

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Курганский государственный университет»

Кафедра «Автоматизация производственных процессов»

## **РАЗРАБОТКА УПРАВЛЯЮЩИХ ПРОГРАММ ОБРАБОТКИ ДЕТАЛЕЙ НА СТАНКАХ С ЧПУ**

Методические указания к практическим занятиям  
по дисциплинам «Программное управление технологическим оборудованием»,  
«Технические средства автоматизации и управления»  
для студентов направлений

15.03.04 – «Автоматизация технологических процессов и производств»

27.03.04 – «Управление в технических системах»

Курган 2020

Кафедра автоматизации производственных процессов

Дисциплины: «Программное управление технологическим оборудованием»,  
«Технические средства автоматизации и управления»

Составил: канд. техн. наук, доцент Н. Б. Сбродов

Утверждены на заседании кафедры «12» декабря 2019 г.

Рекомендованы методическим советом университета «14» марта 2019 г.

## **ВВЕДЕНИЕ**

Разработка управляющей программы (УП) для станка с ЧПУ – завершающий этап проектирования операционного технологического процесса. На этом этапе решаются следующие задачи:

- дальнейшая детализация технологической информации;
- ее формализованное представление;
- запись на входном языке устройства ЧПУ.

Первая из перечисленных задач сводится к выбору координатных систем и фиксации их в рабочем пространстве станка, формированию траекторий инструментов и расчету координат опорных точек, корректировке расчетных режимов резания в соответствии с ограничениями станочных приводов.

Вторая задача связана с распределением памяти устройства ЧПУ, отводимой для хранения значений переменных (формальных параметров), используемых в УП: адресов инструментов в станочном накопителе, параметров коррекции их положения и размеров, смещений рабочих координатных систем, погрешностей базовых элементов приспособлений, режимов резания и др.

Третья задача - это написание кода УП в соответствии с ограничениями входного языка устройства ЧПУ. В качестве языка для разработки УП, как правило, используют язык ISO-7.

Целью практических занятий по указанным выше дисциплинам является освоение методики проектирования управляющих программ, изучение типовых приемов и получение практических навыков в программировании обработки деталей на станках с ЧПУ. В качестве базового станка выбран многооперационный станок с ЧПУ модели VM501ПМФ4, оснащенный устройством ЧПУ модели NC210 [1].

### **1 ОСНОВНЫЕ СВЕДЕНИЯ О ЯЗЫКЕ ПРОГРАММИРОВАНИЯ ISO-7**

Входной язык устройства ЧПУ NC210 – язык ISO-7 (язык G-кодов) предоставляет пользователю широкие возможности для составления компактных управляющих программ. Среди таких возможностей следует отметить:

- практически неограниченное число рабочих координатных систем, выбираемых пользователем для удобства программирования;
- возможность построения циклических программ и программ с условными переходами;
- возможность использования подпрограмм;
- возможность использования переменных (формальных параметров);
- программное присвоение значений переменным, наличие математических операций над ними.

#### **1.1 Основные элементы управляющих программ**

Программа состоит из последовательности кадров, которые позволяют

описать цикл обработки. Каждый кадр – это последовательность информационных слов, определяющих операции, которые необходимо выполнить.

Слово состоит из адреса, за которым следует цифровое значение. Адрес представлен буквой, которая определяет тип инструкции (команды). Все цифровые значения, которые записаны за адресом, выражены своей системой измерения. В общем случае нули в начале и в конце могут быть опущены. Если величины имеют десятичную часть, она должна быть записана после десятичной точки.

**Пример:** G1 X50.5 Y-3.15 F200 T1.1

Каждый кадр должен заканчиваться символом LF. Максимальная длина кадра - 128 символов.

В языке можно определить четыре типа кадров:

- 1) комментирующие кадры;
- 2) кадры ISO;
- 3) кадры назначения;
- 4) кадры с трехбуквенными кодами.

Комментирующий кадр дает возможность программисту вводить в программу фразы, описывающие функции, которые он должен выполнить, делая, таким образом, программу более легко читаемой. Такой кадр не выдает послышки оператору и не учитывается УЧПУ в стадии выполнения программы. Формат состоит из последовательности алфавитно-цифровых символов, из которых первым элементом в обязательном порядке должен быть символ «;».

**Пример:** ; - ЭТО УПРАВЛЯЮЩАЯ ПРОГРАММА  
ОБРАБОТКИ ВАЛА СТУПЕНЧАТОГО 123-79

Кадры ISO – это кадры, слова которых предусмотрены стандартом ISO. Это основной вид кадров в программе, описывающий процесс обработки детали.

**Пример:** N23 G1 X500 Y20 F200

Кадры назначения непосредственно из программы пользователя позволяют определить величину нескольких глобальных параметров системы. Впоследствии эти параметры могут быть использованы в других кадрах того же или другого класса.

Кадры с трехбуквенными кодами – это кадры, в которых тип операции, выполнение которой предусмотрено, определен трехбуквенной командой (кодом).

**Пример:** N50 (URT,45).

Все кадры, кроме комментирующего, могут иметь в начале три дополнительных поля, независимо от класса, к которому принадлежит кадр. А именно:

- поле подтверждения кадра и выведения его из рабочего состояния;

- поле метки;
- поле номера кадра.

Они могут присутствовать в кадре поодиночке или одновременно.

Поле подтверждения кадра и выведения его из рабочего состояния позволяет включить в программу кадры, выполнение которых зависит от параметра системы, названного USB. Если параметр является активным (равен «1»), кадр выполняется, в противном случае кадр рассматривается как комментирующий. Формат устанавливается знаком «/» в первой позиции кадра.

**Пример:** /N100G00X100

Поле метки позволяет дать символическое название кадру, которому оно принадлежит. Метка служит для возможности вызова кадра из различных точек программы при помощи инструкций перехода. Метка – это алфавитно-цифровая последовательность символов, заключенная в знак «» (кавычки), максимальная длина которой – шесть символов. Метка должна быть запрограммирована сразу же после поля «/», если оно присутствует.

**Пример:** «START»

Поле номера кадра служит для нумерации одиночных кадров программы. Номер кадра устанавливается символом «N», за которым следует число. Номер кадра должен быть запрограммирован в начале каждого кадра, но после символа «/» и метки (если они имеются).

**Пример:** N125  
«START» N1

## 1.2 Системы координат

Расположение осей координат в станках с ЧПУ совпадает с направлением перемещений приводов подачи. Стандарт ISO определяет направление осей и их символику. За положительное направление оси считается то, при котором инструмент и деталь отходят друг от друга, независимо, что при этом будет двигаться (рисунок 1).

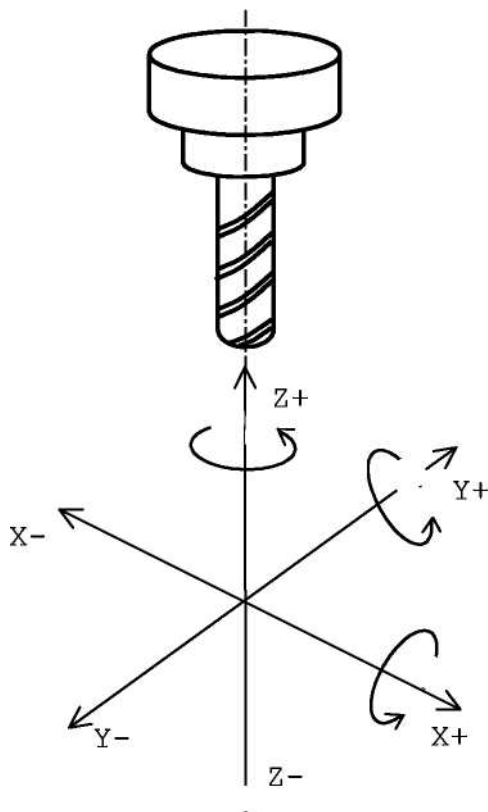
Оси X, Y, Z называются первичными. Ось Z является осью рабочего шпинделя. Углы поворота вокруг первичных осей обозначаются A, B, C (соответственно для поворота вокруг осей X, Y, Z).

Начало станочной координатной системы соответствует «нулевым» показаниям датчиков положения рабочих органов станка. Как правило, рабочие органы станка находятся при этом в своих «крайних» положениях.

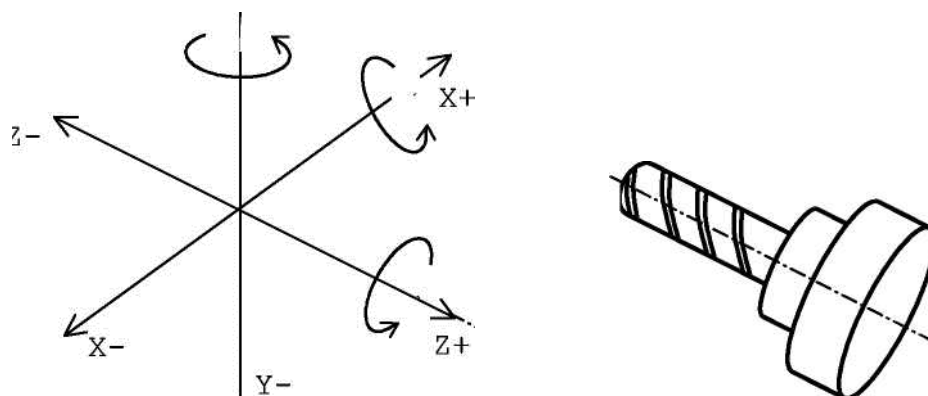
Современные УЧПУ, в т.ч. NC210, позволяют пользователю вводить большое количество дополнительных рабочих координатных систем, привязывая их начало (исходные точки) к базовым элементам зажимных приспособлений, к элементам обрабатываемой детали, относительно которых проставлены размеры на чертеже и т.п. Все это необходимо для облегчения расчета размер-

ных перемещений и удобства программирования.

Вводя с клавиатуры УЧПУ NC210 трехбуквенный код ORA, относящийся к сконфигурированным осям станка, например: ORA, n, Z..., X...; можно определить максимально 100 абсолютных исходных точек (от 0 до 99). Исходные точки можно активизировать из программы трехбуквенным кодом UAO.



а) вертикальный шпиндель



б) горизонтальный шпиндель

Рисунок 1 – Расположение координатных осей

Оператор UAO выбирает одну из абсолютных начальных точек, ранее определенных командой ORA. Формат: (UAO, n),

где  $n$  - определяет номер начальной точки, которую надо выбрать.

**Пример:** (UАО,1) - активизируется абсолютная начальная точка 1.

При включении питания или после команды «Сброс» автоматически активизируется нулевая начальная точка.

Кроме абсолютных исходных точек, используя трехбуквенный код UOT, в программе можно определить бесконечное количество временных исходных точек, привязанных к любой из абсолютных. Оператор UOT выбирает абсолютную начальную точку, объявленную в кадре, изменяя ее временно на величину, равную запрограммированной.

Формат: (UOT, $n$ ,VAR-1 [,VAR-2. . .VAR- $n$ ] ),

где  $n$  - имеет то же значение, что и для оператора UАО;

VAR-1...VAR- $n$  – операнд типа «ось-размер» (значение, приданное ему, рассматривается как корректировка, к которой надо прибавить значение, содержащееся в абсолютной начальной точке для той оси. Для необъявленных осей остается в силе текущая начальная точка.

**Пример** (рисунок 2):

(UАО,0) – активизируется абсолютная начальная точка 0.

..... – часть программы, отнесенная к абсолютной начальной точке 0 для всех осей.

(UOT,0, X100, Y100) – вводится временная начальная точка 1, смещенная на 100 мм по оси X и на 100 мм по оси Y относительно абсолютной начальной точки 0.

.....

(UАО,1) – активизируется абсолютная начальная точка 1.

(UOT,1, X-250, Y50) – вводится временная начальная точка 3 с корректировками X-250 и Y50 по отношению к абсолютной начальной точке 1.

.....

.....

(UАО,0) – активизируется абсолютная начальная точка 0 для всех осей.

### 1.3 Программирование координатных перемещений

Координатные перемещения программируются словами X, Y, Z, задающими движение подач станка в направлениях, соответствующих координатных осей. Цифровая часть слова определяет координату конечной точки программируемого участка траектории в установленной координатной системе (если задана подготовительная функция G90) или величину перемещения (со знаком) по соответствующей оси (если задана подготовительная функция G91, определяющая режим программирования «в приращениях»).

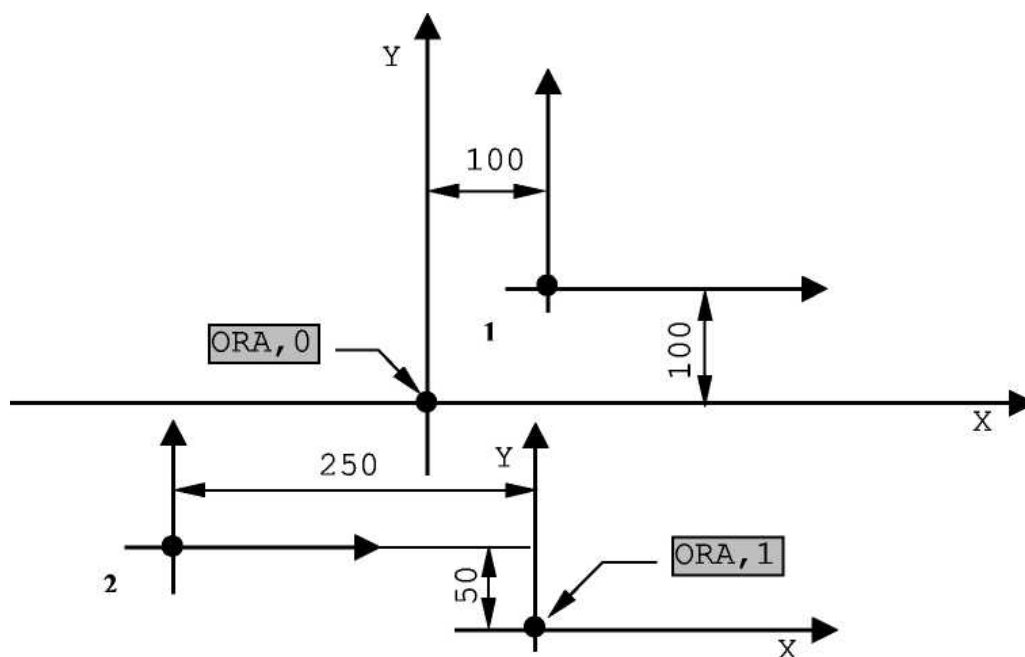


Рисунок 2 – Изменение системы отсчета координатных осей

Координаты и перемещения задаются в миллиметрах от + (-) 0.0001 до + (-) 99999.9999. Вращательные движения программируются от + (-) 0.0001 до + (-) 99999.9999 градусов.

Кроме указания координатных осей при программировании используются подготовительные G-функции (таблица 1)

Таблица 1 – Основные подготовительные функции, используемые при программировании координатных перемещений

Группа функции	G-функция	Назначение
1	G0	Движение в режиме позиционирования (на скорости быстрых ходов)
	G1	Движение по прямой на рабочей подаче (линейная интерполяция)
	G2	Движение по окружности по часовой стрелке (круговая интерполяция)
	G3	То же против часовой стрелки
2	G4	Выдержка времени в конце кадра
1	G33	Нарезание резьбы с постоянным или переменным шагом
3	G40	Отмена компенсации (коррекции) радиуса инструмента



Продолжение таблицы 1

3	G41	Компенсация (коррекция) радиуса инструмента (инструмент слева)
	G42	Компенсация (коррекция) радиуса инструмента (инструмент справа)
4	G80	Отмена постоянных циклов
	G81	Постоянный цикл сверления
	G82	Постоянный цикл растачивания
	G83	Цикл глубокого сверления (с разгрузкой стружки)
	G84	Постоянный цикл нарезания резьбы метчиком
	G85	Постоянный цикл рассверливания
	G86	Постоянный цикл развертывания
	G89	Постоянный цикл развертывания с остановкой
5	G90	Задание перемещений в абсолютных координатах
	G91	Задание перемещений в относительных координатах («приращениях»)

В одном кадре УП могут быть указаны G-функции, относящиеся к разным группам. Каждая подготовительная функция, однажды указанная в УП, действует до тех пор, пока не будет отменена G-функцией этой же группы.

Тип движения определяется подготовительными функциями G0, G1, G2, G3, G33.

Быстрое позиционирование осей (G0) определяет линейный тип движения, скоординированный по всем осям, запрограммированным в кадре с быстрым ходом.

Линейная интерполяция (G1) определяет линейное одновременное движение, скоординированное по всем осям, которые запрограммированы в кадре, с заданной скоростью обработки.

Формат:

**G1 [ДРУГИЕ G] [ОСИ] [ОПЕРАНД КОРРЕКТИРОВКИ] [СКОРОСТЬ ПОДАЧИ],**

где [ **ОСИ** ] – представлены символом оси и цифровым значением в явной или неявной форме (формальный параметр E);

[**СКОРОСТЬ ПОДАЧИ**] – выражает рабочую скорость (слово F), с которой выполняется движение. В случае отсутствия используется ранее запрограммированная скорость.

Слова, заключенные в квадратные скобки, могут отсутствовать в кадре.

Круговая интерполяция (G2, G3) определяет круговое движение по часовой стрелке (G2) или против часовой стрелки (G3). Это движение является скоординированным и одновременным по всем осям, запрограммированным в кадре с заданной скоростью обработки.

Формат:

**{G2 или G3} [ДРУГИЕ G] [ОСИ] I J [СКОРОСТЬ ПОДАЧИ]  
[ОПЕРАНДЫ КОРРЕКТИРОВКИ],**

где **[СКОРОСТЬ ПОДАЧИ]** – скорость подачи;

**[ ОСИ ]** – представлены символом оси и цифровым значением в явной или неявной форме (формальный параметр E);

**I** и **J** – являются адресными словами, выражающими координаты центра окружности, цифровая часть которых может быть выражена в явной или неявной форме (параметр E) .

Максимальная программируемая дуга – 360 градусов

Возможно программирование дуги менее 360 градусов через задание координат конечной точки и радиуса.

Формат:

**{G2 или G3} [ДРУГИЕ G] [ОСИ] R+ [СКОРОСТЬ ПОДАЧИ]  
[ОПЕРАНДЫ КОРРЕКТИРОВКИ],**

где **[СКОРОСТЬ ПОДАЧИ]** – скорость подачи;

**[ ОСИ ]** – представлены символом оси и цифровым значением в явной или неявной форме (параметр E);

**R** – адресное слово, выражающее радиус дуги окружности, цифровая часть которой может быть выражена в явной или неявной форме (параметр E) ; знак «+» или «-» перед адресным словом R выбирает одно из двух возможных решений: «+» - для дуги до 179.999°; «-» - для дуги от 180° до 359.999°.

Функции постоянных циклов G81 – G89 позволяют программировать ряд операций (сверление, нарезание резьбы метчиком, растачивание и т.д.) без повторения для каждой из них размеров отверстия.

Формат кадра постоянного цикла следующий:

**G8X [ДРУГИЕ G] [R1[R2]] КООРДИНАТА ЦИКЛА [ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ ОПЕРАНДЫ] [СКОРОСТЬ ПОДАЧИ]**

где **[ДРУГИЕ G]** - это подготовительные функции, которые разрешаются программировать в кадре постоянного цикла;

**[R1[R2]]** - это координаты, определенные в явном или неявном виде (параметр E), относящиеся к оси шпинделя; они определяют координаты быстрого позиционирования в плоскости обработки в точке начала обработки и координаты возврата в конце обработки; если R2 отсутствует, то R1 считается конечной координатой;

**КООРДИНАТА ЦИКЛА** - определяет координату глубины отверстия, значение которой выражено в явном или неявном виде (параметр E), и ось, вдоль которой выполняется цикл;

**[СКОРОСТЬ ПОДАЧИ]** - определяется символом «F»; выражает скорость подачи, с которой выполняется обработка отверстия; если отсутствует, то скоростью подачи будет последняя запрограммированная «F»;

**[ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ ОПЕРАНДЫ]** - являются операндами, определяющими параметры частных операций (например, I, J, K для глубокого сверления).

Последовательность движений при постоянных циклах можно представить следующим образом:

- быстрое позиционирование к оси отверстия;
- быстрый подход к плоскости обработки (размер R1);
- перемещение со скоростью рабочей подачи до запрограммированного размера (Z);
- функции цикла на дне отверстия;
- возвращение на быстром ходу или со скоростью рабочей подачи к координате R1 (R2), если координата возврата отличается от координаты подхода R1.

#### 1.4 Примеры программирования перемещений

Пример линейной интерполяции и быстрого позиционирования из точки 1 в точку 2 приведён на рисунке 3.

**Пример линейной интерполяции (в абсолютных координатах G90):**  
N15 G1 G90 X100 Y50 F180.

**Пример линейной интерполяции (в относительных координатах G91):**  
N15 G1 G91 X90 Y40 F180.

**Пример быстрого позиционирования:** N20 G0 G90 X100 Y50.

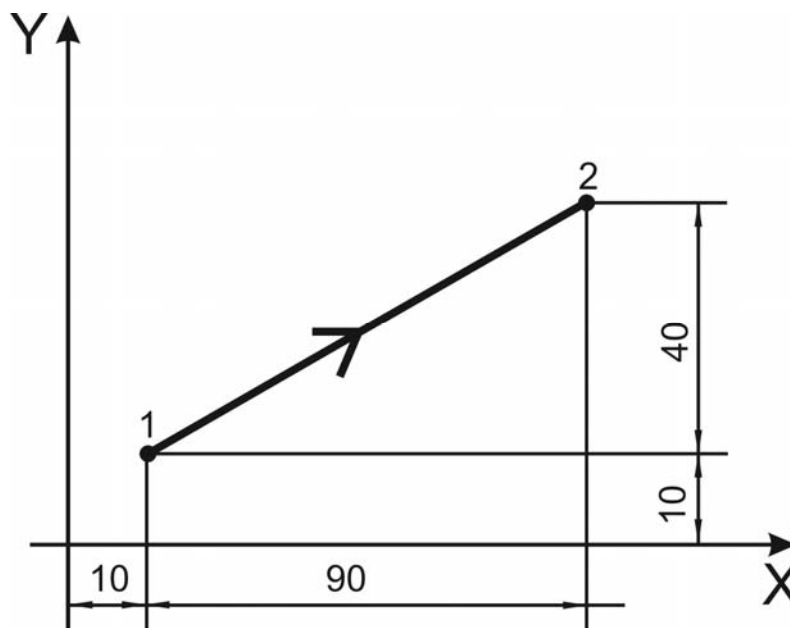


Рисунок 3 – Пример линейной интерполяции

Пример круговой интерполяции приведён на рисунке 4.

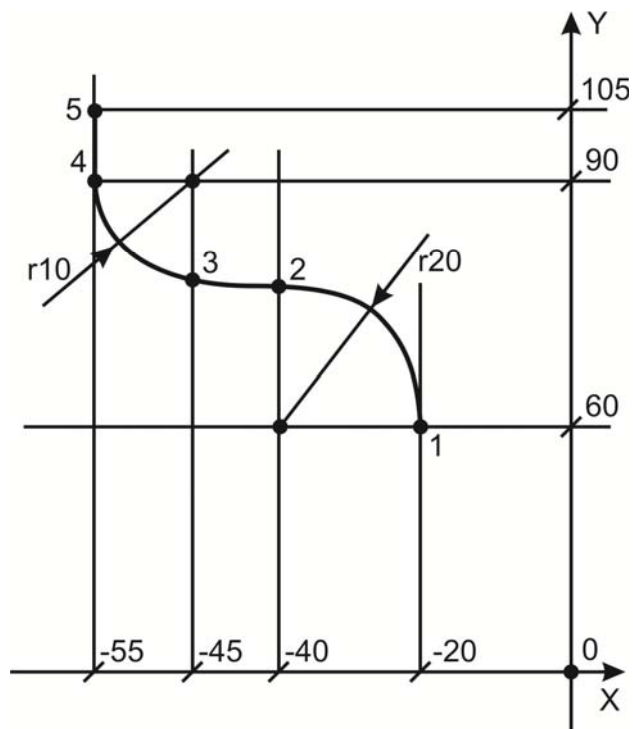


Рисунок 4 – Пример круговой интерполяции

**Пример круговой интерполяции (в абсолютных координатах G90):**

N10 G1 G90 X-20 Y60 F200 – линейное перемещение в точку 1;

N20 G3 X-40 Y80 I-40 J60 – перемещение по дуге 1-2;

N30 G1 X-45 – линейное перемещение в точку 3;

N40 G2 X-55 Y90 I-45 J90 – круговая интерполяция по дуге 3-4;

N50 G1 Y105 – линейное перемещение в точку 5.

**Пример круговой интерполяции (в относительных координатах G91- в «приращениях»):**

N10 G1 G91 Y60 F200 – линейное перемещение в точку 1;

N20 G3 X-20 Y20 I-40 J60 – перемещение по дуге 1-2;

N30 G1 X-5 – линейное перемещение в точку 3;

N40 G2 X-10 Y10 I-45 J90 – круговая интерполяция по дуге 3-4;

N50 G1 Y15 – линейное перемещение в точку 5.

Пример программирования дуги менее 360 градусов через задание координат конечной точки и радиуса приведён на рисунке 5.

G02 G90 X20 Y20 R+20 F100 – перемещение по дуге 1.

G02 G90 X20 Y20 R-20 F100 – перемещение по дуге 2.

Пример применения постоянного цикла сверления G81 показан на рисунке 6.

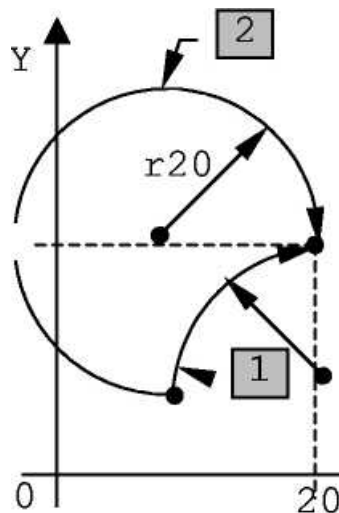


Рисунок 5 – Пример круговой интерполяции

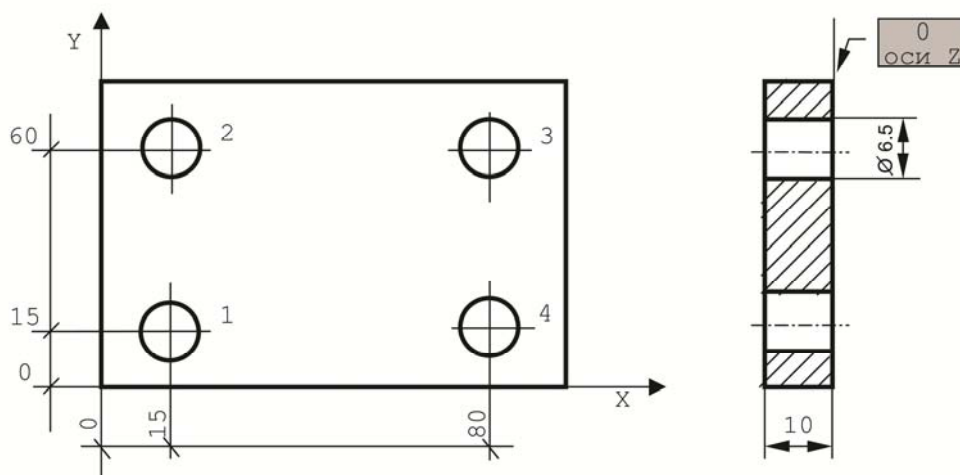


Рисунок 6 - Пример применения постоянного цикла сверления G81

**Пример:**

N33 G81 R3 Z-15 M3 - задание параметров постоянного цикла сверления G81;

N34 X15 Y15 - движение к точке 1 и выполнение цикла;

N35 Y60 - движение к точке 2 и выполнение цикла;

N36 X80 - движение к точке 3 и выполнение цикла;

N37 Y15 - движение к точке 4 и выполнение цикла;

N38 G80 Z50 M5- отмена действия цикла.

**1.5 Формальные параметры**

Вместо цифровой части слов УП могут использоваться переменные (формальные параметры), значения которых могут быть занесены в память УЧПУ с пульта оператора или определены непосредственно в программе путем присвоения им численного значения. При помощи параметров можно осуществлять арифметические и тригонометрические операции.

Формальный параметр обозначается в программе символом E, после которого записывается номер. Максимальное число параметров E не ограничено.

**Примеры** использования параметров в словах УП:

X + E15; Y - E20; T E55; S E12.

Арифметические действия:

- 1) + сложение;
- 2) - вычитание;
- 3) \* умножение;
- 4) / деление.

Функции:

- 1) SIN(A)        вычисляет синус A;
- 2) COS(A)        вычисляет косинус A;
- 3) TAN(A)        вычисляет тангенс A;
- 4) ARS(A)        вычисляет арксинус A;
- 5) ARC(A)        вычисляет арккосинус A;
- 6) ART(A)        вычисляет арктангенс A;
- 7) SQR(A)        вычисляет квадратный корень A и др.

Индекс A может быть параметром E или цифровым значением .

Геометрические и технологические данные (G, F, S, X, Z, Y и т.д.), определяющие цикл обработки, могут быть представлены параметрами, значение которых определяется в основной программе до вызова данной подпрограммы.

Можно выполнять выражения, содержащие постоянные, параметры, функции.

**Пример:** N1 E37=E31\*SIN(E30)+123.4567/SQR(16). **Пример** кадров назначения для вычисления переменных:

"LAB 1" E51 = -0.00000124 +5/E35;

E7 = 81;

E10 = 1;

E25 = E25 + 30.

Использование формальных параметров позволяет широко использовать аппарат подпрограмм, повышает "гибкость" программы и создает возможность ее настройки на конкретные условия эксплуатации. При этом следует помнить, что все формальные параметры имеют глобальный характер, т.е. могут использоваться или модифицироваться как в головной программе, так и в любой из подпрограмм.

## 1.6 Коррекция положения и размеров инструмента

Другим средством повышения гибкости и универсальности, разрабатываемых УП, является аппарат коррекций положения и размеров инструмента. Компенсация радиуса инструмента позволяет осуществить программирование контуров профиля без учета радиуса инструмента. Используя коррекцию, можно проектировать программы, практически не зная точных размеров инструментов и расположения базовых элементов приспособления, а затем

настраивать программу непосредственно на рабочем месте в соответствии с конкретными параметрами инструментальной настройки.

При программировании коррекций используются подготовительные функции G41 – коррекция радиуса инструмента (инструмент слева), G42 – коррекция радиуса инструмента (инструмент справа). Коррекция отменяется функцией G40. Корректировка радиуса действует в перпендикулярном направлении к запрограммированному профилю. Величина коррекции заносится в ячейку памяти (корректор) УЧПУ. Номер корректора задается в слове T (смена инструмента).

Этот вид коррекции позволяет программировать движение центра фрезы непосредственно по обрабатываемому контуру. При этом фактическая траектория фрезы будет формироваться автоматически путем эквидистантного смещения заданной в УП линии на величину, записанную в корректоре, в направлении "от контура к инструменту".

Функция G41 используется в тех случаях, когда инструмент располагается слева от контура детали (если смотреть по ходу его движения), G42 - когда инструмент расположен справа.

**Пример программирования коррекции (рисунок 7):**

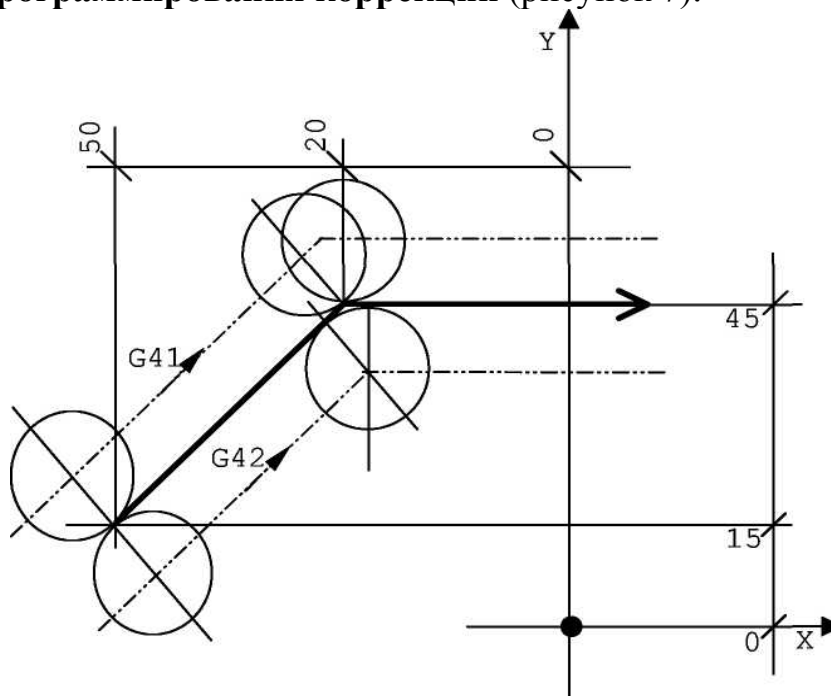


Рисунок 7 – Коррекция радиуса инструмента

1. Инструмент справа от детали:

N10 G1 G42 X-50 Y15 F200 - выход инструмента на скорректированную траекторию осуществляется отдельным кадром УП (кадр "ввода коррекции"); обрабатываемый контур обозначен сплошной толстой линией.

N20 X-20 Y45 – обработка участка траектории с учетом корректирующего смещения, занесенного в соответствующий корректор для данного инструмента; траектория движения инструмента показана пунктирной линией справа от обрабатываемого контура.

2. Инструмент слева от детали:  
N10 G1 G41 X-50 Y15 F200  
N20 X-20 Y45

## 1.7 Подпрограммы, циклы, инструкции переходов

При отсутствии в УП специальных "указаний" кадры обрабатываются в порядке их записи в тексте программы. Для изменения естественной последовательности обработки кадром можно использовать:

- безусловные и условные переходы;
- инструкции цикла;
- обращение к подпрограммам.

### 1.7.1 Инструкции переходов

Внутри программы можно программировать переходы посредством программирования инструкций, содержащих метку для передачи управления. Метка – это алфавитно-цифровая последовательность, состоящая из 6 символов, заключенных в знак « » (кавычки), которая должна быть запрограммирована перед номером кадра и после знака «/» в случае, если кадр разделен дробной чертой.

**Пример:** /"НАЧАЛО"N125

Переходы могут быть условными и безусловными.

**Пример:**

N5 (BNC, МЕТКА1) – переходит безусловно к метке МЕТКА1;

N10 (BGT,E1,123, END) - переходит к метке END, если значение переменной E1 больше 123;

N30 (BNE, E1, E5, START) - переходит к метке START, если значение переменной E1 отлично от значения E5.

### 1.7.2 Инструкции циклов

Используя трехбуквенный код RPT, можно повторять n раз программу или часть программы для создания специальных циклов. Максимальное количество повторов - 99. Внутри повторяющегося цикла можно создать другой цикл, а в нем - еще один (до трех уровней). Часть программы, которую необходимо повторить, закрывается трехбуквенным кодом ERP.

**Пример:** (RPT, 10)

.....

.....

(ERP)



### 1.7.3 Подпрограммы

Под подпрограммой понимается последовательность кадров, определяющая пользовательский цикл обработки, которая может быть вызвана из основной программы. Подпрограмма может вызывать только одну подпрограмму (2 уровня вложенности). Подпрограммы хранятся в памяти пользователя, их количество зависит только от их длины и от объема используемой памяти. Подпрограмма вызывается трехбуквенным кодом CLS.

**Пример:** N35 (CLS,PROG1).

### 1.8 Программирование режимов резания и функций цикловой автоматики станка

К таким функциям относятся: назначение скорости вращения шпинделя и подачи, поиск и смена инструмента, включение охлаждения, зажим-разжим направляющих станка и др.

Скорость шпинделя станка задается словом S (от англ. SPINDL), в котором указывается величина скорости привода главного движения.

Программируется от 0.01 до 99999.99. Может выражать:

- число оборотов/мин шпинделя (если в программе задана подготовительная функция G97);
- скорость резания в м/мин (для G96).

Скорость подачи задается словом F (от англ. FEED), в котором указывается значение подачи. Программируется от 0.01 до 99999.99. Чаще всего задается в мм/мин (должна быть задана подготовительная функция G94).

Номер устанавливаемого инструмента задается словом T (от англ. TOOL), в котором задается № требуемого для обработки инструмента и номер коррекции для данного инструмента. Программируемая величина: от 1.0 до 9999.9999. Цифры перед десятичной точкой определяют инструмент, после – номер корректора. Число коррекций определяется в фазе установки. Коррекция приводится в действие при помощи функции M06 (смена инструмента). Величины коррекции относятся к длине и диаметру инструмента. Корректировка длины инструмента может быть применена к любой оси станка. Выбор зависит от названия оси, к которой присоединена корректировка длины. Корректировка длины приводится в действие без использования других подготовительных функций. Корректировка диаметра инструмента, вызванная одновременно с корректировкой длины, приводится в действие при помощи функций компенсации радиуса инструмента G41/G42

Остальные функции программируются "вспомогательными" командами M. Состав и значения функций M определяются особенностями конкретного станка. Основные из них:

- M01 – условная остановка программы;
- M02 – конец программы;
- M03 – вращение шпинделя по часовой стрелке;
- M04 – вращение шпинделя против часовой стрелки;

- M05 – остановка вращения шпинделя;
- M06 – замена инструмента;
- M07 – включение вспомогательного охлаждения;
- M08 – включение основного охлаждения;
- M09 – выключение охлаждения;
- M30 – конец программы и возврат к первому кадру;

## 2 ПРИМЕР РАЗРАБОТКИ УПРАВЛЯЮЩЕЙ ПРОГРАММЫ

### 2.1 Основные характеристики многооперационного станка VM501ПМФ4

Станок VM501ПМФ4 – многооперационный, 4 – координатный фрезерно-сверлильно-расточной станок с ЧПУ, с горизонтальным шпинделем, поворотным столом и подвижным инструментальным магазином.

Координатные перемещения станка:

X – продольное перемещение стола;

Y – вертикальное перемещение суппорта;

Z – осевое (горизонтальное) перемещение шпинделя;

В – вращательное движение поворотного стола вокруг вертикальной оси.

Схема рабочей зоны станка и расположение станочной координатной схемы («0» станка) приведены на рисунке 8.

Дискретность задания координатных перемещений – 1 мкм (X,Y,Z) и 0,001<sup>0</sup> (В). Дискретность задания подач F – 1 мм/мин.

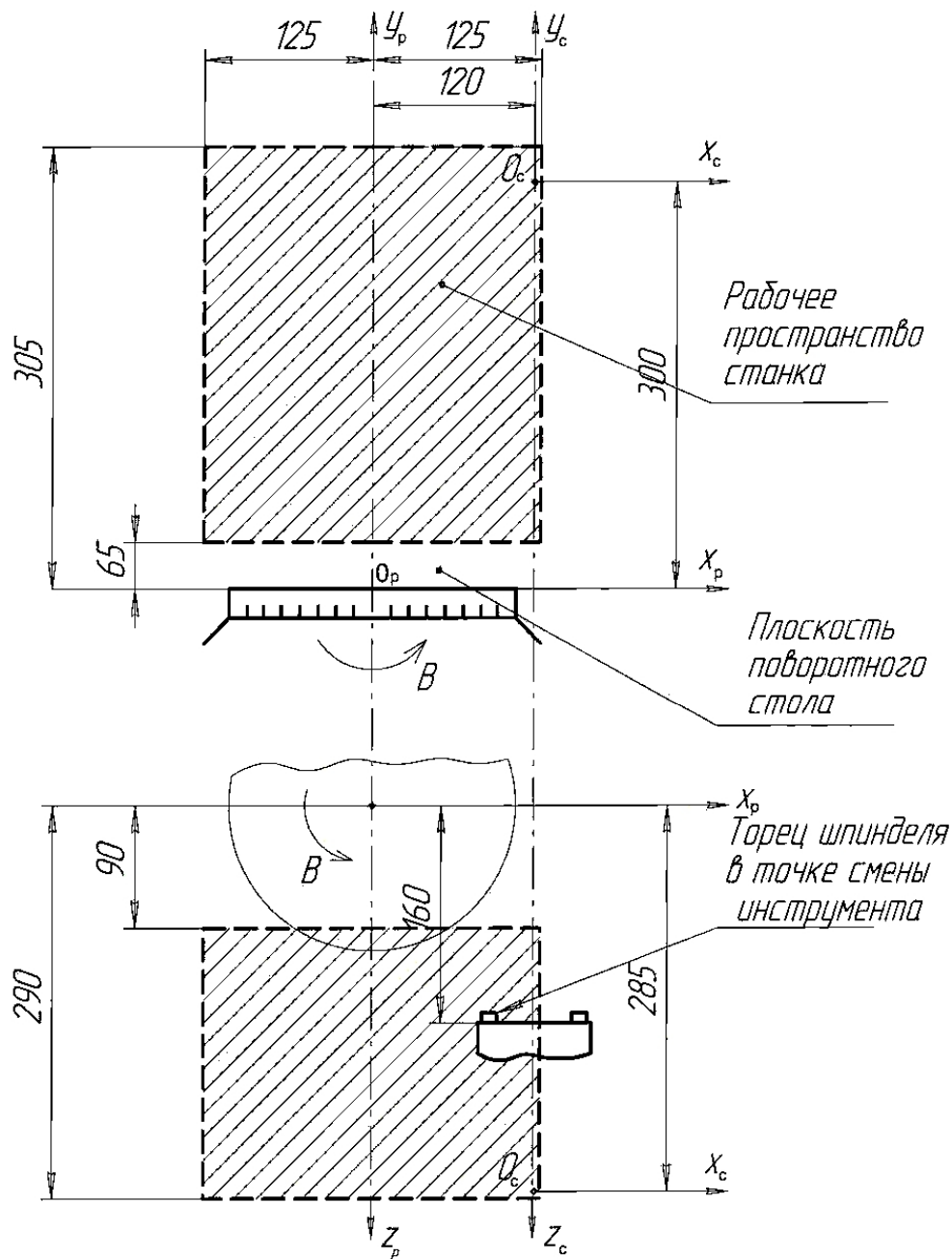
Инструментальный магазин барабанного типа с горизонтальной осью вращения, параллельной оси шпинделя; ёмкость магазина – 20 позиций, каждая из которых снабжена пружинным захватом, удерживающим оправку с инструментом. Для смены инструмента шпиндель должен быть выведен в «точку смены инструмента» с координатами X0 Z-125.

В качестве исходных данных при разработке управляющей программы необходима схема компоновки технологической системы, на которой указывается расположение заготовки или комплекта заготовок в рабочей зоне станка. Пример типовой схемы компоновки для станка VM501ПМФ4 приведён на рисунке 9. На схеме изображено базовое приспособление (в данном случае - четырёхместное); даны его размеры, расположение базовых элементов в каждой из 4-х зон.

Базовое приспособление выполнено в форме прямоугольного параллелепипеда 200x200x300 мм, симметрично установленного основанием на поворотный стол станка. На боковых гранях нанесена сетка базовых и резьбовых отверстий для закрепления и базирования промежуточных пластин и элементов зажима заготовок. Промежуточные пластины имеют по два базовых пальца, размеры и расположение которых соответствуют базовым отверстиям заготовки (на эскизах заготовок условно не показаны); толщина пластины и её форма определяются конфигурацией заготовки и особенностями выполнения перехода в зоне. Расположение базирующих

элементов пластин относительно стола станка может быть выбрано произвольно с учётом ограничений размеров рабочей зоны. В каждой зоне (на каждой грани базового приспособления) устанавливается одна заготовка.

На этой же схеме показываются основная – рабочая координатная система (РКС) и локальные координатные системы (ЛКС), определяются смещения осей каждой ЛКС.



$x_c, y_c, z_c$  – станочная координатная система  
 $x_p, y_p, z_p$  – рабочая координатная система ( $O_p$  – геометрический центр рабочей зоны)

Рисунок 8 – Схема рабочей зоны станка ВМ501ПМФ4

Расположение ЛКС зоны выбирается из соображений удобства определения координат опорных точек траекторий инструментов. Рекомендуется связывать ЛКС зоны с элементами приспособлений, по которым базируется обрабатываемая заготовка.

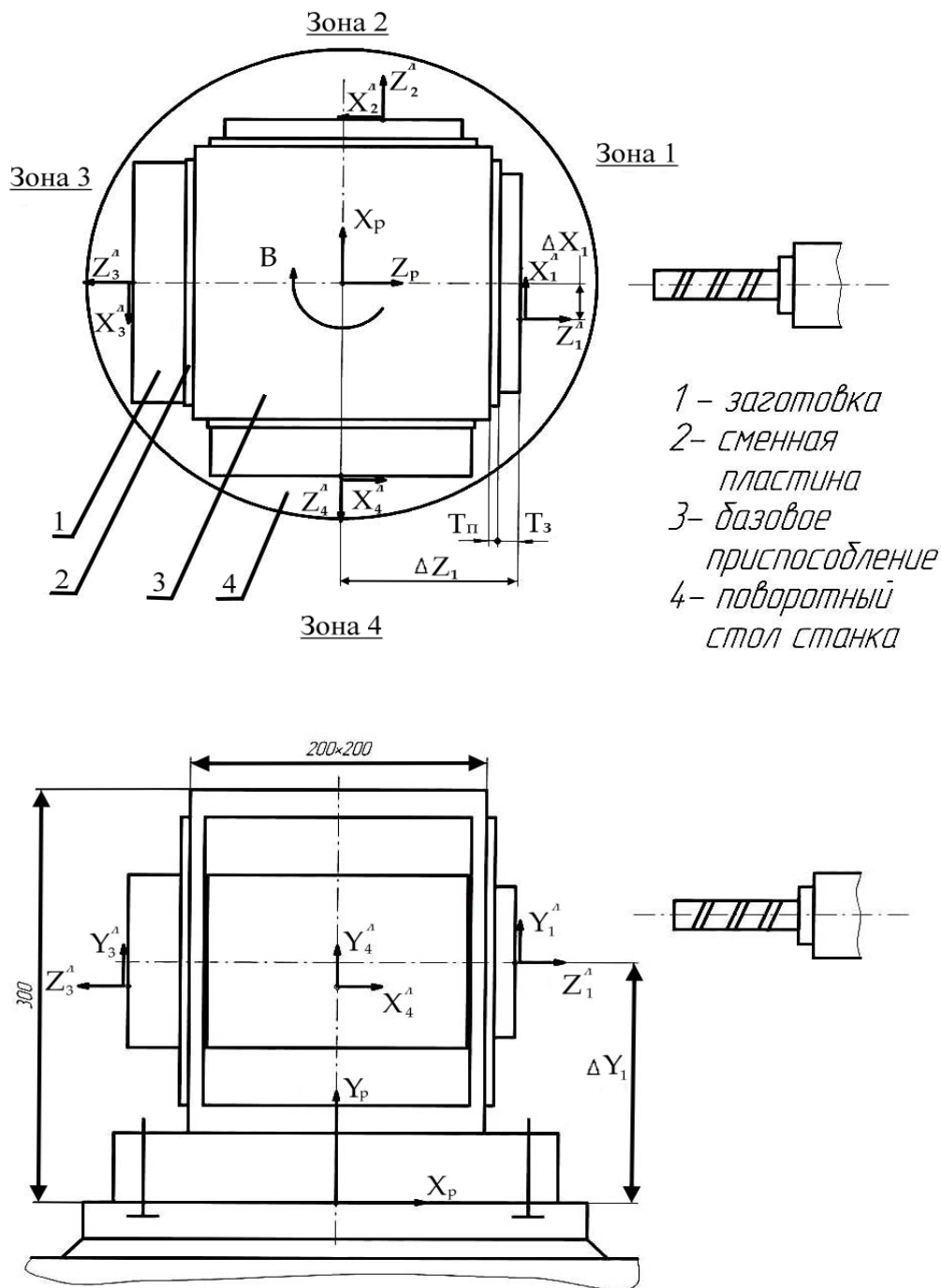


Рисунок 9 – Типовая схема компоновки технологической системы станка с привязкой обрабатываемых заготовок к базовому приспособлению

## 2.2 Исходные данные

Эскиз обрабатываемой детали с обозначением опорных точек приведен на рисунке 10.

Схема компоновки технологической системы для заданной детали приве-

дена на рисунке 11. Обозначения 1 – 4 на данном рисунке аналогичны обозначениям для типовой схемы (рисунок 9).

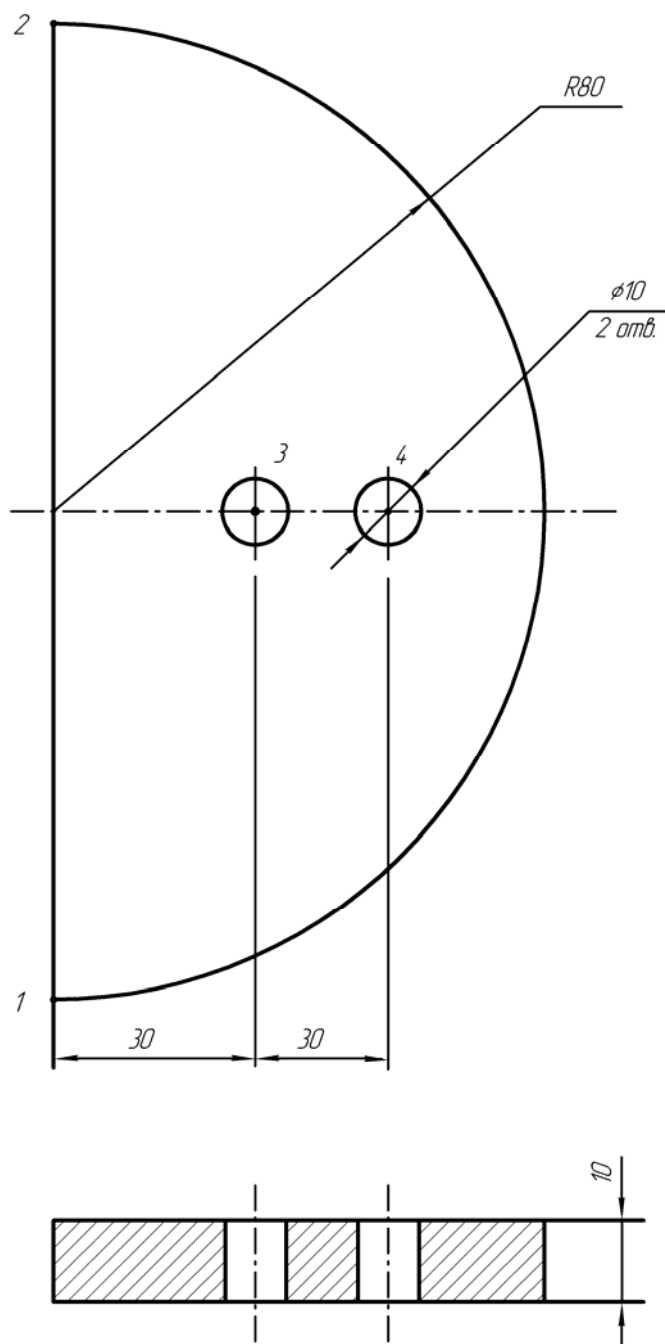


Рисунок 10 – Эскиз обрабатываемой детали

Разрабатывается таблица переходов и зон, содержащая информацию о последовательности работы инструментов и их основных параметрах, составе зон внутри инструментальных переходов, о положении плоскостей начальных/конечных точек рабочих траекторий для каждой из зон (таблица 2).

Разрабатывается управляющая программа обработки, состоящая из головной программы (таблица 3) и подпрограммы PROG обработки заготовки в одной зоне (таблица 4). Головная программа обеспечивает заданную последовательность выполнения инструментальных переходов и технологических зон.

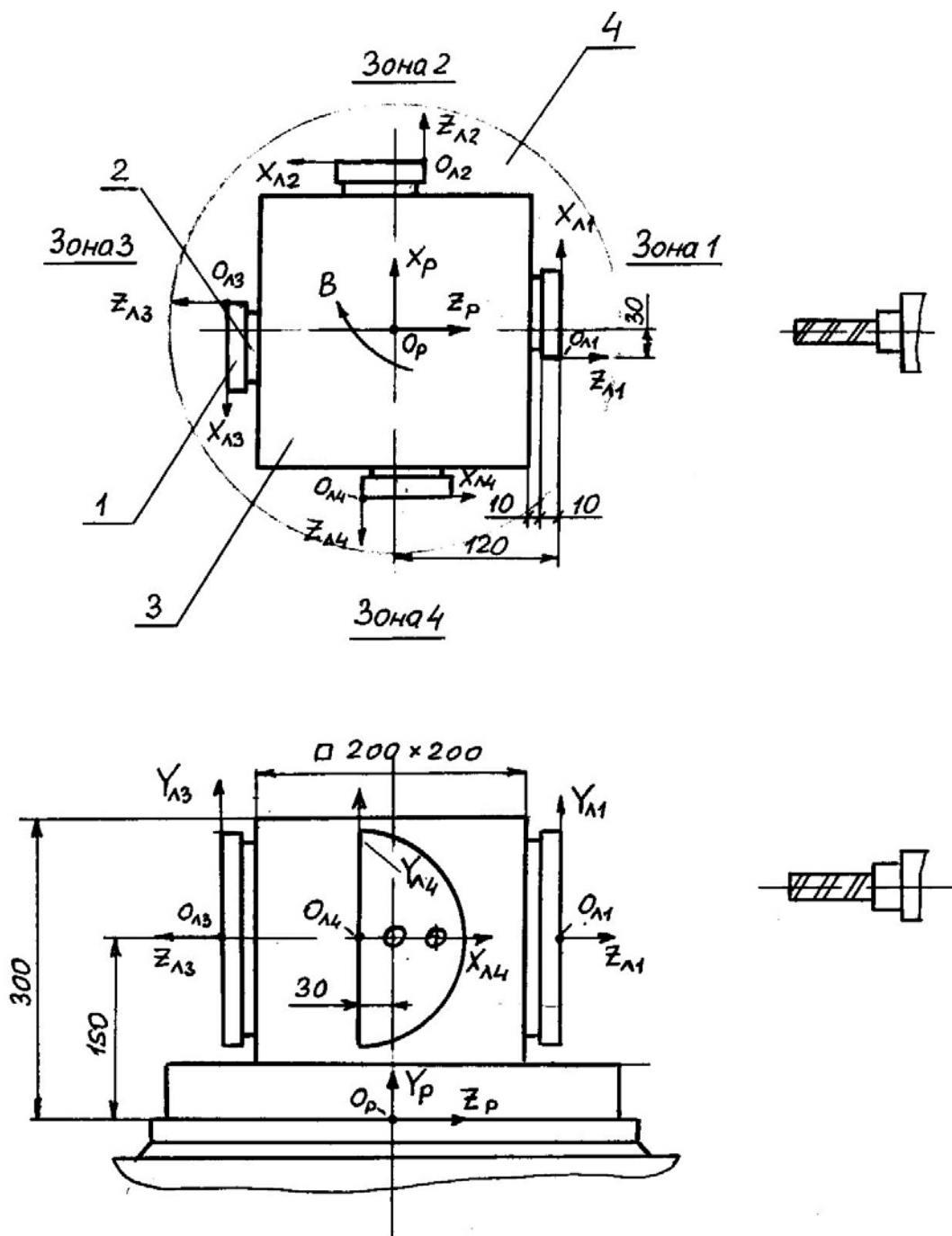


Рисунок 11– Схема компоновки технологической системы для заданной детали

Таблица 2 – Таблица переходов и зон

Деталь: плита		Операция: 15			
Таблица переходов и зон					
Переходы		Инструмент			Перечень зон
№ пп	Наименование	Т	Наименование	Диаметр	
1	Фрезеровать 1-2-1	1	Фреза концевая	20	1, 2, 3, 4
2	Сверлить отверстия 3, 4	2	Сверло	10	1, 2, 3, 4

Продолжение таблицы 2

№ зоны	В	Смещение ЛКС относительно РКС, мм			Начальная точка траектории (1) в ЛКС, мм		
		$\Delta X$	$\Delta Y$	$\Delta Z$	$X_H$	$Y_H$	$Z_H$
1	0°	-30	150	120	0	-80	0
2	90°	-30	150	120	0	-80	0
3	180°	-30	150	120	0	-80	0
4	360°	-30	150	120	0	-80	0

Таблица 3 – Текст головной управляющей программы

Кадры управляющей программы	Комментарии
N10 (UAO,0)	Установка станочной координатной системы
N20 G90 B0	Поворот стола на 0° (установка зоны 1)
N30 (CLS,PROG)	Вызов подпрограммы PROG обработки детали в зоне 1
N40 B90	Поворот стола в 90° (установка зоны 2)
N50 (CLS,PROG)	Вызов подпрограммы PROG обработки детали в зоне 2
N60 B180	Поворот стола в 180° (установка зоны 3)
N70 (CLS,PROG)	Вызов подпрограммы PROG обработки детали в зоне 3
N80 B270	Поворот стола в 270° (установка зоны 4)
N90 (CLS,PROG)	Вызов подпрограммы PROG обработки детали в зоне 4
N100 M02	Конец программы

Таблица 4 – Текст подпрограммы PROG обработки детали в зоне 1

Кадры управляющей программы	Комментарии
N10 (UAO,0)	Установка станочной координатной системы
N20 G0 G90 X0 Y0 Z-125	Выход в станочной координатной системе на скорости быстрого хода в точку смены инструмента
N30 T1.1 M06	Смена инструмента, установка инструмента 1 (фреза концевая)

Продолжение таблицы 4

N40 (UAO,1)	Установка рабочей координатной системы (РКС)
N50 (UAT,1, X-30, Y150, Z120)	Установка 1-й локальной координатной системы (ЛКС), смещенной относительно РКС
N60 G0 G90 X-50 Y0 Z5	Подвод инструмента к обрабатываемой заготовке, включение шпинделя и подачи СОЖ
N70 Z-15 M03 S500 M08	
N80 G1 G41 X0 Y80Z-15 F100	Подход на рабочей подаче к обрабатываемому участку 1-2, ввод коррекции на радиус инструмента
N90 G91 Y160	Перемещение по оси Y на 160мм в относительной системе координат (установлена 1-я ЛКС) – обработка участка 1-2
N100 G3X0 Y-160 J-80	Перемещение по дуге (обработка участка 2-1)
N110 G0 G90 Z5 M05 M09	Отвод инструмента от детали, выключение шпинделя и подачи СОЖ
N120 G40 X-50 Y0	Отмена коррекции на радиус инструмента
N130 (UAO,0)	Установка станочной координатной системы
N140 G0 G90 X0 Y0 Z-125	Выход в точку смены инструмента
N150 T2.1 M06	Смена инструмента, установка инструмента 2 (сверло диаметром 10мм)
N160 (UAO,1)	Установка РКС
N170 (UAT,1, X-30, Y150, Z120)	Установка 1-й ЛКС, смещенной относительно РКС
N180 G0 G90 X30 Y0 Z10	Подвод света к детали для обработки отверстия 3
N190 G81 R3 Z-15 M03 M08 S710	Сверление отверстия 3 (постоянный цикл G81), включение шпинделя и подачи СОЖ
N200 G0 G91 X30	Подвод сверла для сверления отверстия 4
N210 G81 R3 Z-15	Сверление отверстия 4



### **3 ЗАДАНИЯ ДЛЯ ПРАКТИЧЕСКИХ ЗАНЯТИЙ**

1 Получить у преподавателя вариант эскиза обрабатываемой детали (Приложения А, Б).

2 Разработать схему компоновки технологической системы с привязкой заданной детали к базовому приспособлению многооперационного станка VM501ПМФ4 (см. рисунок 11).

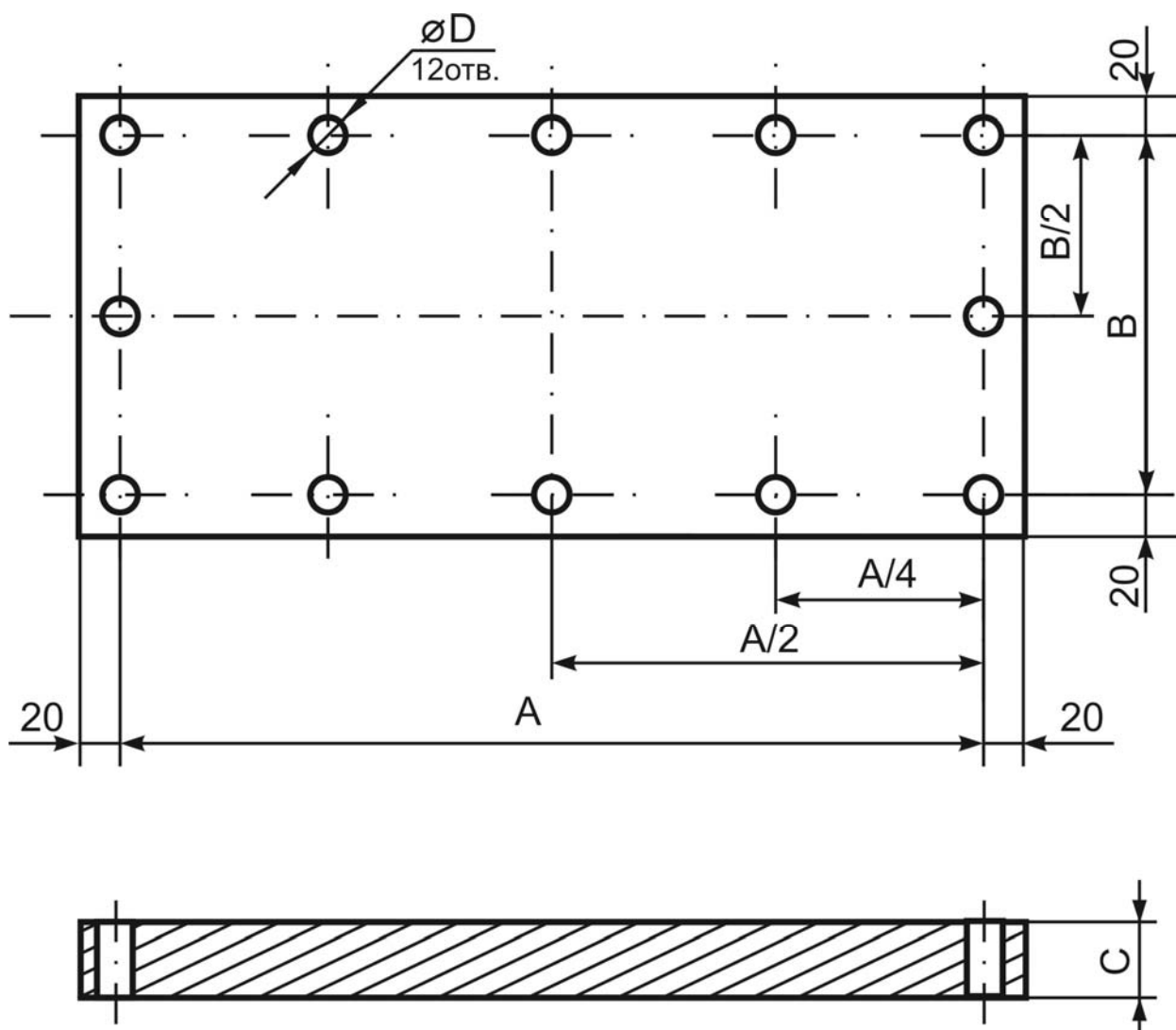
3 Разработать таблицу переходов и зон (см. таблица 2).

4 Разработать тексты подпрограмм и головной управляющей программы с комментариями.

### **СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ**

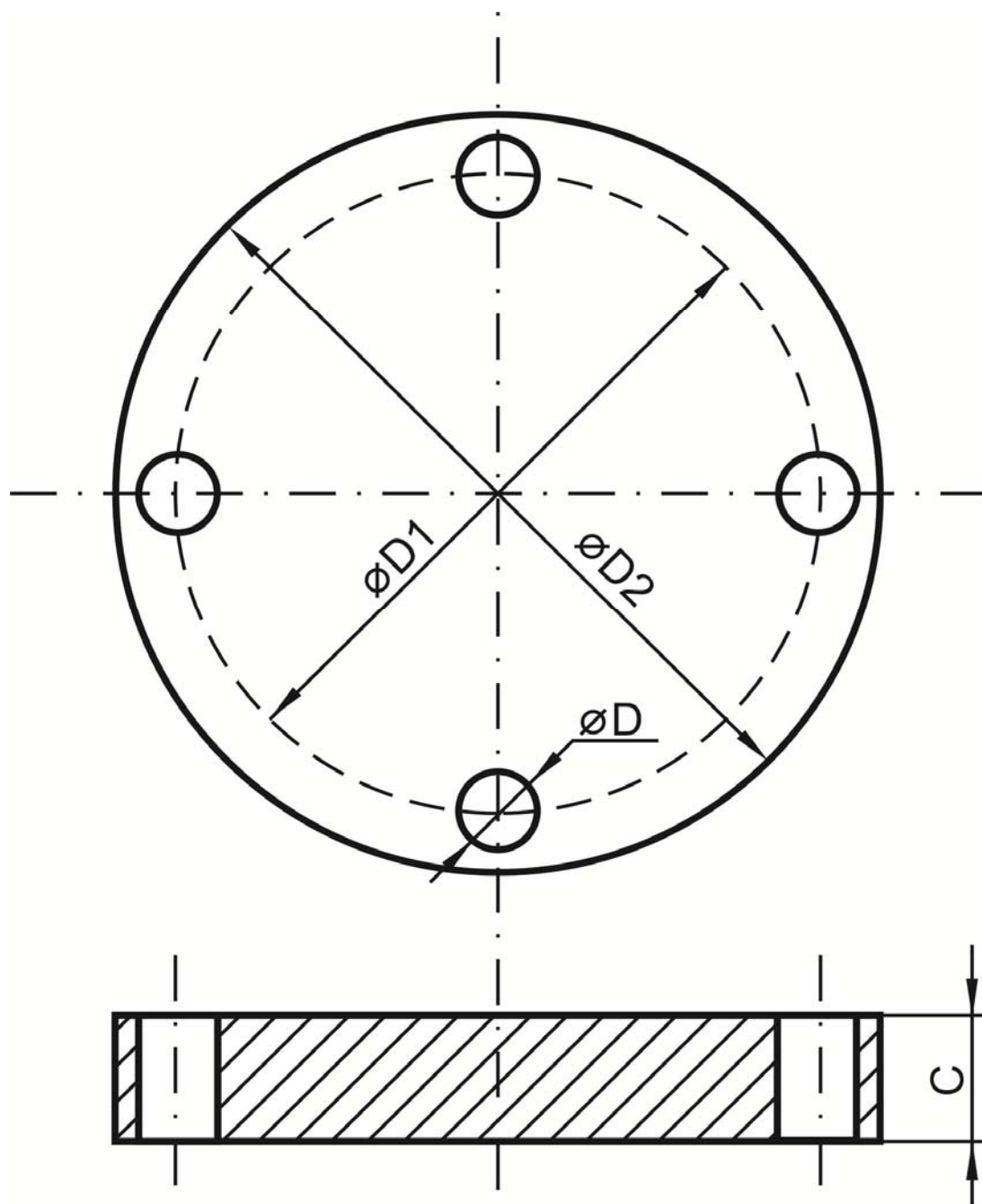
1 Устройство числового программного управления NC110, NC200, NC210: руководство программиста. – Санкт-Петербург : Балт-Систем, 2004. – 173 с.

Приложение А  
 Деталь 1 – Крышка верхняя



Размер, мм	№ варианта									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
A	80	90	100	120	140	130	110	100	90	80
B	100	80	90	100	120	80	90	100	120	80
C	15	20	25	30	35	30	25	20	18	10
D	8	10	12	14	14	10	8	8	8	8

Приложение Б  
 Деталь 2 – Крышка круглая



Размер, мм	№ варианта									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
D	8	9	10	8	9	10	8	9	10	10
D2	100	120	130	140	150	100	120	130	140	150
D1	70	80	90	100	110	80	90	100	110	120
C	10	12	14	16	20	20	20	25	25	28

Сбродов Николай Борисович

## **РАЗРАБОТКА УПРАВЛЯЮЩИХ ПРОГРАММ ОБРАБОТКИ ДЕТАЛЕЙ НА СТАНКАХ С ЧПУ**

Методические указания к практическим занятиям  
по дисциплинам «Программное управление технологическим оборудованием»,  
«Технические средства автоматизации и управления»  
для студентов направлений  
15.03.04 – «Автоматизация технологических процессов и производств»  
27.03.04 – «Управление в технических системах»

Авторская редакция

---

Подписано в печать 21.01.20	Формат 60x84 1/16	Бумага 80 г/м <sup>2</sup>
Печать цифровая	Усл. печ. л. 1,75	Уч. изд. л. 1,75
Заказ 3	Тираж 25	Не для продажи

---

БИЦ Курганского государственного университета.  
640020, г. Курган, ул. Советская, 63/4.  
Курганский государственный университет.