

Министерство образования и науки Российской Федерации  
Федеральное государственное бюджетное образовательное  
учреждение высшего образования  
«Ивановский государственный энергетический  
университет имени В.И. Ленина»

Д.А. Бекташов, А.М. Власов

## **Основы программирования станков с ЧПУ**

Учебное пособие

Иваново 2017



УДК 621.9  
Б 42

Бекташов Д.А., Власов А.М. Основы программирования станков с ЧПУ: Учеб. пособие / ФГБОУВО «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина». – Иваново, 2018. – 112 с.

Учебное пособие содержит общие вопросы и принципы построения управляющих программ и программирования станков с ЧПУ.

Предназначено для использования в качестве методического материала при выполнении лекционных и практических занятий бакалавров и магистров, обучающихся по направлениям 15.03.05 и 15.04.05 «Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных производств».

Табл. 14. Ил. 56. Библиогр.: 12 назв.

Печатается по решению редакционно-издательского совета ФГБОУВО «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина»

Научный редактор  
д-р техн. наук, проф. В.А. Полетаев

Рецензент

кафедра технологии машиностроения ФГБОУВО «Ивановский государственный энергетический университет им. В.И. Ленина»

© Д.А. Бекташов,  
А.М. Власов, 2018



## ВВЕДЕНИЕ

Важнейшим достижением научно-технического прогресса является комплексная автоматизация промышленного производства. В своих высших формах – гибкое автоматизированное производство (ГАП) и компьютерное интегрированное производство (КИП) – автоматизация предполагает функционирование многочисленных взаимосвязанных технических средств различных объектов производства на основе компьютерной техники, программного управления, групповой организации производства и мощного специального программного обеспечения, которое определяется обычно как САД/САМ, САЕ.

В таком производстве особое значение приобретает оборудование с числовым программным управлением (ЧПУ), обеспечивающее не только автоматическое управление обработкой деталей, но и программирование такой обработки дистанционно с передачей управляющих программ по специальным каналам связи.

Внедрение ЧПУ в технологию машиностроения обусловило необходимость построения числовых моделей технологического процесса и широкое использование математических методов и вычислительной техники. Эксплуатация станков с ЧПУ возможна при наличии не только соответствующего технологического процесса, но и обеспечивающих его исполнение управляющих программ (УП). Поэтому программирование обработки для станков с ЧПУ отличается трудоемкостью и сложностью, требует от технолога высокой профессиональной подготовки, знания не только ряда технологических дисциплин, но и основ программирования, некоторых разделов математики и т. п.

Программирование технологических процессов для станков с ЧПУ – это качественно новый этап, на котором выполняется значительная часть работы, перенесенная из сферы непосредственного производства в область его технологической подготовки. При подготовке УП перерабатывается большой объем технологической информации. В ряде случаев поиск и нахождение оптимальных решений возможны лишь при широком использовании в процессе программирования компьютеров. Методы и организация подготовки УП на предприятиях зависят от доступа к ЭВМ, наличия и совершенства специального программно-математического обеспечения



(ПМО), типизации технологических процессов, серийности изделий, профессионального уровня работников технологических служб. Развитие и широкое распространение в промышленности средств вычислительной техники, применение ЭВМ для управления участками станков и создание автоматизированных рабочих мест – все это создает предпосылки для полного перехода на автоматизированную подготовку УП для станков с ЧПУ. При этом неизбежно слияние систем автоматизации программирования (САП) изготовления изделий с системами автоматизации их проектирования (САПР), что связано с решением насущного вопроса производства – комплексной автоматизации проектирования и изготовления.

Однако недостаточный уровень формализации технологических задач, незавершенность теоретических основ процессов обработки, неполнота экспериментальных данных не позволяют полностью автоматизировать процессы подготовки всех технологий и УП для станков с ЧПУ. Поэтому в большинстве случаев при подготовке УП оптимальной является работа в так называемом диалоговом режиме. В этом режиме наиболее формализованная часть технологических задач решается программно с использованием средств вычислительной техники, а дальнейшие пути решений на узловых участках проектирования выбирает технолог-программист или конструктор-технолог-программист. Это позволяет преодолеть недостаточную формализацию технологических задач, значительно сокращает время проектирования, однако требует творческой работы, опыта, знаний и хорошей профессиональной подготовки от работающего специалиста.

Настоящее пособие содержит данные по основным аспектам процесса подготовки управляющих программ для оборудования с ЧПУ. Особое внимание отведено решению актуальных задач программирования, рассмотрены типовые методики, приведены типовые примеры. В пособии вопросы программирования рассматриваются в полном взаимодействии с основными вопросами разработки технологии, оборудования, технологической оснастки, поскольку программирование является одной из составляющих частей в общем цикле работ подготовки производства и самого процесса производства.



# 1. ЭТАПЫ ПОДГОТОВКИ УПРАВЛЯЮЩИХ ПРОГРАММ

## 1.1. Структура технологического процесса

Технологический процесс (ТП) обработки на станке с ЧПУ, в отличие от традиционного технологического процесса, требует большей детализации при решении технологических задач и учета специфики представления информации. Структурно технологический процесс также делится на операции, элементами которых являются установки, позиции, технологический и вспомогательный переходы, рабочие и вспомогательные ходы.

Детализация технологического процесса для оборудования с ЧПУ приводит к разделению ходов на шаги, каждый из шагов представляет собой перемещение на участке траектории инструмента вдоль определенного геометрического элемента, на котором не изменяется режим. Например, шагами являются отдельные перемещения инструмента вдоль прямой или окружности с постоянной скоростью, а также разгон и торможение в начале и конце движения.

Простейшими составляющими процесса обработки являются элементарные перемещения и технологические команды, отрабатываемые устройством ЧПУ (УЧПУ). Элементарные перемещения формируются с учетом ограничений УЧПУ. К ним относятся, например, необходимость расположения дуги окружности в пределах одного квадранта или задания отрезка прямой числом дискрет, не превышающим емкости регистра памяти УЧПУ. Технологические команды, реализуемые исполнительными механизмами станка, обеспечивают необходимые условия отработки элементарных перемещений. Последовательность элементарных перемещений и технологических команд определяет содержание УП.

Разработка ТП и УП для станков с ЧПУ является одной из задач технологической подготовки производства (ТПП) и должна выполняться в строгом соответствии со структурными связями системы ТПП, в общем случае являющейся частью системы разработки и запуска продукции в производство на предприятии.



В общем случае проектирование ТП для станков с ЧПУ можно разделить на три стадии: разработку маршрута обработки детали, разработку ТП, подготовку УП. Каждая стадия содержит несколько этапов проектирования. Создание УП для станков с ЧПУ в условиях автоматизированного производства является важнейшей задачей всей системы ТПП.

## 1.2. Системы координат, используемые при программировании

Работа станка с ЧПУ тесно связана с системами координат. Различают системы координат станка, детали, приспособления и инструмента.

**Система координат станка.** Оси координат у станков располагают обычно параллельно направляющим станка, что позволяет при программировании обработки указывать направления и величины перемещения рабочих органов.

В качестве единой системы координат для всех станков с ЧПУ принята стандартная прямоугольная (правая) система, при которой оси X, Y, Z (рис. 1.1) указывают положительные перемещения инструментов относительно подвижных частей станка. Положительные направления движения заготовки относительно неподвижных частей станка указывают оси X', Y', Z', направленные противоположно осям X, Y, Z. Таким образом, положительными всегда являются такие движения, при которых инструмент и заготовка удаляются друг от друга.

Круговые перемещения инструмента (например, угловое смещение оси шпинделя фрезерного станка) обозначают буквами A (вокруг оси X), B (вокруг оси Y), C (вокруг оси Z), а круговые перемещения заготовки (например, управляемый по программе поворот стола на расточном станке) – соответственно буквами A', B', C'. В понятие «круговые перемещения» не входит вращение шпинделя, несущего инструмент, или шпинделя токарного станка. Вторичные угловые движения вокруг специальных осей обозначаются буквами D и E.

Для обозначения направления перемещения двух рабочих органов вдоль одной прямой используют так называемые вто-



ричные оси: U (параллельно X), V (параллельно Y), W (параллельно Z). При трех перемещениях в одном направлении применяют еще и так называемые третичные оси: P, Q, R (рис. 1.1).

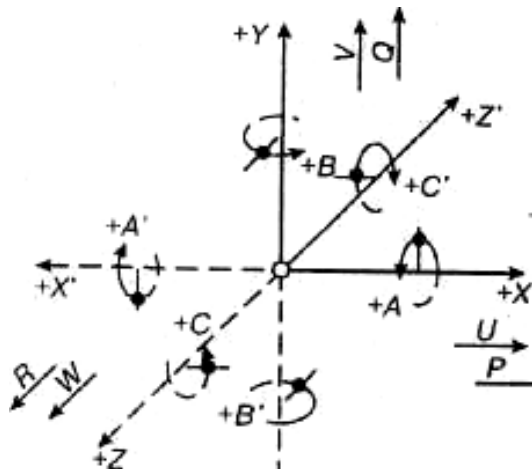


Рис. 1.1. Стандартная система рабочих координат станков с ЧПУ

У станков различных типов и моделей системы координат размещают по-разному (рис. 1.2), определяя при этом положительные направления осей и размещение начала координат (нуль станка М). Система координат станка является главной расчетной системой, в которой определяются предельные перемещения, начальные и текущие положения рабочих органов станка. При этом положения органов станка характеризуют их базовые точки, выбираемые с учетом конструктивных особенностей отдельных управляемых по программе узлов станка. Так, базовыми служат точки: для шпиндельного узла – точка М пересечения торца шпинделя с осью его вращения (рис. 1.2); для суппорта токарно-револьверного станка – центр поворота резцедержателя в плоскости, параллельной направляющим суппорта и проходящей через ось вращения шпинделя, или точка базирования инструментального блока; для крестового стола – точка пересечения его диагоналей или специальная настроечная точка, определяемая конструкцией приспособления; для поворотного стола – центр поворота на зеркале стола и т. д.



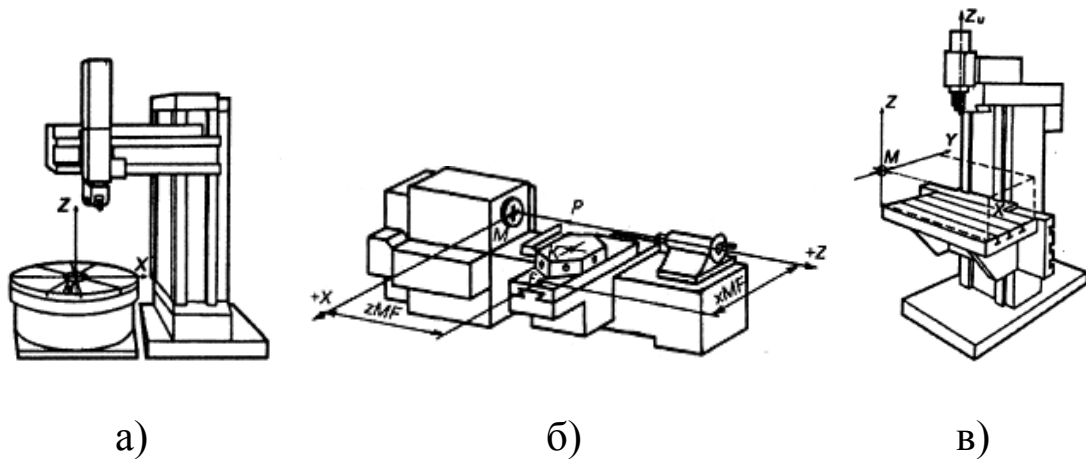


Рис. 1.2. Размещение координатных систем у различных станков с ЧПУ: а) карусельный; б) токарный, в) вертикально-фрезерный

Базовая точка может быть материально выражена точным базовым отверстием в центре стола станка (например, точка F на рис. 1.3). В технической документации пределы возможных смещений рабочих органов, как правило, указывают пределами смещения базовых точек.

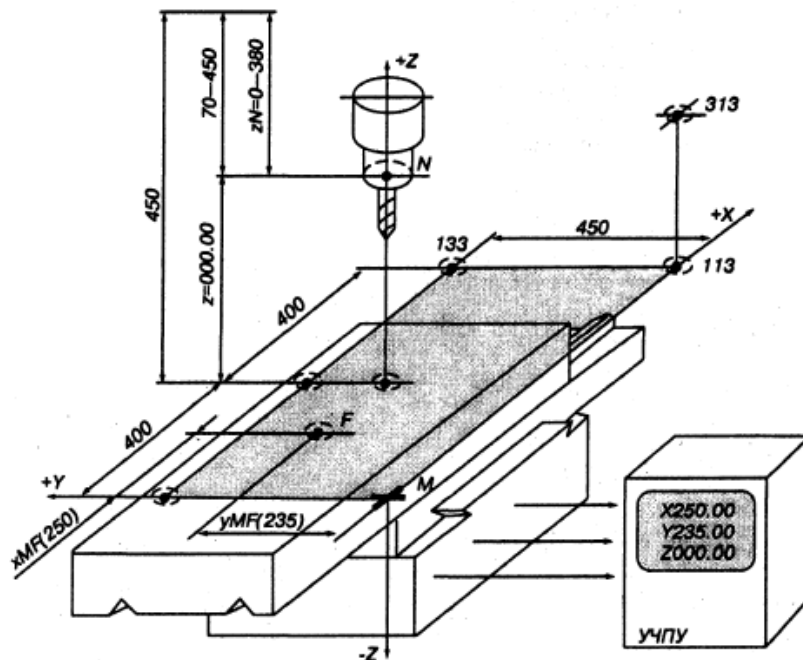


Рис. 1.3. Система координат вертикально-сверлильного станка с ЧПУ

В стандартной системе координат станка положительные направления осей координат определяются по правилу правой



руки, согласно которому большой палец (рис. 1.4, а) указывает положительное направление оси абсцисс (X), указательный – оси ординат (Y), средний – оси аппликат (Z). Положительные направления вращения вокруг этих осей определяются другим правилом правой руки. Согласно этому правилу, если расположить большой палец по направлению оси, то остальные согнутые пальцы укажут положительное направление вращения (рис.1.4, б).

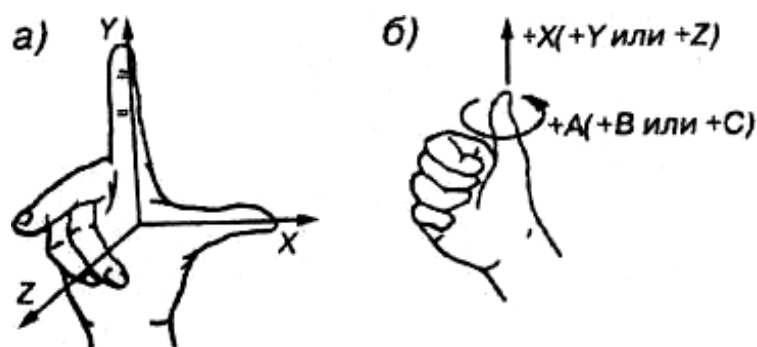


Рис. 1.4. Правило правой руки: а) положительные направления осей координат; б) положительные направления вращений

Ориентация осей стандартной системы координат станка связывается с направлением движения при сверлении на сверлильных, расточных, фрезерных и токарных станках. Направление вывода сверла из заготовки принято в качестве положительного для оси Z, т. е. ось Z всегда связывается с вращающимся элементом станка – шпинделем. Ось X перпендикулярна к оси Z и параллельна плоскости установки заготовки. Если такому определению соответствуют две оси, то за ось X принимают ту, вдоль которой возможно большее перемещение узла станка. При известных осях X и Z ось Y однозначно определяется из условия расположения осей в правой прямоугольной системе координат.

Начало стандартной системы координат станка обычно совмещают с базовой точкой узла, несущего заготовку, зафиксированного в таком положении, при котором все перемещения рабочих органов станка могли бы описываться положительными координатами (рис. 1.3). Точка M, принятая за начало отсче-



та системы координат станка, называется нулевой точкой станка или нулем станка. В этом положении рабочие органы (базовые точки), несущие заготовку и инструмент, имеют наименьшее удаление друг от друга, а отсчетные элементы станка определяют нуль отсчета на табло цифровой индикации.

Например, у вертикально-сверлильного станка (рис. 1.3) базовой точкой  $F$  стола является центр стола, в котором выполнено отверстие диаметром  $40H8$ . Базовой точкой шпинделя является точка  $N$  – центр отверстия шпинделя в плоскости торца шпинделя. Конструкцией станка определено, что стол может смещаться по оси  $X$  (продольная ось стола) на  $400$  мм вправо и влево относительно центрального положения базовой точки.

Возможные смещения стола оси  $Y$  (поперечные) составляют  $450$  мм. Таким образом, прямоугольник (рис. 1.3), образованный линиями возможного смещения точки  $F$  по осям  $X$  и  $Y$ , определяет возможную зону обработки заготовок инструментом, ось которого совпадает с осью шпинделя. Эта зона (ее часто называют рабочей зоной) у рассматриваемого станка в плоскости ограничена размерами  $800 \times 450$  мм. Наличие данных о зоне обработки обязательно, так как они определяют возможности станка при программировании перемещения обрабатываемых заготовок.

Чтобы отсчет перемещений стола по осям  $X$  и  $Y$  всегда был положительным, нуль станка  $M$  принимают размещенным в одном из углов рабочей зоны (рис. 1.2, в). Естественно, что положение точки  $M$  является фиксированным и неизменным, и в этом случае точка  $M$  будет являться началом координат станка. Тогда положение точки  $F$  может быть задано координатами  $x_{MF}$  и  $y_{MF}$  относительно точки  $M$ .

Для рассматриваемого станка (рис. 1.3) положение точки  $F$  будет изменяться в пределах  $0 \div 800$  мм по оси  $X$  и  $0 \div 450$  мм по оси  $Y$ . Возможное смещение торца шпинделя в направлении оси  $Z$  составит  $380$  мм ( $70 \div 450$  мм). При этом за начало перемещения принимается нижнее (предельное) положение торца относительно зеркала стола, при котором расстояние от торца до зеркала стола равно  $70$  мм.



При работе станка табло индикации на панели УЧПУ отражает истинное положение базовых точек станка относительно нуля станка. Для рассматриваемого примера это положение точки F относительно точки M и точки N относительно нулевого уровня в соответствующей системе XYZ координат станка.

Для взаимного положения рабочих органов станка, показанного на рис. 1.3, на табло индикации будут данные X250.0, Y235.0 и Z000.0. При совмещении оси шпинделя с точкой 133, табло индикации покажет X800.0, Y450.0 и Z000.0. В положении, когда точка N будет совмещена с точкой 313, на табло индикации будут значения X800.0, Y000.0 и Z380.0.

Таким образом, если на данном станке обрабатывать деталь с использованием абсолютного отсчета, то все ее координаты (рис. 1.5) должны быть определены относительно нулевой точки M станка. Обычно в нулевую точку станка рабочие органы можно переместить путем нажатия кнопок на пульте управления станком или соответствующими командами УП. Точный останов рабочих органов в нулевом положении по каждой из координат обеспечивается датчиками нулевого положения. Движения рабочих органов станка задаются в УП координатами или приращениями координат базовых точек в стандартной (правой) системе координат.

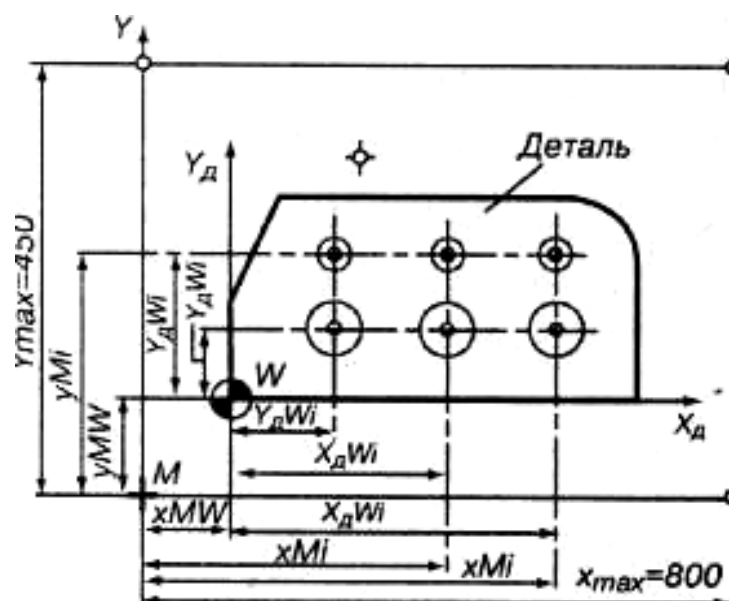


Рис. 1.5. Система координат станка (XMY) и детали (XDWD)



В рассматриваемом примере – это координаты  $x_{MF}$  и  $y_{MF}$  центра стола (базовой точки  $F$ ) и координата  $Z_N$  положения по высоте торца шпинделя (базовой точки  $N$  относительно нулевого уровня). В паспортах станков с ЧПУ всех типов указаны координаты, которые закреплены за конкретным рабочим органом, показаны направления всех осей, начало отсчета по каждой из осей и пределы возможных перемещений.

Для того чтобы не было путаницы с положительными направлениями рабочих органов, связанных с заготовкой (обозначение осей со штрихом) и с инструментом (обозначение осей без штриха), при подготовке УП всегда исходят из того, что инструмент движется относительно неподвижной заготовки. В соответствии с этим и указывают положительные направления осей координат на расчетных схемах, эскизах и другой документации, используемой при программировании. Другими словами, за основную при программировании принимают стандартную систему координат, в которой определены положения и размеры обрабатываемой детали, относительно которой перемещается инструмент. Принятое допущение корректируется системой УЧПУ таким образом, что если для реализации запрограммированного движения инструмента относительно заготовки необходимо переместить рабочий орган с инструментом, то это движение выполняется с заданным в УП знаком, а если требуется переместить рабочий орган с заготовкой, то знак направления движения изменяется на противоположный.

**Система координат детали.** Система координат детали является главной системой при программировании обработки. Система координат детали – это система, в которой определены все размеры данной детали и даны координаты всех опорных точек контура детали (рис. 1.6). Система координат детали переходит в систему координат программы – в систему, в которой даны координаты всех точек и определены все элементы, в том числе и размещение вспомогательных траекторий, которые необходимы для составления УП по обработке данной детали. Системы координат детали и программы обычно совмещены и представляются единой системой, в которой и производится программирование и выполняется обработка детали. Система



назначается технологом-программистом в соответствии с координатной системой выбранного станка.

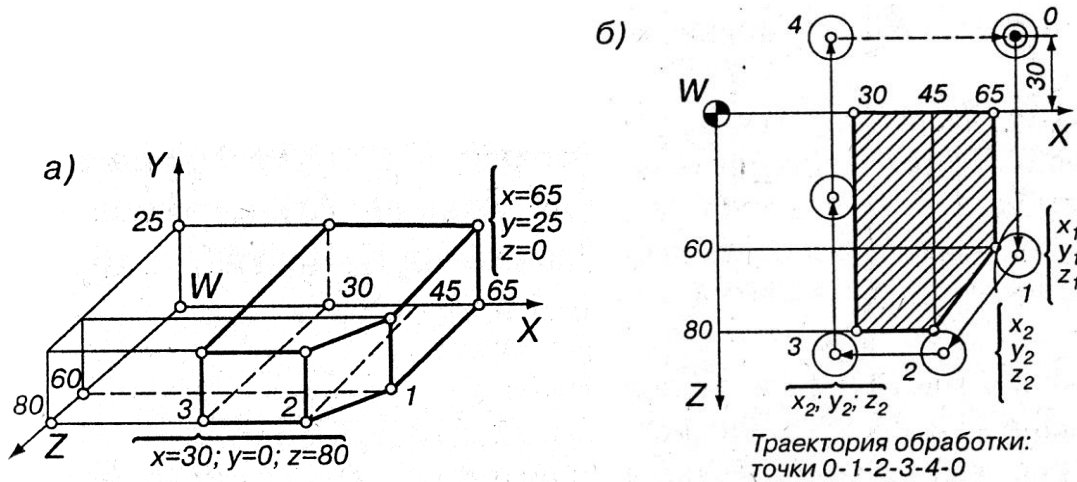


Рис. 1.6. Схема определения координат опорных точек детали (а) и траектории движения инструмента (б)

В этой системе, которая определяет положение детали в приспособлении, размещение опорных элементов приспособления, траектории движения инструмента и др., указывается так называемая точка начала обработки – исходная точка (O). Она является первой точкой для обработки детали по программе. Часто точку O называют «нуль программы». Перед началом обработки центр P инструмента должен быть совмещен с этой точкой. Ее положение выбирает технолог-программист перед составлением программы исходя из удобства отсчета размеров, размещения инструмента и заготовок, стремясь во избежание излишних холостых ходов приблизить инструменты к обрабатываемой детали. При многоинструментальной обработке исходных точек может быть несколько – по числу используемых инструментов, поскольку каждому инструменту задается своя траектория движения.

**Система координат инструмента.** Система координат инструмента предназначена для задания положения его режущей части относительно державки. Инструмент описывается в рабочем положении в сборе с державкой (рис. 1.7). При описании всего разнообразия инструментов для станков с ЧПУ удобно



использовать единую систему координат инструмента  $X_{И}$ ,  $Z_{И}$ , оси которой параллельны соответствующим осям стандартной системы координат станка и направлены в ту же сторону. Начало системы координат инструмента располагают в базовой точке  $T$  инструментального блока, выбираемой с учетом особенностей его установки на станке. При установке блока на станке точка  $T$  часто совмещается с базовой точкой элемента станка, несущего инструмент, например с точкой  $N$  (рис. 1.7, в).

Режущая часть инструмента характеризуется положением его вершины и режущих кромок. Вершина инструмента задается радиусом закругления  $r$  и координатами  $x_{И TP}$  и  $z_{И TP}$  ее настроечной точки  $P$  (рис. 1.7, а), положение которой относительно начала системы координат инструмента обеспечивается наладкой инструментального блока вне станка на специальном приспособлении.

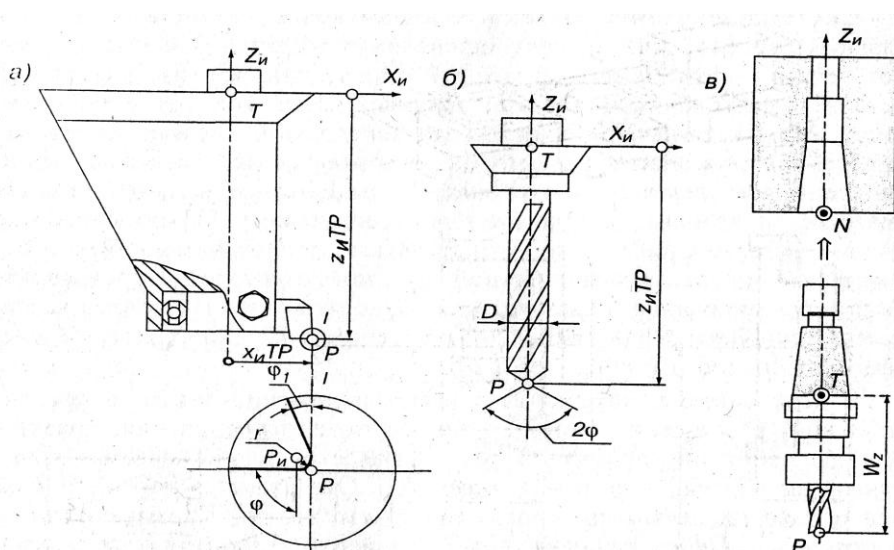


Рис. 1.7. Система координат инструмента: а) резец; б) сверло; в) схема базирования инструмента

Положение режущей кромки резца задается главным  $\varphi$  и вспомогательным ( $\varphi_1$ ) углами в плане, а сверла (рис. 1.7, б) – углом  $2\varphi$  при вершине и диаметром  $D$ . Вершина вращающегося инструмента лежит на оси вращения, и поэтому для ее задания достаточно указать аппликату  $z_{И TP}$ .



Настроечная точка инструмента  $P$  обычно используется в качестве расчетной при вычислении траектории инструмента, элементы которой параллельны координатным осям. Расчетной точкой криволинейной траектории служит центр закругления  $P_{И}$  при вершине инструмента (рис. 1.7, а).

Важной задачей, возникающей при программировании оборудования с ЧПУ, является взаимосвязь используемых систем координат. При обработке детали, например на токарном станке с ЧПУ (рис. 1.2, б), можно выделить три координатные системы. Первая – система координат станка  $X M Z$ , имеющая начало отсчета в точке  $M$  – нуль станка (рис. 1.8, а). В этой системе определяются положения базовых точек отдельных узлов станка, причем числовые значения координат тех или иных точек (например, точки  $F$  на суппорте станка) выводятся на табло цифровой индикации станка. Вторая координатная система – это система координат детали или программы обработки детали  $X_D W Z_D$  (рис. 1.8, б). И третья система – система координат инструмента  $X_{И} T Z_{И}$  (рис. 1.8, в), в которой определено положение центра  $P$  инструмента относительно базовой точки  $F(K, T)$  элемента станка, несущего инструмент.

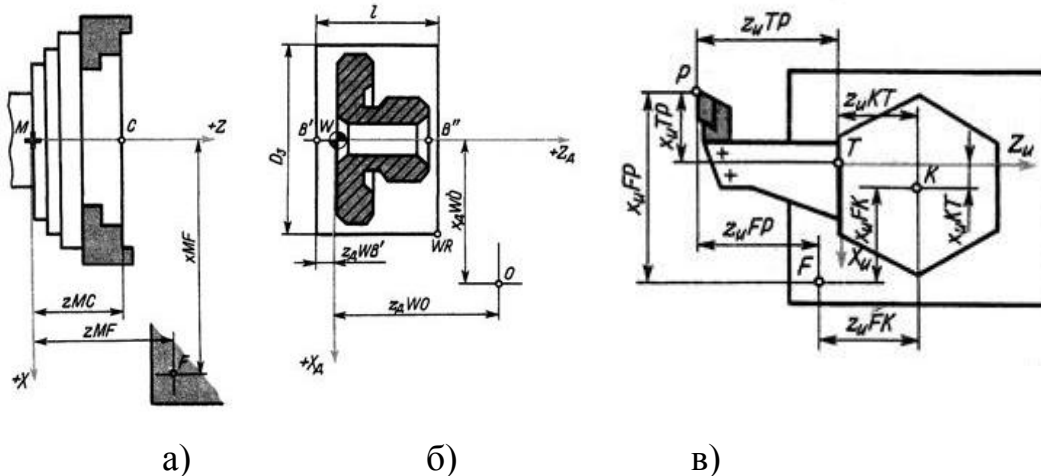


Рис. 1.8. Система координат при обработке на токарном станке

Положение всех точек и элементов всех систем могут переводиться из одной в другую. Положение исходной точки  $O$ , как и любой другой точки траектории инструмента, переводится в



систему координат станка из системы координат программы (детали) через базовую точку  $S$  приспособления ( $O-W-C-M$ ). Центр инструмента  $P$ , заданный координатой в системе координат инструмента  $X_I T Z_I$  (рис. 1.8, в), переводится в систему координат станка через базовую точку  $K$  суппорта (рис. 1.2, б), которая задана относительно базовой точки  $F\{P-K-F-M\}$ .

Такая связь систем координат детали, станка и инструмента позволяет выдерживать заданную точность при переустановках заготовки и учитывать диапазон перемещений рабочих органов станка при расчете траектории инструмента в процессе подготовки программы управления.

Наладка станка для работы по УП упрощается, если нулевая точка станка находится в начале стандартной системы координат станка, базовые точки рабочих органов приведены в фиксированные точки станка, а траектория инструмента задана в УП перемещениями базовой точки рабочего органа, несущего инструмент, в системе координат станка. Это возможно, если базовая точка  $S$  приспособления определена в системах координат детали и станка. Если же траектория инструмента задана в УП перемещениями вершины инструмента в системе координат детали, то для реализации такой УП используют так называемый «плавающий нуль». В этом случае начало координат станка  $M$  условно смещают в начало координат программы  $W$ , и вся индикация значений в перемещениях центра инструмента в прямом соответствии с программой выводится на соответствующие элементы УЧПУ.

При программировании, как правило, за основную принимают точку начала системы координат детали  $W$ , организуя относительно ее всю УП. Естественно, при этом принимается во внимание характер расположения осей координат на выбранном станке. Тогда удобно, определив в системе положение базовых точек приспособления для детали, строить траекторию движения центра инструмента.

При токарной обработке чаще всего за начало координатной системы программы принимают базовую точку детали на базовом торце, при установке детали в приспособлении она совпадает с базовой точкой  $S$  на плоскости приспособления





На токарном станке (рис. 1.9, а) нулевая точка станка  $M$ , размещаемая на торце шпинделя, определяет положение координатных осей станка  $Z$  и  $X$ .

Относительно точки  $M$  при работе станка в абсолютной системе координат ведется отсчет перемещений базовой точки суппорта  $F$ . При этом текущие значения координат  $x_{MF}$  и  $z_{MF}$  выводятся на табло цифровой индикации. При обработке данной детали всегда должна быть известна величина  $z_{MC}$  – расстояние относительно точки  $M$  базовой точки  $C$  плоскости приспособления (токарного патрона), с которой при установке заготовки совмещается ее базовая точка  $B'$ .

В координатной системе программы  $X_D W Z_D$  (рис. 1.8, в и 1.9, а) исходная точка  $O$  (нуль программы) определена координатами  $Z_D WO$  и  $X_D WO$  относительно осей координатной системы. Задана также точка  $WR$  – точка отсчета заготовки, имеющей размеры  $D3 \times l$ .

В координатной системе программы задаются также все опорные точки программируемой траектории перемещения центра инструмента (инструментов), обеспечивающей обработку данной детали. У заготовки может быть также определен припуск  $Z_D WB'$  (положение точки  $B'$ ), который должен быть удален при ее обработке во время второго установа, или смещение начала координатной системы (точки  $W$ ) относительно базовой плоскости заготовки, т. е. величина  $Z_D WB$ .

На токарном станке начало системы координат инструмента ( $X_I T Z_I$ ) принимают в базовой точке  $\Gamma$  инструментального блока в его рабочем положении (рис. 1.8, г). Положения базовых точек инструментальных блоков, устанавливаемых на одном резцедержателе, определяют относительно его центра  $K$  приращениями координат  $Z_I CT$  и  $X_I CT$ . На одном суппорте может быть несколько резцедержателей, и в зависимости от характера работ (в патроне или в центрах) резцедержатель может занимать на суппорте токарного станка различные положения. В связи с этим центр резцедержателя должен быть определен приращениями координат  $Z_I FK$  и  $X_I FK$  относительно базово-



вой точки суппорта F. В частном случае, когда на суппорте находится один непереставляемый резцедержатель, базовая точка суппорта может быть совмещена с центром поворота резцедержателя или с базовой точкой инструментального блока.

При закреплении заготовки на станке (рис. 1.9, а) технологическая база для обработки детали в данном установе совмещается с соответствующей опорной поверхностью приспособления (совмещаются точки C и B'). Это позволяет увязать между собой системы координат программы и станка. Так как оси вращения шпинделя токарного станка и обрабатываемой детали совпадают, достаточно для увязки этих систем координат определить аппликату точки W начала системы координат программы в системе координат станка. Для случая, когда оси аппликат систем координат программы и станка направлены в одну сторону,  $z_{MW} = z_{MC} - z_{дWB}'$ , где  $z_{MC}$  и  $z_{дWB}'$  – аппликаты базовых точек в системах координат станка и программы с соответствующими знаками. В данном случае (рис. 1.8, а)  $z_{MW} = z_{MC} - (-z_{дWB}') = z_{MC} + z_{дWB}'$ . Если же оси аппликат этих систем направлены в противоположные стороны (рис. 1.9, б), то  $z_{MW} = z_{MC} + z_{дWB}''$ , где  $z_{дWB}''$  – аппликата положения базовой точки B'' детали при обработке ее на втором установе. Естественно, в данном случае принято, что положение базовой точки C приспособления относительно точки M остается постоянным, т. е. равным  $z_{MC}$ , как и при обработке детали на первом установе.

Тогда положение точки O, заданное координатами  $x_{дWO}$  и  $z_{дWO}$  в системе координат программы, определится координатами  $x_{MO}$  и  $z_{MO}$  в системе координат станка:  $x_{MO} = x_0$ ;  $z_{MO} = z_{MW} \pm z_O$ , где знак «+» ставится при одинаковых, а знак «-» при противоположных направлениях осей аппликат обеих систем координат. Координаты  $x_O$  и  $z_O$  определяют положение точки O в системе координат детали (программы).

Таким образом, с учетом размещения координатной системы программы и координатной системы инструмента относительно базовых точек станка M и F можно определить текущие значения координат ( $z_{MP}$  и  $x_{MP}$ ) центра инструмента P в координатной системе станка XMZ. При этом следует иметь в виду,



что вылет инструмента  $x_{ИТР}$  и  $z_{ИТР}$  определен его наладкой, а положение точки Т (величины  $x_{ИКТ}$  и  $z_{ИКТ}$ ) относительно центра резцедержателя К задано технической характеристикой станка. Заданными должны быть и величины  $z_{КФК}$  и  $x_{КФК}$ , определяющие положение точки К относительно базовой точки F.

Тогда

$$x_{MP} = x_{MF} + x_{ИФК} + x_{ИКТ} + x_{ИТР};$$

$$z_{MP} = z_{MF} + z_{ИФК} + z_{ИКТ} + z_{ИТР}.$$

При определении координат  $x_{MP}$  и  $z_{MP}$  необходимо учитывать направления составляющих величин.

Если базовая точка суппорта F совмещена с базовой точкой инструментального блока Т, то текущие значения координат центра инструмента определяются лишь с учетом вылета инструмента, т. е. его координат в системе координат инструмента:

$$x_{MP} = x_{MF}(T) + x_{ИТР};$$

$$z_{MP} = z_{MF}(T) + z_{ИТР}.$$

Естественно, что перед началом работы по программе (рис. 1.9, а) центр инструмента Р должен быть совмещен с исходной точкой О и его положение в координатной системе станка должно определяться координатами  $z_{MP_0}$  и  $x_{MP_0}$ .

$$z_{MP_0} = z_{MW} + z_{WO} = z_{MO};$$

$$x_{MP_0} = x_{ДWO} = x_{MO},$$

где  $z_{MO}$  и  $x_{MO}$  – координаты исходной точки (нуля программы) в системе координат станка.



При программировании учитывается диапазон перемещений рабочих органов станка, который задается предельными координатами базовых точек этих органов в системе координат станка. На рис. 1.10 заштрихована рабочая зона перемещения суппорта токарного станка, базовая точка которого  $F$  может находиться в любой точке плоскости, ограниченной абсциссами  $xMF_{max}$  и  $xMF_{min}$  и аппликатами  $zMF_{max}$  и  $zMF_{min}$ .

Это справедливо для каждого из инструментов, используемых в работе по программе при обработке детали на токарном станке. Перед началом работы центр каждого инструмента (точка  $P$ ) должен быть выведен в исходную точку  $O$ , от которой программируется траектория инструментов для обработки тех или иных поверхностей. Подобная же последовательность может быть определена и для работы инструментом на других станках.

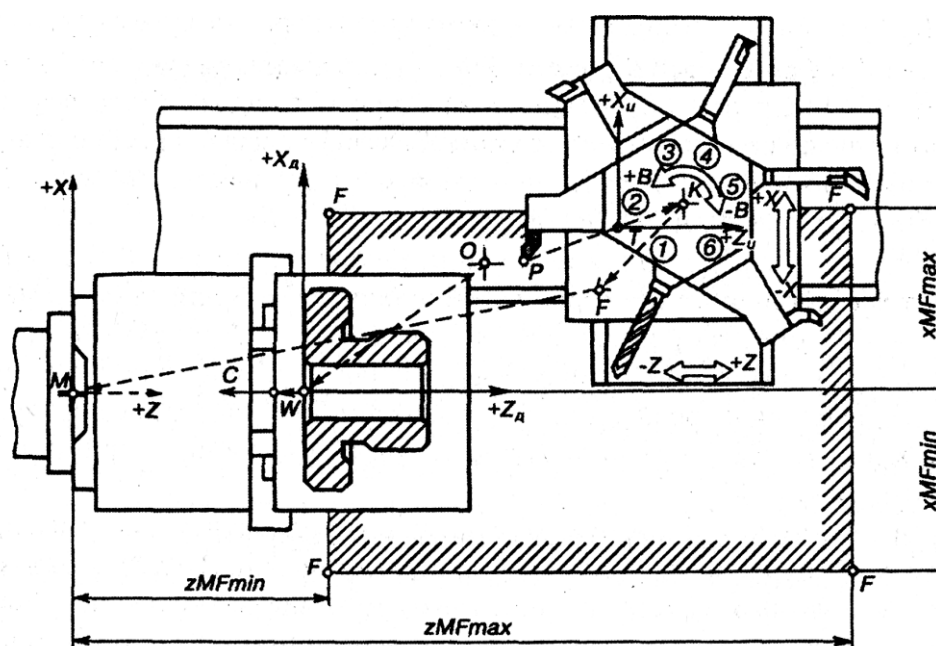


Рис. 1.10. Связь систем координат программы, станка и инструмента при токарной обработке несколькими инструментами



## 2. СТРУКТУРА УП И ЕЕ ФОРМАТ

Подготовленная исходная информация по обработке детали, т. е. управляющая программа, записывается на программно-носитель (на перфоленту, на дискету, на жесткий диск ЭВМ УЧПУ и др.) по определенной форме и состоит из набора кадров (запись УП на дискету или жесткий диск предопределяет ее вывод на распечатку или в УЧПУ станком также по определенной форме).

Каждый кадр УП содержит геометрические и технологические данные, необходимые для обработки одного элементарного участка детали, чаще всего между двумя соседними опорными точками. Кадры состоят из слов – информации, определяющей программу работы отдельных исполнительных органов: перемещения по координатам X, Y, Z, скорости подачи, частоты вращения шпинделя, работы механизмов смены инструмента и др. При записи УП на перфоленту каждое из слов записывается обычно на нескольких поперечных ее строчках в определенном коде.

**Способ записи информации.** Различают два способа записи управляющей информации: с постоянной и переменной длиной кадра.

При постоянной длине кадра его объем остается постоянным по всей программе и занимает при записи постоянное число элементов. В постоянном кадре отводится место для записи всех слов (всех команд) вне зависимости от их повторяемости и числовых значений. Информация в каждом кадре строго распределена между различными строками и записывается в определенной последовательности. Если какая-либо информация в данном кадре отсутствует, то строки кадра, предназначенные для этой информации, сохраняются и фиксируются в кадре с нулевым значением. При записи программы кадрами постоянной длины считывание информации получается наиболее простым, так как заранее известна часть кадра, где фиксируется та или иная информация. Недостатки: большой расход программно-носителя и более высокая трудоемкость программирования.



В настоящее время наиболее применима в системах ЧПУ запись с переменной длиной кадра как более удобная и краткая. Эта запись возможна при использовании алфавитно-цифровых кодов, в частности кода ISO-7bit. Этот код является основным для всех отечественных станков с ЧПУ. В этом коде (или его разновидности) работает и большинство зарубежных станков.

Следует учитывать, что хотя системы подготовки управляющих программ в достаточной степени стандартизированы, но постоянный рост возможностей систем ЧПУ технологического оборудования делает этот класс программного обеспечения динамически развивающимся. Поэтому, несмотря на то что набор команд достаточно ограничен, возможности каждой команды могут существенно изменяться при их использовании с различными системами числового программного управления.

### **2.1. Код ISO-7BIT**

Семиразрядный буквенно-цифровой код ISO-7bit в двоично-десятичной системе счисления представляет цифры, буквы латинского алфавита и различные символы. Значение букв и символов в терминах ЧПУ у этого кода соответствует ГОСТ 20999-83, являющему отечественным аналогом стандарта DIN66025 (ISO6983). Код был предназначен для записи информации на восьмидорожечной перфоленте, но в этом же коде в настоящее время представляются все УП независимо от использования того или иного программоносителя, применяемого для конкретной системы.

### **2.2. Система команд оборудования с ЧПУ**

Микропроцессорные системы управления функционируют в соответствии с разработанной технологом управляющей программой (УП). Она содержит информацию о последовательности перемещений рабочих органов станка, подготовительных, технологических и вспомогательных действий, обеспечивающих обработку детали на станке с ЧПУ. Существует ряд языков различного уровня для написания таких программ. Чем выше уровень языка, тем больше действий системы управления коди-



руется в одном предложении УП. Рассмотрим язык низкого уровня – систему команд устройства ЧПУ «Электроника МС 2101.02», встроенного в станок типа «обрабатывающий центр». Для кодирования программы в этом языке согласно ГОСТ 13052-74, используется код ISO6983 (табл. 2.1).

Таблица 2.1. Кодировка символов УП

Международное обозначение	Восьмеричный код	Международное обозначение	Восьмеричный код
0	60	O	117
1	61	P	120
2	62	Q	121
3	63	R	122
4	64	S	123
5	65	T	124
6	66	U	125
7	67	V	126
8	70	W	127
9	71	X	130
A	101	Y	131
B	102	Z	132
C	103	DEL	177
D	104	LF	12
E	105	CR	15
F	106	SP	40
G	107	%	45
H	ПО	(	50
I	111	)	51
J	112	*	52
K	113	:	53
L	114	–	55
M	115	.	56
N	116	/	57



Управляющая программа представляет собой последовательность предложений, называемых кадрами. Каждый кадр содержит одну или несколько команд по обработке детали на станке. Кадры отделяются друг от друга символом «LF» (перевод строки).

В состав кадра входит различное число слов (рис. 2.1, а). Кадр начинается со слова, задающего его номер. Все последующие слова можно разделить на группы, предназначенные для задания подготовительных и вспомогательных команд, а также геометрических и технологических параметров (рис. 2.1, б).

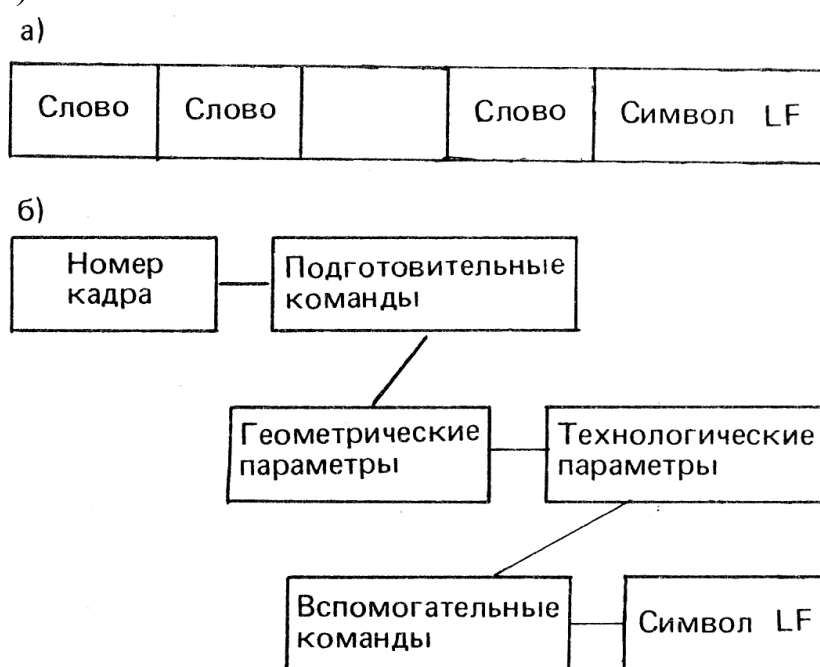


Рис. 2.1. Формат кадра управляющей программы

Слово является составной частью кадра и содержит элементарную команду или параметр обработки. Оно состоит из адреса и десятичного числа. Адрес обозначает имя элементарной команды или параметра и представляет собой одну из допустимых прописных букв латинского алфавита. Перечень допустимых букв, используемых в качестве адресов, и их назначение приведены в табл. 2.2.



Таблица 2.2. Назначение символьных адресов УП

Адресная буква	Назначение
N	Порядковый номер кадра
G	Подготовительная команда для задания режима операции (линейная, круговая обработка и т. д.)
Команды на перемещение:	
X, Y, Z	по основным координатным осям (X, Y, Z)
U, V, W	по дополнительным координатным осям (U, V, W)
Команды поворота:	
A	вокруг оси X
B	вокруг оси Y
C	вокруг оси Z
I, J, K	Координаты центра дуги или составляющие для коррекции инструмента по радиусу
F	Скорость подачи
S	Скорость вращения шпинделя
T	Номер инструмента
M	Вспомогательная команда
Номер коррекции инструмента:	
D	по радиусу
H	по длине
L	Число повторений подпрограммы или постоянного цикла
P	Длительность паузы или номер программы
Q	Значение шага в постоянном цикле
R	Координата плоскости отхода в постоянных циклах
X	Задание длительности паузы

Большинство команд УП имеют модальный характер, что означает, что они остаются в силе на протяжении нескольких кадров, пока значение команды не изменится или пока представленная ей функция не будет выполнена.

Подготовительные команды с адресом G определяют характер взаимного движения заготовки и инструмента.

Геометрические параметры используются для обозначения координатных осей, вдоль которых осуществляются перемещения. Для их обозначения используются адреса X, Y, Z, A, B, C, I, J, K.



Технологические параметры используются для задания скорости подачи, частоты вращения шпинделя, а также выполнения операций, связанных с выбором типа и характеристик инструмента. Для их обозначения используются адреса F, S, T, D, H и ряд других.

Вспомогательные команды с адресом M используются для управления электроавтоматикой станка.

Десятичное число, определяющее конкретную форму команды или параметра, записывается в слове в соответствии с форматом слова с десятичной точкой либо без нее. Форматы допустимых слов кадра представлены в табл. 2.3.

Числа, формат которых допускает использование десятичной точки, могут вводиться с клавиатуры как с точкой, так и без нее. В последнем случае считается, что точка находится перед последними цифрами, количество которых равно максимально допустимому в данном формате. Например, слово X30.000 можно задать в управляющей программе в виде X30.000, X30000, X+30000, X+30.000, X30., X+30., X00030., X+030.0; слово G02 – только в виде G02, слово S4 – в виде S4, S04, S004, S0004. Рекомендуются записывать слова кадров УП так, чтобы их длина была наименьшей.

Таблица 2.3. Допустимые форматы слов кадра УП

Адресная буква	Знак числа	Количество цифр до точки	Десятичная точка	Количество цифр после точки	Подавление незначащих нулей
N, S, L	Нет	<4	Нет	Нет	Есть
G, M, D, H	Нет	2	Нет	Нет	Нет
X, Y, Z, U, V, W, A, B, C, I, J, K, Q, R	Плюс Минус Нет	<5	Есть Нет	<3 Нет	Есть
F	Нет	<5	Есть Нет	1 Нет	Есть
T	Нет	4	Нет	Нет	Нет
P	Нет		Нет	Нет	Нет



Каждый кадр имеет имя, которое открывает кадр слева в строке. Именем кадра служит его номер, который состоит из адреса N и собственно номера. Нумерация кадров облегчает чтение программы. Принято нумеровать кадры последовательно, по возрастающей степени, с приращением 10. При этом возникает возможность включать дополнительные кадры при редактировании УП. При ветвлениях и переходах номера кадров служат метками.

При отсутствии инструкций, управляющих потоком кадров, они выполняются один за другим. Эта последовательность может быть нарушена инструкциями пропуска кадров, вызова подпрограмм, перехода к другим кадрам.

Повторяющаяся часть технологического процесса может быть для ряда ЧПУ оформлена в виде подпрограммы, которая вызывается по мере надобности. Существуют три способа вызова подпрограмм.

При первом способе при обращении к подпрограмме с P-адресом используется команда

P < имя подпрограммы > DIN,

где DIN означает, что все кадры подпрограммы записаны в коде DIN66025 (ISO6963). Все перемещения, заданные в том же кадре, будут выполнены до вызова подпрограммы. При этом подпрограмма может иметь свои вложения, как показано на рис. 2.2.

Вложение подпрограмм

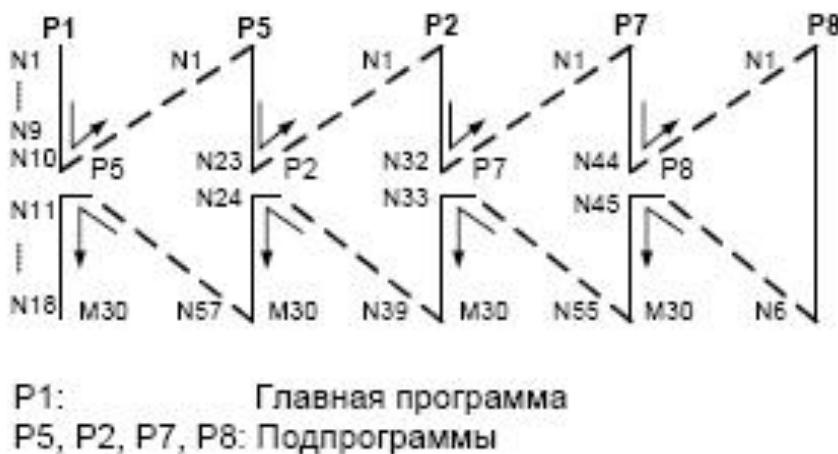


Рис. 2.2. Вложение подпрограмм



При втором способе обращение к подпрограмме осуществляется без использования Р-адреса только по имени подпрограммы.

При третьем способе обращение к подпрограмме производится с использованием G- и M- команд. Обычно 16 G-команд зарезервированы для вызова подпрограмм и выполнения безусловных переходов.

Следует отметить, что инструкции перехода зависят от конкретной системы ЧПУ и выходят за рамки стандарта DIN66025 (ISO6963).

### 2.3. Задание параметров обработки

Слово «Функция подачи» может определять как результирующую скорость подачи, так и составляющие этой скорости по координатным осям. В кадре результирующая скорость подачи записывается под адресом F после всех слов «Размерные перемещения». Слово «Функция подачи», относящееся к определенной оси координат, записывается непосредственно за словом «Размерное перемещение» по этой координате. Размерность скорости подачи кодируется подготовительной функцией G94 или G95. В первом случае скорость подачи задается в мм/мин. При использовании подготовительной функции G95 скорость подачи задается в мм/об. шпинделя.

Слово «Скорость главного движения» записывается с адресом S и определяет линейную скорость точки контакта инструмента с деталью в мм/мин (подготовительная функция G96) или частоту вращения шпинделя (стола) в об/мин (подготовительная функция G97).

Для кодирования скоростей подачи и главного движения применяются несколько методов.

1. Метод прямого обозначения. В этом случае скорость подачи задается непосредственным значением в используемых единицах ее измерения (например, скорость подачи 20 мм/мин записывается четырехзначным десятичным числом F0020).



2. Методом геометрической прогрессии, при использовании которого значения скоростей подачи и главного движения задаются двузначными кодовыми числами.

Скорость задаваемого движения  $V$  определяется как

$$V = V_0^{xx},$$

где  $V_0$  – минимальное значение скорости подачи или главного движения;  $xx$  – кодовое число, задающее в УП скорость  $F_{xx}$  или  $S_{xx}$ .

3. Символический метод кодирования предусматривает обозначение скоростей подачи и главного движения одно- или двухразрядными кодовыми числами, заданными в инструкции по программированию для конкретного станка с ЧПУ. Скорость задаваемого движения находится выборкой из массива скоростей подачи  $MV$  следующим образом:

$$V = MV \left[ \begin{matrix} x \\ x \end{matrix} \right],$$

где  $xx$  – кодовое число, задающее в УП скорость подачи  $F_{xx}$  или главного движения  $S_{xx}$ .

Слово «Функция инструмента» используется для указания инструмента и корректора. В этом слове с адресом  $T$  записывается кодовое число с одной или двумя группами цифр. В слове с одной группой цифр задается только номер инструмента или его позиция, а корректор для этого инструмента определяется другим словом с адресом  $D$ . В слове с двумя группами цифр первая группа цифр определяет номер (или позицию) инструмента, а вторая – номер корректора длины, положения или диаметра инструмента. Например, слово  $T1218$  обозначает адрес ( $T$ ), номер инструмента (12) и номер корректора (18). Если программируется номер инструмента без указания корректора, то вторая группа цифр содержит нули ( $T1200$ ), а если программируется корректор для заданного в одном из предыдущих кадров инструмента, то нули содержит первая группа цифр ( $T0018$ ).



## 2.4. Подготовительные команды

### 2.4.1. Типы интерполяции

Линейная интерполяция предполагает движение по прямой линии в трехкоординатном пространстве. Перед началом интерполяционных расчетов система ЧПУ определяет длину пути на основе запрограммированных координат. В процессе движения осуществляется контроль контурной подачи так, чтобы ее величина не превышала допустимых значений. Движение по всем координатам должно завершиться одновременно.

При круговой интерполяции движение осуществляется по окружности в заданной рабочей плоскости. Параметры окружности (например, координаты конечной точки и ее центра) определяются до начала движения на основе запрограммированных координат. В процессе движения осуществляется контроль контурной подачи, так чтобы ее величина не превышала допустимых значений. Движение по всем координатам должно завершиться одновременно.

Винтовая интерполяция представляет собой комбинацию круговой и линейной. В процесс интерполяции вовлекаются синхронные координатные оси, например X, Y и Z. Вспомогательные (асинхронные) координатные оси в процесс интерполяции не вовлекаются. Примером движения вдоль асинхронной оси может служить позиционирование инструментального магазина.

### 2.4.2. Характеристики команд с адресом G

Подготовительные команды определяют режим работы системы ЧПУ. Слово подготовительной команды состоит из буквы адреса G, за которой следует двухцифровой кодовой номер. В устройствах ЧПУ, выпускаемых в последние годы, используется трехцифровой кодовой номер. Подготовительные команды делят на группы (табл. П1). Если в кадре запрограммировано несколько подготовительных команд из одной группы, то будет исполняться последняя команда.

**Позиционирование (G00).** Эта команда используется для ускоренного перемещения из начальной точки НТ в рабочую



точку РТ (табл. П1). Перемещения производятся одновременно по четырем осям координат независимо друг от друга. Координаты точки относятся к геометрическим параметрам кадра. Они задаются последовательностью слов с адресами X, Y, Z, U, V, Q, W, A, B, C. Одновременно для системы ЧПУ могут задаваться четыре адреса (X, Z, Y и один адрес из группы U, V, W, A, B, C). Обозначим через РТ координаты рабочей точки X\_Y\_Z\_а, где а – один из адресов U, V, W, A, B, C. Тогда при записи кадров вместо X\_Y\_Z\_а будем записывать РТ. Скорость и ускорение подачи по крайней мере одной оси максимальны, а выбор скорости подачи по каждой из других осей зависит от типа устройства ЧПУ. Для ранних моделей устанавливается максимальная скорость подачи по любой из указанных осей. Для современных устройств более характерным является контролирование движения таким образом, чтобы оно завершилось одновременно в конечной точке. Значение скорости подачи не программируется, а определяется «машинными» параметрами используемого устройства ЧПУ. При выполнении инструкции движение замедляется до нуля в каждом кадре. Инструкция G00 является модальной и ее появление в кадре УП деактивирует G-инструкции той же группы: G01–G03.

**Линейная интерполяция (G01).** Она предназначена для линейной интерполяции движения инструмента по прямой линии в заданную рабочую точку РТ с определенным значением подачи (рис. 2.3). Подача выполняется с контурной скоростью, определяемой технологическим параметром, задаваемым словом с адресом F. При этом назначенная подача остается активной, пока ее значение не переопределено.

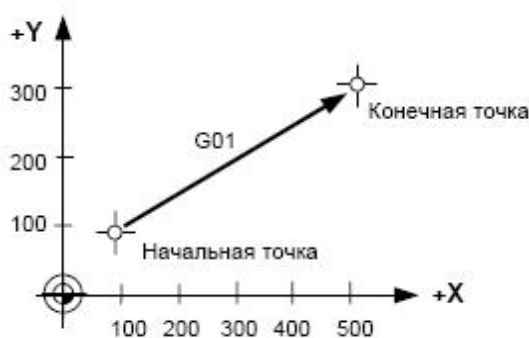


Рис. 2.3. Линейная интерполяция



**Круговая интерполяция (G02, G03).** Команды предназначены для перемещения инструмента по окружности или дуге окружности. Перемещение осуществляется с подачей  $F$  в одной из плоскостей  $XY$ ,  $XZ$ ,  $YZ$  (рис. 2.4) и заканчивается одновременно даже в том случае, когда одна из осей не принадлежит плоскости круговой интерполяции. Команды G02 и G03 отличаются друг от друга направлением круговой интерполяции. G02 осуществляет интерполяцию по часовой стрелке, G03 – против часовой стрелки (табл. П1). Выбор двух синхронных координатных осей осуществляется свободно путем выбора плоскости интерполяции инструкциями G17, G18, G19.

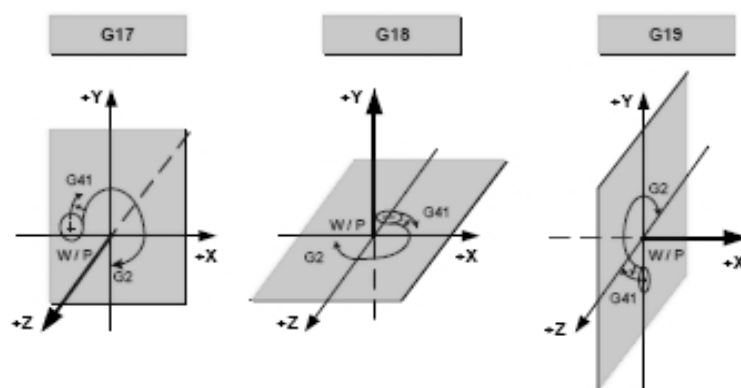


Рис. 2.4. Возможные направления круговой интерполяции

При программировании окружность задают с помощью координат её центра или радиуса.

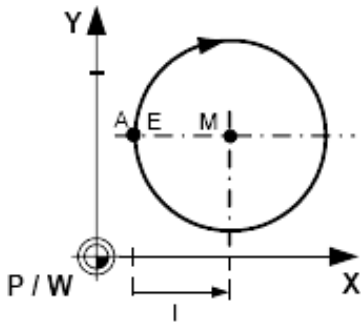
При программировании окружности при помощи координат её центра текущее положение инструмента используется в качестве начальной точки. Окружность, задаваемая координатами центра, проходит через начальную и конечные точки. Координатные оси, вовлеченные в процесс интерполяции, имеют адреса I, J, K, приданные осям X, Y, Z соответственно. Эти параметры устанавливают расстояние между начальной точкой дуги окружности и её центром  $M$  в направлении, параллельным основным осям, как это показано на рис. 2.5. Геометрические параметры (слова) с адресами X, Y, Z задают координаты конечной точки, слова с адресами I, J, K – расстояние от начальной точки дуги до ее центра. В зависимости от типа ЧПУ значения





Для таких устройств возможно программирование дуги окружности произвольной длины. Если программируемые значения координат X, Y, Z, I, J, K равны нулю, то они могут быть опущены в кадре.

На рис. 2.7 показана форма поверхности в виде полной окружности, для обработки которой используется кадр УП вида N..G17 G02 I(XM-XA).... F... S.... M....



**Особенность:**

Координаты начальной и конечной точек совпадают. Приращения по обеим координатам указывать в кадре не нужно. Если начальная и конечная точки лежат на границе квадрантов то один из параметров интерполяции будет равен нулю и его можно не указывать. Так, в приведенном примере могут быть опущены функции X Y и J.

Рис. 2.7. Программирование полной окружности

При программировании окружности с помощью радиуса, задаваемого словом с адресом R, его величину всегда задают в относительных координатах в отличие от конечной точки дуги, которая может быть задана как в относительных, так и абсолютных координатах. Устройство ЧПУ само определяет центр окружности, расположенный симметрично слева и справа от прямой, соединяющей начальную и конечные точки. Расположение центра зависит от знака радиуса. При  $R > 0$  центр будет находиться слева, а при  $R < 0$  – справа от линии, связывающей начальную и конечную точки траектории, как это показано на рис. 2.8.

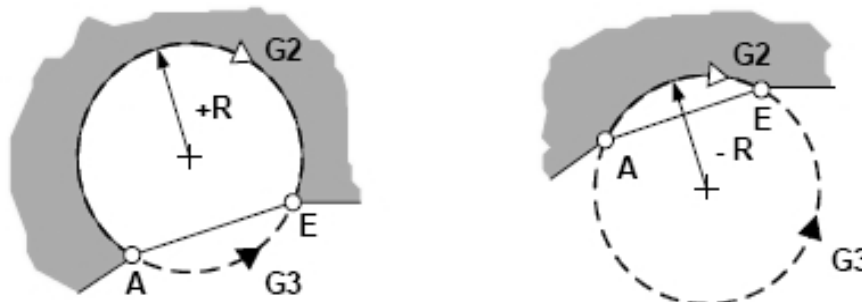


Рис. 2.8. Программирование дуги с использованием ее радиуса



Если длина отрезка прямой равна удвоенному радиусу, то этот случай соответствует заданию полуокружности. Программирование полной окружности через задание радиуса недопустимо.

Модальность команд круговой интерполяции зависит от свойств устройства ЧПУ. Для большинства систем эти команды не являются модальными, то есть они активны только в течение времени выполнения кадра УП, где они задаются.

Команды G02 и G03 используют также для программирования интерполяции по «винтовой» линии. Перемещение инструмента в этом случае происходит по дуге окружности в одной из трех плоскостей и одновременно по прямой, перпендикулярной к плоскости круговой интерполяции (рис. 2.9).

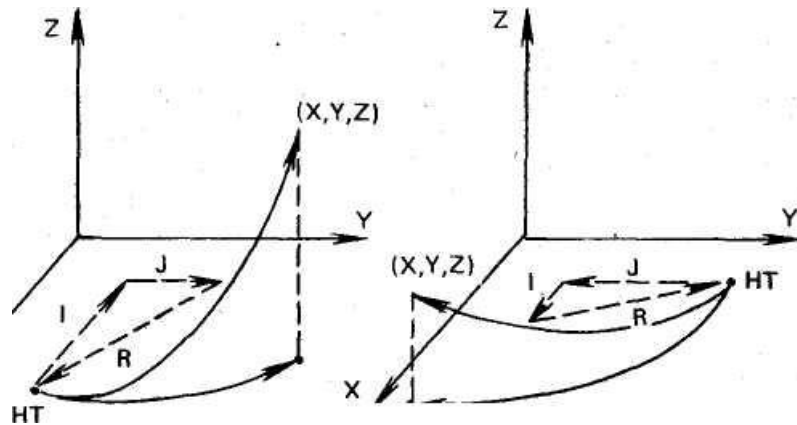


Рис. 2.9. «Винтовая» интерполяция

Ниже приведены форматы команд интерполяции по «винтовой» линии для плоскости XZ и YZ, показанных на рис. 2.9.

$$G18 \left\{ \begin{array}{l} G02 \\ G03 \end{array} \right\} X \dots Z \dots \left\{ \begin{array}{l} R \dots \\ I \dots K \dots \end{array} \right\} Y \dots F \dots .$$

Если поменять оси Z и X, а I заменить на K, то получим

$$G19 \left\{ \begin{array}{l} G02 \\ G03 \end{array} \right\} Y \dots Z \dots \left\{ \begin{array}{l} R \dots \\ J \dots K \dots \end{array} \right\} X \dots F \dots .$$



**Пауза (G04).** С помощью данной команды можно запрограммировать задержку выполнения следующего кадра на определенное время, В команде G04 используются слова с адресом P (G04P ...) и адресом X (G04X...).

Максимальное значение задержки в слове с адресом P составляет 9999 мс, а в слове с адресом X – 99999.999 с.

Для проверки точного останова при выходе в заданную конечную точку используется команда **G09**, замедляющая подачу до нуля. Команда записывается в следующих форматах:

$$G09 \left\{ \begin{array}{l} G01 \dots \dots \\ G02 \dots \dots \\ G03 \dots \dots \end{array} \right\}.$$

**Возврат к базисной точке (G28).** Координаты X, Y, Z, задаваемые в команде, определяют так называемую промежуточную точку X, Y, Z и запоминаются при выполнении.

**Возврат из базисной точки (G29).** Команда осуществляет обратный переход из базисной точки (БТ) в заданную (X, Y, Z). При выполнении команды сначала происходит ускоренное перемещение в промежуточную точку (ПТ), которая определена предыдущей командой G28, а затем инструмент из ПТ ускоренным перемещением позиционируется в запрограммированную (заданную) точку. Перемещения по командам G28 и G29 эквивалентны команде позиционирования G00.

**Выбор координатных систем (G53–G59).** Команды определяют местоположение точки в удобной оператору системе координат и осуществляют перемещение в эту точку. Команда G53 задает местоположение точки в координатной системе станка и перемещает инструмент в эту точку. Формат данной команды

G53X...Y...Z... .

Команды G54–G59 задают местоположение точки в одной из шести координатных систем заготовки и осуществляют пе-



ремещение в эту точку (рис. 2.10, а). Направления осей всех координатных систем совпадают. Они различаются только расположением центра. Смещения центров координатной системы заготовки относительно центра координатной системы станка устанавливаются в системе ЧПУ оператором перед началом работы. Если запрограммирована одна из команд **G54–G59**, то далее координатные значения считаются относительно запрограммированной КСЗ, за исключением координат, заданных в кадре с командой **G53**, которая действует только в пределах одного кадра.

Ниже представлен пример использования команд выбора координатных систем, показанных на рис. 2.10,б:

**G54X30.Y20.LF** – переход в точку А в старой КСЗ1;

**G92X10.Y10.LF** – установка новой КСЗ1, в которой точка А имеет координаты (10, 10);

**G55X20.Y10.LF** – перемещение в точку В в КСЗ2;

**G53X10.Y50.LF** – перемещение в точку С в КСС.

Задание координатной системы заготовки выполняется командой **G92**, имеющей формат

**G92X...Y...Z....**

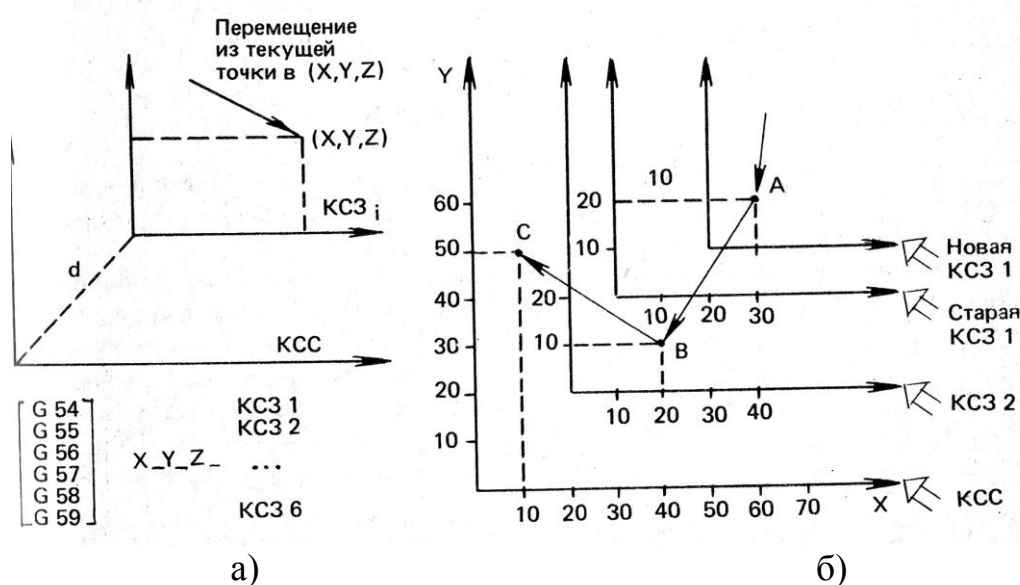


Рис. 2.10. Выбор координатной системы заготовки (а) и смена координатных систем УП (б)



Начало координат КСЗ по команде **G92** определяется таким образом, чтобы текущее положение инструмента соответствовало координатам X, Y, Z. Номер КСЗ определяется предыдущей командой выбора КСЗ.

**Режим точного позиционирования (останова) (G61).** Влияние динамики исполнительных элементов станка создает предпосылки для создания временного рассогласования между запрограммированными и фактическими координатами, величина которого определяется целым рядом факторов, таких как скорость подачи, настройка системы управления следящими приводами, масса подвижных элементов станка. Это приводит к искажению контура детали при неплавном переходе на стыке кадров, как это показано на рис. 2.11. По команде G61 система ЧПУ уменьшает подачу до нуля в конце каждого кадра при исполнении команд на перемещение.

Отмена режима точного позиционирования осуществляется командой G62. Инструкции G61, G62 являются модальными.

Фрагмент УП с использование команды точного останова приводится ниже:

```
N10 G61      /Включение точного останова. Перемещения нет  
N11 G01 Y200 /Линейная интерполяция с точным позиционированием
```

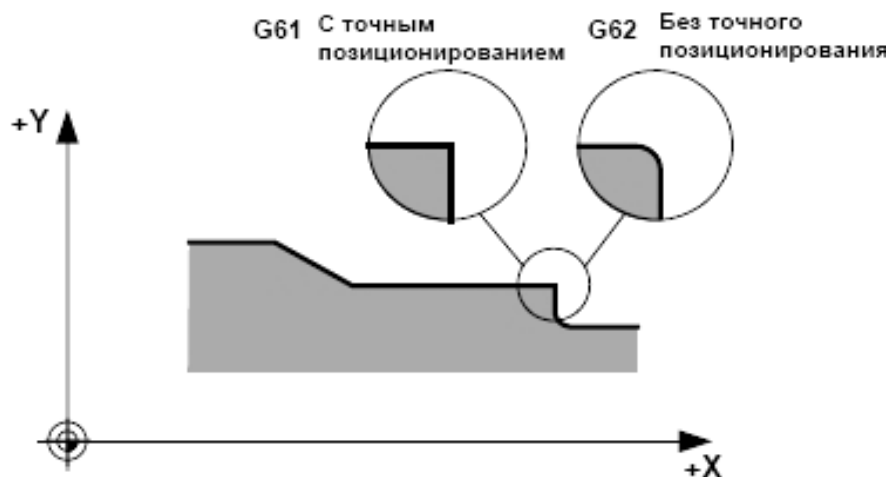


Рис. 2.11. Использование точного останова для устранения искажений контура детали



Или

N10 G62	/Выключение точного останова
N11 G01 X200	/Линейная интерполяция без точного позиционирования
N12 G61 Y200	/Линейная интерполяция с точным позиционированием в этом кадре

**Режим резания (G64).** Команда G64, наоборот, при выполнении команд перемещений не изменяет подачу до нуля при переходе к следующему кадру.

В системе ЧПУ «Электроника MC 2101.02» программируемая траектория не зависит от параметров режущего инструмента. При фактической обработке оператор измеряет радиус инструмента, а также определяет разницу между фактической и предполагаемой длиной инструмента при программировании. Эту разницу оператор регистрирует в системе ЧПУ. В дальнейшем она используется в командах УП G40–G44, G49.

**Команды коррекции инструмента по радиусу (G40, G41, G42).** Коррекция производится в плоскости координат XY. Возможные варианты использования команд задания режима коррекции инструмента по радиусу приведены на рис. 2.13, а, б. В режиме коррекции инструмента по радиусу он движется по траектории, смещенной относительно запрограммированной в программе. Слова с адресами X и Y задают координаты следующей точки траектории. Величина смещения откладывается с учетом знака и вида команды на прямой, перпендикулярной к прямой или дуге окружности, начинающейся в точке с координатами (X, Y). Номер смещения задается двухразрядным десятичным числом в слове с адресами D или T. Заданное значение смещения остается неизменным до отмены режима коррекции по команде G40 или задания нового режима коррекции командами G41, G42.

Размерные перемещения могут задаваться в абсолютных значениях или в приращениях. В качестве единиц их измерения могут использоваться действительные размеры (мм, мкм) или дискреты станка.



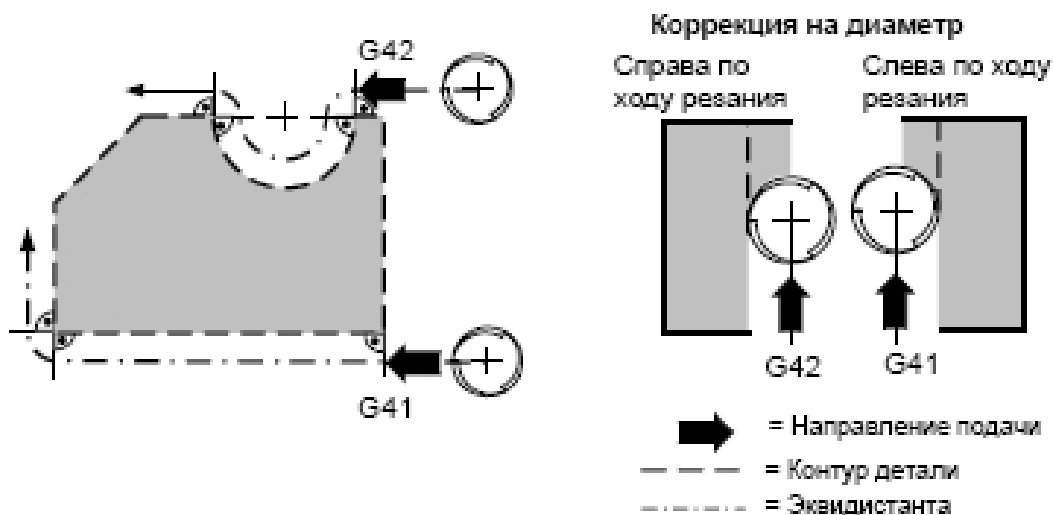


Рис. 2.13. Принцип эквидистантной коррекции

При использовании эквидистантной коррекции инструмент перемещается по траектории, параллельной исходному контуру.

Инструкция G41 инициализирует положительную эквидистантную коррекцию слева от заготовки, если смотреть в направлении подачи. Для реализации коррекции радиус инструмента программируют с помощью корректора в слове с адресом T. Вместе с инструкцией можно запрограммировать линейные перемещения. В этом случае активация коррекции произойдет по пути движения к конечной точке кадра УП. Инструкция G42 инициализирует эквидистантную коррекцию справа от заготовки, если смотреть в направлении подачи. Все остальное так же, как у инструкции G41.

Отмена коррекции G40 может сопровождаться прямолинейным движением в активной плоскости. В этом случае выход из эквидистантной траектории осуществляется по прямой к конечной точке кадра. При активности инструкций круговой интерполяции действие по G40 не должно сопровождаться перемещением. Траектории движения инструмента, выполняемые при исполнении команды G40, показаны на рис. 2.14.

Если в команде G49 отсутствует координата Z, то фактическая отмена коррекции произойдет при исполнении ближайшего кадра, содержащего Z.



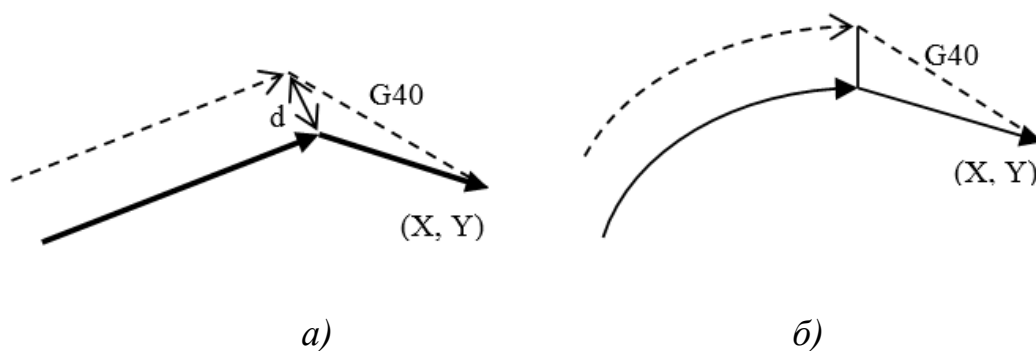


Рис. 2.14. Действие команды G40

Для выполнения стандартных последовательностей операций (сверления, нарезания резьбы и др.) используются постоянные циклы (ПЦ). Они сокращают объем исходной управляющей программы для выполнения стандартных операций.

**Постоянный цикл (G73–G89).** Он охватывает последовательность от трех до шести операций: 1) позиционирование по осям X, Z; 2) быстрое перемещение в точку R; 3) сверление; 4) операцию на дне отверстия; 5) возврат до уровня точки R; 6) возврат до уровня начальной точки (табл. П2).

Уровень начальной точки означает положение инструмента по оси Z в момент начала исполнения ПЦ. В них позиционирование всегда осуществляется на плоскости XY, а сверление – по оси Z. Ход выполнения ПЦ определяется тремя параметрами: 1) способом задания координат (команда G90, G91); 2) уровнем точки возврата (команды G98, G99); 3) командой-кодом постоянного цикла (команды G73–G89). Команды постоянных циклов представлены в табл. П2.

В языке имеется два способа задания координат. При использовании команды G90 можно программировать положение конечной точки данного кадра относительно начала, действующей в данный момент координатной системы. При использовании команды G91 можно программировать координаты конечной точки данного кадра относительно предыдущей точки. Координаты внутри кадра могут быть заданы только одним способом. Пусть (100, 50) – координаты X,



Y начальной точки, а (200, 70) – координаты конечной точки. Тогда при использовании команды G90 координаты задаются X200Y70, а по команде G91 – X100Y20.

В зависимости от команд возврата G98 и G99 инструмент возвращается от уровня дна отверстия до уровней начальной точки (команда G98) или точки R (команда G99).

Постоянный цикл задает режим обработки отверстия и имеет в общем случае формат

$$\left. \begin{array}{l} G73 \\ G74 \\ \dots \\ G89 \end{array} \right\} X\dots Y\dots Z\dots R\dots Q\dots P\dots F\dots L\dots ,$$

где X, Y – координаты отверстия; Z – абсолютное значение координаты Z, координата дна отверстия в команде G90 или расстояние от точки R до дна отверстия в команде G91; R – параметр, определяющий расстояние от начальной точки до точки R в команде G91 и координату Z точки R в команде G90; Q – параметр, определяющий величину шага по оси в ПЦ, задаваемых командами G73, G83, и величину смещения по оси Y в ПЦ, задаваемых командами G76, G87; P – параметр, задающий величину задержки инструмента на дне отверстия; F – параметр, определяющий скорость подачи инструмента; L – параметр, задающий число повторений постоянного цикла, при отсутствии которого считается, что число повторений равно 1.

Внутри постоянного цикла допустимо изменение координат отверстия X, Y подачи P и числа повторений цикла L. Если необходимо повторить цикл несколько раз, то количество повторений следует задать параметром L. Тогда в команде G90 обработка одного отверстия повторяется L раз в точке с координатами X, Y. В команде G91 будет просверлено L отверстий, параметры X, Y в этом случае определяют смещение одного отверстия относительно другого по осям X, Y. Отметим, что выполнение постоянных циклов осуществляется при вращающемся-



ся шпинделе. Постоянные циклы, включенные в состав системы ЧПУ «Электроника МС 2101.02», представлены в табл. П2.

Если программа содержит повторяющиеся части или последовательности команд, используемые в других программах, то их можно вынести из программы и оформить в виде подпрограммы.

Вызов подпрограммы происходит по команде

G71P...L... ,

где слово с адресом P содержит номер подпрограммы, слово с адресом L – число повторений подпрограммы.

Если в команде отсутствует L, подпрограмма выполняется один раз. Возврат из подпрограммы происходит по команде

G70N... ,

где слово с адресом N содержит номер кадра вызывающей программы, с которого будет продолжено ее выполнение.

Если слово с адресом N отсутствует в команде G70, то выполнение вызывающей программы будет продолжено с кадра, следующего за кадром вызова подпрограммы G71.

Безусловная передача управления в УП осуществляется по команде

G72N... ,

где слово с адресом N содержит номер кадра, на который передается управление.

Если слово с адресом N отсутствует в команде, управление передается в начало программы.

Для задания величины подачи в языке используются две подготовительные команды G94F..., G95F...; для задания подачи в миллиметрах в минуту (мм/мин) – команда G94. Режим команды G94 устанавливается при включении системы и действует до тех пор, пока не будет заменен на режим, задаваемый командой G95.



Команда G95 определяет подачу в миллиметрах на один оборот шпинделя (мм/об). Она, в свою очередь, действует до отмены ее командой G94. Слово с адресом F может отсутствовать в командах G94 и G95. В этом случае единица измерения, заданная одной из команд, действует на все слова с адресом F в последующих кадрах.

## 2.5. Вспомогательные команды

Вспомогательные команды определяют действия, выполняемые исполнительными элементами станка или устройства ЧПУ. Кодирование вспомогательных команд приведено в табл. 2.4.

Таблица 2.4. **Функции вспомогательных команд**

Код функции	Функция начинает действовать		Функция действует		Наименование
	до начала перемещения в кадре	после выполнения перемещения в кадре	до отмены вспомогательной команды	только в кадре, где указана команда	
M00		x		x	Программируемая установка
M01		x		x	Остановка с подтверждением
M02		x		x	Конец программы
M03	x		x		Вращение шпинделя по часовой стрелке
M04	x		x		Вращение шпинделя против часовой стрелки
M05		x	x		Останов шпинделя
M06				x	Смена инструмента
M07	x		x		Включение охлаждения №2



Код функции	Функция начинает действовать		Функция действует		Наименование
	до начала перемещения в кадре	после выполнения перемещения в кадре	до отмены вспомогательной команды	только в кадре, где указана команда	
M08	x		x		Включение охлаждения №1
M09		x	x		Отключение охлаждения
M10	x		x		Зажим
M11	x		x		Освобождение
M12- M18					Не определены
M19		x	x		Останов шпинделя в заданной позиции
M20- M29					Постоянно не определены
M30					Конец информации
M31- M47		x		x	Не определены
M48		x	x		Отмена M49
M49	x				Отмена ручной коррекции
M50- M57					Не определены
M90- M99					Постоянно не определены

Большинство вспомогательных команд выполняется до начала перемещений, применяемых в программируемом кадре, и действует до отмены или замены их командами аналогичного назначения. В одном кадре в порядке возрастания кодовых номеров может быть записано несколько команд различным исполнительным органам станка с ЧПУ.



### 3. РАСЧЕТ ЭЛЕМЕНТОВ КОНТУРА ДЕТАЛИ И ТРАЕКТОРИИ ИНСТРУМЕНТА

#### 3.1. Формирование траектории обработки

Детали, обрабатываемые на станках с ЧПУ, можно рассматривать как геометрические объекты. При обработке детали инструмент и заготовка перемещаются относительно друг друга по определенной траектории. Программа обработки детали задает (описывает) движение определенной точки инструмента – его центра (Р). Для концевой фрезы со сферическим торцом – это центр полусферы, для концевой цилиндрической, сверла, зенкера, развертки – центр основания, для резцов – центр дуги окружности при вершине и т. д. (рис. 3.1). Если принять, что радиус инструмента во время обработки детали по контуру остается постоянным, то траектория центра инструмента при контурной обработке является эквидистантой контуру детали (рис. 3.1, а–л).

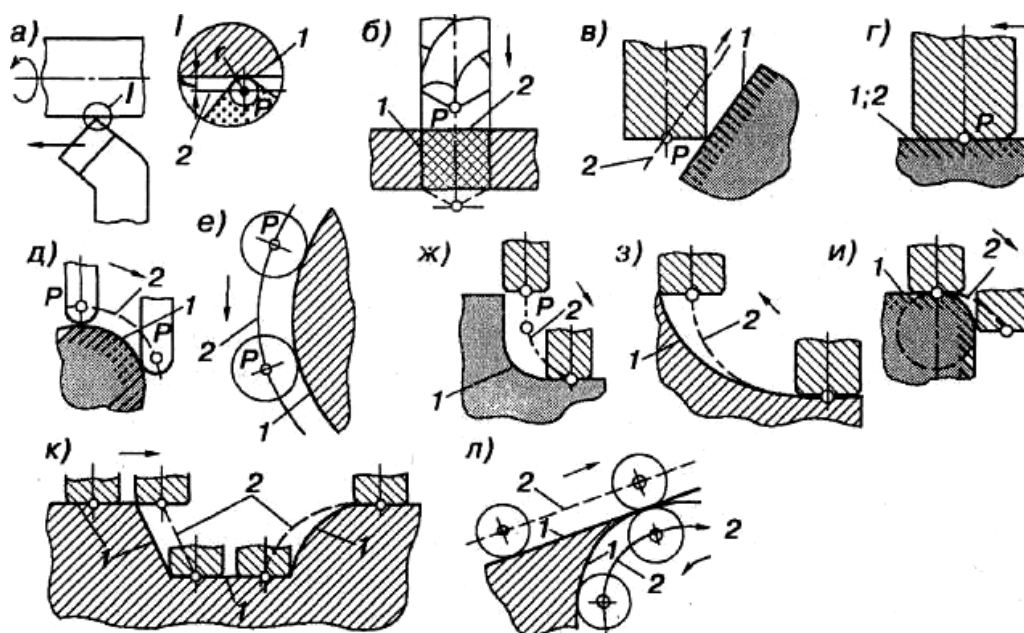


Рис. 3.1. Схема траекторий центра инструмента:  
1 – контур детали; 2 – траектория движения центра инструмента

Однако это встречается не всегда. Траектория движения центра инструмента может существенно отличаться от линий



контура детали (рис. 3.1, ж–л), так как в противном случае эквидистантное перемещение инструмента или перемещение инструмента точно по контуру привело бы к погрешности обработки. Поэтому в ряде случаев под эквидистантой понимают такую траекторию движения центра инструмента, при которой обеспечивается обработка заданного контура.

Движение по эквидистанте относится только к траектории рабочих ходов. Перемещения центра инструмента при обработке детали могут быть также подготовительными и вспомогательными. Характер этих движений во многом зависит от задаваемого в начале программирования положения исходной точки (нуля программы), от расположения приспособления и т. д. Отсюда следует, что для обработки детали по программе прежде всего необходимо определить рабочие, подготовительные и вспомогательные траектории перемещения центра принятого для работы инструмента.

Относительно контура обрабатываемой детали траектория движения центра инструмента при обработке может располагаться по-разному: совпадать с контуром, быть эквидистантой контуру, изменять положение относительно контура по определенному закону. Для полной обработки детали (для выполнения заданной операции) траектория движения центра инструмента должна быть непрерывной. Разработать ее сразу как единое целое практически очень трудно, поскольку в общем случае программируемая траектория является достаточно сложной. Поэтому в практике программирования траекторию инструмента представляют состоящей из отдельных, последовательно переходящих друг в друга участков, причем эти участки могут быть или участками контура детали, или участками эквидистанты.

В общем случае участки траектории движения центра инструмента и траекторию в целом удобно представить графически, исходя из зафиксированного определенным образом положения контура обрабатываемой детали (рис. 3.2).

Отдельные участки контура детали и эквидистанты называются геометрическими элементами. К ним относятся отрезки прямых, дуги окружностей, кривые второго и высших порядков.





Точки пересечения элементов или перехода одного элемента в другой находят как геометрические опорные (узловые) точки. Эти точки в большинстве случаев являются определяющими при задании положения элементов контура (эквидистанты) в пространстве. Это положение, так же как и величина и направление движения инструмента, задается в системе координат с определенной заданной нулевой точкой. Такая точка может быть у станка – нулевая точка станка (нуль станка) или у детали – нулевая точка детали (нуль детали). Она является началом системы координат данной детали.

В станках с ЧПУ представление детали и траектории ее обработки используют различные системы координат. Наиболее употребительны прямоугольные (декартовы), цилиндрические и сферические системы координат (рис. 3.3).

В прямоугольной системе координатами некоторой точки  $A$  называются взятые с определенным знаком расстояния  $x$ ,  $y$  и  $z$  от этой точки до трех взаимно перпендикулярных координатных плоскостей. Точка пересечения координатных плоскостей называется началом координат, а координаты  $x$ ,  $y$ ,  $z$  – соответственно абсциссой, ординатой и аппликатой.

В цилиндрической системе координат положение точки в пространстве задается полярными координатами: радиусом  $\rho$  и центральным углом  $\Psi$  (положение проекции точки на основной плоскости), а также аппликатой  $z$  – расстоянием от точки до основной плоскости.

В сферической системе координат точка задается длиной радиус-вектора  $R$ , долготой  $\Psi$  и полярным углом  $\Theta$ . Переход из одной системы координат в другую осуществляется путем несложного пересчета.

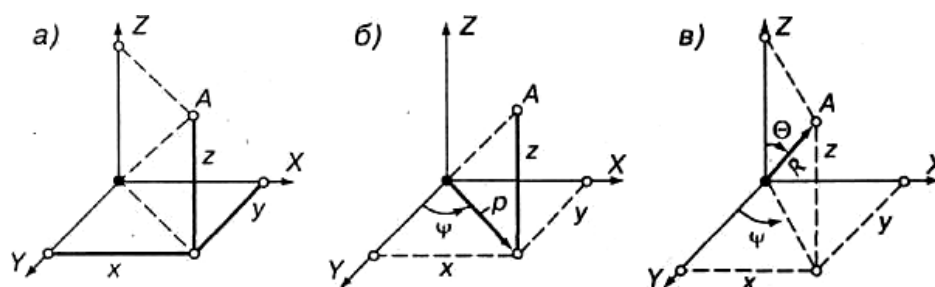


Рис. 3.3. Системы координат: а) прямоугольная; б) цилиндрическая; в) сферическая



В определенной системе координат контур детали и траектория перемещения центра инструмента относительно этого контура могут быть представлены геометрическими элементами с опорными точками, заданными координатами или в пространстве, или на плоскости (рис. 3.4). На траектории движения центра инструмента могут быть назначены также технологические опорные точки, т. е. точки, где изменяются какие-то технологические параметры, например подача инструмента, точки временного останова с указанием времени останова и т. д. (рис. 3. 2).

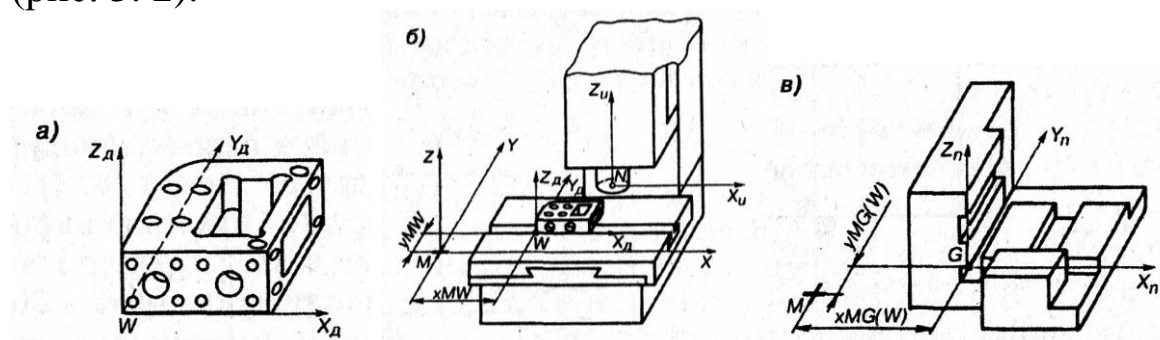


Рис. 3.4. Схема расположения детали на станке:

- а) деталь в системе координат детали; б) размещение детали на станке;  
 в) система координат приспособления

При обработке детали инструмент может перемещаться в одной плоскости – плоская обработка, при которой используются две управляемые координаты, или иметь сложное перемещение в пространстве – объемная обработка. Однако чаще всего объемные поверхности деталей обрабатывают строчками, каждая из которых является плоской кривой.

Опорные точки на траектории движения инструмента позволяют представить эту траекторию как определенную последовательность точек, проходимых центром инструмента (рис. 3.2) при обработке детали. Каждое из положений (каждая опорная точка) в выбранной системе координат может быть определено числами, например координатами. Сочетание таких чисел, определяющих ряд последовательных положений инструмента, или иначе, ряд опорных точек траектории, и будет представлять



основную часть программы работы станка, выраженную в числовом виде.

В начале программирования в системе координат детали  $X_D Y_D Z_D$  задают положение базовых элементов заготовки (рис. 3.4, а). Относительно нуля детали (точка  $W$ ) задают при программировании положение всех опорных точек, определяющих траекторию движения центра инструмента при обработке. При установке детали на станок (рис. 3.4, б) положение нуля детали (точки  $W$ ) будет зафиксировано относительно координатной системы станка  $XYZ$  координатами  $x_{MW}$ ,  $y_{MW}$ ,  $z_{MW}$ . Если при обработке детали используют приспособление (рис. 3.4, в), то оно должно быть закоординировано на станке относительно нуля станка (точки  $M$ ). Система  $Z_{II} X_{II} Y_{II}$  определяет координатную систему инструмента (рис. 3.4, б). Естественно, что при установке детали в приспособлении координатная система детали  $X_D Y_D Z_D$  должна совпадать с координатной системой приспособления  $X_{II} G Y_{II}$ , как показано на рис. 3.4, в.

При обработке детали траектория движения инструмента по элементам траекторий в промежутках между опорными точками в определенных случаях может несколько отличаться от заданной. Однако можно задать такое число опорных точек, при котором отклонения фактической траектории от требуемой будут меньше некоторой наперед заданной величины и деталь будет обработана в пределах заданной точности.

Таким образом, начальный этап представления траектории обработки детали связан, прежде всего, с получением координат опорных точек траектории. Эти координаты могут быть выражены абсолютными размерами, т. е. для каждой опорной точки заданными относительно нулевой точки станка или детали (рис. 3.5, а), или задаваться в виде приращений в направлении движения инструмента от одной опорной точки к другой (рис. 3.5, б). При записи УП способ задания координат кодируется буквенно-цифровыми символами  $G90$  (абсолютные координаты) и  $G91$  (размеры в приращениях). Так, при перемещении центра инструмента (рис. 3.5, б) из точки  $W$  в точку 1 (размеры в приращениях) координата  $X_D$  изменится на величину  $\Delta x_1$ , а



координата  $Y_D$  – на величину  $\Delta y_1$ ; при дальнейшем движении из точки 1 в точку 2 приращение по оси X составит  $\Delta x_2$ , по оси Y –  $\Delta y_2$  и т. д.

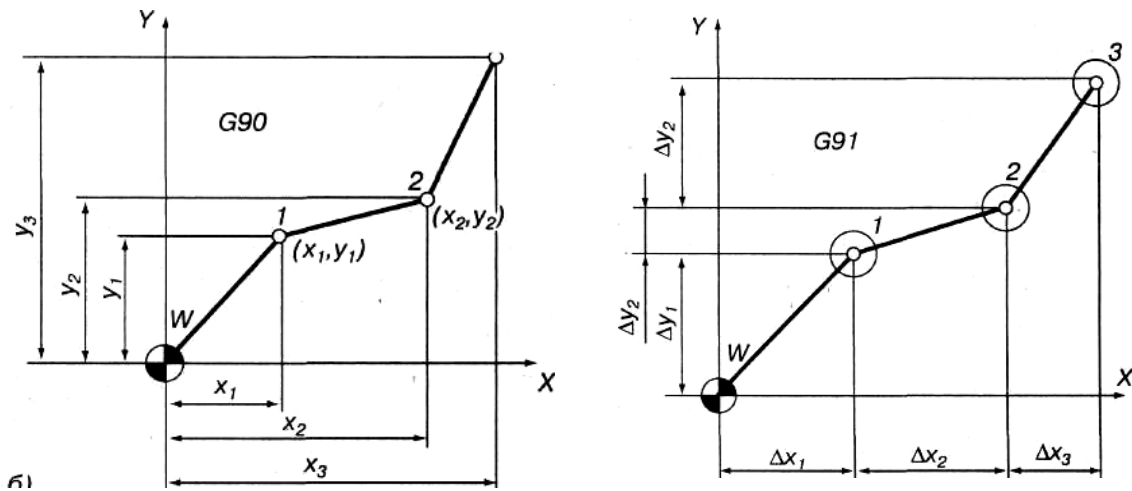


Рис. 3.5. Схемы задания координат опорных точек:  
а) абсолютные размеры; б) размеры в приращениях

Задание координатами точек траектории движения центра инструмента зависит во многом от способа задания размеров детали (рис. 3.6).

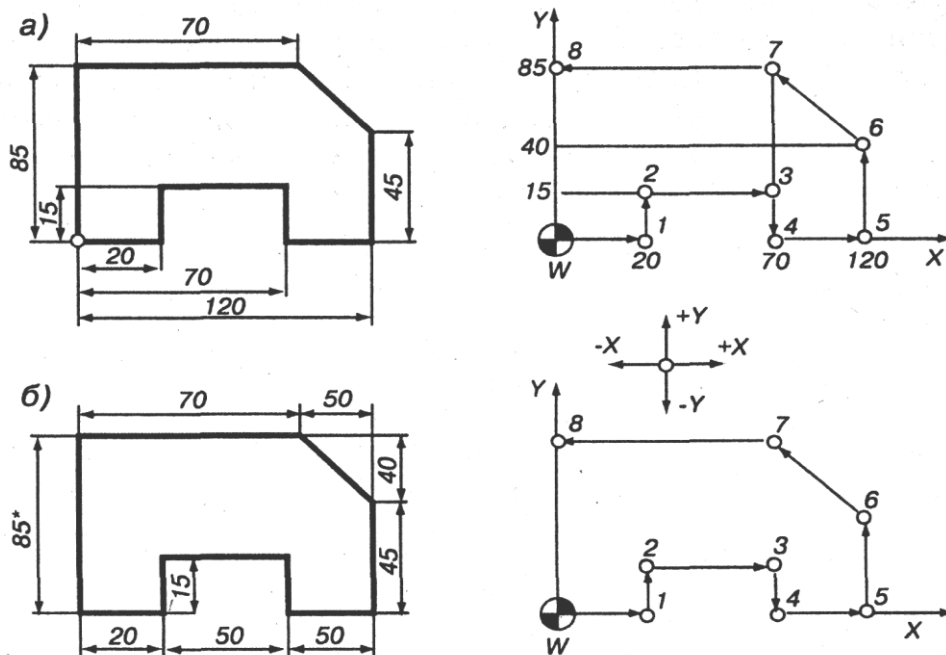


Рис. 3.6. Схемы задания размеров деталей:  
а) абсолютные размеры  $\{x, y\}$ ; б) относительные размеры  $(\Delta x, \Delta y)$



В ЧПУ работой станка управляют дискретно. Наименьшее программируемое перемещение, или дискретность системы, отражает разрешающую способность комплекса, включающего систему ЧПУ, механизм подачи и датчики обратной связи. В зависимости от дискретности системы размеры приращений координат между опорными точками траектории можно выразить не в миллиметрах, а количеством импульсов. Например, если дискретность по оси X составляет 0,01 мм/имп., а по оси Y—0,02 мм/имп., то значения  $\Delta x$  и  $\Delta y$ , равные, например, соответственно 12,85 мм и 8,6 мм, в импульсах будут выражены следующим образом:  $\Delta x = 1285$  имп.,  $\Delta y = 430$  имп.

### 3.2. Разработка расчетно-технологической карты (РТК)

По операционному эскизу, выполненному на основе технологического процесса в соответствии с выбранными типовыми траекториями движения инструмента, технолог составляет расчетно-технологическую карту (рис. 3.2). Эта карта содержит законченный план обработки детали на станке с ЧПУ в виде графического изображения траектории движения инструмента со всеми необходимыми пояснениями и расчетными размерами. По данным РТК технолог-программист, не обращаясь к чертежу детали или каким-либо другим источникам, может полностью рассчитать числовую программу автоматической работы станка. Ниже приведена последовательность оформления РТК.

1. Вычерчивают деталь в прямоугольной системе координат, выбирают исходную точку O (нуль программы). При многоинструментальной обработке могут быть выбраны несколько исходных точек – для каждого инструмента. Контуры детали, подлежащие обработке, и контур заготовки вычерчивают в масштабе с указанием всех размеров, необходимых при программировании.

2. Намечают расположение прижимов и зон крепления детали в соответствии с техническими условиями на приспособление.

3. Наносят траекторию движения центра инструмента в двух плоскостях системы координат. Если предполагается мно-



гоинструментальная обработка, следует изображать траектории движения центра каждого используемого инструмента.

Началом (и концом) траектории инструмента является исходная точка  $O$ . Если положение исходной точки не совпадает с началом координат детали (точкой  $W$ ), оно должно быть задано координатами  $XWO$ ,  $YWO$ ,  $ZWO$  относительно этого начала. Траекторию инструмента наносят с учетом его параметров, выбранной ранее последовательности обработки и намеченных типовых траекторий в инструментальных переходах.

4. На траектории движения инструмента отмечают и обозначают цифрами (реже буквами латинского алфавита) опорные точки траектории и ставят стрелки, указывающие направление движения. Опорные точки необходимо намечать по геометрическим и технологическим признакам, т. е. они должны быть или точками, в которых изменяется геометрический характер траектории инструмента, или точками, в которых изменяется технологическое состояние детали (изменение режимов обработки, включение вертикальной подачи и пр.).

5. При необходимости указывают места контрольных точек, в которых предусматривается кратковременная остановка инструмента в целях проверки точности отработки программ рабочими органами станка. Такие точки предусматривают, например, перед окончательными чистовыми проходами при обработке дорогостоящих деталей. Обозначают также точки остановки, необходимые для смены инструмента, изменения частоты вращения шпинделя, перезакрепления детали, указывают продолжительность остановки в секундах.

6. Особо обозначают опорные точки, координаты которых можно определить графически непосредственно на РТК.

7. На РТК наносят дополнительные данные (тип станка, шифр, наименование и материал детали), указывают особенности заготовки и ее крепления, параметры инструмента и режимы его работы на отдельных участках, характер движения на отдельных участках траектории. Как один из основных технологических документов РТК обычно шифруют и заносят в специальную картотеку.



При построении траектории движения центра инструмента на РТК необходимо соблюдать следующие правила.

1. Подводить инструмент к обрабатываемой поверхности и отводить его следует (при необходимости) по специальным траекториям – вспомогательным перемещениям. Например, при фрезеровании необходимо обеспечить врезание инструмента по касательной со своевременным (за 5–10 мм до края заготовки) переходом с холостого хода на рабочий. Определенный подход должен быть у сверл, разверток, зенкеров, резцов, причем точка перехода с холостого хода на рабочий должна быть определена как опорная.

2. Недопустимы остановка инструмента и резкое изменение подачи в процессе резания, когда режущие поверхности лезвия соприкасаются с обрабатываемой поверхностью, иначе неизбежны повреждения поверхности. Перед остановкой, резким изменением подачи, подъемом или опусканием инструмента необходимо отвести инструмент от обрабатываемой поверхности.

3. Длина холостых перемещений должна быть минимальной.

4. Для устранения влияния на точность обработки люфтов станка желательно предусматривать дополнительные петлеобразные переходы в зонах реверса, обеспечивающие выборку люфта.

5. При необходимости по расчетной силе резания следует определить возможную деформацию детали (инструмента) и ввести требуемое предискажение траектории.

### **3.3. Особенности расчета траекторий инструмента**

Расчет траектории инструмента при ручном программировании состоит прежде всего в определении координат опорных точек на контуре детали и (если траектория является эквидистантной к обрабатываемому контуру) на эквидистанте. При этом предполагается, что принятую траекторию, фиксированную опорными точками, при обработке последовательно обходит центр инструмента. При расчете траектории инструмента



уточняют параметры резания (скорость резания и подачу) на отдельных участках траектории.

### 3.3.1. Расчет координат опорных точек на контуре детали

Начальный этап расчета – это определение координат опорных точек контура детали в выбранной системе координат. Для этого используют заданные на чертеже деталей размеры и данные РТК. Координаты опорных точек контура детали вычисляют с помощью уравнений, описывающих геометрические элементы контура детали, и соотношений в треугольниках. Точность вычислений обычно ограничивается дискретностью задания перемещений, определяемой конкретной УЧПУ.

Наиболее часто в процессе программирования контурной обработки решаются задачи определения координат опорных точек, лежащих на прямых, окружностях и пересечениях этих элементов.

Прямые линии описываются уравнением

$$y = kx + b,$$

представление которого зависит от исходных данных. В уравнении прямой  $k$  – угловой коэффициент, равный тангенсу угла наклона прямой к оси абсцисс;  $b$  – начальная ордината, равная ординате точки пересечения прямой с осью ординат (рис. 3.7). Например, при начальной ординате 0/15 мм и угле  $\alpha_1 = 35^\circ$  уравнение прямой (ПрО1) будет иметь вид

$$y = kx + b = x \cdot \operatorname{tg} 35^\circ + 15 = 0,7x + 15.$$

Пользуясь этим уравнением, нетрудно для любой точки прямой определить одну координату по заданной другой. Например, при известной абсциссе  $x_1 = 30$  мм ордината точки Тк01 будет  $y = 0,7/30 + 15 = 36$  мм.

Уравнение прямой можно составить:

– по известным координатам одной точки и углу наклона прямой:

$$y = k(x - x_T) + y_T; \quad (3.1)$$



– по известным координатам  $(x_1, y_1$  и  $x_2, y_2)$  двух заданных точек:

$$y = \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1} (x - x_1) + y_1. \quad (3.2)$$

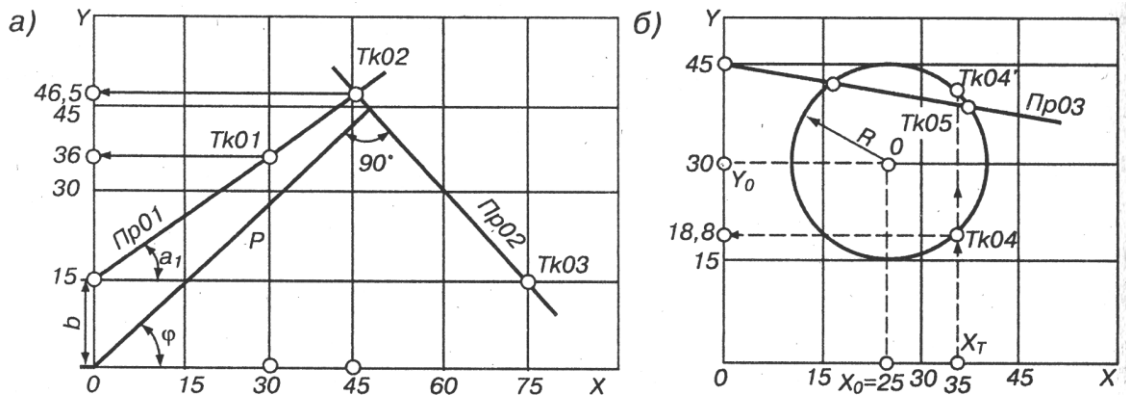


Рис. 3.7. К определению параметров прямой (а) и окружности (б)

Координаты  $(x_T, y_T)$  точки пересечения двух прямых определяются решением системы уравнений, описывающих эти прямые:

$$\begin{aligned} y &= k_1x + b_1; \\ y &= k_2x + b_2. \end{aligned}$$

Уравнение окружности радиусом  $R$  с центром  $O$  (координаты  $x_0, y_0$ ) имеет вид

$$R = \sqrt{(x - x_0)^2 + (y - y_0)^2}. \quad (3.3)$$

Относительно ординаты уравнение окружности может быть представлено как

$$y = y_0 \pm \sqrt{R^2 - (x - x_0)^2}. \quad (3.4)$$

Используя уравнения прямых и окружностей, достаточно просто совместным их решением определять координаты точек их пересечения или касания. Точки пересечения прямой и окружности определяются из решения системы уравнений вида



$$\left. \begin{aligned} y &= k \cdot x + b ; \\ y &= y_0 \pm \sqrt{R^2 - (x - x_0)^2} . \end{aligned} \right\} \quad (3.5)$$

Из решения этой системы получаем следующие выражения для определения точек пересечения окружности и прямой:

$$x_T = \frac{-a \pm \sqrt{a^2 - 4 \cdot c \cdot (k^2 + 1)}}{2 \cdot (k^2 + 1)} ; \quad (3.6)$$

$$y_T = k \cdot x_T + b, \quad (3.7)$$

где  $a = 2 \cdot k \cdot (x_0 - y_0) - 2 \cdot x_0$ ,  $c = (x_0 - y_0)^2 + x_0^2 - R^2$ .

Подкоренное выражение в этой формуле определяет характер пересечения кривой и окружности.

Если  $a^2 - 4 \cdot c \cdot (k^2 + 1) > 0$ , то имеются 2 точки пересечения заданной прямой и окружности. При  $a^2 - 4 \cdot c \cdot (k^2 + 1) = 0$  прямая является касательной к заданной окружности. В случае, если  $a^2 - 4 \cdot c \cdot (k^2 + 1) < 0$ , точки пересечения прямой и окружности отсутствуют.

В случае необходимости определения точек пересечения двух окружностей, радиусами  $R_1$  и  $R_2$  с координатами центров  $x_{01}$ ,  $y_{01}$  и  $x_{02}$ ,  $y_{02}$  соответственно необходимо решить следующую систему уравнений:

$$\left. \begin{aligned} y &= y_{01} \pm \sqrt{R_1^2 - (x - x_{01})^2} , \\ y &= y_{02} \pm \sqrt{R_2^2 - (x - x_{02})^2} . \end{aligned} \right\} \quad (3.8)$$

Решение такой нелинейной системы уравнений возможно на ЭВМ с использованием программных пакетов MathCAD или MatLab.

Процесс подготовки управляющих программ в командах системы ЧПУ можно разбить на следующие этапы.

1. Выбор системы координат по усмотрению технолога. Все размеры в дальнейшем указываются относительно этой системы координат.



2. Расчет вручную или с помощью калькулятора координат точек, необходимых для задания команд перемещений по осям координат.

3. Запись кадров управляющей программы по отдельным операциям обработки на основе данных чертежа, рассчитанных координат точек пересечения и сопряжения.

Для детали (рис. 3.8) необходимо рассчитать координаты точек P1–P6, центров окружностей C1 и C3 и радиус окружности C1. Центром окружности C3 является точка пересечения (P8) окружности C2 и прямой L4. Центр окружности C1 и ее радиус определяются по координатам трех точек, лежащих на окружности P10, P9, P8; координаты точек P1 и P2 – по углу и координатам точки P10; точка P3 – как точка пересечения окружности C1 и прямой L2; точка P4 – как точка пересечения двух окружностей C2 и C1; точка P5 – как точка пересечения окружностей C2 и C3; точка P6 – как точка пересечения прямой L3 и окружности C3. Расчет этих точек – один из трудоемких этапов подготовки управляющих программ. Рассчитанные значения координат необходимых точек приведены в табл. 3.1.

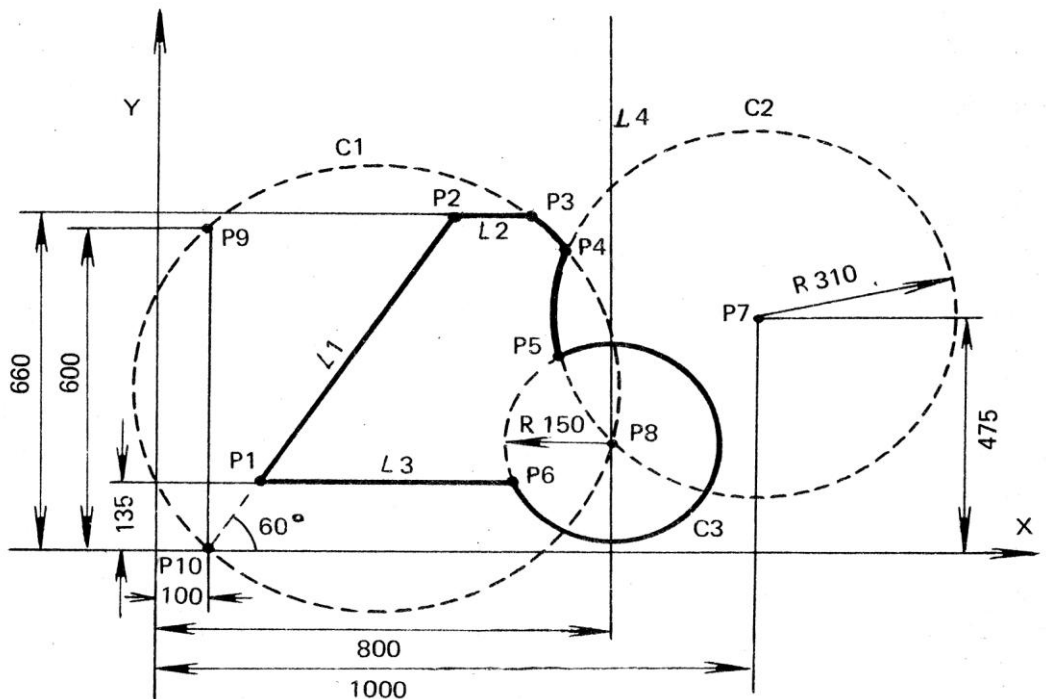


Рис. 3.8. Пример подготовки данных для программирования



Таблица 3.1. Координаты расчетных точек траектории

Наименование объекта	Координата X, мм	Координата Y, мм
Точка P1	178	135
Точка P2	482	660
Точка P3	596	660
Точка P4	705	569
Точка P5	713	360
Точка P6	691	135
Центр C1	388	300
Центр C3	800	238

### 3.3.2. Расчет координат опорных точек на эквидистанте

Координаты опорных точек эквидистантной траектории инструмента наиболее просто представить как приращение координат опорных точек контура детали. Целесообразность предварительного определения опорных точек контура очевидна, поскольку в плоскости обработки в большинстве случаев траектория центра инструмента представляет собой линию, эквидистантную обрабатываемому контуру.

Эквидистанта как геометрическое место точек, равноудаленных от контура детали на расстояние, равное радиусу  $R_I$  инструмента, строится справа или слева от элементов этого контура в зависимости от расположения инструмента относительно обрабатываемого контура. Эквидистантной к дуге окружности 1–2 является дуга концентричной ей окружности 11–21 или 12–22 с тем же центральным углом (рис. 3.9, а), а к отрезку прямой 1–2 – отрезки, параллельные данному (рис. 3.9, б).

Метод соединения элементов эквидистанты выбирают в зависимости от угла  $\alpha$ , образованного соседними элементами контура, если смотреть со стороны расположения инструмента при обходе этого контура (рис. 3.9, в). Этот угол для пары отрезков траектории измеряют непосредственно между ними. Если же элементом контура является дуга окружности, то угол  $\alpha$



измеряют относительно касательной к этой дуге в общей точке рассматриваемой пары элементов контура детали. Так, при  $\alpha > 180^\circ$  элементы эквидистанты соединяются сопрягающими дугами окружностей радиусом  $R_{И}$ , центры которых находятся в общих точках элементов контура. При  $\alpha < 180^\circ$  общей точкой элементов эквидистанты является точка пересечения этих элементов (рис. 3.9, г). Для сопряженных элементов контура ( $\alpha = 180^\circ$ ) элементы эквидистанты также сопряжены.

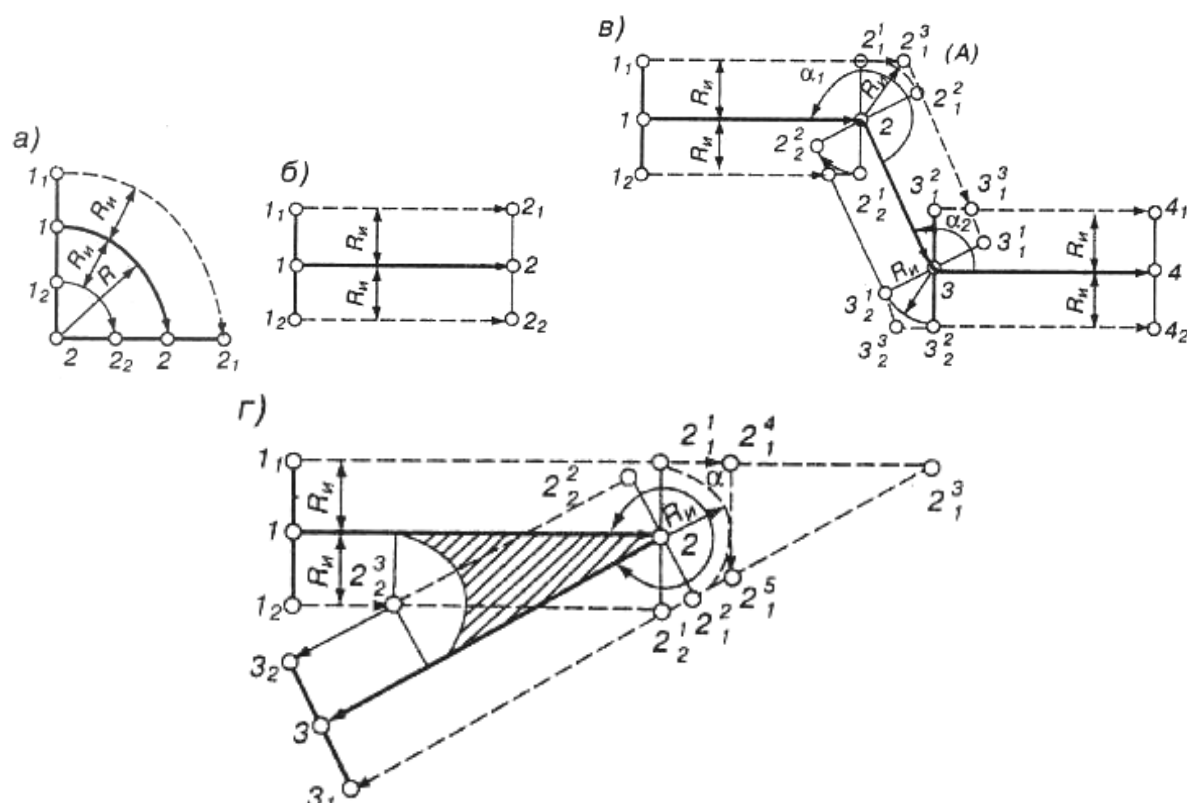


Рис. 3.9. Участки эквидистанты

Движение центра инструмента вдоль сопрягающей дуги окружности эквидистанты при обработке острого угла контура может привести к «зарезам» из-за изменения величин и направлении сил резания. В этом случае более технологичной является траектория центра инструмента, в которой дуги сопрягающих окружностей заменены отрезками прямых, продолжающих участки эквидистанты к элементам контура.



При обходе углов  $\alpha > 300^\circ$  во избежание значительных отклонений траектории инструмента от эквидистанты необходимо сделать дополнительные построения. Обход острого угла (рис. 3.9, г) целесообразно исполнять не по дуге окружности, а продлением верхней линии эквидистанты до пересечения с нижней линией.

При вычислении опорных точек эквидистанты различают три типовых случая сопряжения дугой (радиусом  $R_K$ ) участков эквидистанты: прямая – прямая, прямая – окружность и окружность – окружность (рис. 3.9, в). Как уже говорилось, координаты опорных точек траектории инструмента чаще всего рассчитывают путем определения приращений координат опорных точек контура детали. Для нахождения этих приращений существуют определенные зависимости.

Трудоемкость вычисления координат опорных точек при ручном программировании во многом зависит от опыта технолога-программиста, его знаний и способности ориентироваться при постановке и решении геометрических задач. Систематизация встречающихся геометрических задач и способов их решения не исключает индивидуального подхода к конкретной задаче, что часто позволяет найти более простое ее решение.

### 3.3.3. Сопряжение эквидистантных контуров

Рассмотрим методы сопряжения эквидистантных контуров, которые могут оказаться полезными при составлении управляющих программ оборудования с ЧПУ. При сопряжении двух прямых возможны различные способы сопряжения, которые представлены на рис. 3.10.

На рис. 3.10, а показан контур обрабатываемой детали ( $T_4-T_1-T_5$ ) и траектория движения фрезы радиусом  $R_1$  – линия  $T'_4-T_2-T_3-T'_5$ . Участки этой траектории  $T'_4-T_2$  и  $-T'_5$  являются эквидистантами элементам контура детали  $T_4-T_1$  и  $T_4-T_1$  соответственно. Траектория движения инструмента представляет собой отрезки прямых, которые сопрягаются в точках  $T_2$  и  $T_3$ .



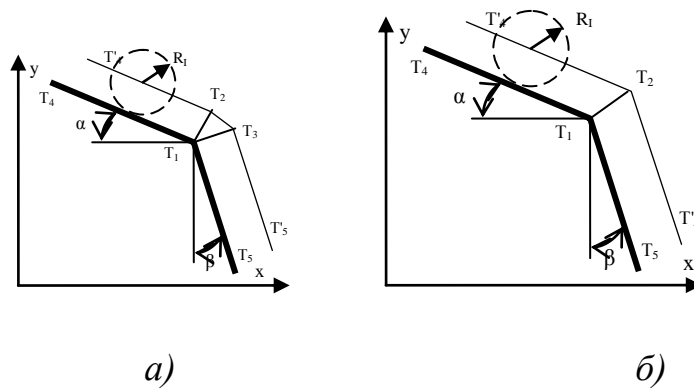


Рис. 3.10. Сопряжение двух прямых

При известных координатах точки сопряжения контура детали  $T_1-x_1, y_1$  положение точек сопряжения эквидистантного контура обработки определяется как

$$x_2 = x_1 + R_I \sin \alpha; y_2 = y_1 + R_I \cos \alpha; \quad (3.9)$$

$$x_3 = x_1 + R_I \sin \beta; y_3 = y_1 + R_I \cos \beta \quad (3.10)$$

При этом движение по сопрягающей траектории  $T_2-T_3$  возможно как по прямой, так и по дуге окружности с центром в точке  $T_1$ .

Возможен способ сопряжения эквидистантных контуров и в одной точке  $T_2$ , как это показано на рис. 3.10, б.

В этом случае координаты точки сопряжения контуров  $x_2, y_2$  определяются с использованием следующих выражений:

$$x_2 = x_1 + R_I \frac{\sin\left(\frac{\alpha + \beta}{2}\right)}{\cos\left(\frac{\alpha - \beta}{2}\right)}; y_2 = y_1 + R_I \frac{\cos\left(\frac{\alpha + \beta}{2}\right)}{\cos\left(\frac{\alpha - \beta}{2}\right)}. \quad (3.11)$$

При сопряжении контура детали (рис. 3.11), состоящего из прямой и дуги окружности радиуса  $R$  с центром в точке  $C$ , координаты которого  $x_C, y_C$ , траектория движения инструмента состоит из двух поверхностей, эквидистантных контуру детали



$(T_4 - T_2)$  и  $(T_3 - T_5)$  и участка сопряжения  $(T_2 - T_3)$ , где инструмент движется по прямой.

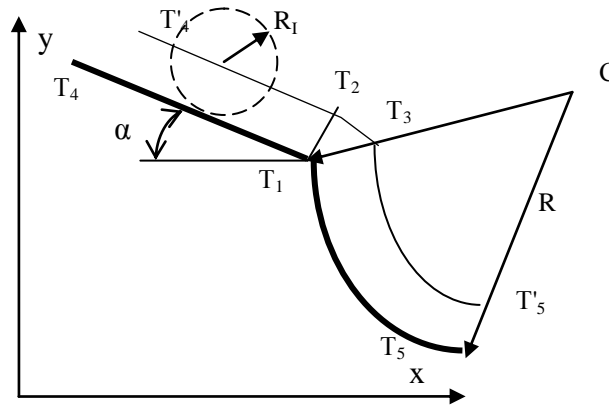


Рис. 3.11. Сопряжение прямой с дугой окружности

При расчете координат точек сопряжения эквидистантных контуров необходимо использовать следующие выражения:

$$x_2 = x_1 + R_I \sin \alpha; \quad y_2 = y_1 + R_I \cos \alpha; \quad (3.12)$$

$$x_3 = x_1 + \frac{R_I}{R} \left( x_C - x_1 \right); \quad (3.13)$$

$$y_3 = y_1 + \frac{R_I}{R} \left( y_C - y_1 \right),$$

где  $R = \sqrt{(x_1 - x_C)^2 + (y_1 - y_C)^2}$  – радиус дуги окружности обрабатываемой поверхности.

При сопряжении поверхностей, контур которых является дугами окружностей с центрами в точках  $C$  и  $C_1$ , радиусами  $R$  и  $R_1$  соответственно, траектория движения режущего инструмента представляется двумя дугами окружностей. Характер такого сопряжения двух дуг окружности показан на рис. 3.12.

При расчете точек сопряжения отдельных элементов траектории инструмента используются выражения вида



$$x_2 = x_1 + \frac{R_1}{R_1} \left( x_{C1} - x_1 \right); \quad (3.14)$$

$$y_2 = y_1 + \frac{R_1}{R_1} \left( y_{C1} - y_1 \right);$$

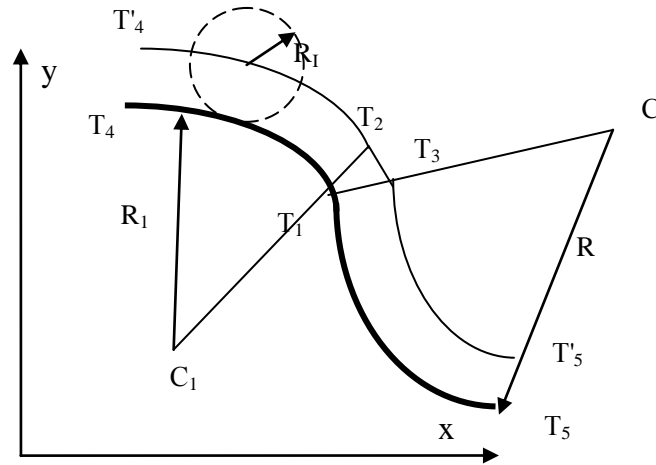


Рис. 3.12. Сопряжение двух окружностей эквидистантного контура

$$x_3 = x_1 + \frac{R_1}{R} \left( x_C - x_1 \right); \quad (3.15)$$

$$y_3 = y_1 + \frac{R_1}{R} \left( y_C - y_1 \right);$$

где  $R = \sqrt{(x_1 - x_C)^2 + (y_1 - y_C)^2}$  – радиус дуги окружности обрабатываемой поверхности  $T_1-T_5$ ;  $R_1 = \sqrt{(x_1 - x_{C1})^2 + (y_1 - y_{C1})^2}$  – радиус дуги окружности обрабатываемой поверхности  $T_1-T_5$ .

Более сложным является задание эквидистантного контура для двух сопрягаемых поверхностей, если известна точка их пересечения  $T_1$  с координатами  $(x_1, y_1)$  и радиус  $R$  сопрягающей поверхности, которая является дугой окружности, как это показано на рис. 3.13.



Координаты центра сопрягающей дуги окружности определяются по известной точке пересечения контуров обрабатываемой окружности:

$$x_C = x_1 - R \frac{\sin\left(\frac{\alpha + \beta}{2}\right)}{\cos\left(\frac{\beta - \alpha}{2}\right)} ; y_C = y_1 - R \frac{\cos\left(\frac{\alpha + \beta}{2}\right)}{\cos\left(\frac{\beta - \alpha}{2}\right)} . \quad (3.16)$$

Координаты сопрягаемых точек обрабатываемой поверхности  $T_2, T_3$  определяются с помощью следующих выражений:

$$x_2 = x_C + R \cdot \sin \alpha ; y_2 = x_C + R \cdot \cos \alpha ; \quad (3.17)$$

$$x_3 = x_C + R \cdot \sin \beta ; y_3 = x_C + R \cdot \cos \beta . \quad (3.18)$$

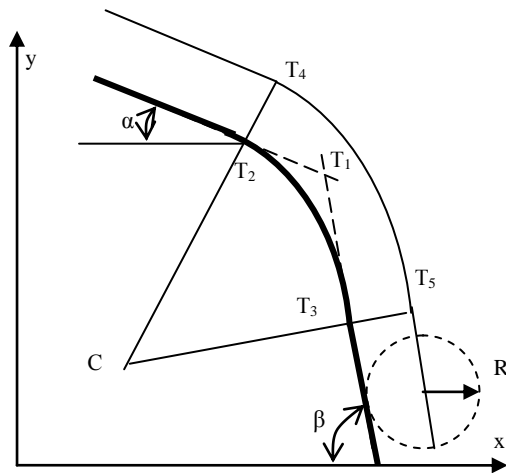


Рис. 3.13. Сопряжение двух поверхностей по дуге окружности

Координаты точек изменения характера движения инструмента, определяемых в УП, находятся как

$$x_4 = x_C + (R + R_I) \sin \alpha ; y_4 = x_C + (R + R_I) \cos \alpha . \quad (3.19)$$

$$x_5 = x_C + (R + R_I) \sin \beta ; y_5 = x_C + (R + R_I) \cos \beta . \quad (3.20)$$

Для обработки сопрягающей поверхности используется команда круговой интерполяции по (G02) или против (G03) часовой стрелки.



Другим случаем сопряжения двух прямых является их соединение отрезком прямой, как это показано на рис. 3.14. В качестве исходных данных могут быть выбраны координаты точки сопряжения  $T_1$  и радиус сопрягающей окружности, на которой расположены точки  $T_2$  и  $T_3$ .

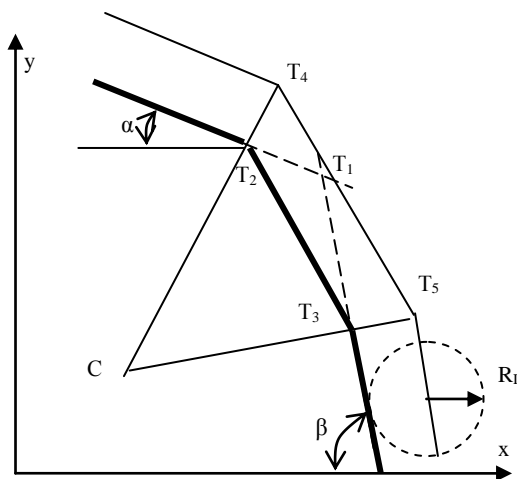


Рис. 3.14. Сопряжение двух поверхностей отрезком прямой

В первом случае для нахождения точек сопряжения обрабатываемой поверхности и траектории движения инструмента возможно использование выражений (3.16)–(3.20), однако в этом случае для обработки сопрягающей поверхности используется команда линейной интерполяции G01.

В случае известных координат точек сопряжения  $T_2$  и  $T_3$  необходимо определить радиус  $R$  и координаты центра  $x_C$ ,  $y_C$  сопрягающей поверхности. Радиус сопрягающей поверхности определяется по следующему выражению:

$$R = \frac{x_2 - x_3}{\sin \alpha - \sin \beta}. \quad (3.21)$$

Координаты центра дуги сопряжения находятся по уравнениям вида

$$x_C = x_2 - R \cdot \sin \alpha; y_C = y_2 - R \cdot \cos \alpha. \quad (3.22)$$



### 3.3.4. Особенности расчетов на ЭВМ

Трудоемкость процесса определения координат опорных точек существенно снижается при использовании ЭВМ – персональных компьютеров. Такие ЭВМ имеют математическое обеспечение в виде различных, в ряде случаев специализированных систем подготовки УП. В простых системах язык системы содержит определенное число вычислительных процедур и позволяет решать задачи по определению точек стыков геометрических элементов траектории перемещения центра инструмента. Мощные системы автоматически определяют любые самые сложные эквидистанты в трехмерном измерении, получение которых ручными расчетами невозможно. Обычно исходные данные в такие ЭВМ вводят через клавиатуру печатающего устройства, дисплея или же автоматически считываются с элементов разработанного на этой же ЭВМ объекта производства.

При использовании ЭВМ можно также решать ряд других задач, например, рассчитывать частоты вращения шпинделя на каждом переходе при заданной скорости, находить максимально допустимый крутящий момент, определять скорости подачи по контуру, автоматически получать схемы и режимы обработки по заданной точности и шероховатости, автоматически обеспечивать выбор режущего инструмента и др. Достаточно прост при этом не только вывод рассчитываемой траектории на графопостроитель, что позволяет более четко контролировать разрабатываемую УП, но и автоматическое получение УП в целом, видеопросмотр на экране ЭВМ разработанной схемы удаления припуска с заготовки с указанием недоработанных мест (например, зарезов инструмента) и т.д.

В настоящее время существует большое число систем автоматизации программирования, предназначенных для работы в составе специализированных САД/САМ комплексов. Большинство таких систем обеспечивает визуализацию результатов работы спроектированных управляющих программ, снижение трудоемкости их разработки путем перехода к непосредственному описанию поверхностей деталей, а не отдельных траекто-



рий движения инструмента, а также полностью автоматизировать получение УП по чертежу детали.

Для разработки и визуализации управляющих программ систем ЧПУ в любой версии кода ISO-7bit предназначена AdvancEd. В процессе работы AdvancEd представляет контекстно-зависимую помощь по синтаксису и системе команд конкретной версии кода ISO-7bit и осуществляет синтаксический и отчасти семантический контроль вводимых кадров УП. С помощью программы AdvancEd можно создавать управляющие программы, компоновать их из готовых блоков и вносить изменения в УП, созданные ранее с помощью различных САМ-систем.

Автоматизация подготовки УП может осуществляться с помощью САП «ТЕХТРАН», обеспечивающей описание обрабатываемых контуров с помощью специализированного алгоритмического языка. В системе посредством операторов пост-процессора можно описывать практически любые технологические операции, которые в настоящее время способны реализовать оборудование с ЧПУ.

Высокую степень автоматизации подготовки управляющих программ оборудования с ЧПУ предоставляют системы GeM-Ma-3D, T-FLEX-2D, T-FLEX-3D, которые обеспечивают создание УП непосредственно по чертежу детали.



## 4. ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ ДОКУМЕНТАЦИЯ

Технологические процессы и управляющие программы разрабатывают на основе разнообразной информации, носителем которой является технологическая документация.

Технологической документацией называется комплекс текстовых и графических документов, определяющих в отдельности или в совокупности технологический процесс изготовления изделия и содержащих данные, необходимые для организации производства.

Государственными стандартами установлена Единая система технологической документации (ЕСТД), в которой определены правила ее разработки, оформления и комплектации, применяемые всеми машиностроительными и приборостроительными предприятиями. Основное назначение стандартов ЕСТД – унификация обозначений и последовательности размещения однородной информации в формах документов, разрабатываемых для работ различных видов. Стандарты предписывают не только форму бланков, но и характер записи, термины и определения, условные обозначения и др.

Технологическую документацию, используемую при разработке технологических процессов (ТП) и подготовке УП, можно разделить на справочную и сопроводительную. Сопроводительную документацию составляют при выполнении того или иного этапа работ, она может быть исходной для следующих этапов.

### 4.1. Справочная документация

В ее состав входят классификаторы деталей по конструкторско-технологическим признакам, типовые технологические процессы, каталоги и картотеки универсальных станков и станков с ЧПУ, режущего, вспомогательного и измерительного инструмента, приспособлений и обрабатываемых материалов, нормативы режимов резания, таблицы допусков и посадок, инструкции по расчету, кодированию, записи, контролю и редактированию УП, методические материалы по определению экономической эффективности обработки на станках с ЧПУ.



Карта станка с ЧПУ предназначена для записи его краткой технической характеристики. Формы этих карт разработаны для отдельных технологических групп станков. В карту оборудования с ЧПУ для конкретного станка записывают модель и инвентарный номер станка, тип устройства ЧПУ, технологическую группу и назначение станка, наибольшие габаритные размеры обрабатываемых заготовок, число программно-управляемых координат, в том числе управляемых одновременно, исходные положения и предельные перемещения рабочих органов станка; число позиций инструмента и размеры, определяющие положение его державок, мощность и КПД двигателя привода главного движения; частоты вращения шпинделя по диапазонам и соответствующие им допустимые крутящие моменты, допустимые силы на привод подач, дискретность задания перемещений, скорости рабочих подач и быстрых ходов; продолжительность смены инструмента, экономическую точность станка и стоимость работы станка в течение 1 мин. В карте станка с ЧПУ приводят схематический чертеж, на котором указывают обозначения осей координат и положительные направления перемещений рабочих органов.

Карта режущего инструмента предназначена для записи всех необходимых для программирования данных об инструменте. Формы карт разработаны для отдельных групп инструментов: резцов, фрез, сверл и других инструментов для обработки отверстий. В карту записывают тип и назначение инструмента, характер обработки, шифр инструмента, содержащий коды режущей части, державки и станка, в комплект которого входит данный инструмент, координаты вершины инструмента относительно базовой точки его державки, настроечные размеры, определяющие положение инструмента в приспособлении при его настройке вне станка, материал режущей части; предельные глубины резания и врезания, признак формы передней грани, радиус закругления при вершине, длину режущей части, главный и вспомогательный углы в плане, углы наклона режущей кромки, рекомендуемые глубину резания, скорость резания и подачу, допустимый износ, число переточек или граней непереключаемых пластинок, стоимость нового инструмента. В



карте режущего инструмента приводят эскиз, поясняющий расположение вершины инструмента и ориентацию его режущей части. На эскизе показывают также возможные направления движения инструмента на рабочей подаче.

Карту крепежной оснастки при обработке на станках токарной группы используют в основном для записи размеров патрона и зажимных кулачков, необходимых для определения положения заготовки относительно шпиндельного узла станка. В карту крепежной оснастки записывают шифр патрона, определяющий его принадлежность к конкретному станку, расстояния между опорными поверхностями кулачков и базовой плоскостью шпинделя, предельные диаметральные размеры рабочих поверхностей кулачков, твердость кулачков и наибольшее усилие зажима. В карте приводят эскиз патрона с кулачками, установленными для зажима наружных и внутренних поверхностей заготовки, с обозначением записываемых в карте размеров.

Аналогично составляют карты для тисков, координатных плит, универсальных сборных приспособлений и специальной зажимной оснастки, используемой при обработке на сверлильных, фрезерных и других станках с ЧПУ.

Карта обрабатываемого материала предназначена для записи технологических параметров, используемых при выборе режимов резания. Основной характеристикой обрабатываемого материала служит зависимость между скоростью резания и стойкостью инструмента. Коэффициенты и показатели степени этой зависимости вносят в соответствующие графы формы. Обрабатываемые материалы систематизируют по группам (углеродистые и легированные конструкционные и инструментальные стали, коррозионно-стойкие жаропрочные стали, чугуны, алюминиевые и бронзовые сплавы и т. п.), в пределах которых они различаются коэффициентами обрабатываемости и поправочными коэффициентами, учитывающими материал режущего инструмента.



## 4.2. Сопроводительная документация

Сопроводительная технологическая документация при разработке ТП и УП для станков с ЧПУ достаточно разнообразна. Часть документации, в частности при разработке маршрутной технологии, в ряде случаев не отличается от общепринятой при проектировании ТП для универсальных станков. Сопроводительная документация при выполнении этапов работ, связанных с подготовкой УП, имеет существенную специфику. Она включает информацию о программировании обработки детали на станке с ЧПУ, информацию о наладке станка и инструмента, информацию, отражающую контроль УП, и др.

В соответствии с комплектностью УП сопроводительная документация содержит операционную карту и операционный чертеж детали, карты наладки станка и инструмента, операционную расчетно-технологическую карту с эскизом траектории инструментов УП на программноносителе и ее распечатку, график траектории инструментов, полученный на этапе контроля УП, и акт внедрения УП.

Операционная карта предназначена для описания операций технологического процесса изготовления детали с разделением на переходы и указанием оборудования, оснастки и режимов резания. Особенность операционной карты обработки на станке с ЧПУ состоит в том, что она содержит указания о взаимном расположении базовых поверхностей детали, крепежного приспособления и инструмента при описании установов и переходов.

Карта наладки станка содержит все сведения, используемые при наладке станка для работы по УП. Формы карт наладки разработаны для технологических групп или отдельных станков с ЧПУ. В процессе ручной подготовки УП карту заполняет технолог-программист, при автоматизированной подготовке УП на ЭВМ ее выдает оператор. Для каждого установа в карту наладки станка записывают номер чертежа и наименование детали; модель станка с ЧПУ, номер УП, тип и материал заготовки, шифр крепежной оснастки и силу зажима



заготовки, координаты исходных положений рабочих органов станка, диапазон частот вращения шпинделя, сведения об изменении рабочей подачи с пульта УЧПУ, указание о включении охлаждения, шифры инструментов с указанием номеров их позиций и блоков коррекции; данные об отдельных размерах с допусками и указанием номеров кадров УП, а также блоков коррекции для компенсации отклонений формы и расположения обработки в наладочном режиме. В карте наладки станка приводят эскиз, поясняющий схему крепления заготовки в данном установе.

Карту наладки инструмента используют при настройке инструмента вне станка и установе его на станке в соответствии с выбранной наладкой. В карту записывают координаты вершин всех инструментов наладки и показания прибора для их настройки вне станка.

Операционная расчетно-технологическая карта предназначена для ручной подготовки УП. В эту карту, представляющую собой «рукопись» программы, в принятой для операции последовательности обработки записывают номера, координаты или приращения координат опорных точек траектории, подачи на отдельных траекториях движения инструмента, частоты и направления вращения шпинделя, номера корректоров и технологические команды

К операционной расчетно-технологической карте прилагают эскиз траектории центра инструмента. На нем траекторию инструмента вычерчивают для всех переходов с нумерацией опорных точек, обозначением начала системы координат, а также точек, в которых выполняются технологические команды.

Распечатка УП выполняется на бумажной полосе устройством подготовки данных одновременно с подготовкой перфоленты. При автоматизированном программировании распечатка УП выдается ЭВМ в составе сопроводительной документации.

График траектории инструментов вычерчивается на автономном или подключенном к ЭВМ графопостроителе.

Акт внедрения УП является заключительным документом, в котором отражаются результаты пробной обработки одной или



нескольких заготовок на станке с ЧПУ по подготовленной УП. В акте отмечают соответствие обработанных поверхностей требованиям к их точности и шероховатости, рациональность режимов резания и приводят данные хронометража. Акт подписывают контролер ОТК, мастер участка станков с ЧПУ, технолог ОГТ и начальник БПУ. Если деталь ранее изготавливалась на станке с ручным управлением, то в акте обосновывают экономическую эффективность ее перевода на станок с ЧПУ, после чего акт служит основанием для изменения технологического процесса на предприятии.

Комплектность и формы технологической документации, используемой при подготовке УП могут меняться в зависимости от принятого на данном предприятии документооборота и метода программирования (ручного или с помощью ЭВМ).

Комплектность и формы технологической документации очень зависят от характера и вида производства. Например, в условиях КИП бумажная документация практически сведена к нулю. Вся необходимая информация на таких предприятиях находится в электронном виде и хранится в соответствующих базах данных в памяти ЭВМ. Разработанные на соответствующих компьютерных рабочих местах управляющие программы, включая тексты, рисунки, эскизы, карты наладки инструмента, по кабельной связи передаются непосредственно в УЧПУ необходимого станка, где по мере надобности вызываются и используются рабочим-оператором.



## **5. ПРОГРАММИРОВАНИЕ ОБРАБОТКИ ДЛЯ СВЕРЛИЛЬНЫХ И ТОКАРНЫХ СТАНКОВ С ЧПУ**

### **5.1. Программирование обработки деталей для вертикально-сверлильного станка с ЧПУ мод. 2P135Ф2-1**

Вертикально-сверлильный станок 2P135Ф2-1 предназначен для сверления, рассверливания, зенкерования, развертывания, цекования, нарезания резьбы, легкого прямолинейного фрезерования деталей из стали, чугуна, цветных металлов и сплавов в условиях мелкосерийного и серийного производства.

Револьверная головка с автоматической сменой инструмента и крестовый стол с программным управлением позволяют производить координатную обработку деталей типа корпусов, крышек, фланцев, плит и т. д. без предварительной разметки и применения кондукторов. В пяти позициях револьверной головки устанавливают инструмент для обработки отверстий (сверла, зенкеры и др.), а в одной фрезы.

Режущий инструмент закрепляют непосредственно в коническом отверстии шпинделя или с помощью промежуточных втулок и оправок.

Для закрепления инструментов, имеющих цилиндрической хвостовик, применяют разрезные втулки, наружная поверхность которых коническая, а внутренняя цилиндрическая.

Более универсальным приспособлением, обеспечивающим быстрое и надежное крепление инструмента, является цанговый патрон.

Нарезание резьбы метчиками на станках с ЧПУ происходит с принудительной подачей, при этом возникает несовпадение осевой подачи шпинделя и шага нарезаемой резьбы. Поэтому для закрепления метчика используются специальные пружинные патроны, компенсирующие это несовпадение.



## *Техническая характеристика станка*

Наибольший диаметр сверления, мм	35
Наибольший диаметр обрабатываемой резьбы, мм	24
Наибольший диаметр фрезы, мм	100
Наибольшая ширина фрезерования, мм	60
Наибольшая глубина фрезерования, мм	2
Наибольшее перемещение суппорта (с револьверной головкой), мм	560
Скорость быстрого перемещения суппорта, м/мин	4
Рабочая подача суппорта, мм/мин	100–500
Частота вращения шпинделя, мин	35,5–1600
Размеры рабочей поверхности стола, мм	400×710
Скорость быстрого перемещения стола и салазок, м/мин	7
Скорость перемещения стола и салазок при фрезеровании, м/мин	0,22
Наибольшее поперечное перемещение салазок, мм	360
Наибольшее продольное перемещение стола, мм	630
Точность позиционирования стола и салазок, мм	0,05
Дискретность задания перемещений, мм	0,01
Наибольшая масса обрабатываемой заготовки, кг	300
Мощность электродвигателя главного движения, кВт	4,5

## *Устройство ЧПУ*

Станок модели 2P135Ф2-1 оснащен позиционным устройством ЧПУ мод. 2П32-3, которое предназначено для управления процессом позиционирования и прямоугольной обработки (параллельной координатным осям). Устройство обеспечивает одновременное или раздельное перемещение стола по координатам X и Y, перемещение суппорта с револьверной головкой по координате Z, дает возможность управлять поворотом револьверной головки, по программе выбирать величину рабочей подачи и частоту вращения шпинделя. Устройство имеет цифровую индикацию корректора длины инструмента. Программноноситель – восьмидорожковая перфолента, способ задания перемещений в абсолютных значениях координат.



## *Общие указания по составлению программ*

При составлении управляющих программ на обработку детали необходимо придерживаться правил, приведенных в настоящих методических указаниях.

Процесс подготовки управляющей программы должен состоять из следующих этапов:

- а) составление технологического эскиза детали;
- б) выбор направления и порядка обхода при обработке отверстий;
- в) разработка технологического процесса, выбор режущего инструмента и режимов резания;
- г) составление управляющей программы согласно технологическому процессу;
- д) нанесение программы на перфоленту.

## *Технологические рекомендации*

Все размеры чертежа детали должны быть подсчитаны от единой базы и указаны в абсолютных величинах. База должна быть привязана к осям плавающего нуля. Обрабатываемые отверстия нумеруются согласно оптимальному порядку обработки. Нумерация отверстий облегчает процесс программирования. Оптимальность порядка обработки заключается в минимальном времени, затраченном на обработку.

Имея чертеж детали, выполненный согласно технологическим требованиям, операционную технологическую карту с указанием режимов резания и инструментов, переходят к составлению управляющей программы.

## *Система кодирования и порядок построения кадра*

Вся информация в программе должна состоять из адресов, чисел и специальных команд, предусмотренных рекомендациями ИСО. Система кодирования информации находится в соот-



ветствии с ГОСТ 20999-78. Содержание символов, используемых в устройстве ЧПУ 2П32-3, приведено в табл. 5.1.

Таблица 5.1. Коды символов для устройства ЧПУ вертикально-сверлильного станка

Символ	Значение символа
X	Перемещение вдоль оси X
Y	Перемещение вдоль оси Y
R	Перемещение вдоль оси Z (точка у поверхности детали)
Z	Перемещение вдоль оси Z (точка в глубине детали)
N	Номер кадра
F	Номер подачи
:	Главный кадр
%	Начало программы
(	Открытая скобка
D	Программируемая задержка при подрезке торца
S	Номер скорости вращения шпинделя
T	Номер инструмента
M	Вспомогательная функция
G	Подготовительная функция
L	Номер коррекции
+	Знак +
-	Знак -
ПС	Конец кадра
Зб	Забой
)	закрытая скобка

Управляющая программа состоит из отдельных кадров, расположенных в определенном порядке. Последовательность слов в кадре может быть произвольной, за исключением признака номера кадра – N, с которого начинается каждый кадр, и признака конец кадра – ПС, которым заканчивается каждый кадр.

Некоторые слова в кадре могут отсутствовать, так как технологические функции действуют в течение нескольких кадров до отмены этих функции, а координата в кадре может быть одна, две, три, четыре или отсутствовать совсем.



Под словом подразумевается часть программы, содержащая информацию об одной из программируемых функций (признак функции, знак, число), например: N001, G81, X+007000.

Кадр представляет собой часть программы, состоящую из нескольких слов и содержащую информацию для выполнения одного действия при обработке детали, а также для перемещения рабочего органа из одной точки в другую при позиционировании, например:

```
:016 G81 T03 S06 F12 L04 R+000000 Z+008000 X+001100 Y-006000 ПС  
N017 X+003000 Y-007000 ПС
```

Длина каждого слова в кадре определяется форматом кадра. Для УЧПУ 2П32-3 – формат имеет следующий вид:

```
N03. G02. X+06. Y+06. Z+06. R+06. T02. S02. F02. L02.
```

Приведенная запись формата показывает, что номер кадра должен обозначаться трехзначным числом, подготовительная команда – двузначным, размерные перемещения должны иметь по шесть цифр. Однако стоящие за адресом нули говорят о том, что незначащие нули в словах можно опускать, например, вместо полной записи слов S09, X+008000 можно записать S9, X+8000 и т. д.

В начале каждой программы записывается команда «Начало программы» (%). В начальных кадрах для обработки группы однородных отверстий вместо адреса N записывается команда «Главный кадр» (:). Такой кадр должен содержать всю технологическую информацию (функции G, T, S, F, M, L, D), что дает возможность возобновить с него работу станка по программе, не прогоняя ей предшествующей часть.

Признак адреса всегда записывается перед числовой информацией. Знак координаты записывается сразу после адреса.

Каждая команда в одном кадре может встречаться только один раз, за исключением функции G.

Информация, записанная на перфоленте между символами " ("и") ", то есть заключенная в скобки, устройством ЧПУ не воспринимается.



## *Содержание подготовительных функций, предусмотренных в устройстве 2П32-3*

Устройство ЧПУ 2П32-3 использует следующие подготовительные функции: G51, G52, G 54, G56, G 81, G82, G84, G86, G30, G60, G61, G62, G66, G80.

Функция G81 (управление по оси Z, сверление по постоянному циклу) обеспечивает быстрый подход рабочего органа станка с инструментом к детали (координата R), движение рабочего органа на рабочей подаче к координате Z (обработка детали) и быстрый отвод (отвод из детали) за установку «Неполный отвод».

Функция G82 (управление по оси Z, подрезка торца по постоянному циклу) обеспечивает быстрый подвод рабочего органа к координате R (к детали), движение его на рабочей подаче к координате Z (обработка детали), задержку после отработки координаты Z и быстрый отвод (отвод из детали) за установку «Неполный отвод».

Функция G84 (управление по оси Z, резьбонарезание по постоянному циклу) обеспечивает быстрый подвод инструмента, к координате R (к детали), движение на рабочей подаче к координате Z (обработка детали), реверс после отработки координаты Z и отвод рабочего органа на рабочей подаче к координате R, а затем быстрый отвод за установку «Неполный отвод».

Функция G86 (управление по оси Z, расточка по постоянному циклу) обеспечивает быстрый подход инструмента к координате R (к детали), движение инструмента на рабочей подаче к координате Z (обработка детали), остановку вращения после отработки координаты Z и быстрый отвод инструмента за установку «Неполный отвод».

Функции G51, G 52, G54, G 56 соответственно отличаются от функций G81, G82, G84, G86 тем, что обеспечивают быстрый отвод инструмента к началу отсчета координаты Z. Используются эти функции для отвода рабочего органа в верхнее исходное положение при смене инструмента.

Схемы движения инструмента для некоторых циклов представлены на рис.5.1



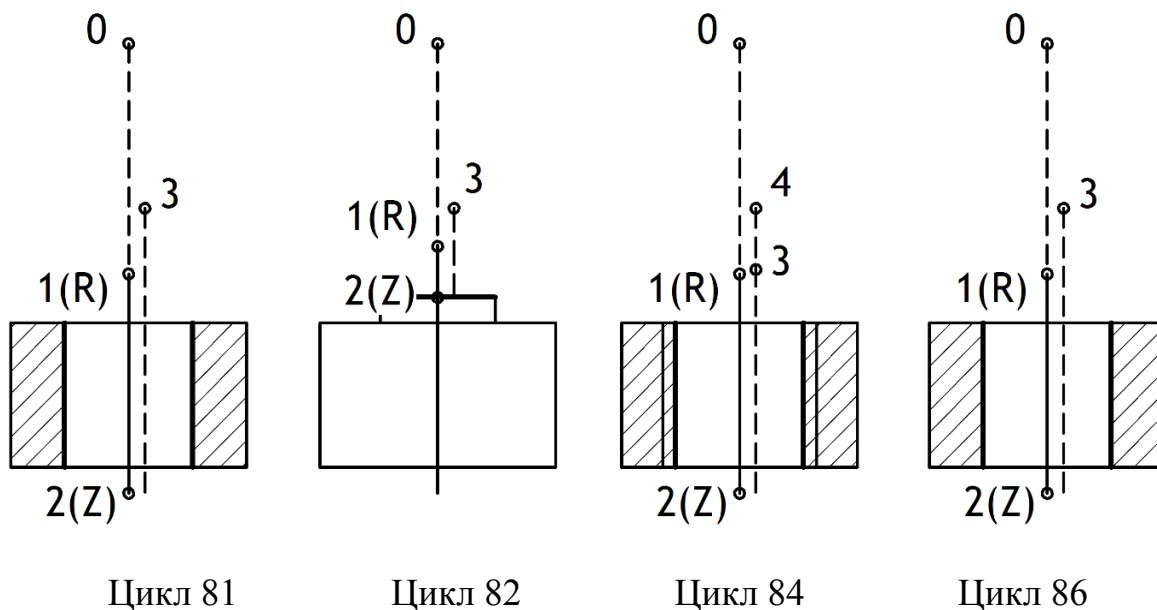


Рис. 5.1. Схемы движения инструмента

Функция G66 используется для следующего:

а) организации постоянного цикла (управление по оси Z) – быстрый подвод инструмента к координате R (к детали), движение инструмента на рабочей подаче к координате Z (обработка детали) и остановка рабочего органа после отработки координаты Z;

б) программирования движения по осям X и Y на рабочей подаче с подходом рабочего органа к заданной координате со стороны первоначального движения без контроля зоны.

Функция G60 используется для организации движения при позиционировании по осям X и Y с подходом рабочего органа к заданной координате с одной стороны с последующим контролем зоны.

Функция G50 используется для отмены всех постоянных циклов, при этом происходит запрещение работы по оси Z.

Функция G80 отменяет постоянные циклы, но при этом возможна работа по оси Z по функциям G66 и G62.

Организация глубокого сверления осуществляется комбинированием цикла G81 с бесцикловым перемещением (координата Z в кадре отсутствует).



## *Другие особенности программирования*

Из вспомогательных команд в устройстве ЧПУ 2П32-3 используют только команды M02 и M06.

Команда M02 означает «Конец программы» и пишется в последнем кадре, например: N040 M02 ПС.

Команда M06 означает остановку работы станка для ручной смены инструмента, записывается отдельным кадром, например: N030 M06 ПС.

Координаты всех отверстий выражаются в абсолютных значениях в сотых долях миллиметра, при этом знак координаты учитывает, в какой квадрате относительно базовой точки находится данная точка. Коды подач и частоты вращения шпинделя приведены в табл. 5.2. Принятое для станка 2P135Ф2-1 направление дано на рис. 5.2.

Таблица 5.2. Коды подач и частоты вращения шпинделя

Подача				Частота вращения			
S, мм/мин	Код	S, мм/мин	Код	n, мин <sup>-1</sup>	Код	n, мин <sup>-1</sup>	Код
10	1	100	11	35,5	1	400	8
12,5	2	125	12	50	2	560	9
16	3	160	13	71	3	800	10
20	4	200	14	100	4	1120	11
25	5	250	15	140	5	1600	12
31,5	6	315	16	200	6		
40	7	400	17	280	7		
50	8	500	18				
63	9						
80	10						

### *Составление управляющей программы*

Составление управляющей программы (УП) рассмотрим на примере детали, представленной на рис. 5.2. Учитывая требования, предъявляемые к отверстиям, намечаем план их обработки. Для обеспечения точности расположения отверстий зацентрируем их жестким центровочным сверлом. План обработки отверстий представлен в табл. 5.3.



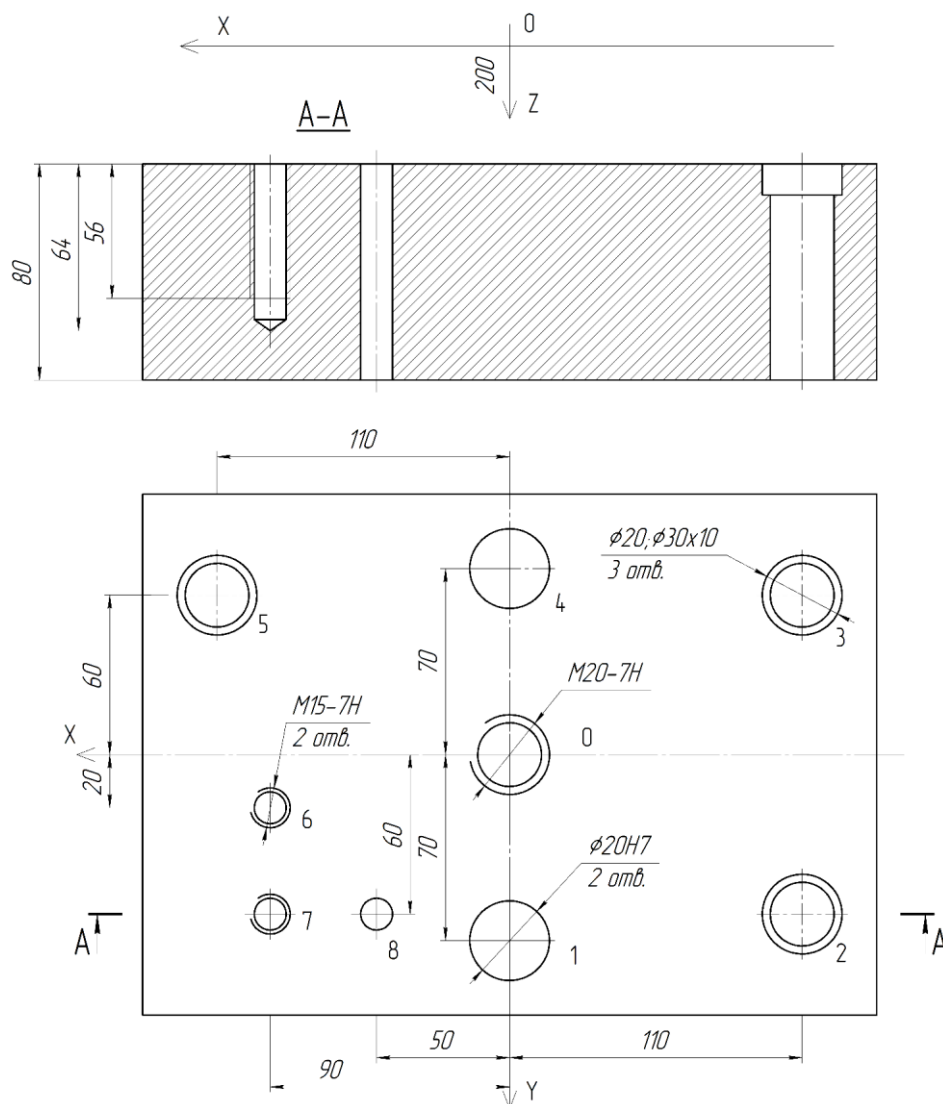


Рис. 5.2. Пример обработки детали.

Таблица 5.3. План обработки отверстий

Обозначение отверстия	Метод обработки	Размер	Точность (квалитет)	Шероховатость, Ra, мкм
Отв. Ø20 H7	Сверление	17,5	11	6,3
	Зенкерование	19,8	9	3,2
	Развертывание	20 H7	7	2,5
Отв. Ø 19,8 H9	Сверление	17,5	11	6,3
	Зенкерование	19,8	9	3,2
	Сверление	17,5	11	6,3
Отв. Ø 20	Резьбонарезание	M20	7H	6,3
	Зенкерование	30	10	3,2
Отв. Ø 30	Сверление	8,4	11	6,3
Отв. Ø 8,4	Сверление	8,4	11	6,3
Отв. M10	Резьбонарезание	M10	7H	6,3



В соответствии с намеченным планом обработки выбираем режущий инструмент, размещаем его по позициям револьверной головки и для каждого инструмента закрепляем номер коррекции (табл. 5.4).

Так как станок имеет шестишпиндельную револьверную головку, а для выполнения операции требуется 8 режущих инструментов, то два из них придется менять вручную.

Таблица 5.4. **Применяемые инструменты**

№ пп.	Наименование инструмента	Диаметр, мм	№ позиции	№ коррекции	Примечание
1	Центровочное	6	1	1	
2	Сверло	17,5	2	2	
3	Сверло	8,4	2	3	
4	Зенкер	19,8	3	4	
5	Зенковка	30	5	7	После смены инструмента
6	Развертка	20H7	4	6	
7	Метчик	M10	6	8	
8	Метчик	M20	6	9	

Расчет режимов резания для станков с ЧПУ выполняется, в основном, так же, как для универсальных станков с ручным управлением, поэтому в данном пособии не приводится, а результаты расчетов приведены в табл. 5.5.

Таблица 5.5. **Режимы резания**

Наименование перехода	Режим обработки			
	Подача		Частота вращения	
	S, мм/мин	Код	n, мин <sup>-1</sup>	Код
Зацентровка отверстий	200	F14	800	S10
Сверление отв. Ø 17,5	80	F10	400	S08
Зенкерование отв. Ø 19,8	125	F12	200	S06
Нарезание резьбы M 20	20	F04	71	S03
Развертывание отв. Ø 20H7	25	F05	71	S03
Зенкерование отв. Ø 30	125	F12	140	S05
Сверление отв. Ø 8,4 под резьбу M10	125	F12	800	S10
Нарезание резьбы M10	20	F04	71	S03



Обрабатываемые отверстия нумеруются в последовательности их зацентровки и другой обработки исходя из условий минимизации перемещений позиционирования.

В табл. 5.6 приведена управляющая программа обработки детали, представленной на рис. 5.2. Программа позволяет установить на программных переключателях величины, учитывающие как длину инструмента, так и расстояние от верхнего исходного положения револьверной головки до верхней плоскости детали (сумма координаты  $R$  и коррекции на длину инструмента), при этом величина координаты  $R$  в управляющей программе равна нулю, а величина координаты  $Z$  программируется согласно чертежу (глубина отверстия). Кроме значения кодируемой информации, в табл. 5.6 дополнительно указаны номера обрабатываемых отверстий. В числовой информации программы нули перед первыми значащими цифрами опущены.

#### *Пояснения к содержанию управляющей программы*

:1 – задание постоянного цикла сверления (G81); выбор инструмента (T1); установление режима резания  $n=800$  об/мин (S10) и  $S=200$  мм/мин (F14); закрепление за первым инструментом корректора 1 (L1); зацентровка отверстия с координатами  $X_0, Y_0$  на глубину 6 мм (Z 600);

N2–N8 – зацентровка следующих отверстий;

N9 – задание цикла G51, по которому револьверная головка после обработки возвратится в исходное положение, где только и возможна автоматическая смена инструмента; обработка отверстия с координатами  $X=50 Y=60$ ;

N10 – задание постоянного цикла сверления G81; выбор инструмента (T2); установление режима резания  $n=400$  об/мин (S8),  $S=80$  мм/мин (F10); закрепление за вторым инструментом корректора (T2), сверление отверстия с координатами  $X=0, Y=0$  на длину 90 мм (с учетом перебега) и т. д.



Таблица 5.6. Управляющая программа

Номер отв.	Значение кодируемой информации
0	:1 G81 T1 S10 F14 L1 R0 Z600 X0 Y0 ПС
1	N2 Y7000 ПС
2	N3 X-1000 Y6000 ПС
3	N4 Y-6000 ПС
4	N5 X0 Y-7000 ПС
5	N6. Y11000 Y-6000 ПС
6	N7 X9000 Y2000 ПС
7	N8 Y600 ПС
8	N9 G51 X5000 ПС
0	:10 G81 T2 S8 F10 L2 R0 Z9000 X0 Y0 ПС
1	N11 Y7000 ПС
2	N12 X-11000 Y6000 ПС
3	N13 Y-6000 ПС
4	N14 X0 Y-7000 ПС
5	N15 G51 X11000 Y-6000 ПС
5	:16 G81 T3 S6 F12 L4 R0 Z9000 X11000 Y-6000 ПС
0	N15 G51 X11000 Y-6000 ПС
5	:16 G81 T3 S6 F12 L4 R0 Z9000 X11000 Y-6000 ПС
4	N17 X0 Y-7000 ПС
3	N18 X-11000 Y-6000 ПС
2	N19 Y6000 ПС
1	N20 G51 X0 Y7000 ПС
0	:21 G54 T6 S3 F4 L9 R0 Z3500 X0 Y0 ПС
2	:22 G81 T4 S3 F5 L6 R0 Z9000 X-11000 Y6000 ПС
3	N23 Y-6000 ПС
5	N24 G51 X11000 ПС
5	:25 G82 T5 S5 F12 L7 D1 R0 Z1000 X11000 Y-6000 ПС
3	N26 X-11000 ПС
2	N27 G52 Y6000 ПС
	N28 M6 (Смена инструмента) ПС
6	:29 G60 G81 T2 S10 F12 L3 X9000 Y2000 R0 Z3000 ПС
	N30G66 G80 R3000 Z6400 ПС
	:31 R0 ПС
7	N32 G60 G81 Y6000 Z3000 ПС
	N33 G66 G81 R3000 Z6400 ПС
	:34 R0 ПС
8	N35 G60 G91 X5000 Z2800 ПС
	N36 G66 G80 R2800 Z5600 ПС
	:37 R0 ПС
	N38 G51 R5600 Z8400 ПС
7	:39 G84 T6 S3 F4 L8 X9000 R0 Z5600 Y6000 ПС
6	N40 G54 Y2000 ПС
	N41 M02 ПС



## 5.2. Программирование обработки заготовок на токарновинторезном станке модели 16К20Ф3С32

Токарный патронной-центровой станок модели 16К20Ф3С32 предназначен для обработки наружных и внутренних поверхностей деталей типа тел вращения со ступенчатым и криволинейным профилем различной сложности в один или несколько проходов в замкнутом полуавтоматическом цикле.

### *Техническая характеристика станка*

Максимальный диаметр заготовки над станиной, мм	400
Максимальный диаметр заготовки над суппортом, мм	220
Максимальная высота резца, мм	25
Максимальная длина заготовки, мм	1000
Регулирование скорости вращения шпинделя	бесступенчатая
Пределы частоты вращения шпинделя, об/мин	22,4–2240
Диапазоны частоты вращения шпинделя, об/мин	
1	22,4–355
2	63–900
3	160–2240
Регулирование подач	бесступенчатая
Пределы программируемых подач	
продольных, мм/об	0,01–40
поперечных, мм/об	0,005–20
Максимальная скорость рабочей подачи, мм/мин, (мм/об)	
продольной	200(2,8)
поперечной	100(1,4)
Дискретность перемещений, мм	
продольное	0,01
поперечное	0,005
Пределы шагов нарезаемых резьб, мм	0,01–40,95
Количество позиций автоматической поворотной головки	6
Предельный диаметр сверления, мм	
Чугун	28
Сталь	25



## Система кодирования и порядок построения кадра

Станок оснащен устройством ЧПУ 2P22, которое предусматривает возможность ввода в память программы на обработку детали с пульта управления или с программоносителя. В качестве программоносителя используется 8- дорожковая бумажная лента шириной 25,4 мм или магнитная лента.

Программа обработки включает ряд кадров, каждый из которых состоит из переменного числа слов; причем любое слово может отсутствовать, кроме слова «Конец кадра». Слова состоят из буквы, называемой адресом, и следующей за ней группы цифр; нули в старших разрядах можно опускать, адрес E записывается без числовой информации. Слова в кадре записываются в произвольном порядке. В одном кадре нельзя программировать два слова одного адреса.

Значение символов адресов должны соответствовать табл. 5.7

Таблица 5.7. Коды символов для устройства ЧПУ токарно-винторезного станка

Символ	Значение символа
A	Припуск под чистовую обработку
B	С какого кадра повторение
C	Фаска под углом 45°
D	Выдержка времени.;
E	Функция подачи (быстрый ход)
F	Функция подачи (рабочая подача)
H	Число повторений
L	Цикл
M	Вспомогательная функция
N	Номер кадра
P	Глубина резания, ширина резца
Q	Галтель
R	Дуга
G	Подготовительная функция
S	Скорость глазного движения
T	Функция инструмента
U	Перемещение по оси X в приращениях
W	Перемещение по оси Z в приращениях
X	Перемещение по оси X в абсолютных значениях
Z	Перемещение по оси Z. В абсолютных значениях
ПС	Конец кадра (ПС)



Величины перемещений могут задаваться в абсолютных или относительных координатах с точностью до 0,001 мм с программированием десятичной точки, если программа вводится с пульта управления устройства. Дискретность задания для программы, набранной на перфоленте – 0,001 мм.

Величина подачи рабочего органа задается по адресу F в миллиметрах на оборот. В цикле резьбонарезная по адресу F задается шаг резьбы.

Время выдержки программируется отдельным кадром под адресом D с точностью до 0,001 с.

Частота вращения шпинделя задается по адресу S, например, S2–250, «минус» означает вращение шпинделя по часовой стрелке (если «минус» отсутствует, то вращение против часовой стрелки); 250 – частота вращения шпинделя, об/мин.

Для программирования обработки могут использоваться следующие технологические команды группы M:

M00 – программируемый останов;

M01 – останов с подтверждением;

M02 – конец программы;

M08 – включение охлаждения;

M09 – выключение охлаждения;

M17 – конец описания детали для циклов L8, L9, L10;

M18 – конец участка программы, который будет повторяться в цикле L11,

M20 – передача управления роботу.

Из подготовленных команд устройство 2P22 реализует только команды G05, G10, G11. Команда G05 используется в тех кадрах программы, после отработки которых не следует производить торможение (при сопряжении контуров). Команда G10 задается перед кадрами, где необходимо поддерживать постоянство скорости резания при изменяющемся диаметре обработки. Команда G11 отменяет действие команд G10. Команды G10 и G11 программируются отдельными кадрами.

Номер инструмента записывается по адресу T. Количество инструментов 12.

Устройство реализует следующий формат адресов:



N03. X+043. Z+043. W+043. U+043. F023. T2. M2. S1-4. D043.  
C+043. Q+043. R+043. B3. H3. L2. P11. A11. E. G2 ПС

### *Программирование обработки фасок, дуг, галтелей*

Фаска под углом  $45^\circ$  задается адресом С со знаком и конечным размером по той координате, по которой идет обработка детали перед фаской. Знак по адресу «С» должен совпадать со знаком обработки по координате X. Направление по координате Z задается только в отрицательную сторону.

Примеры записи фасок в кадре для наружной обработки:

U20 C5 (рис. 5.3)

Z-15 C5 (рис. 5.5)

X30 C5 (рис. 5.4)

W-15 C5 (рис. 5.5)

и для внутренней обработки: -

Z-15 C-5 (рис. 5.6.)

U-20 C-5 (рис. 5.7)

W-15 C-5 (рис. 5.6) X10 C-5 (рис. 5.8)

Галтель задается адресом Q со знаком и конечным размером по той координате, по которой идет обработка детали перед галтелью. Знак по адресу Q должен совпадать со знаком обработки по координате X. Направление по координате Z указывается только в отрицательную сторону.

Примеры записей галтелей в кадре:

Z-15 Q5 (рис. 5.9.)

X 20 Q-5 (рис. 5.11)

X40 Q7 (рис. 5.10.)

Z10 Q-5 (рис. 5.12)

Для задания дуги указываются координаты конечной точки дуги и радиус по адресу R со знаком. Знак положительный при обработке по часовой стрелке, отрицательный – против часовой стрелки.

Примеры задания дуг в кадре:

U18 W-14 R24 (рис. 5.13)

U-24 W14 R-25 (рис. 5.14)

X50 Z-20 R-15 (рис. 5.15)

Z29 X28 R 30 (рис. 5.16)



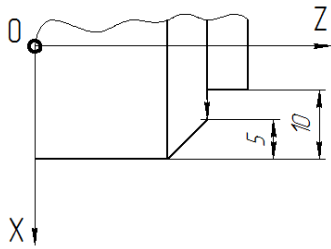


Рис. 5.3

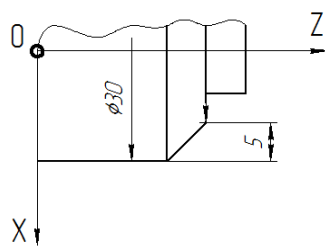


Рис. 5.4

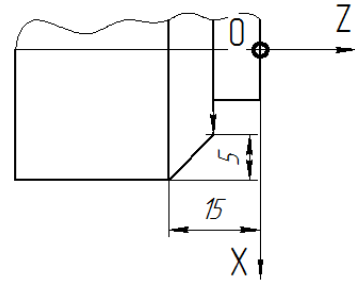


Рис. 5.5

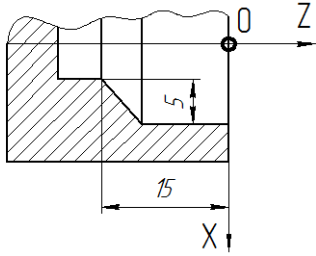


Рис. 5.6

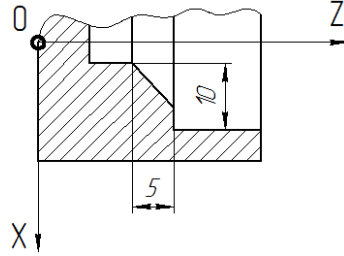


Рис. 5.7

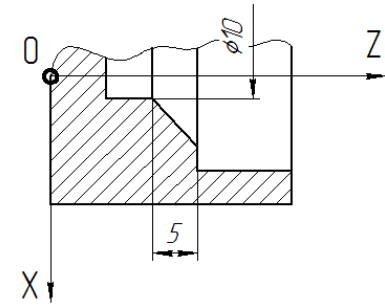


Рис. 5.8

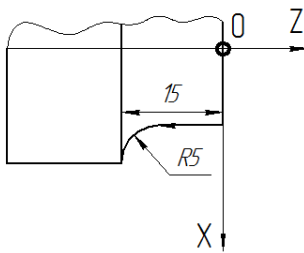


Рис. 5.9

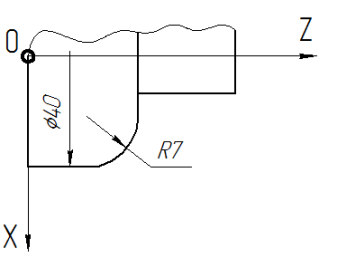


Рис. 5.10

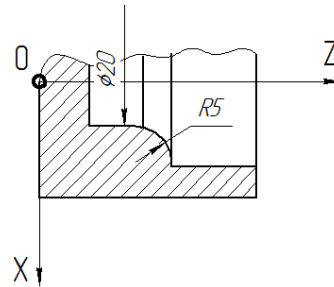


Рис. 5.11

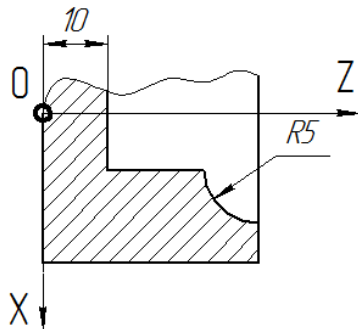


Рис. 5.12

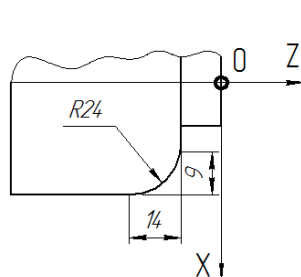


Рис. 5.13

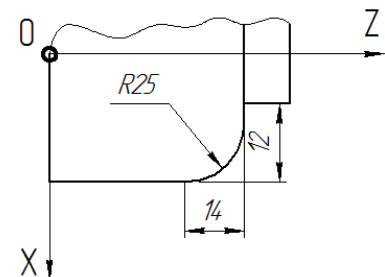


Рис. 5.14

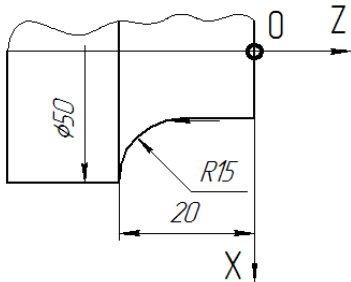


Рис. 5.15

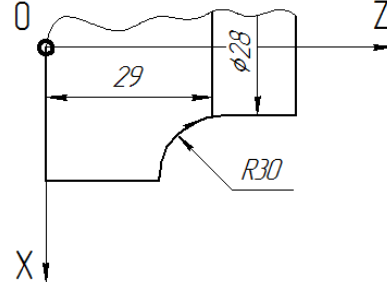


Рис. 5.16



## Программирование постоянных циклов

Устройство 2P22 позволяет организовать и отработать ряд постоянных циклов, что облегчает программирование и упрощает программу. Перечень циклов приведен в табл. 5.8.

Таблица 5.8. Коды постоянных циклов программирования

Постоянный цикл	Функция, выполняемая устройством
L01	Цикл нарезания резьбы наружной, внутренней, цилиндрической, конической, многопроходной,
L02	однопроходной
L03	Цикл прорезания прямоугольных канавок
L04	Цикл «петля» при наружной обработке
L05	Цикл «петля» при внутренней обработке
L06	Цикл «петля» при торцовой обработке
L07	Цикл глубокого сверления
L08	Цикл нарезания резьбы метчиком или плашкой
L09	Цикл черновой обработки с припуском и без при-
L10	пуска
L11	Цикл обработки поковок
	Цикл чистовой обработки
	Цикл повторений участка программы

Содержание постоянных циклов и необходимые для них параметры указаны в табл. 5.9



Таблица 5.9. Содержание постоянных циклов

Номер цикла	Название цикла	Содержание цикла	Параметр
L01	Резьба	Цикл нарезания цилиндрических и конических резьб с автоматическим разделением на проходы	F – Шаг резьбы в миллиметрах W – Длина резьбы X – Внутренний диаметр резьбы A – Наклон резьбы (размер равен приращению диаметров) для конических резьб. Для цилиндрических резьб A=0 P – Максимальная глубина резания за один проход (размер по радиусу) C – C=1 сбег равен шагу резьбы, C=0 сбег отсутствует
L02	Канавка	Цикл прорезания канавок с автоматическим разделением на проходы	D – Выдержка времени в секундах X – Внутренний диаметр канавки A – Ширина канавки P – Ширина резца
L03	Н петля	Цикл наружной обработки по координате с автоматическим отскоком и возвратом на БХ начальную точку	W – Длина петли
L04	В петля	Цикл внутренней обработки по координате Z с автоматическим отскоком и возвратом на БХ в начальную точку	W – Длина петли
L05	Т петля	Цикл обработки по торцу с автоматическим отскоком и возвратом на БХ в начальную точку	X – Конечный диаметр подрезаемого торца



Номер цикла	Название цикла	Содержание цикла	Параметр
L06	Сверление	Цикл глубокого сверления с автоматическим разделением на проход	P – Максимальная глубина сверления за один проход W – Глубина сверления
L07	Резьба	Цикл нарезания резьбы метчиком и плашкой	F – Шаг резьбы в миллиметрах W – Длина резьбы
L08	Ц обработка	Цикл многопроходной обработки из цилиндрической заготовки с автоматическим разделением на проходы	A – Припуск на чистовую обработку. Если обработка последняя, то A=0 (размер на диаметр) P – Максимальная глубина резания за один проход (размер по радиусу)
L09	П обработка	Цикл многопроходной обработки поковок с автоматическим разделением на проходы	A – Припуск на чистовую обработку. Если обработка последняя, то A=0 (размер на диаметр) P – Максимальная глубина резания за один проход (размер по радиусу)
L10	Ч обработка	Цикл чистовой обработки по контуру с заданного	B – Номер кадра начала описания контура детали
L11	Повторение	Цикл повторения заданного участка программы	H – Число повторений B – Номер кадра начала повторения

Цикл L01. Перед программированием цикла L01 необходимо запрограммировать исходную точку цикла. Координата X этой точки должна быть равна наружному диаметру резьбы при наружной резьбе или внутреннему диаметру при внутренней резьбе. Координата Z этой точки должна отстоять от координаты начала резьбы на величину, равную или больше двойного шага резьбы (для обеспечения разгона привода).

При многопроходной обработке резьбы параметр P выбирается меньше глубины резания. При однопроходной обработке



резьбы параметр  $P$  выбирается равным глубине резьбы. Параметр  $A$  программируется без знака, а  $W$  со знаком «минус».

При многопроходной обработке резьбы перед каждым очередным проходом резец смещается по координате  $X$  с тем, чтобы резание происходило одной кромкой резца (режущая кромка с каждым проходом чередуется). Последний проход режется двумя кромками. Величина смещения рассчитана на работу с углом  $60^\circ$ . На последнем витке осуществляется выход резца (резьба со взбегом).

Цикл L02. Перед программированием цикла L02 необходимо запрограммировать исходную точку цикла. Координата  $Z$  исходной точки должна совпадать с координатой левой кромки канавки.

Цикл содержит перемещение на рабочей подаче до координаты  $X$ , выдержку времени (если  $D$  не равно 0), возврат в исходную точку на быстром ходу, смещение по координате  $Z$  в положительную сторону на величину  $P$  и т. д. до достижения ширины канавки величиной  $A$ .

Для обработки канавки с перекрытием параметр  $P$  задается меньше ширины резца, а параметр  $A$  необходимо уменьшить на эту разность.

Для однопроходной канавки параметры  $P$  и  $A$  задаются одинаковыми. Цикл заканчивается отскоком по оси в исходную точку, по оси  $Z$  инструмент остается в точке последнего прохода.

Циклы L03 и L04 содержат перемещение на рабочей подаче на величину  $W$  с учетом знака, отскок на 1 мм (направление отскока зависит от цикла), возврат на быстром ходу в исходную точку.

Цикл L05 содержит перемещение на рабочей подаче по оси  $X$ , отскок на 1 мм по координате  $Z$  в положительную сторону, возврат на быстром ходу в исходную точку.

В процессе обработки по мере изменения диаметра происходит переключение скорости шпинделя с целью поддержания постоянства скорости резания, если до цикла L05 была задана функция G10.



Цикл L06 включает перемещение на рабочей подаче в отрицательную сторону на величину  $P$ , возврат на быстром ходу в исходную точку, перемещение на быстром ходу в точку, отстоящую от точки предыдущего сверления на 3 мм, перемещение на рабочей подаче на величину  $(P+3)$  мм и т. д. до достижения глубины сверления величиной  $W$ .

Цикл L07 содержит перемещение на подаче, равной шагу, на величину  $W$  с учетом знака, реверс шпинделя, возврат в исходную точку на подаче  $F$ .

После выполнения цикла L07 продолжается вращение шпинделя в направлении, противоположном заданному до цикла.

Циклы L08, L09. Перед программированием цикла L08 или L09 необходимо запрограммировать исходную точку цикла.

Для цикла L08 такой точкой является начало заготовки (координата  $X$  равна диаметру заготовки, а координата  $Z$  равна координате  $Z$  начала конечного контура детали).

Для цикла L09 перед программированием исходной точки измеряют максимальный припуск под обработку по всей детали, как по диаметру, так и по длине.

Если учетверенный припуск по длине больше припуска по диаметру, то прибавляют учетверенный припуск по длине к размеру по диаметру, а припуск по длине к координате торца что и будет являться координатой исходной точки цикла.

Если учетверенный припуск по длине меньше, чем припуск по диаметру, то смещение по торцу определяется делением припуска по диаметру на четыре.

Цикл L08 применяется в случаях, когда заготовка детали имеет форму цилиндра. В этом случае обработка ведется параллельно образующей цилиндра.

Частота вращения и подача задаются перед циклом из расчета наименьшего диаметра конечного контура при наружной обработке и наибольшего диаметра при внутренней обработке.

Цикл L09 применяется в случаях, когда заготовка имеет форму, близкую к конечному контуру (например, поковка). В этом случае обработка ведется параллельно конечному контуру детали.



Циклы L08, L09 заканчиваются в конечной точке описания детали. Частота вращения шпинделя не восстанавливается. При обработке конечного контура изменение частоты вращения происходит между кадрами. В случае, если конечный контур детали для цикла L09 начинается с фаски галтели или конуса, необходимо программировать в начале контура условную цилиндрическую ступень длиной, равной расчетной величине припуска по координате Z.

Цикл L10. Перед программированием цикла L10 необходимо запрограммировать исходную точку цикла, координаты которой должны совпадать с координатами начала конечного контура.

Для циклов L08, L09 после ввода последнего параметра необходимо привести описание конечного контура детали. Циклы L08, L09 можно применять при обработке деталей с увеличивающимся (наружная обработка) или уменьшающимся (внутренняя обработка) диаметром. Описание детали может состоять из одного или нескольких кадров, но не более 15. Кадры с фаской и галтелью считаются за два кадра. Признаком окончания описания детали служит функция M17. По этой же функции заканчивается описание контура для цикла L10. Признаком конца участка программы, который будет повторяться в цикле L11, является функция M18. Описание детали производится в сторону шпинделя.

Пример программы с применением цикла L09 к чертежу детали (рис. 5.17). Максимальное отклонение заготовки от готовой детали составляет 5 мм по торцу и 12 мм по диаметру, поэтому перед циклом инструмент необходимо ввести в точку с координатами Z5 ( $0+5=5$ ), X42 ( $22+4 \times 5=42$ ), так как  $5 > 12:4$ .

N001 F0.12 S2 200 T1 ПС

N002 Z5 X42 E ПС

N003 L09 A0 P2,7 ПС

N004 X22 ПС

N005 Z-16 ПС

N006 X 52 W-35 ПС

N007 W-37 M17 ПС

N008 M02 ПС

Описание детали



Если бы максимальное отклонение заготовки от готовой детали составляло 2 мм по торцу и 12 мм по диаметру, то инструмент необходимо было бы вывести в точку с координатами X36 (22+12) и Z3 (12:4=3), так как  $2 < 12:4$ . Вторым кадром приведенной программы для этого примера был бы N 002 Z3 X 36 E. Все другие кадры остались бы прежними. Если в детали по рис.5.17 необходимо сделать фаску в начале размером  $2 \times 15^\circ$ , то программа будет следующей:

```

N001 F0,12 S2 200 T1 ПС
N002 Z5 X42 E ПС
N003 L09 A0 P2,7 ПС
N004 X18 ПС
N005 Z0 ПС
N006 X22 C02 ПС
N007 Z-18 ПС
N008 X 52 W-35 ПС
N009 W-37 M17 ПС
N010 M02 ПС

```

условия: цилиндрическая ступень  
кадр с фаской

Пример программы с применением циклов L08, L10 и чертежа детали рис 5.18).

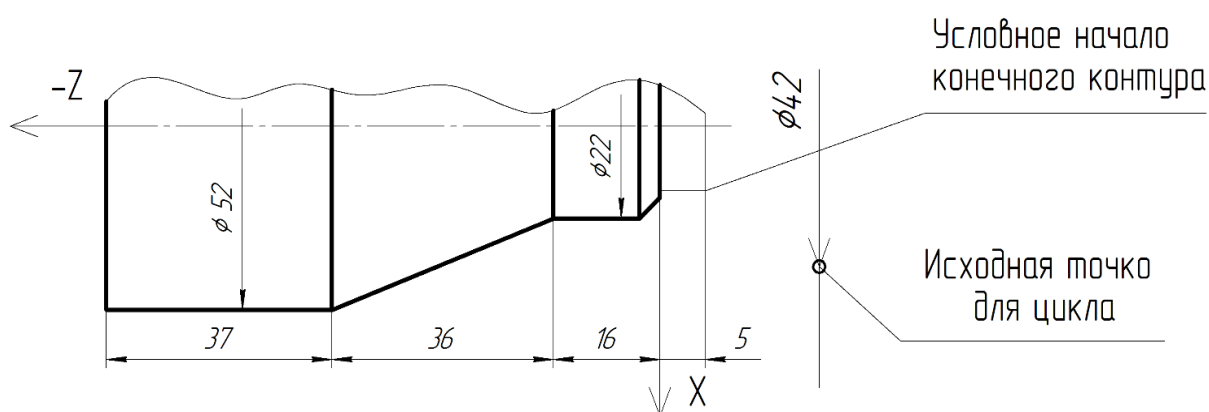


Рис. 5.17. Чертеж детали с применением цикла L09.



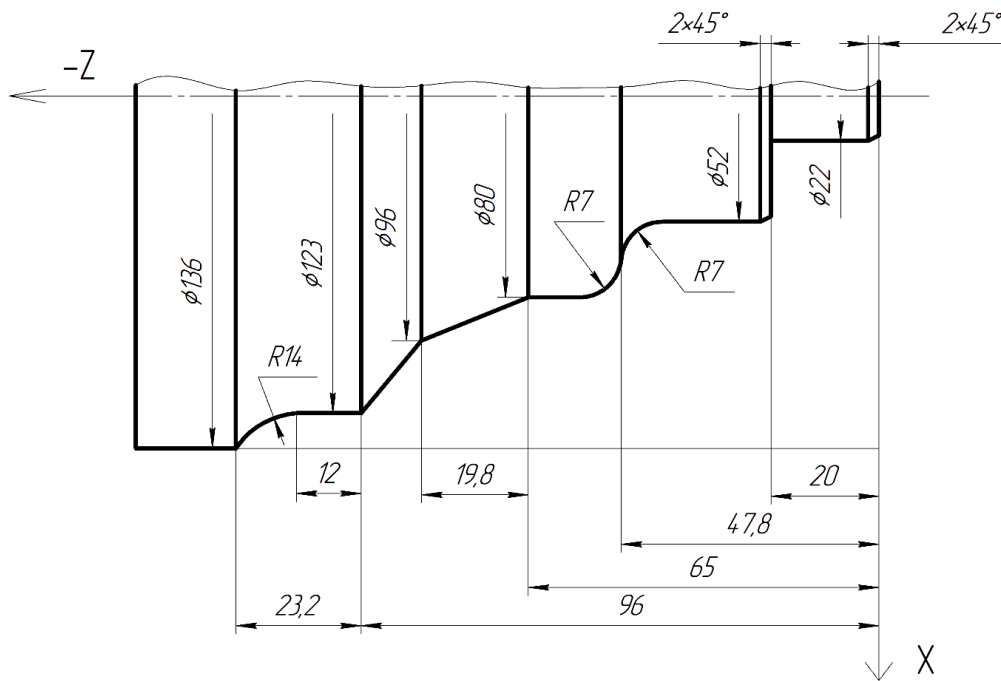


Рис. 5.18. Чертеж детали с применением циклов L08, L10.

N001 F0,12 S2 200 T1 ПС  
 N002 Z0 X173 E ПС  
 N003 L08 A1 P3 ПС  
 N004 X22 C2 ПС  
 N005 Z-20 ПС  
 N006 X52 C2 ПС  
 N007 Z-47,8 Q7 ПС  
 N008 X 80 Q7 ПС  
 N009 Z-65 ПС  
 N010 X96 W-19.8 ПС  
 N011 X123 Z-96 ПС  
 N012 W-12 ПС  
 N013 X136 W-11,2 R-14 M17 ПС  
 N014 F0,1 S2 1000 T1 ПС  
 N015 Z0 E ПС  
 N016 X18 E ПС  
 N017 L10 B4 ПС  
 N018 M02 ПС

описание детали



## Составление программы при вводе с перфоленты

В качестве программоносителя используется 8-дорожковая бумажная лента шириной 25,4 мм. Программирование перфоленты допустимо только в коде ИСО.

Началом программы является набор символов N001, концом программы – набор символов M02 и ПС.

Пример программы для набора на перфоленту (рис. 5.18):

```
N001 F012 S2 200 T1 ПС
N002 Z0 X173000 E ПС
N003 L08 A1000 P3000 ПС
N004 X22000 C02000 ПС
N005 Z-20000 ПС
N006 X52000 C02000 ПС
N007 Z-47800 Q7000 ПС
N008 X 80000 Q7000 ПС
N009 Z-65000 ПС
N010 X96000 W-19800 ПС
N011 X123000 Z-96000 ПС
N012 W-12000 ПС
N013 X136000 W-11200 R-14000 M17 ПС
N014 Z0 E ПС
N015 X18000 E ПС
N016 F100 S2 1000 T2 ПС
N017 L10 B4 ПС
N018 Z1100 ПС
N019 M02 ПС
```



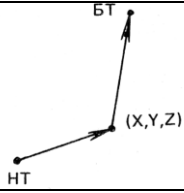
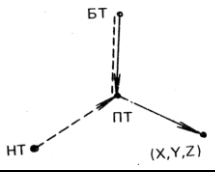
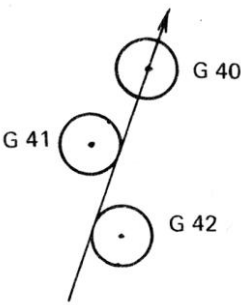


# ПРИЛОЖЕНИЕ

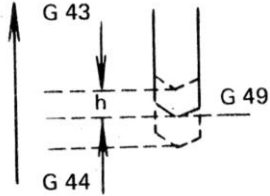
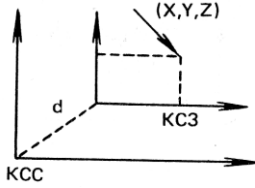
Таблица П1. Подготовительные команды

Наименование	Иллюстрация	Формат
<p>Круговая интерполяция G02, G03 Группа 01</p>		<p>G17 G02 X...          ...Y... <math>\left\{ \begin{array}{l} R... \\ I...J... \end{array} \right\}</math>          ...F...          G17 G03 X...          ...Y... <math>\left\{ \begin{array}{l} R... \\ I...J... \end{array} \right\}</math>          ...F...</p>
		<p>G18 G02 X...          ...Z... <math>\left\{ \begin{array}{l} R... \\ I...K... \end{array} \right\}</math>          ...F...          G18 G03 X...          ...Z... <math>\left\{ \begin{array}{l} R... \\ I...K... \end{array} \right\}</math>          ...F...</p>
		<p>G19 G02 Z...          ...Y... <math>\left\{ \begin{array}{l} R... \\ K...J... \end{array} \right\}</math>          ...F...          G19 G03 Z...          ...Y... <math>\left\{ \begin{array}{l} R... \\ K...J... \end{array} \right\}</math>          ...F...</p>



Наименование	Иллюстрация	Формат
Позиционирование G00 Группа 01		G00 PT ...
Линейная интерполяция G01 Группа 01		G01 PT ... F ...
Пауза G04 Группа 01		$G04 \left\{ \begin{array}{l} P \dots \\ X \dots \end{array} \right\}$
Проверка точного останова G09 Группа 00		$G09 \left\{ \begin{array}{l} G01 \dots \\ G02 \dots \\ G03 \dots \end{array} \right\}$
Возврат к базисной точке G28 Группа 00		G28 X ... Y ... Z ...
Возврат из базисной точки G29 Группа 00		G29 X ... Y ... Z ...
Отмена коррекции инструмента по радиусу G40 Коррекция инструмента по радиусу G41, G42 Группа 07		G40 X ... Y ... G41 X ... Y ... D ... G42 X ... Y ... D ...



Наименование	Иллюстрация	Формат
Отмена коррекции инструмента по длине G49 Коррекция инструмента по длине G43, G44 Группа 08		G49 Z... G41 X... Y... D... G42 X... Y... D...
Выбор координатной системы станка G53 Группа 00		G53 X... Y... Z...
Выбор координатной системы заготовки G54 – G59 Группа 12		$\left. \begin{matrix} G54 \\ G55 \\ \dots \\ G59 \end{matrix} \right\} X... Y... Z...$
Режим точного останова (позиционирования) G61 Группа 13		G61
Вызов подпрограммы G71 Группа 01		G71 P... L...
Возврат из подпрограммы G70 Группа 00		G70 N...
Безусловная передача управления G72 Группа 00		G72 N...




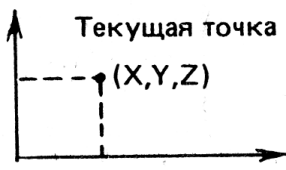

Наименование	Иллюстрация	Формат
<p>Постоянные циклы G73 – G89</p>	 <p>Позиционирование (X,Y) Быстрое перемещение Рабочий ход (сверление) Операция на дне отверстия Возврат до уровня начальной точки Возврат до уровня точки R</p>	<p><math>\left. \begin{matrix} G73 \\ G74 \\ \dots \\ G89 \end{matrix} \right\} X \dots Y \dots Z \dots</math> R...Q...P... F...L...</p>
<p>Задание величины перемещения G90 G91 Группа 03</p>	<p>Относительно начала координат Относительно предыдущей точки</p>	<p>G90... G91...</p>
<p>Задание координатной системы заготовки G92 Группа 00</p>	 <p>Текущая точка (X,Y,Z)</p>	<p>G92 X...Y...Z...</p>
<p>Задание величины подачи G94, G95 Группа 05</p>	<p>мм/мин мм/об</p>	<p>G94F... G95F...</p>
<p>Возврат к начальной плоскости G98 Возврат к плоскости отхода G99 Группа 10</p>	 <p>Начальная плоскость Плоскость отхода R Z</p> <p>G 98 G 99</p>	<p>G98 G99</p>



Таблица П2. Постоянные циклы

Наименование	Иллюстрация	Формат
<p>Шаговое сверление на высокой скорости G93 Группа 09</p>	<p>----- Быстрое перемещение ———— Рабочий ход</p>	<p>G73 X... Y... Z... R... Q... L... F...</p>
<p>Нарезание левой резьбы G94 Группа 09</p>	<p>Вращение шпинделя по часовой стрелке и против</p>	<p>G74 X... Y... Z... R... L... F...</p>
<p>Чистовая расточка G76 Группа 09</p>	<p>Ⓟ Пауза</p>	<p>G76 X... Y... Z... R... Q... L... P... F...</p>
<p>Сверление отверстий G81 Группа 09</p>		<p>G81 X... Y... Z... R... L... F...</p>
<p>Зенкование G82 Группа 09</p>	<p>Ⓟ Пауза</p>	<p>G82 X... Y... Z... R... P... L... F...</p>
<p>Пошаговое сверление G83 Группа 09</p>		<p>G83 X... Y... Z... R... Q... L... F...</p>



Наименование	Иллюстрация	Формат
<p>Нарезание правой резьбы G84 Группа 09</p>		<p>G84X...Y...Z... R...F...</p>
<p>Цикл расточки G85 Группа 09</p>		<p>G85X...Y...Z... R...L...F...</p>
<p>Циклы расточки G86, G87, G89 Группа 09</p>		<p>G86X...Y...Z... R...L...F... G87X...Y...Z... R...Q...L...F... G89X...Y...Z... R...P...L...F...</p>



## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **Барабанов, Н.В.** Базовое программное обеспечение системы ЧПУ «Электроника МС 2101.02» / Н.В. Барабанов, А.А. Мозгин, В.С. Петровский // Электронная промышленность, 1985. – Вып. 4–5.
2. **Мини-** и микро-ЭВМ в управлении промышленными объектами / Л.Г. Филиппов и [и др.]; пер. с рум. Э. Дятку / под общ. ред. И.Р. Фрейдзона, Л.Г. Филиппова. – Л.: Машиностроение, 1984.
3. **Микропроцессорные** системы управления в робототехнике: сб. статей. – М.: Наука, 1984.
4. **Мозгин, А.А.** Встраиваемая мультизадачная операционная система реального времени / А.А. Мозгин // Электронная промышленность, 1985. – Вып. 4–5.
5. **Программные** средства оперативной диагностики системы ЧПУ «Электроника МС 2101.02» / А.А. Мозгин [и др.] // Электронная промышленность, 1985. – Вып. 4–5.
6. **Никитюк, Н.М.** Микропроцессоры и микро-ЭВМ. Применение в приборостроении и научных исследованиях / Н.М. Никитюк. – М.: Энергоиздат, 1981.
7. **Однокристалльные** микрокомпьютеры в системах управления / В.П. Захаров [и др.]; под ред. В.П. Захарова. – Киев: Техника, 1984.
8. **Прангишвили, И.В.** Микропроцессоры и локальные сети микро-ЭВМ в распределенных системах управления / И.В. Прангишвили – М.: Энергоатомиздат, 1985.
9. **Серебеницкий, П.П.** Программирование для автоматизированного оборудования / П.П. Серебеницкий. – М.: Высш. шк., 2003. – 592 с.
10. **Сосонкин, В.Л.** Микропроцессорные системы числового программного управления станками / В.Л. Сосонкин. – М.: Машиностроение, 1985.
11. **Управляющие** системы промышленных роботов / Ю.Д. Андрианов [и др.]; под общ. ред. И.М. Макарова, В.А. Чиганова. – М.: Машиностроение, 1984.



12. **Тимофеев, П.А.** Микро-ЭВМ в системах управления оборудованием / П.А. Тимофеев, В.С. Дубровин, В.С. Петровский. – М.: Высш. шк., 1988. – 128 с.



## СОДЕРЖАНИЕ

Введение	3
1. Этапы подготовки управляющих программ	5
1.1. Структура технологического процесса	5
1.2. Системы координат, используемые при программировании	6
2. Структура УП и её формат	22
2.1. Код ISO-7BIT	23
2.2. Система команд оборудования с ЧПУ	23
2.3. Задание параметров обработки	28
2.4. Подготовительные команды	31
2.4.1. Типы интерполяции	31
2.4.2. Характеристики команд с адресом G	31
2.5. Вспомогательные команды	45
3. Расчет элементов контура детали и траектории инструмента	47
3.1. Формирование траектории обработки	47
3.2. Разработка расчетно-технологической карты (РТК)	54
3.3. Особенности расчета траекторий инструмента	56
3.3.1. Расчет координат опорных точек на контуре детали	57
3.3.2. Расчет координат опорных точек на эквидистанте	61
3.4.3. Сопряжение эквидистантных контуров	63
3.3.4. Особенности расчетов на ЭВМ	69
4. Технологическая документация	71
4.1. Справочная документация.	71
4.2. Сопроводительная документация.	74
5. Программирование обработки для сверлильных и токарных станков с ЧПУ.	77
5.1. Программирование обработки деталей для вертикально-сверлильного станка с ЧПУ мод. 2P135Ф2-1	77
5.1. Программирование обработки заготовок на токарновинторезном станке мод. 16K20Ф3С32	89
Приложение	103
Библиографический список	109



БЕКТАШОВ Дмитрий Алиевич  
ВЛАСОВ Алексей Михайлович

**ОСНОВЫ ПРОГРАММИРОВАНИЯ СТАНКОВ С ЧПУ**  
Учебное пособие

Редактор Н.Н. Ярцева  
Компьютерная верстка А.М. Власов

Подписано в печать 16.01.2018. Формат 60x84 1/16.  
Печать плоская. Усл. печ. л. 6,51. Уч.-изд. л. 7,0. Тираж 50 экз. Заказ №  
ФГБОУВО «Ивановский государственный энергетический университет  
имени В.И.Ленина»

Отпечатано в УИУНЛ ИГЭУ  
153003, г. Иваново, ул. Рабфаковская, 34.

