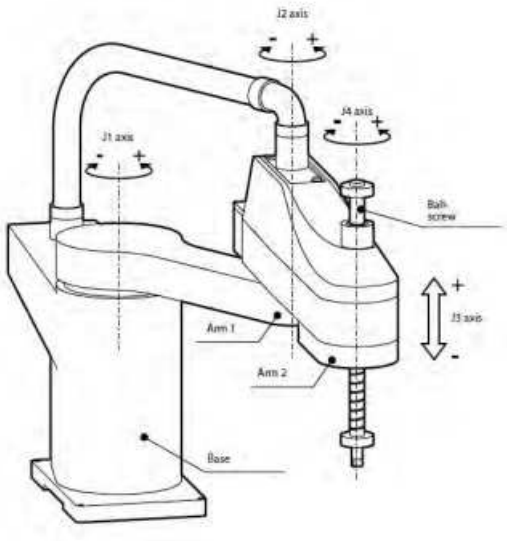

Рисунок 2.9 – Робот SCARA

Другой особенностью роботов СКАРА является двухзвенная конструкция соединения элементов манипулятора, позволяющая ему, подобно руке человека, вытягиваться, втягиваться или поворачиваться. Это особенно удобно для загрузки деталей в рабочую зону станка с ограниченными размерами. Роботы SCARA обладают более высокой скоростью выполнения операций, чем декартовые манипуляторы равного класса.

Параллельные роботы. Основаны на использовании платформы Стюарта, позволяющей с помощью линейных приводов осуществлять перемещение платформы относительно основания по шести независимым координатам. Такие механизмы позволяют параллельно управлять усилием, скоростью и перемещением по одной координате выходного звена. Благодаря особенностям конструкции они получили общее название «дельта-роботы».

Рисунок 2.10 – Параллельный робот

Шарнирные роботы. По возможностям перемещения напоминают действия руки человека. Конструкция робота содержит как минимум три поворотных соединения, образующих полярную систему координат. Три управляемые координаты обеспечивают поворот руки (J1), ее наклон в «плечевом» соединении (J2) и сгибание в «локтевом» звене (J3). Три дополнительные поворотные оси (J4, J5, J6) позволяют манипулятору перемещаться в любом направлении на требуемое расстояние.

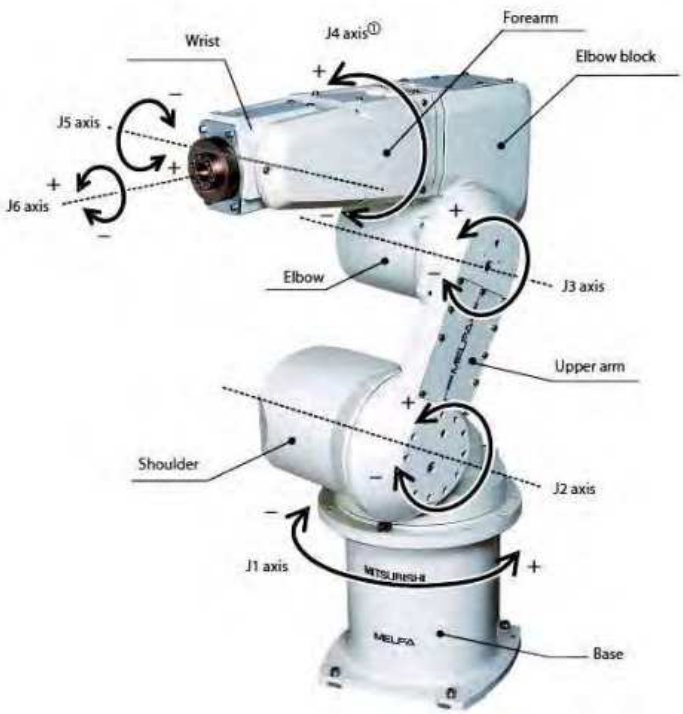

Рисунок 2.11 – Параллельный робот

Подобная конструкция позволяет манипулятору обходить препятствия, занимать любое положение и направление внутри зоны обслуживания. Роботы с шарнирной рукой используются в самых различных целях. Например, робот с шарнирной рукой манипулирует сварочной головкой почти так же, как это делает человек. Шарнирные роботы компактны и обеспечивают повышенные размеры зоны обслуживания. Определенный недостаток шарнирных роботов заключается в повышенной сложности управления, когда для перемещения каждого звена используется принцип минимального значения требуемого угла. Это означает, что траектория перемещения инструмента не является прямой линией.

Целесообразность применения того или иного ПР в производственных условиях определяется с учетом ряда требований.

2.2 Гибкая производственная ячейка

Гибкая производственная ячейка – это управляемая средствами вычислительной техники совокупность нескольких гибких производственных модулей и системы обеспечения функционирования, осуществляющая комплекс технологических операций, способная работать автономно и в составе гибких производственных систем при изготовлении изделий в пределах подготовленного запаса заготовок и инструмента.

Гибкая производственная ячейка по своему организационному уровню стоит выше ГПМ. Если модуль работает по готовым данным, то ячейка их генерирует.

В состав ГПЯ могут входить машины и станки, которые обслуживаются вручную, а также дополняющие рабочие места – сушки, мойки, места контроля размеров деталей после обработки.

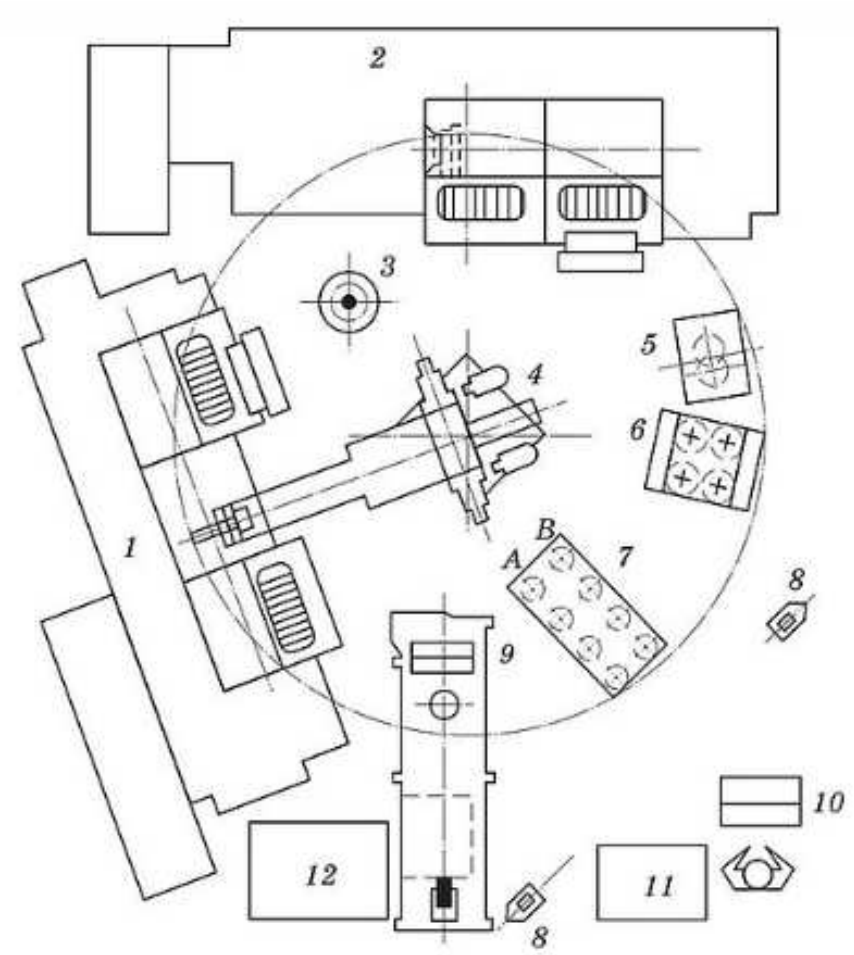

Рисунок 2.12 – Схема ГПЯ (1 – токарный станок с ЧПУ, 2 – многоцелевой токарный станок, 3 – кантователь, 4 – промышленный робот, 5 – моечная машина, 6 – паллета с обработанными деталями, 7 – паллета с заготовками разного типа, 8 – защитное устройство, 9 – установка распознавания заготовок, 10 – пульт управления, 11 – монитор, 12 – система управления)

Ячейки, которые обслуживаются при помощи промышленных роботов, называются роботизированными.

Разновидностью ГПЯ, в которой технологическое оборудование расположено в принятой последовательности технологических операций, является гибкая автоматическая линия (ГАЛ) и гибкий производственный участок (ГАП).

Рассмотрим пример гибкого производственного участка (рисунок 2.13). В гибкий автоматизированный участок включены пять расположенных в линию ГПМ и рельсовая транспортная система.

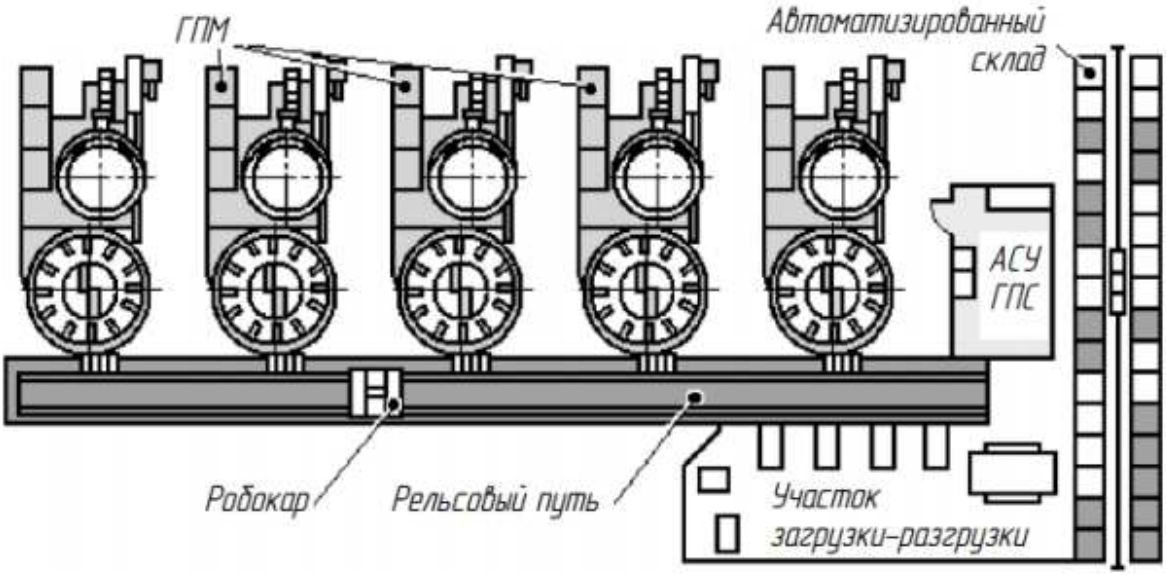

Рисунок 2.13 – Схема гибкого производственного участка

Система транспортирования обеспечивает доставку заготовок на спутниках с участка загрузки-разгрузки (входящего в состав участка подготовки производства) жестким конвейером на 12-позиционные накопители карусельного типа, входящие в состав базовых ГПМ.

На аналогичных участках в случае обработки небольших деталей при использовании нескольких станков разных групп заготовки обычно подаются в кассетах. Промышленный робот забирает заготовки из кассет и подает их на станки.

Снятую со станка деталь ПР укладывает обратно в кассету.

На рассматриваемом участке после завершения обработки транспортная система передает спутники с деталями от накопителей на участок загрузки-разгрузки, а также доставляет на станки сменный инструмент.

2.3 Система обеспечения функционирования

Система обеспечения функционирования – это совокупность взаимосвязанных автоматизированных систем, обеспечивающих управление технологическим процессом, перемещением предметов производства и оснастки.

В общем случае в ее состав входят:

- автоматизированная транспортно-складская система (АТСС);
- автоматизированная система инструментального обеспечения (АСИО);
- система автоматизированного контроля (САК);
- автоматизированная система управления технологическим оборудованием (АСУТО);
- автоматизированная система удаления отходов (АСУО);
- автоматизированная система управления технологическим процессом (АСУТП) и другие системы.

2.3.1 Автоматизированная транспортно-складская система

Автоматизированная транспортно-складская система (АТСС) – это система взаимосвязанных автоматизированных транспортных и складских устройств для укладки, хранения, временного накопления, разгрузки и доставки предметов труда, технологической оснастки.

Рисунок 2.14 – Структура АТСС

АТСС гибкого производства могут быть межцеховыми, цеховыми и локальными. Транспортные связи охватывают грузопотоки и все элементы перемещений, включая ориентацию, установку заготовки, съём изделия, укладку в кассеты и т.д.

Стеллажи, накопительные устройства, конвейеры приема-выдачи грузов должны иметь датчики хода. Ячейки устройства позиций приема-выдачи должны иметь датчики наличия груза. Эти устройства могут быть также обеспечены устройствами распознавания поступающих грузов и передачи соответствующей информации.

Складская система ГПС может состоять из нескольких складов различного назначения:

- склад сырья и материалов;
- склад инструмента и приспособлений;
- комплектовочные склады;
- склад готовых и бракованных деталей;
- склад отходов производства.

Любая ГПС включает в себя один или несколько складов, служащих для компенсации неравномерности грузопотоков, изменения состава, размеров и времени выдачи транспортных партий грузов.

Возможны следующие варианты комплектования складов в составе ГПС:

- два склада: один – для заготовок, инструмента, оснастки и запчастей; второй – для готовых и бракованных деталей (рис. 2.15 а);
- два склада: один – для заготовок, готовых деталей и запчастей; второй – для инструмента и специальной технологической оснастки (рис. 2.15 б);
- один склад, на котором хранятся заготовки, готовые детали, запчасти, инструмент, приспособления и т.д. (рис. 2.15 в);

- три склада: один – для заготовок, второй – для готовых деталей (изделий) и третий – для инструмента, приспособлений и другой технологической оснастки.

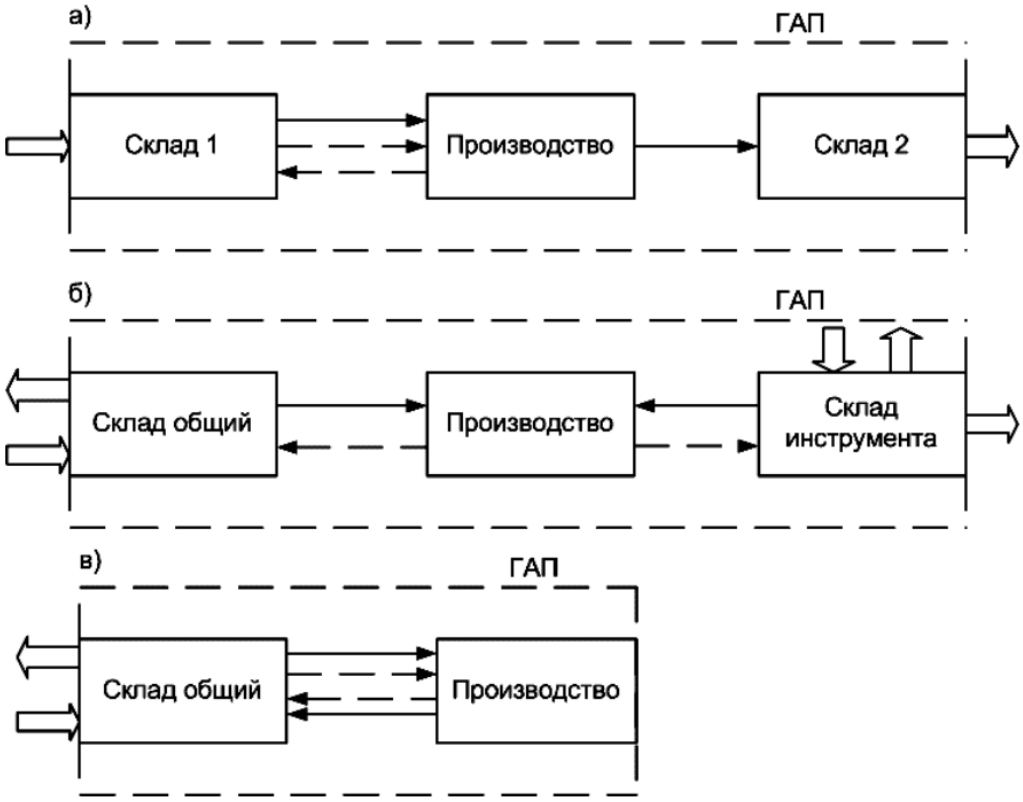

Рисунок 2.15 – Место складов

Система транспортировки может быть организована для перемещения деталей, оснастки, спутников или только для перевозки деталей. Может быть жесткой (например, линия на роликах с приводом) или гибкой (например, самоходные тележки на рельсах или с управлением по проводу). Может перевозить только детали либо детали и инструмент.

Технические средства АТСС делятся на две группы: основное и вспомогательное оборудование.

К основному оборудованию относятся автоматические стеллажные и мостовые краны-штабелеры, транспортные и погрузочные роботы, конвейеры непрерывного и циклического действия, накопители, перегрузочные и

ориентирующие устройства, технические средства автоматического управления и транспортно-складская тара.

К вспомогательным средствам – толкатели, сбрасыватели, адресователи, ориентаторы, подъемники, питатели и др.

Замкнутые транспортно-накопительные системы работают в режиме автоматической подачи поддонов с заготовками по заранее заданному порядку.

Разомкнутая транспортно-накопительная система имеет, как правило, линейную конфигурацию. Передача заготовок к станку осуществляется автоматически движущейся тележкой по заранее заданной программе.

Структура транспортной системы определяется конструктивно-технологическими характеристиками изготовляемых в цехе изделий, масштабом производства, используемым технологическим оборудованием, конфигурацией и габаритными размерами груза, частотой запросов на транспортное обслуживание.

Применительно к ГПС различают следующие основные структурные схемы транспортной системы:

- с прямой трассой обслуживания (линейная) (рис. 2.16 а);
- петлеобразная (рис. 2.16 б);
- разветвленная (рис. 2.16 в).

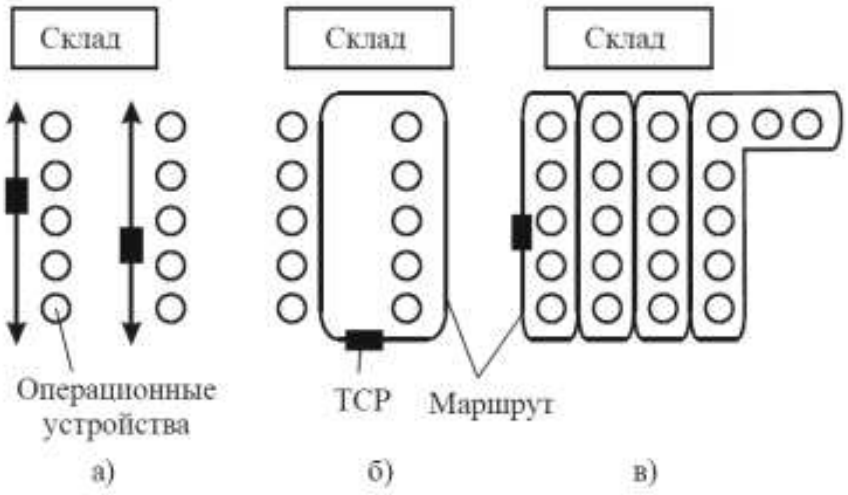

Рисунок 2.16 – Компоновочные схемы транспортных систем

По показанным на рисунке 2.16 (а, б и в) маршрутам перемещается транспортное средство (ТСР). При переходе от линейной системы к петлеобразной или к разветвленной усложняется система управления транспортными перемещениями. При разветвленной системе применяют более чем одно транспортное средство. Поэтому необходимо предусматривать места обгона и разъезда транспорта, чтобы исключить возможность его столкновения.

2.3.2 Автоматизированная система инструментального обеспечения

Автоматизированная система инструментального обеспечения (АСИО) – это система взаимосвязанных элементов, включающая в себя участки подготовки инструмента, его транспортирования, накопления, устройства смены и контроля качества инструмента, обеспечивающие подготовку, хранение, автоматическую установку и замену инструмента. Гибкость станочных модулей зависит от видов связей для подачи режущего инструмента к станкам.

Это может быть:

- центральный инструментальный склад, единый для всех станков;
- индивидуальный сменный магазин для каждого станка;
- индивидуальная подача инструмента на каждый станок с участка предварительной настройки инструмента.

АСИО снабжает все технологическое оборудование участков цеха инструментом и осуществляет контроль за его правильной эксплуатацией.

АСИО должна:

- определять потребность, заказывать и накапливать инструмент;
- проводить предварительную настройку инструмента вне станка;
- комплектовать сменные магазины;

• обеспечивать доставку инструмента к участкам настройки инструмента и отработанного на цеховой склад инструмента (ЦСИ);

• осуществлять осмотр и замену неперетачиваемых режущих пластин;

• обеспечивать ремонт инструментальной оснастки.

Конструкция технологической оснастки должна быть простой и быстропереналаживаемой за счет применения универсальной сборнопереналаживаемой оснастки (УСПО).

Количество комплектов оснастки, находящихся в работе, должно обеспечивать бесперебойную работу оборудования. Одна часть комплектов должна находиться с обрабатываемыми заготовками на станке, на других (вне станка) производится смена заготовок. Детали и узлы оснастки, из которых собирают приспособления должны быть взаимозаменяемы, износоустойчивы и долговечны в эксплуатации.

Должна обеспечиваться возможность установки обрабатываемой заготовки в заданном положении по трем координатам. Приспособления должны обеспечивать возможность обработки заготовок по квалитету точности, в одной операции, с трех-четырех сторон различными по назначению инструментами. Конструкция и расположение упоров, ограничивающих отжатие детали, должны обеспечивать минимальные упругие деформации заготовки при обработке. Режущий инструмент, применяемый в ГПС, должен быть унифицированным и ограниченным по номенклатуре.

Подача инструмента к рабочим местам может осуществляться разными способами (рис. 2.17).

1. Инструмент с цехового склада через участок настройки инструмента (УНИ) поступает непосредственно к металлорежущим станкам (МС).
2. Создаются УНИ отдельных ГПС, с которых инструмент подается непосредственно к МС или через стационарный магазин инструмента.

3. Инструмент с центрального магазина инструментов (ЦМС) поступает в УНИ, который обслуживает группу ГПС и затем через центральный магазин инструмента подается роботом в магазин станков.

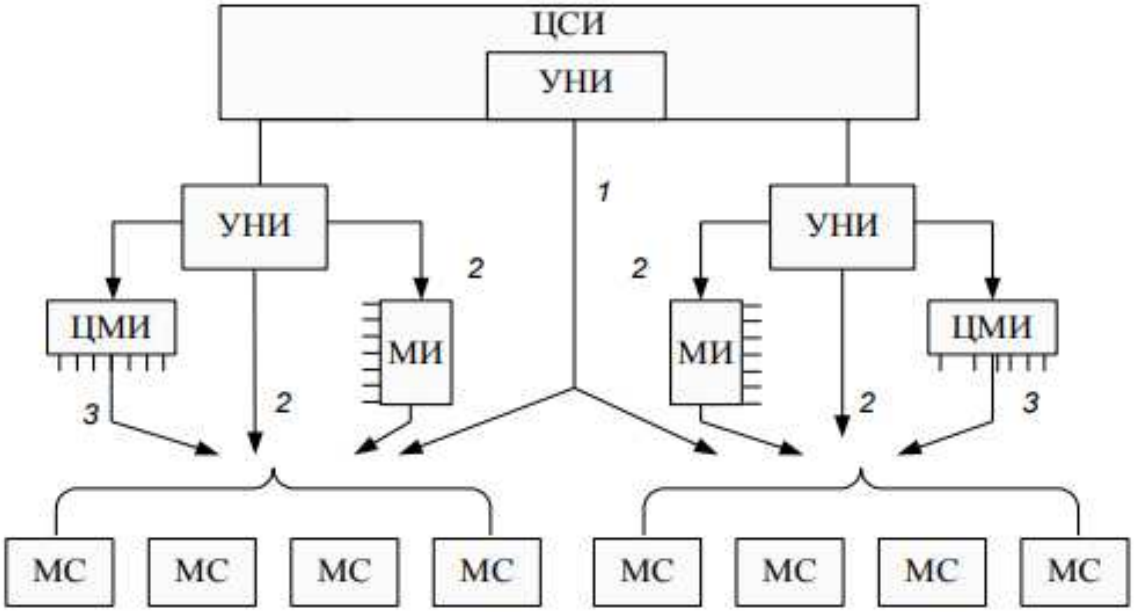

Рисунок 2.17 – Варианты подачи инструментов с цехового инструментального склада (УНИ – участок настройки инструмента; ЦМИ – центральный магазин инструмента; МИ – стационарный магазин инструмента; МС – металлорежущие станки)

2.3.3 Система автоматического контроля

Система автоматизированного контроля (САК) предназначена для осуществления контрольных операций в соответствии с принятой технологией обработки деталей, а также для сбора и обработки информации для корректировки параметров технологического процесса и управляющих программ ГПС.

Конструктивно система автоматического контроля выполняется в виде автономных устройств или встраивается в отдельные модули ГПС. Эта система должна обеспечивать требуемый уровень качества изготовления деталей путем контроля параметров материала, заготовок, инструмента, оснастки и режима механической обработки с применением методов активного контроля.

Система автоматического контроля обеспечивает поддержание ГПС в работоспособном состоянии осуществляя контроль и диагностирование состояния основного технологического оборудования, роботизированных технологических комплексов, средств вычислительной техники и программного обеспечения.

Автоматизированный контроль качества обработки позволяет:

• реализовать необходимую точность обработки с учетом состояния системы станок – приспособление – инструмент – деталь;

• получить информацию о точности установки заготовки на станке, о точности установки режущего инструмента и его размерном износе;

• автоматически контролировать поверхность заготовки детали непосредственно на станке и по результатам измерения ввести соответствующую коррекцию величины износа инструмента;

• определить фактические размеры заготовки с целью автоматического расчета соответствующих режимов обработки.

Система автоматического измерения сравнивает фактический размер с программнозаданным и выдает команду или на продолжение обработки, или на повторную обработку с коррекцией или подает сигнал о браке.

2.3.4 Автоматизированная система управления технологическим оборудованием

Автоматизированная система управления технологическим оборудованием (АСУТО) состоит из средств вычислительной техники в виде управляющего вычислительного комплекса со средствами программного обеспечения и осуществляет:

- разработку оперативных заданий для станков и систем обслуживания (переработка, передача и накопление информации, относящейся к согласованию перемещения в пространстве и времени заготовок, инструментов, оснастки и др.);

- учет выполнения плановых заданий; управление технологическим и вспомогательным оборудованием (переработка, передача и накопление информации, относящейся к технологическим режимам обработки, маршрутам и др.).

2.4 Классификация ГПС

Гибкие производственные системы классифицируют по следующим показателям.

1. По организационным признакам:
   1.1.Первый уровень – гибкий производственный модуль;
   1.2. Второй уровень – гибкая автоматизированная линия и гибкий автоматизированный участок;
   1.3. Третий уровень – гибкий автоматизированный цех;
   1.4. Четвертый уровень – гибкий автоматизированный завод.
2. По комплектности изготовления изделий:
   2.1. Операционная – выполняет одну или несколько операций;
   2.2. Предметная – изготавливает сборочные единицы;
   2.3. Узловая – изготавливает комплект сборочных единиц и собирает их в единый узел.
3. По разновидности обрабатываемых изделий:
   3.1. ГПС малой гибкости (номенклатура изделий, приведенная на один обрабатывающий модуль до 20 наименований, затраты времени на переналадку модуля для обработки новой детали более 20% полезного фонда времени работы);
   3.2. ГПС средней гибкости (номенклатура изделий, приведенная на один обрабатывающий модуль от 20 до 100 наименований, затраты времени на переналадку более 20% полезного фонда времени работы);

3.3. ГПС высокой гибкости (номенклатура изделий, приведенная на один обрабатывающий модуль, превышает 100 наименований, затраты времени на переналадку не более 10% полезного фонда времени работы).

4. По ступеням автоматизации:
   4.1. Гибкий производственный комплекс;
   4.2. Гибкое автоматизированное производство.
5. По степени автоматизации:
   5.1. Низкая степень – коэффициент многостаночности (определяется путем деления числа станков на число обслуживающих их станочников) не более 2;
   5.2. Средняя степень – непрерывное автоматизированное управление при многостаночном обслуживании с коэффициентом многостаночности более 2;
   5.3. Высокая степень – автоматическое управление и трехсменный режим работы.
6. По структурному составу:
   6.1. Простая ГПС – это производственная система, предназначенная для выполнения законченной, в организационном отношении, части технологического процесса состоящая из нескольких ГПМ (или станков) и РТК объединенных автоматизированной транспортной или транспортно-складской системой. Простая система, как правило, входит составным звеном в сложную, реже – в состав цеха;
   6.2. Сложная ГПС – это гибкая производственная система, в состав которой входит станочное оборудование (ГПМ, РТК, станки с ЧПУ), вспомогательное оборудование, система обеспечения функционирования производства (СОФ) и управляющий вычислительный комплекс (УВК).

7. По методам обработки, формообразования, сборки и контроля.

2.5 Задачи проектирования гибких производственных систем

Машиностроительное предприятие представляет собой сложную организацию, структура и деятельность которой находятся в зависимости от:

а) сложности и номенклатуры выпускаемой продукции;

б) характера технологического процесса ее изготовления;

в) объема производства.

При проектировании завода, цеха требуется решать экономические, технические и организационные задачи.

При разработке проекта каждое техническое решение должно быть экономически обосновано и осуществлено в определенной организационной форме. Поэтому указанные задачи необходимо решать совместно и параллельно.

К **экономическим** задачам относятся:

а) установление производственной программы с указанием номенклатуры изделий, их количества, веса;

б) выяснение, откуда будет снабжаться предприятие сырьем, материалами, полуфабрикатами, топливом, электроэнергией, водой, газом;

в) определение необходимых размеров основных и оборотных средств;

г) определение себестоимости продукции и эффективности затрат;

д) решение вопросов финансирования предприятия;

е) составление плана развертывания производства;

ж) решение вопросов кооперирования производства;

з) определение потребности в жилищном и социально-культурном строительстве и т.д.

В число **технических** задач входят:

а) проектирование технологического процесса обработки сырья и полуфабрикатов;

б) определение необходимого фонда рабочего времени и потребного состава и количества рабочих;

в) подбор и расчет количества основного производственного и вспомогательного оборудования;

г) определение потребного количества сырья, материалов и топлива;

д) определение количества и способа снабжения предприятия энергией всех видов и разработка вопросов, связанных с транспортом, освещением, отоплением, вентиляцией, канализацией;

е) подсчет потребных площадей, планировка цехов, вспомогательных зданий и обслуживающих их путей;

ж) разработка генерального плана;

з) внутренняя планировка цехов – расположение отделений, определение размеров, выбор типов и форм зданий, разработка их конструкций и всей строительной части, мероприятия по технике безопасности.

К **организационным** задачам относятся:

а) разработка структуры управления заводом, его отделами и цехами;

б) распределение функций и установление взаимной связи между отделами и отдельными лицами административно-технического персонала;

в) управление административным и техническим аппаратом и финансово-хозяйственной частью;

г) разработка всех вопросов организации труда;

д) установление порядка прохождения заказа, документации, форм отчетности и контроля через цех и весь завод;

е) разработка мероприятий по подготовке кадров, обслуживанию рабочих к созданию благоприятных условий для работы.

2.6 Методика проектирования гибких производственных систем

Исходными данными при проектировании ГПС и их разновидностей (в том числе и РТК) служат операционные технологические процессы или отдельные технологические операции получения заготовок, механической обработки, сборки, контроля и других процессов машиностроительного производства.

Создание эффективно функционирующих систем требует тщательного проведения технологической подготовки. Поэтому проектирование ГПС должно начинаться с анализа базовой или разработки проектной технологии. На основе анализа разрабатываются предложения по усовершенствованию базового технологического процесса с точки зрения его наиболее полного соответствия условиям гибкого автоматизированного производства.

Анализ технологических процессов сводится к рассмотрению маршрутов, видов операций, технологических баз, способов установки деталей, состава применяемого оборудования. Анализу подвергается либо весь технологический процесс, либо отдельные его этапы и даже операции. Исходными данными при проектировании ГПС и их разновидностей (в том числе и РТК) служат операционные технологические процессы или отдельные технологические операции получения заготовок, механической обработки, сборки, контроля и других процессов машиностроительного производства. Создание эффективно функционирующих систем требует тщательного проведения технологической подготовки.

Поэтому проектирование ГПС должно начинаться с анализа базовой или разработки проектной технологии. На основе анализа разрабатываются предложения по усовершенствованию базового технологического процесса с точки зрения его наиболее полного соответствия условиям гибкого автоматизированного производства. Анализ технологических процессов сво-

дится к рассмотрению маршрутов, видов операций, технологических баз, способов установки деталей, состава применяемого оборудования. Анализу подвергается либо весь технологический процесс, либо отдельные его этапы и даже операции.

В результате анализа существующего ТП должны быть определены:

1. Неиспользованные резервы и узкие места, потери, возникающие вследствие технических и организационных недостатков.

2. Состав технологического оборудования и требования по его модернизации либо замене новыми моделями.

3. Специфические особенности существующего процесса, от которых зависит повышение его эффективности.

4. Пути изменения организационной структуры производства.

5. Пути усовершенствования технологических процессов обработки, механизации и автоматизации отдельных операций.

6. Средства механизации и автоматизации труда, повышающие производительность.

7. Количество основных и вспомогательных производственных рабочих, участвующих в производственном процессе.

8. Планировка и размеры производственных площадей.

9. Методы контроля детали.

10. Характеристика отходов обработки и методов их удаления.

Технологии гибкого автоматизированного производства имеют свою специфику, обусловленную следующими факторами:

• автоматизированные технологические процессы включают в себя не только операции механической обработки резанием, но и обработку давлением, термообработку, сборку, контроль, упаковку, а также транспортно-складские и другие операции;

• требования к гибкости и автоматизации производственных процессов диктуют необходимость комплексной проработки технологии, тща-

тельного анализа объектов производства, проектирования маршрутной и операционной технологии, обеспечения надежности и гибкости процесса изготовления изделий с заданным качеством. Степень подробности технологических решений должна быть доведена до уровня подготовки управляющих программ для оборудования;

• многовариантность технологических решений при широкой номенклатуре выпускаемых изделий;

• высокая степень интеграции работ, выполняемых различными технологическими подразделениями.

Основные принципы гибкой технологии

1. Принцип завершенности, для реализации которого необходимо стремиться к выполнению всех операций в пределах одной ГПС, т.е. без промежуточной передачи полуфабрикатов в другие подразделения или вспомогательные отделения.

2. Принцип малооперационной технологии предполагает формирование технологических процессов с максимально возможным укрупнением операций и минимальным числом операций и установов в операциях.

3. Принцип «малолюдной» технологии, т.е. обеспечение автоматической работы системы по всему производственному циклу.

4. Принцип «безотладочной» технологии нацелен на разработку технологических процессов, не требующих отладки на рабочих позициях, что особенно актуально для широкономенклатурных ГПС.

5. Принцип активно управляемой технологии, т.е. организация управления технологическими процессами и коррекция проектных решений на основе рабочей информации о ходе процесса.

6. Принцип оптимальности означает принятие решения на каждом этапе технологической подготовки производства и управления технологических процессов на основе критериев оптимальности.

3. Современные системы с числовым программным управлением

Основные принципы построения технологических процессов механической обработки для станков с ЧПУ те же, что и для обычных станков. Однако здесь имеется ряд специфических особенностей.

Прежде всего, появляется принципиально новый элемент технологического процесса – программа автоматической работы станка, закодированная и записанная на программоноситель. При этом в понятия «переход» и «операция» вносятся некоторые уточнения.

Переход – законченная часть технологической операции, характеризуемая постоянством инструмента и поверхностей, образуемых обработкой. Для фрезерных, сверлильных, расточных и фрезерно-контурных работ различают элементарные, инструментальные, позиционные и вспомогательные переходы:

- элементарный переход – непрерывный процесс обработки одной элементарной поверхности одним инструментом по заданной программе;
- инструментальный переход – законченный процесс обработки одной или нескольких элементарных поверхностей при непрерывном движении одного инструмента по заданной программе;
- вспомогательный переход – перемещение инструмента без снятия стружки. К вспомогательному переходу относятся действия, связанные с установкой, закреплением и снятием заготовки, сменой инструмента, измерением, изменением позиций, пуска станка. Эти переходы могут производиться как вручную (оператором), так и автоматически по программе в зависимости от модели и степени автоматизации станка;
- позиционный переход – совокупность инструментальных и вспомогательных переходов, выполняемых при неизменной позиции, оснастке, инструменте и программе.

Операция – законченная часть технологического процесса, выполняемая непрерывно на одном рабочем месте при одной наладке станка над одним или несколькими одновременно обрабатываемыми изделиями одним или несколькими рабочими.

Условие сохранения неизменной наладки станка предполагает возможность использования для выполнения операции одной и той же технологической оснастки (приспособления и инструментов) и технической документации (карты наладки и программы). Так, при непрерывной обработке фланца на токарном станке с ЧПУ с переустановом его в трёхкулачковом патроне одна операция будет только в том случае, когда не требуется дополнительной наладки станка и имеется единая управляющая программа обработки, в которой предусмотрены запрограммированный останов для переустановки заготовки и автоматической настройки «плавающего нуля» (начало программы). В противном случае операция разбивается на две: обтачивание фланца и растачивание отверстия (одна операция и два установа); обтачивание ступицы (две операции, по одному установу в каждой операции).

Кроме того, при проектировании технологических процессов изменятся и объём, и содержание технологической документации, необходимой для наладки станков и составления управляющих программ. Работа по созданию управляющих программ делится на технологическую подготовку, занимающую 85…90 % всех работ, и программирование.

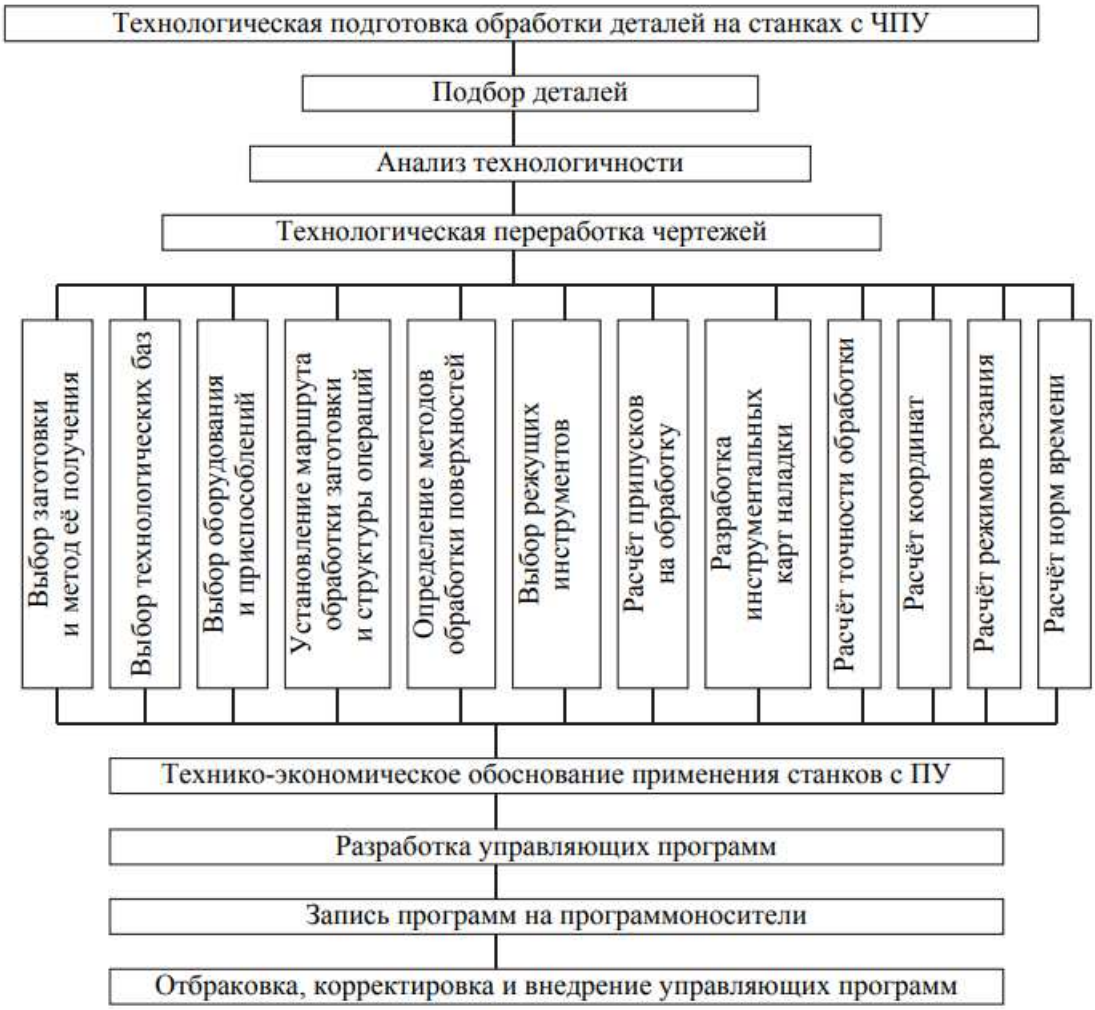

Рисунок 3.1 – Блок-схема технологической подготовки обработки деталей на станках с программным управлением

Цель технологической подготовки – получить исходные данные для программирования, которое является заключительной стадией работ по созданию и отладке управляющих программ. Программирование может осуществляться ручным и машинным способами.

Современные станки с числовым программным управлением (ЧПУ) организуют сложную систему управления (рисунок 3.2).

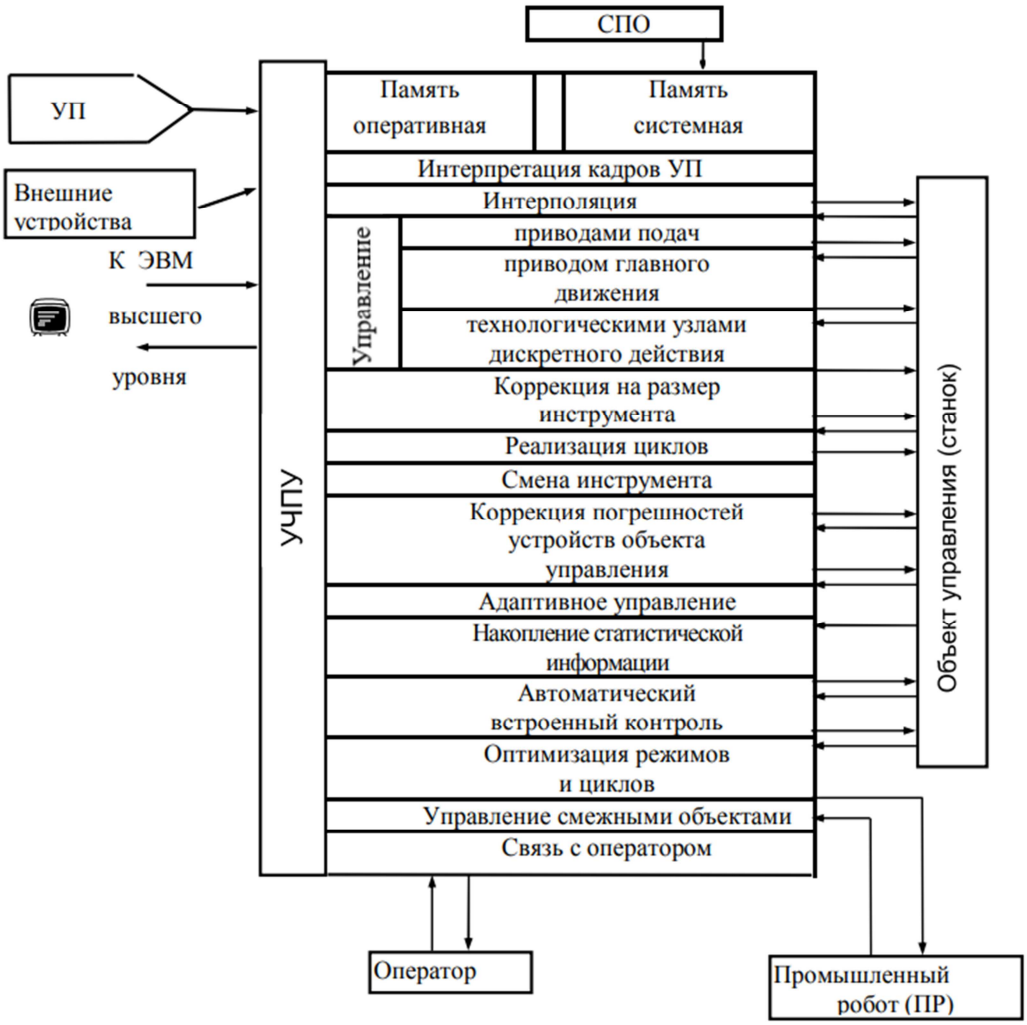

Рисунок 3.2 – Организация управления оборудованием (УП – управляющая программа, СПО – специальное программное обеспечение, УЧПУ – управление ЧПУ)

При работе станков с ЧПУ используется два вида программ.

- Системные (служебные) программы, которые хранятся в ПЗУ (постоянном запоминающем устройстве системы). Они обеспечивают начальный этап работы контроллера после включения, отвечают за настройку станка и всей системы, ее способность понимать команды оператора и взаимодействовать с внешними устройствами.
- Управляющие – внешние программы. Содержат набор команд и инструкций для исполнительных органов станка. Управляющие программы (УП) в контроллер может пошагово вводить оператор, возможен ввод с внешних носителей информации, а в современных си-

стемах программы могут поступать прямо с компьютеров разработчиков ПО через компьютерную сеть предприятия.

Для современных станков существует три метода программирования обработки и создания управляющей программы:

• ручное программирование;

• программирование на пульте управляющей системы с ЧПУ;

• программирование при помощи CAD/CAM системы.

Ручное программирование – длительное, монотонное и однообразное занятие. Однако все технологи-программисты должны знать технику ручного программирования – базу для последующего обучения.

Метод программирования на пульте управляющей станка с ЧПУ приобрел особую популярность лишь в последние годы, что связано с развитием технической базы (сенсорные экраны, твердотельная память, высокопроизводительные системы минимальных размеров), улучшением интерфейса пультов управления и их технологических возможностей.

При программировании на пульте управления системы ЧПУ программы создаются прямо на экране, управления используя клавиатуру джойстик и сенсорный экран. Современные пульты станков с системы ЧПУ работают очень быстро и эффективно, позволяя оптимизировать управляющую программу под конкретный станок, на котором они установлены. Большинство пультов систем с ЧПУ предлагают диалоговый язык программирования, который значительно упрощает процесс создания управляющей программы (УП), делает «общение» с ЧПУ удобным для оператора.

Третий метод – программирование при помощи систем автоматизированного проектирования (САПР) позволяет повысить процесс написания программ обработки на более высокий уровень. Работая с САПР, технолог-программист избавляется от трудоемких математических расчетов и полу-

чает инструменты, значительно повышающие скорость написания. В состав САПР входят следующие программные продукты:

- CAD системы (computer-aideddesign – компьютерная поддержка проектирования) – это программное обеспечение, которое автоматизирует труд инженера-конструктора и позволяет решать задачи проектирования изделий и оформления технической документации при помощи персонального компьютера.

- CAM системы (computer-aidedmanufacturing – компьютерная поддержка изготовления) – это программное обеспечение, которое автоматизируют расчеты траекторий перемещения инструмента для обработки на станках с ЧПУ и обеспечивают выдачу управляющих программ с помощью компьютера.

- CAE системы (computer-aidedengineering – компьютерная поддержка инженерных расчетов) – это программное обеспечение, которое предназначено для решения различных инженерных задач, например, для расчетов конструктивной прочности, анализа тепловых процессов, расчетов гидравлических систем и механизмов.

3.1 Основные движения и системы координат станка с ЧПУ

Для обработки заготовок на станках с ЧПУ, так же как и на универсальных станках, необходимо сообщить режущему инструменту и заготовке определенный, как правило, достаточно сложный комплекс согласованных друг с другом движений.

Рассмотрим эти движения с помощью опорной блок-схемы, представленной на рисунке 3.3.

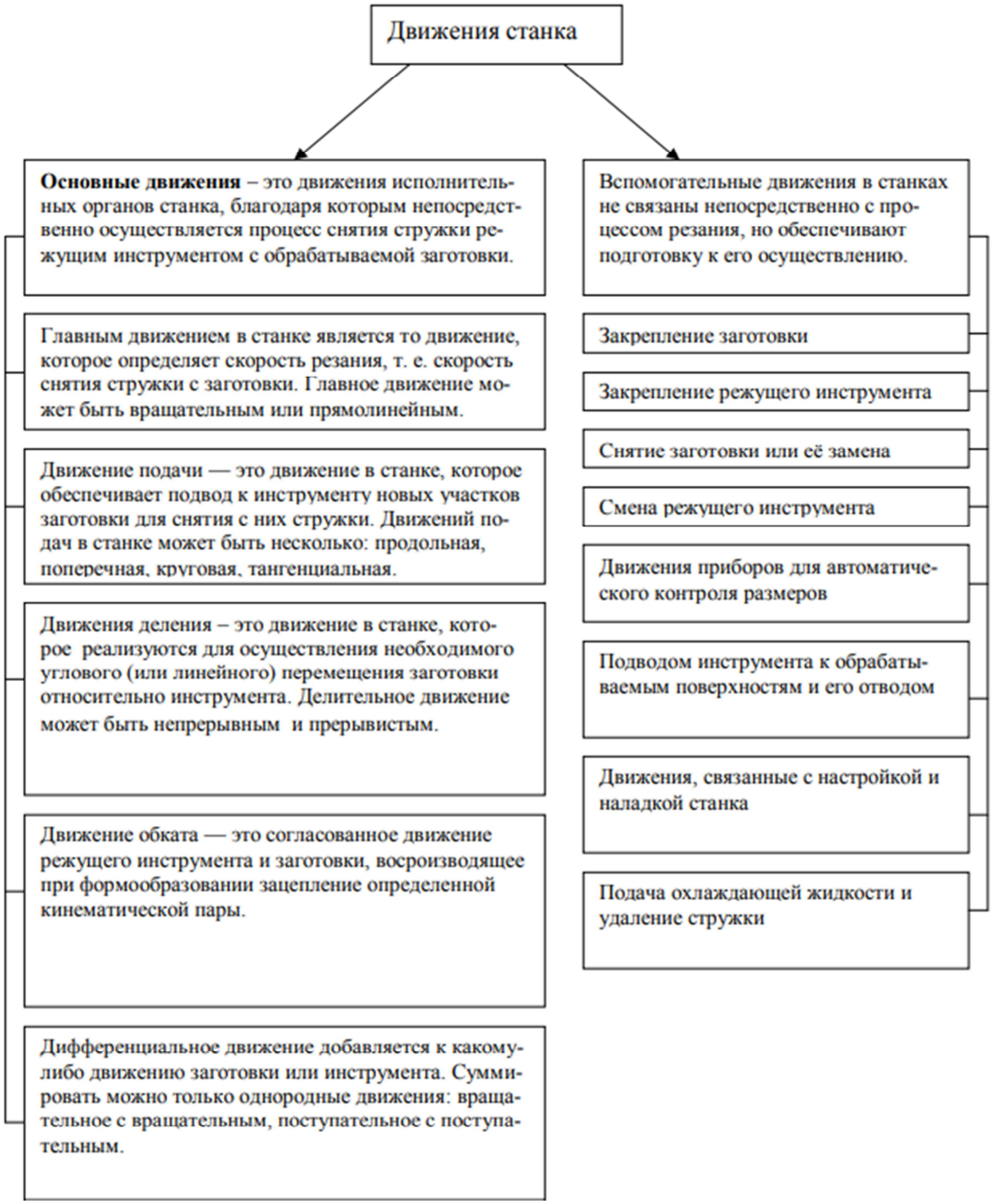

Рисунок 3.3 – Движения станка

Функционирование станка с ЧПУ в принципе невозможно без использования определенной системы координат, с помощью которой устанавливаются пространственные координаты любой точки в пределах рабочей зоны станка. Рассмотрим системы координат, используемые на станках с ЧПУ.

Системы координат делятся на два основных вида.

1. Плоская система координат:
   1.1. Прямоугольная система координат:
   1.2. Полярная система координат.
2. Объемная система координат:
   2.1. Декартова система координат в пространстве;
   2.2. Цилиндрическая система координат;
   2.3. Сферическая система координат.

Прямоугольная система координат является наиболее распространенной системой координат для станков с ЧПУ. Она содержит две оси координат (двухмерная система) для определения положения точек на плоскости. Для прямоугольной системы координат характерны следующие признаки:

- координатные оси располагаются взаимно перпендикулярно;
- координатные оси имеют общую точку пересечения (начало отсчета координат);
- координатные оси имеют одинаковый геометрический масштаб.

Полярная система координат – двухмерная система координат, в которой каждая точка на плоскости определяется двумя числами – полярным углом и полярным радиусом.

Полярная система координат особенно полезна в случаях, когда отношения между точками проще изобразить в виде радиусов и углов; в более распространённой, декартовой или прямоугольной системе координат, такие отношения можно установить только путём применения тригонометрических уравнений.

Декартовая система координат в пространстве (трёхмерное пространство) образуется тремя взаимно перпендикулярными осями координат OX, OY и OZ.

Оси координат пересекаются в точке O, которая называется началом координат, на каждой оси выбрано положительное направление, указанное стрелками, и единица измерения отрезков на осях. Единицы измерения обычно (не обязательно) одинаковы для всех осей. OX – ось абсцисс, OY – ось ординат, OZ – ось аппликат. Положение точки в пространстве определяется тремя координатами X, Y и Z.

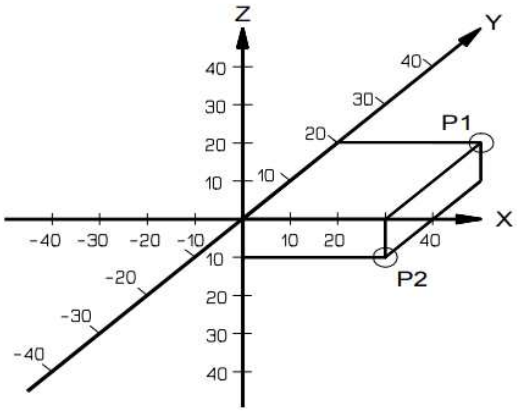

Рисунок 3.4 – Декартовая система координат

Цилиндрическая система координат расширяет плоскую полярную систему добавлением третьей линейной координаты, называемой «высотой» и равной высоте точки над нулевой плоскостью подобно тому, как Декартова система расширяется на случай трёх измерений. Третья координата обычно обозначается как Z, образуя тройку координат (r, φ, Z).

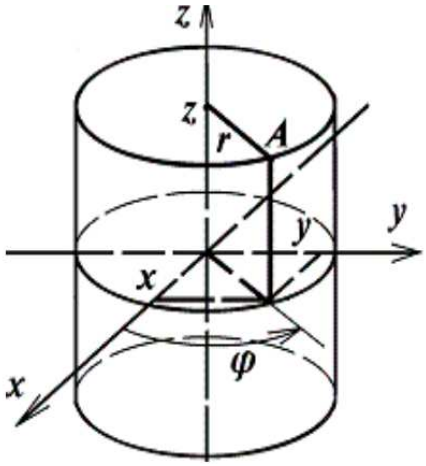

Рисунок 3.5 – Цилиндрическая система координат

Сферическими координатами называют систему координат для отображения геометрических свойств фигуры в трёх измерениях посредством задания трёх координат (r, φ, θ), где r – расстояние до начала координат, а φ и θ – зенитный и азимутальный угол соответственно.

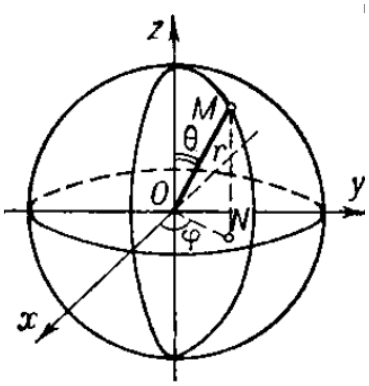

Рисунок 3.6 – Сферическая система координат

Несмотря на то, что с помощью 3-х координатной прямоугольной системы координат описывается положение любых точек в геометрическом пространстве, в современной механообработке часто возникает необходимость в изготовлении столь сложных поверхностей, что их невозможно изготовить на станке, используя перемещение исполнительных органов только по трем осям координат.

В таких ситуациях используют пространственную прямоугольную систему координат с дополнительными осями координат. Дополнительные оси координат являются поворотными осями, которые располагаются вокруг основных линейных осей X, Y и Z. Ось вращения вокруг оси X обозначается как ось A, ось вращения вокруг оси Y – как ось B, ось вращения вокруг оси Z – как ось C.

Координаты по поворотным осям также могут иметь как положительные, так и отрицательные значения. За положительное направление (от «минуса» к «плюсу») поворотной координатной оси принимается направление по часовой стрелке, если смотреть на ось вращения в положительном направлении соответствующей ей линейной оси (рисунок 3.7).

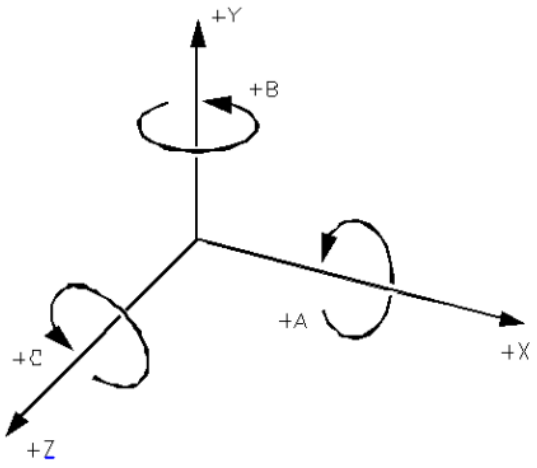

Рисунок 3.7 – Прямоугольная система координат с дополнительными поворотными осями

Прямоугольную систему координат с дополнительными поворотными осями можно также представить как пространственную полярную систему координат (рисунок 3.8).

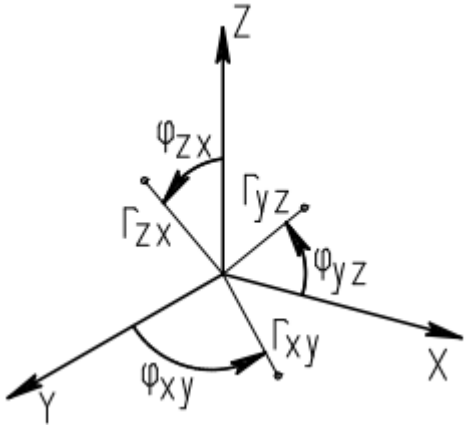

Рисунок 3.8 – Пространственная полярная система координат

3.1.1 Координатная система станка с ЧПУ

Для станков с ЧПУ принята единая система координат, рекомендуемая Международной организацией по стандартизации (ISO), – прямоугольная система координат.

Число координатных осей, их расположение в пространстве и начало отсчета (нулевая точка станка) устанавливаются производителем станка и не подлежит изменению пользователем.

Система координат станка является основной расчетной системой для ЧПУ, в которой определяются предельные перемещения, начальные и текущие положения исполнительных органов станка. Для удобства программирования процесса обработки в станках с ЧПУ принято координатные оси всегда ориентировать параллельно направляющим станка.

В зависимости от типа станка расположение осей координат в пространстве может быть различным, но существуют следующие общие правила.

1. Ось Z всегда совмещена с осью вращения шпинделя. Ее положительное направление всегда совпадает с направлением перемещения от устройства для крепления заготовки к режущему инструменту.

2. Если в системе координат станка имеется хотя бы одна ось, расположенная горизонтально и не совпадающая с осью вращения шпинделя, то это будет обязательно ось X.

3. Если ось Z расположена горизонтально, то положительным направлением оси X считается направление перемещения вправо, если встать лицом к левому – относительно передней плоскости – торцу станка (передняя плоскость станка – сторона, с которой располагаются пульт и основные органы управления станком).

4. Если ось Z расположена вертикально, то положительным направлением оси X считается направление перемещения вправо, если встать лицом к передней плоскости станка.

5. Положительное направление оси Y определяется по одному из следующих правил:

– смотря вдоль оси Z в положительном направлении, мысленно повернуть ось X на 90° по часовой стрелке вокруг оси Z;

– правило правой руки: если мысленно поместить ладонь правой руки в начало координат таким образом, чтобы ось Z выходила из ладони перпендикулярно ей, а отогнутый под углом 90° к ладони большой палец

показывал положительное направление оси X, то указательный палец будет показывать положительное направление оси Y.

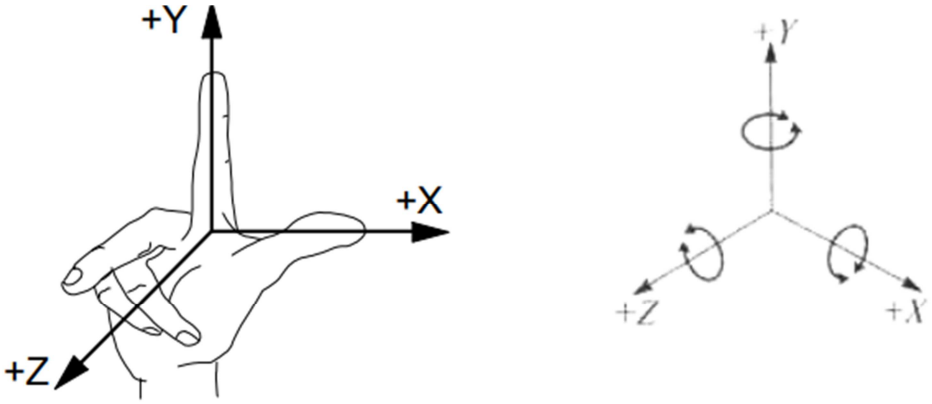

Рисунок 3.9 – Определение положительных направлений оси по правилу правой руки

Для **фрезерных** станков с ЧПУ используется пространственная координатная система, как правило, прямоугольная.

Определяющим фактором для пространственного расположения осей координатной системы является ориентация в пространстве оси рабочего шпинделя. Ось шпинделя фрезерного станка всегда совпадает с осью Z. Положительным направлением оси Z является направление от места крепления заготовки на рабочем столе к месту крепления режущего инструмента в шпинделе. Если ось Z (ось шпинделя) расположена вертикально, то такой станок является вертикально-фрезерным станком, если ось Z расположена горизонтально, то – горизонтально-фрезерным станком (рисунок 3.10).

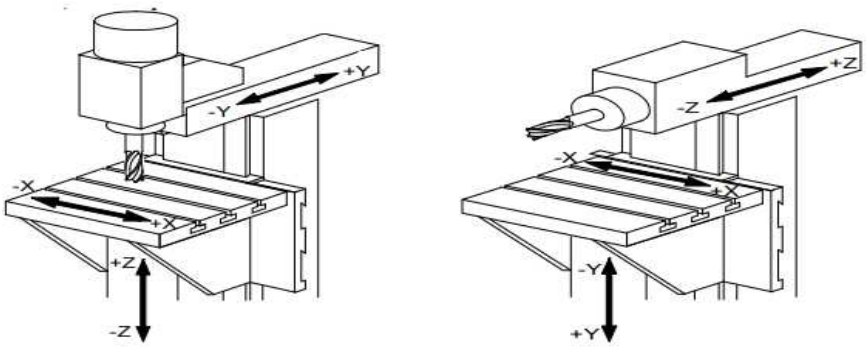

Рисунок 3.10 – Система координат вертикально-фрезерного станка и горизонтально-фрезерного станка

Пространственное расположение и положительное направление двух других основных осей координат X и Y определяется в соответствии с «правилом правой руки». Если система координат фрезерного станка с ЧПУ содержит больше трех осей, то расположение дополнительных осей координат определяется расположением основных осей.

Для **токарных** станков с ЧПУ наиболее распространенной является плоская прямоугольная система координат с осями Z и X.

Как и в случае с фрезерными станками определяющим фактором для пространственного расположения осей координатной системы является ориентация в пространстве оси рабочего шпинделя, которая всегда совпадает с осью Z. Положительным направлением оси Z является направление от места крепления заготовки в шпинделе к режущему инструменту. Ось X расположена перпендикулярно оси Z, при этом +X +Y +Z положительное направление оси X совпадает с направлением перемещения, при котором инструмент отдаляется от заготовки.

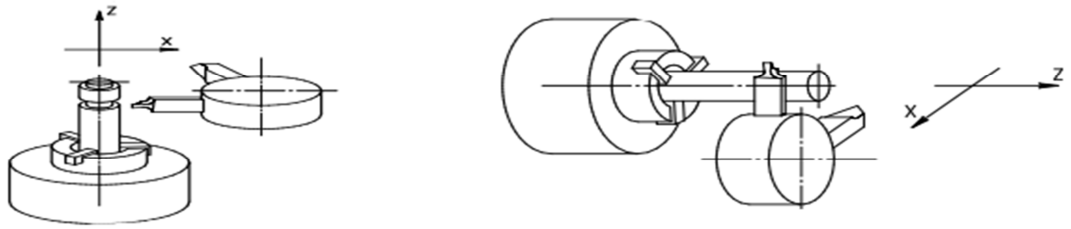

Рисунок 3.11 – Система координат токарного станка с горизонтальным и вертикальным расположением шпинделя

Если рабочий шпиндель токарного станка с ЧПУ управляется с помощью управляющей программы, то к двум линейным осям координат Z и X добавляется еще одна координатная ось – ось вращения C.

3.2 Нулевые и исходные точки станков с ЧПУ

При работе на универсальных станках с ручным управлением требуемые размеры изготавливаемых деталей достигаются, как правило, путем обработки заготовки относительно ее базовых поверхностей.

На станках с ЧПУ требуемые размеры деталей достигаются путем обработки заготовки относительно начала отсчета выбранной по определенным соображениям системы координат.

Фактически при работе на станке с ЧПУ приходится иметь дело не с одной, а одновременно с несколькими системами координат, важнейшими из которых являются следующие три:

1. Координатная система станка;
2. Координатная система детали;
3. Координатная система инструмента.

Координатная система станка. Система координат станка является главной расчетной системой, в рамках которой определяются предельные перемещения исполнительных органов станка, а также их исходные и текущие положения. У различных станков с ЧПУ в зависимости от их типа и модели координатные системы располагаются по-разному. Начало отсчета этой системы координат находится в определенной производителем станка точке и не подлежит изменению пользователем. Точка, представляющая собой начало отсчета координатной системы станка, называется нулем станка или нулевой точкой станка.

Координатная система детали. Система координат детали является главной системой для программирования обработки и назначается чертежом или эскизом технологической документации. Она имеет свои оси координат и свое начало отсчета, относительно которого определены все размеры детали и задаются координаты всех опорных точек контуров детали. Опорными точками в этом случае считаются точки начала, конца и пересечения или касания геометрических элементов детали, которые образуют ее контур и влияют на траекторию инструмента на технологических переходах. Точка начала отсчета координатной системы детали называется нулем детали или нулевой точкой детали.

Координатная система инструмента. Система координат инструмента предназначена для задания положения его режущей части относительно державки в момент обработки. Началом отсчета координатной системы инструмента является точка, от которой начинается запрограммированное перемещение рабочего инструмента. Эта точка называется нулем инструмента или нулем обработки. Как правило, координаты нуля обработки задаются в координатной системе детали, но при этом координаты нуля обработки могут не совпадать с нулем детали. При разработке технологического процесса обработки детали на станке с ЧПУ необходимо определить исходную точку перемещений, с которой начинается выполнение команд управляющей программы. Наиболее желательно такое расположение исходной точки перемещений, при котором она совпадает с нулем инструмента, а координатные оси детали и станка параллельны друг другу. В этом случае процесс программирования траекторий перемещения исполнительных органов станка значительно упрощается и, следовательно, снижается вероятность появления ошибок в управляющей программе.

Нулевые и исходные точки основных систем координат, используемых при работе на станках с ЧПУ, как правило, имеют специальные обозначения, с помощью которых указывается их расположение на пульте станка или на эскизах технологической документации. Эти обозначения обычно состоят из пиктограммы и прописной буквы латинского алфавита.

К сожалению, в отечественных государственных стандартах эти обозначения не определены. В отечественной технической литературе по ЧПУ у разных авторов нулевые точки основных систем координат обозначены по-разному – в зависимости от того, какую систему ЧПУ они принимали за основу. Поэтому специалисту надо быть готовым к тому, что он встретит на пульте станка или в документации непривычную для себя систему условных обозначений.

В связи с тем, что нет общепринятой системы условных обозначений и их расшифровки, в приведенной таблице 3.1 для некоторых обозначений дается не одно значение, а два наиболее распространенных.

Таблица 3.1 – Основные точки станка и их обозначение

Графическое обозначение	Буквенное обозначение	Значение
	M	Нулевая точка станка (ноль станка, машинная нулевая точка)
	R	Исходная точка станка (относительная нулевая точка)
	W	Нулевая точка заготовки (нулевая точка детали)
	E	Нулевая точка инструмента (исходная точка инструмента)
	B	Точка установки инструмента
	N	Точка установки инструмента

Пример расположения нулевых точек представлен на рисунке 3.12.

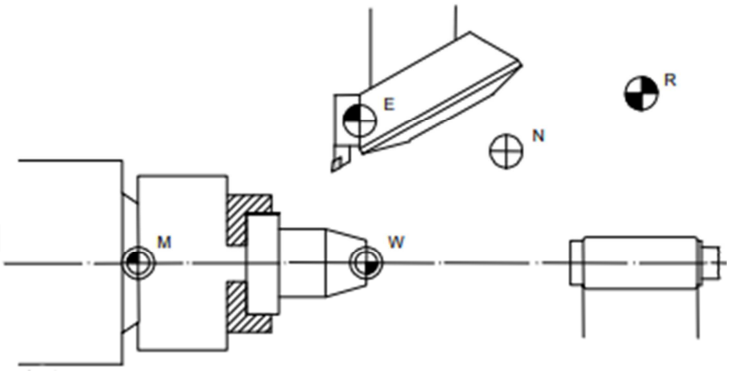

Рисунок 3.12 – Расположение нулевых точек на станке

3.2.1 Нулевая точка M

Нулевая точка станка M является исходной точкой системы координат, относящейся к данному станку. Различают **фиксированную** (положе-

ние этой точки на станке устанавливается производителем и не подлежит изменению) и **программируемую** (плавающий ноль, свойство устройства числового программного управления помещать начало отсчёта СКС в любое положение относительно фиксированной нулевой точки станка) нулевую точку М.

Обычно точку М совмещают с базовой точкой исполнительного органа, несущего заготовку, находящегося в положении, при котором все перемещения исполнительных органов будут находиться в области положительных значений координат:

- у токарных станков точка М располагается на оси вращения шпинделя на его базовом торце;
- у вертикально-фрезерных станков – на левом углу рабочего стола с лицевой стороны станка.

3.2.2 Исходная точка R

Исходная точка станка R используется для контроля над перемещениями исполнительных органов станка при отсчете перемещений в приращениях (в относительной системе координат).

Координаты точки R имеют постоянное значение относительно точки М, при этом положение точки R по каждой оси координат фиксируется датчиком и учитывается управляющей программой.

С помощью точки R устанавливается связь между нулевой точкой станка М и точкой автоматического выхода в нуль следящих приводов подач после каждого включения и выключения питания на станке. После включения питания на станке для калибровки системы отсчета относительных перемещений необходимо по каждой оси координат вывести исполнительные органы в точку R.

3.2.3 Нулевая точка заготовки W

Нулевая точка заготовки W является началом системы координат заготовки. Ее расположение в системе координат станка назначается свободно, исходя из особенностей процесса обработки данной заготовки.

Из практических соображений обычно стремятся к совмещению точки W с началом отсчета размеров на чертеже. В этом случае при составлении управляющей программы можно использовать размерные данные непосредственно с чертежа.

Например, при токарной обработке точку W, как правило, назначают по оси вращения шпинделя по левому или правому торцу заготовки (в зависимости от относительного расположения инструмента). Расположение точки W в процессе обработки одной заготовки может меняться, если заготовка обрабатывается с двух сторон (рисунок 3.13).

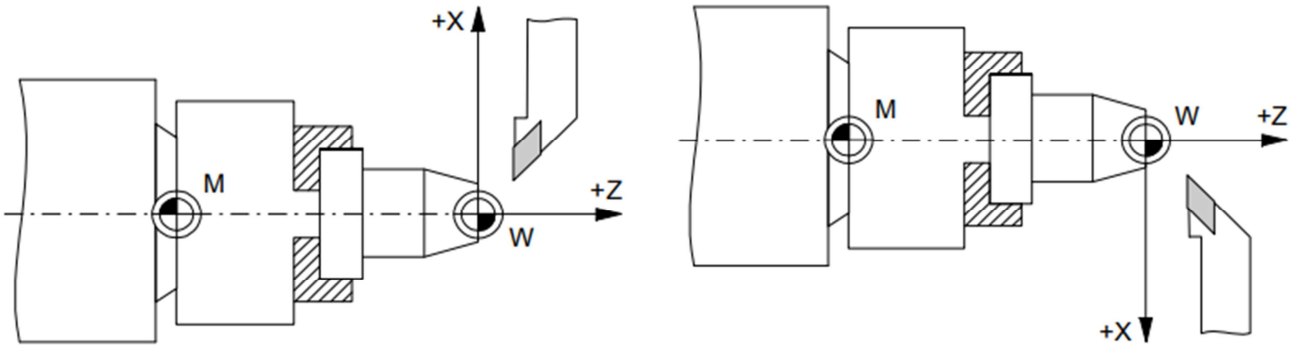

Рисунок 3.13 – Расположение нулевой точки W

На чертежах фрезерных деталей за базу при простановке размеров обычно принимается один из углов ее наружного контура. Этот же угол рекомендуется выбирать для назначения нулевой точки заготовки W при составлении управляющей программы для фрезерной обработки (рисунок 3.14).

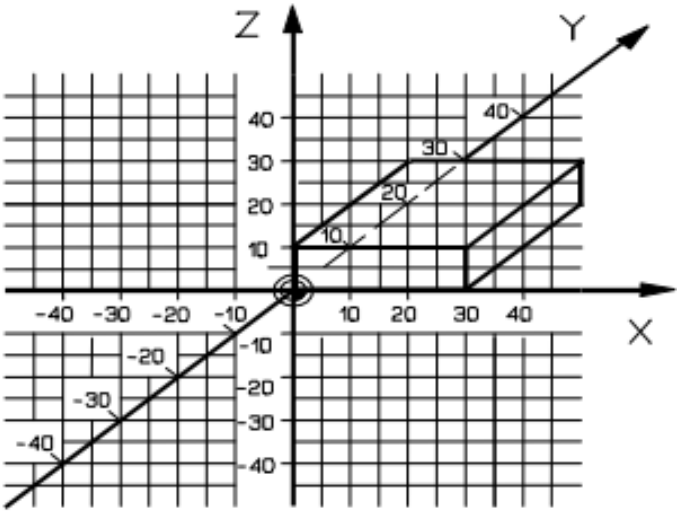

Рисунок 3.14 – Расположение нулевой точки Wна фрезерном станке с ЧПУ

3.2.4 Нулевая точка инструмента E

Нулевая точка инструмента E является базовой точкой элемента станка, несущего державку с инструментом. Положение этой точки на станке устанавливается производителем и не подлежит изменению.

Обычно нулевая точка инструмента располагается:

- у токарных станков – на пересечении оси державки револьверной головки и торца револьверной головки;
- у фрезерных станков – на пересечении оси шпинделя и его торца.

При проведении наладки станка расположение вершины режущей части закрепленного в державке инструмента должно быть точно измерено или выставлено относительно нулевой точки инструмента.

Вершина режущей части инструмента характеризуется радиусом закругления R и координатами расположения теоретической вершины P в координатной системе инструмента.

Настройка инструмента производится:

- на самом станке – обычно при помощи оптической измерительной системы,
- вне станка – при помощи специального приспособления для установки инструментов.

При этом если настройка производится на самом станке, то данные измерений координат вершины режущей части инструмента заносятся автоматически в систему ЧПУ станка с помощью клавиш пульта управления.

Специальное приспособление для установки инструментов имеет такое же посадочное место для державки с инструментом и такую же базовую точку для инструмента, что и станок. Инструмент в сборе с державкой устанавливается в данном приспособлении, после чего производится измерение координат вершины режущей части инструмента. Затем данные измерений заносятся вручную в систему ЧПУ станка.

3.2.5 Нулевая точка инструмента B

При настройке инструмента вне станка используются еще одна исходная точка, относящаяся к координатной системе инструмента. Точка установки инструмента B является базовой точкой для инструмента в сборе с державкой.

Она используется в том случае, когда державка с инструментом не установлена на станке, например при наладочных работах вне станка. При установке державки с инструментом на станке точка B, как правило, совмещается с нулевой точкой инструмента E.

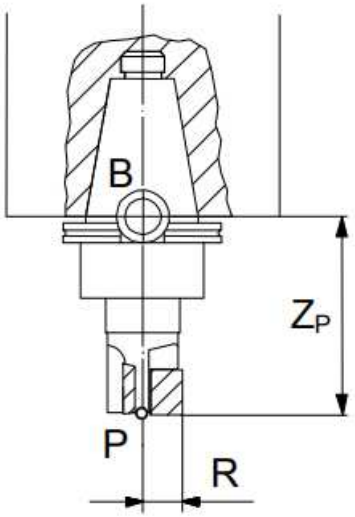

Рисунок 3.15 – Расположение точки установки инструмента на фрезерном станке

3.2.6 Нулевая точка инструмента N

Точка смены инструмента N является координатной точкой в рабочем пространстве станка, в которой происходит смена одного инструмента на другой. В большинстве систем ЧПУ положение точки замены инструмента является переменной величиной и назначается при составлении управляющей программы.

3.3 Язык программирования станков с ЧПУ G-code

На производстве, где работают различные станки с числовым программным управлением, используется разное программное обеспечение, но в большинстве случаев используется один и тот же язык программирования – G-code. Это своеобразный язык общения между станком оснащенным ЧПУ, ЭВМ и оператором.

G-code – это условное именование языка программирования устройств с числовым программным управлением (ЧПУ). Был создан компанией ElectronicIndustriesAlliance в начале 1960-х. Окончательная доработка была одобрена в феврале 1980 года как стандарт RS274D.

Комитет ISO утвердил G-код как стандарт ISO 6983-1:2009. Госкомитет по стандартам СССР – как ГОСТ 20999-83.

В советской технической литературе G-код обозначается как код ИСО 7-бит (ISO 7-bit), это вызвано тем, что G-код кодировали на 8-дорожечную перфоленту в коде ISO 7-bit (разработан для представления информации УЧПУ в виде машинного кода так же, как и коды AEG и PC8C), восьмая дорожка использовалась для контроля чётности.

Программа, написанная с использованием G-кода, имеет жёсткую структуру. Все команды управления объединяются в **кадры** – группы, состоящие из одной или более команд. Кадр завершается символом перевода строки (CR/LF) и может необязательно иметь явно указанный номер,

начинающийся с буквы N, за исключением первого кадра программы и комментариев.

В соответствии с международными стандартами и ГОСТ 20999-83 структура управляющей программы в общем случае подчиняется следующим правилам.

1. В тексте управляющей программы должна содержаться геометрическая, технологическая и вспомогательная информация, которая необходима для проведения заданной обработки. В каждом кадре программы записывается только та информация, которая изменяется по отношению к предыдущему кадру. При этом выполнение системой ЧПУ оставшейся неизменной информации прекращается только после поступления команды на ее отмену (вид этой команды и способ отмены определяется особенностями конкретной системы ЧПУ).

2. Каждая управляющая программа начинается символом «начало программы», подающим системе управления сигнал о начале выполнения программы. Вид символа «начало программы» зависит от особенностей применяемой системы ЧПУ. Наиболее часто в отечественных и зарубежных системах ЧПУ используется символ %. При этом кадр с символом «начало программы» не нумеруется. Нумерация кадров начинается с последующего кадра.

3. Если управляющей программе необходимо присвоить обозначение, то его располагают в кадре с символом «начало программы» непосредственно за символом.

4. Если текст управляющей программы необходимо сопроводить комментарием, например сведениями об особенностях наладки станка, то его размещают перед символом «начало программы».

5. Управляющая программа должна заканчиваться символом «конец программы», подающим системе управления сигнал на прекращение выполнения управляющей программы, останов шпинделя, приводов подач и

выключение охлаждения. Информация, помещенная в тексте управляющей программы после этого символа, не должна восприниматься системой ЧПУ.

6. Информация, расположенная в тексте управляющей программы между символами «начало программы» и «конец программы» и заключенная в круглые скобки не должна приниматься системой ЧПУ к исполнению. При этом в тексте внутри скобок не должны применяться символы «начало программы» и «главный кадр».

В начале каждой программы есть так называемая строка безопасности. Строкой безопасности называется кадр, содержащий G-коды, которые переводят станок ЧПУ в определенный стандартный режим, отменяют ненужные функции и обеспечивают безопасную работу с управляющей программой. В начале программы для обработки строкой безопасности является кадр N1. N10 G21 G40 G49 G54 G80 G90.

Многие коды являются модальными и остаются активными в памяти станка ЧПУ 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 управляющей программы или после кадра смены инструмента позволяет «восстановить» забытые G-коды и выйти в привычный режим работы.

Модальность – это свойство функции, сохраняющее свое значение в управляющей программе (G-коде) до последующей отмены или изменения.

Свойство «модальность» в управляющей программе проявляется в каждой строке тем, что некоторые функции для упрощения программирования сохраняют свое действие до следующей их отмены или изменения значения. Например, если прямолинейный тип движения не меняется в течение нескольких кадров управляющей программы, то соответствующая

G1 функция может быть использована только в первом из перемещений, а в последующих кадрах, она не пишется.

3.3.1 Подготовительные (основные) команды

Основные (называемые в стандарте подготовительными) команды языка начинаются с буквы G (аббревиатура от слова General) отвечают за:

- перемещение рабочих органов оборудования с заданной скоростью (линейное и круговое);
- выполнение типовых последовательностей (таких, как обработка отверстий и резьба);
- управление параметрами инструмента, системами координат и рабочих плоскостей,

и делятся на основные группы, представленные в таблице 3.2.

Таблица 3.2 – Основные команды

Коды	Описание
G00-G04	Позиционирование инструмента
G17-G19	Переключение рабочих плоскостей (XY, ZX, YZ)
G20-G21	Не стандартизовано
G40-G44	Компенсация размера различных частей инструмента (длина, диаметр)
G53-G59	Переключение систем координат
G80-G85	Циклы сверления, растачивания, нарезания резьбы
G90-G91	Переключение систем координат (абсолютная, относительная)

Рассмотрим назначение команд группы G00-G04.

G00 – быстрое позиционирование. Ускоренное перемещение инструмента (холостой ход). При холостом перемещении **не обязательно** производится линейная интерполяция перемещения аналогично команде G01.

В некоторых интерпретаторах при выполнении команды «перемещения по нескольким осям одновременно» перемещение по осям отрабатывается с максимальной скоростью, поэтому линейное перемещение от исходной точки в конечную точку не обеспечивается, поэтому нельзя производить ходы обработки детали при действии этой модальной команды. Пример задания команды: G0 X0 Y0 Z100.

G01 – линейная интерполяция. Инструмент (рабочий орган) перемещается по отрезку прямой линии от исходной точки с координатами до исполнения команды в точку с заданными в команде координатами, скорость перемещения задаётся здесь же или ранее модальной командой F.

При этом скорость перемещения связана со скоростями перемещения по осям как

$$F = \sqrt{F_x^2 + F_y^2 + F_z^2}$$

$$\frac{\Delta L_x}{F_x} = \frac{\Delta L_y}{F_y} = \frac{\Delta L_z}{F_z}$$

В формулах ΔL_x, ΔL_y, ΔL_z – приращения координат между кадрами, а F_x, F_y, F_z – скорости по осям.

Пример задания команды:G01 X0. Y0. Z100. F200.

G02 – круговая интерполяция по часовой стрелке.

Инструмент перемещается по дуге окружности по часовой стрелке от исходной точки с координатами до исполнения команды в точку с заданными в команде координатами. Скорость перемещения задаётся в этой команде параметром F. Радиус дуги задаётся параметром R, либо указанием координат центра дуги параметрами:

- I – (смещение центра по оси X относительно начальной координаты X),
- J – (смещение центра по оси Y относительно начальной координаты Y),

- K – (смещение центра по оси Z относительно начальной координаты Z) относительно начальных координат инструмента.

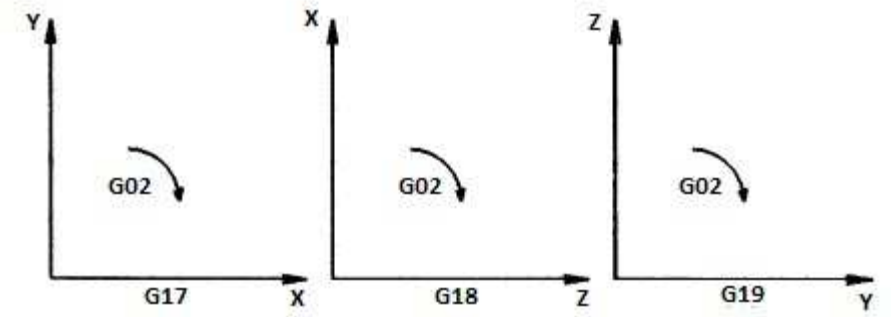

Рисунок 3.16 – Визуальное отображение команды G02

Пример задания команды: G02 G17 X15. Y15. R5. F200. ИлиG02 G17 X20. Y15. I-50.J-60.

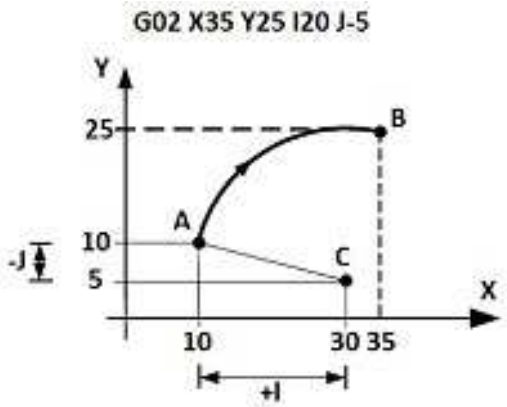

Рисунок 3.17 – Пример команды G02 X35 Y25 I20 J-5

G03 – круговая интерполяция против часовой стрелки. Параметры и действие аналогичны команде G02.

G04 – задержка выполнения программы.

Способ задания величины задержки зависит от реализации системы управления, P обычно задает паузу в миллисекундах, X – в секундах. В некоторых интерпретаторах P задает паузу в секундах и параметр X в этой команде не используется. Также в некоторых интерпретаторах возможно задание задержки параметром U. Пример задания команды: G04 P500 или G04 X.5.

3.3.2 Технологические (вспомогательные) команды

Технологические команды языка начинаются с буквы М (аббревиатура от слова *Miscellaneous* – дополнительный). Включают такие действия, как:

- сменить инструмент;
- включить/выключить шпиндель;
- включить/выключить охлаждение;
- работа с подпрограммами.

Основные технологические команды представлены в таблице 3.3.

Таблица 3.3 – Основные команды

Коды	Описание
M00	Приостановить работу станка до нажатия кнопки <старт> на пульте управления, так называемая <безусловная технологическая остановка>
M01	Приостановить работу станка до нажатия кнопки <старт>, если включён режим подтверждения остановки. Если этот режим отключён, то команда игнорируется. Используется для начальной проверки (отладки) кода
M02	Конец программы, без сброса модальных функций. Указатель номера кадра не изменяется
M03	Начать вращение шпинделя по часовой стрелке
M04	Начать вращение шпинделя против часовой стрелки
M05	Остановить вращение шпинделя
M06	Сменить инструмент
M07	Включить дополнительное охлаждение
M08	Включить основное охлаждение. Иногда использование более одного М-кода в одной строке (как в примере) недопустимо, для этого используются M13 и M14
M09	Выключить охлаждение

M30	Конец программы, со сбросом модальных функций и изменением указателя номера кадра на начало программы
M25	Замена инструмента вручную
M97	Запуск подпрограммы, находящейся в той же программе, реализована не во всех интерпретаторах. Например, M97 P25, где P – номер кадра, в переход осуществится к строке с меткой N25

3.3.3 Функциональные значения (параметры команд)

Параметры команд задаются буквами латинского алфавита и представлены в таблице 3.4

Таблица 3.4 – Значение основных символов в языке программирования G-code

Команда	Описание	Применение
X	Перемещение инструмента в заданную точку с заданной координатой по оси X при работе в абсолютной системе координат или задание смещений относительно точки, достигнутой в предыдущем кадре при работе в инкрементной системе координат	Задание координаты конечной точки или величины перемещения исполнительного органа станка вдоль оси X
Y	Аналогично X по оси Y	Аналогично вдоль оси Y
Z	Аналогично X по оси Z	Аналогично вдоль оси Z
P	При использовании в команде вызова подпрограммы (M98) – указание номера вызываемой подпрограммы. При использовании в команде задержки (G04) указывает время задержки в миллисекундах	
O	Метка подпрограммы с указанным номером	
F	Функция определяющая скорость перемещения инструмента	Линейная скорость перемещения инструмента

S	Частота вращения шпинделя в оборотах в минуту	
T	Указание номера инструмента в команде смены инструмента. Обычно указывается перед командой M6	Задание команды на автоматическую установку в рабочую позицию сменного инструмента под определенным номером. Символ применяется только при наличии у станка устройства автоматической смены инструмента
R	Расстояние отвода инструмента в повторяющихся циклах обработки, например, прерывистого сверления глубоких отверстий или радиус дуги при круговых интерполяциях перемещения инструмента	
D	Параметр коррекции радиуса выбранного инструмента	
L	Число вызовов подпрограммы, число вызовов макроса, или количество циклов в повторяющихся операциях X_Y_R_ – параметры, передаваемые в макрос	
I	Указание смещения по оси X координаты центра дуги при круговой интерполяции перемещения инструмента. Координаты центра дуги по осям указываются в виде смещения относительно начальной точки (достигнутой в предыдущем кадре)	Задание интерполяции перемещения исполнительного органа станка или шага резьбы вдоль оси X
J	Аналогично параметру I для оси Y	Задание интерполяции перемещения исполнительного органа

		станка или шага резьбы вдоль оси Y
K	Аналогично параметру I для оси Z	Задание интерполяции перемещения исполнительного органа станка или шага резьбы вдоль оси Z
N	Номер кадра	Порядковый номер кадра

Пример команды для станка с ЧПУ представлен на рисунке 3.18

```
1  M190 S70.000000
2  M109 S200.000000
3  ;Sliced at: Mon 30-11-2015 17:55:51
4  ;Basic settings: Layer height: 0.25 Walls: 1.2 Fill: 100
5  ;Print time: 1 hour 21 minutes
6  ;Filament used: 5.61m 44.0g
7  ;Filament cost: None
8  ;M190 S100 ;Uncomment to add your own bed temperature line
9  ;M109 S200 ;Uncomment to add your own temperature line
10 G21        ;metric values
11 G90        ;absolute positioning
12 M82        ;set extruder to absolute mode
13 M107       ;start with the fan off
14 G28 X0 Y0  ;move X/Y to min endstops
15 G28 Z0     ;move Z to min endstops
16 G1 X100 Y100 Z50 F4200 ;move the platform down 15mm
17 G92 E0                 ;zero the extruded length
18 G1 F200 E4             ;extrude 3mm of feed stock
19 G92 E0                 ;zero the extruded length again
20 G1 F4200
21 ;Put printing message on LCD screen
22 M117 Printing...
```

Рисунок 3.18 – Пример команды

4. Классификация современных систем ЧПУ

Системы управления и станки с числовым программным обеспечением настолько сложны, что их невозможно классифицировать по какому-то одному признаку. Основные характеристики систем ЧПУ позволяют систематизировать их следующим образом.

1. В зависимости от способа управления исполнительными механизмами станка:
   1.1. Позиционные. Инструмент в соответствии с программой движется от одной точки, в которой производится необходимая операция с заготовкой, к другой, где также выполняется обработка, Во время перемещения инструмента никакие другие операции не выполняются;
   1.2. Контурные. Обработка может производиться по всей траектории движения инструмента;
   1.3. Универсальные.
2. По возможностям и способу позиционирования:
   2.1. Абсолютный отсчет. Местоположение подвижного механизма станка всегда определяется по расстоянию от начала координат;
   2.2. Относительный отсчет. При позиционировании осуществляется приращением дополнительного пути к координатам предыдущей точки, которая временно принимается за начало координат. Затем началом координат считается следующая достигнутая точка.
3. По наличию обратной связи в контуре управления:

3.1. Разомкнутые («открытого» типа). Перемещение исполнительных элементов производится по командам, содержащимся в программе. Информация о фактически достигнутых координатах отсутствует;

3.2. Замкнутые (закрытые). В системах этого типа координаты положения исполнительных механизмов постоянно контролируется;

3.3. Самонастраивающиеся («закрытые» повышенной точности). Более совершенная система, которая запоминает поступающие сведения о расхождении заданных и фактических координат исполнительного элемента, отрабатывает их, и корректирует новые команды с учетом изменившихся условий.

4. В зависимости от технического уровня используемых микропроцессоров, микроконтроллеров или управляющих ПК:

4.1. Системы 1-го поколения:

4.2. Системы 2-го поколения:

4.3. Системы 3-го поколения.

5. По количеству координатных осей:

5.1. Двухкоординатные (например, сверлильный станок);

5.2. Трехкоординатные;

5.3. Четырехкоординатные (например, фрезерный станок);

5.4. Пятикоординатные.

6. По уровню электронной техники:

6.1. Система NC. Такие системы строятся по принципу цифровой модели. Программа вводится в интерполятор, затем переработанная программа вводится в систему управления объектом;

6.2. Система SNC. В таких системах устройство считывания программы управления используется для ввода управляющей программы в блок памяти, в результате чего возрастает надежность работы объекта управления;

6.3. Система CNC. Система имеет структуру управляющей электронно-вычислительной машины.

Список литературы

1. Авцинов, И. А. Основы организационно – технологического управления роботизированными комплексами: учеб.пособие / И. А. Авцинов, В. К. Битюков; Воронеж. Гос. ун-т инж. технол. – Воронеж: ВГУИТ, 2021. – 299 с.
2. Бакунина, Т. А. Основы автоматизации производственных процессов в машиностроении: учеб.пособие / Т. А. Бакунина. – Москва; Вологда: Инфа-Инженерия, 2019. – 192 с
3. Гибкие производственные комплексы / под ред. П.Н. Белянина и В.А. Лещенко. – М. : Машиностроение, 1984. – 384 с.
4. ГОСТ 26228-90. Системы производственные гибкие. Термины и определения, номенклатура показателей: национальный стандарт Российской Федерации : издание официальное утвержден и введен в действие Государственным комитетом СССР по управлению качеством продукции от 31 августа1990 года: дата введения 1991.01.01 – Москва : Издательство стандартов, 1990. – 11 с.
5. Должиков, В. П. Основы программирования и наладки станков с ЧПУ : учеб.пособие / В. П. Должиков. – 2-е изд., перераб. и доп. – Томск : Изд-во Томского политехн. ун-та, 2011. – 143 с
6. Моисеев, Ю. И. Применение промышленных роботов для загрузки металлообрабатывающего оборудования [Текст] : учебное пособие / Ю. И. Моисеев. – Курган : Изд-во Курганского гос. ун-та, 2013. – 170 с.
7. Обработка металлов резанием : справочник технолога / под ред. А.А. Панова. – М. : Машиностроение, 1995. – 736 с.
8. Основы автоматизации производства / под общ.ред. Ю.М. Соломенцева. – М. : Машиностроение, 1995. – 312 с

9. Пайвин А.С., Чикова О.А. Основы программирования станков с ЧПУ [Текст]: Учебное пособие «Основы программирования станков с ЧПУ» для студентов направления подготовки: Технология и предпринимательство (для ООП «050100.62 – Педагогическое образование») внутривузовский компонент / Урал.гос. пед. ун-т. – Екатеринбург, 2015. – 102с.
10. Пронин, А. И. Технологические основы гибких автоматизированных производств : учеб.пособие / А. И. Пронин. – Комсомольск-на-Амуре : ФГБОУ ВПО «КнАГТУ», 2015. – 135 с. ISBN 978-5-7765-1135-6
11. Сергеев, А. И. Повышение эффективности работы станочных систем: учеб.пособие / А. И. Сергеев, М. А. Корнипаев, А. С. Русяев; Оренбургский гос. ун-т. – Оренбург: ОГУ, 2013. – 150 с
12. Хватов, Б.Н Гибкие производственные системы. Расчет и проектирование : учеб.пособие / Б.Н. Хватов. – Тамбов : Изд-во Тамб. гос. техн. ун-та, 2008. – 112 с. – 100 экз. – ISBN 978-5-8265-0694-3

Электронное учебное издание

Алексей Александрович **Силаев**
Степан Игоревич **Ефремкин**

ГИБКИЕ ПРОИЗВОДСТВЕННЫЕ СИСТЕМЫ И СОВРЕМЕННЫЕ СИСТЕМЫ С ЧПУ

Учебное пособие

Электронное издание сетевого распространения

Редактор Матвеева Н.И.

Темплан 2024 г. Поз. № 22.
Подписано к использованию 11.06.2024. Формат 60x84 1/16.
Гарнитура Times. Усл. печ. л. 4,9.

Волгоградский государственный технический университет.
400005, г. Волгоград, пр. Ленина, 28, корп. 1.

ВПИ (филиал) ВолгГТУ.
404121, г. Волжский, ул. Энгельса, 42а