

**ГОСУДАРСТВЕННОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ  
ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«САМАРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АЭРОКОСМИЧЕСКИЙ  
УНИВЕРСИТЕТ имени академика С.П. КОРОЛЕВА  
(НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ)»**

**ИЗУЧЕНИЕ КОНСТРУКЦИИ,  
КИНЕМАТИКИ И УПРАВЛЕНИЯ  
СТАНКА 6М13ГН1 С УЧПУ «FMS -3000»**

**САМАРА 2011**

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ГОСУДАРСТВЕННОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ  
ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ .  
«САМАРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АЭРОКОСМИЧЕСКИЙ  
УНИВЕРСИТЕТ имени академика С. П. КОРОЛЕВА»  
(НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ)»

ИЗУЧЕНИЕ КОНСТРУКЦИИ,  
КИНЕМАТИКИ И УПРАВЛЕНИЯ  
СТАНКА 6М13ГН1 С УЧПУ «FMS -3000»

*Утверждено Редакционно-издательским советом университета  
в качестве методических указаний к лабораторной работе*

САМАРА  
Издательство СГАУ  
2011

УДК СГАУ : 621.9(075)

Составители: А.Н. Волков, М.Б. Сазонов, В.Д. Смолин

Рецензент д-р техн. наук, проф. Н.Д. Проничев

**Изучение конструкции, кинематики и управления станка 6М13ГН1 С УЧПУ «FMS -3000»:** метод. указания к лаб. работе / сост.: **А.Н. Волков, М.Б. Сазонов, В.Д. Смолин.** – Самара: Изд-во Самар. гос. аэрокосм. ун-та, 2011. – 44 с.: ил.

Методические указания знакомят студентов с системой кодирования управляющих программ для устройства числового программного управления «FMS-3000», установленного на станке 6М13ГН1. Рассмотрены приемы построения программы, ее структуры и структуры составляющих ее кадров, подготовительные и вспомогательные команды. Рассмотрен ряд примеров.

Предназначены для студентов потока 2-III и 2-IV и могут быть полезны при разработке курсового и дипломного проекта для технологической специальности.

*Учебное издание*

## **ИЗУЧЕНИЕ КОНСТРУКЦИИ, КИНЕМАТИКИ И УПРАВЛЕНИЯ СТАНКА 6М13ГН1 С УЧПУ «FMS -3000»**

*Методические указания к лабораторной работе*

Составители: **Волков Александр Николаевич**  
**Сазонов Михаил Борисович**  
**Смолин Владимир Дмитриевич**

Редактор И.И. Спиридонова  
Доверстка И.И. Спиридонова

Подписано в печать 20.04.2011 г. Формат 60×84 1/16.

Бумага офсетная. Печать офсетная. Печ. л. 3,0.

Тираж 300 экз. Заказ . Арт. С-М24/2011.

Самарский государственный аэрокосмический университет.  
443086, Самара, Московское шоссе, 34.

---

Изд-во Самарского государственного аэрокосмического университета.  
443086, Самара, Московское шоссе, 34.

© Самарский государственный  
аэрокосмический университет, 2011

# 1. НАЗНАЧЕНИЕ, КОНСТРУКЦИЯ И ОСНОВНЫЕ ДВИЖЕНИЯ СТАНКА 6М13ГН1

Вертикально-фрезерный станок с числовым программным управлением (ЧПУ) 6М13ГН1 предназначен для трехкоординатной обработки деталей сложной формы типа кулачков, штампов, прессформ и др. в автоматическом режиме при мелкосерийном и серийном типах производств. Общий вид, основные узлы, рабочие органы и кинематика станка показаны на рис. 1

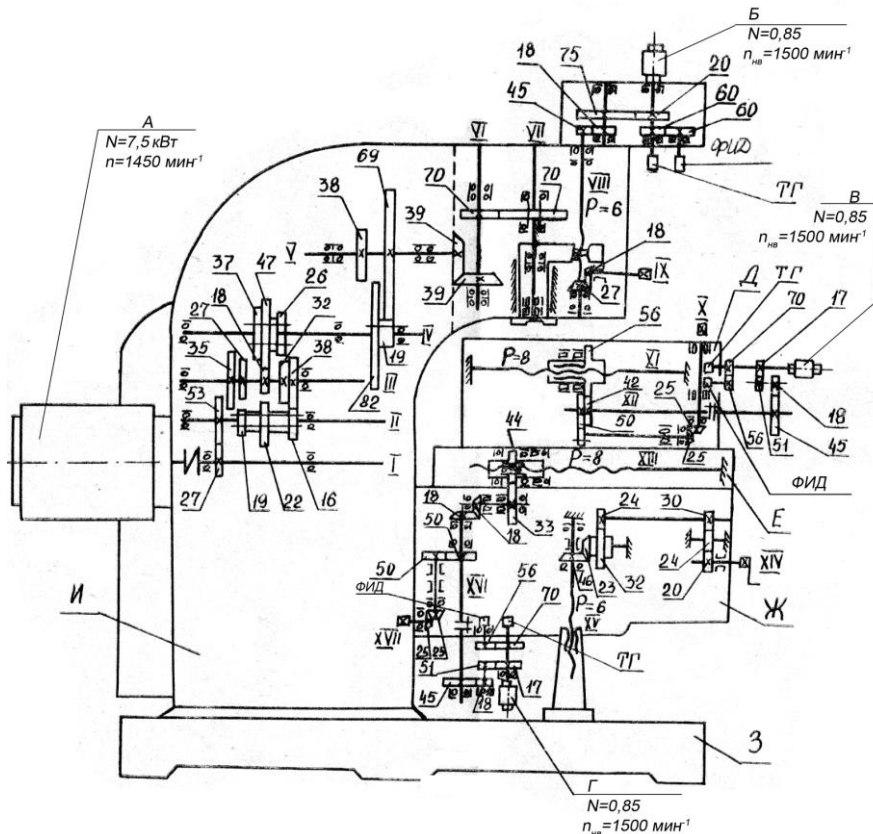


Рис. 1. Кинематическая схема и основные узлы станка 6М13ГН1:

А – электродвигатель главного привода; Б, В, Г – электродвигатели постоянного тока; ТГ – тахогенераторы; Д – стол; Е – поперечные салазки; Ж – консоль; З – основание; И – станина; ФИД – фотоимпульсный датчик

Станина станка *И* – пирамидальной формы с коробчатым сечением. В основании станины находится фундаментная плита *З*, в которой размещен резервуар для смазочно-охлаждающей жидкости (СОЖ). В средней и верхней частях станины расположены главный электродвигатель *А* и коробка скоростей главного движения. К передней верхней части станины прикреплена поворотная фрезерная головка с выдвижной пинолью и шпинделем. На вертикальных направляющих станины установлена и может двигаться вверх и вниз консоль, по которой в поперечном направлении перемещаются салазки. На салазках установлен стол, перемещающийся в продольном направлении.

Фреза, закрепленная в шпинделе *VI*, вращается с заданной частотой вращения  $n$  об/мин и может перемещаться вдоль оси с пинолью в вертикальном направлении с заданной скоростью подачи  $S$  мм/мин в автоматическом или ручном режиме.

Заготовка, установленная на столе, получает продольную подачу со столом *Д*, либо поперечную – с салазками *Е*, либо продольно-поперечную при одновременном движении стола и салазок в автоматическом или ручном режимах со скоростью  $S$  мм/мин (контурное управление).

Консоль *Ж* перемещается вертикально по направляющим станины только вручную с помощью рукоятки *XIV*.

Фрезерная головка может поворачиваться вокруг вала *V*, изменяя угол наклона шпинделя и фрезы относительно заготовки в пределах  $\pm 45^{\circ}$ .

Система числового программного управления станком – непрерывная, замкнутая (с обратной связью по положению), фазовая, трехкоординатная, с одновременным управлением по трём координатам, с тиристорным управлением электродвигателями постоянного тока. Положительные направления координатных движений: *X* – стол влево; *Y* – салазки к оператору; *Z* – пиноль вверх.

### Технические характеристики станка 6М13ГН1

Размер рабочей площади стола, мм	1600×400
Наибольшее перемещение стола, салазок и пиноли, мм	900, 320, 80
Наибольшая скорость перемещения стола, салазок и пиноли, мм/мин	1000, 1000, 640
Наибольшее установочное перемещение консоли, мм	420
Установочный разворот фрезерной головки	$\pm 45^0$
Цена оборота ( $360^0$ ) смещения фазы системы по всем трем координатам, мм	0,64
Точность обработки, мм	$\pm 0,1$
Мощность главного электродвигателя кВт	7,5

## 2. МЕХАНИЗМ ГЛАВНОГО ДВИЖЕНИЯ

Шпиндель VII станка (см. рис.1) приводится в движение от главного электродвигателя *A* через коробку скоростей с двумя тройными и одним двойным передвжными блоками шестерен, обеспечивающими 18 различных частот вращения в пределах от 31,5 до 1600 об/мин по кинематической цепи:

$$n_{\text{шп}} = 1450 \frac{16}{38} \frac{18}{47} \left\{ \frac{19}{69} \right. \left. \frac{27}{37} \left\{ \frac{39}{82} \frac{70}{39} \frac{70}{70} \right. \right. \left. \left. \frac{22}{32} \frac{38}{26} \right\} \right\}$$

Картина частот оборотов приведена на рис. 2. Переключение скоростей осуществляется поворотом двух рукояток селективного механизма и кнопкой «Толчок шпинделя». При нажатии на эту кнопку происходит кратковременное включение двигателя, что облегчает переключение блоков.

В процессе обработки заготовки обороты шпинделя не меняются. В качестве опор шпинделя применены подшипники качения с регулируемым зазором. Все валы коробки скоростей также смонтированы на подшипниках качения.

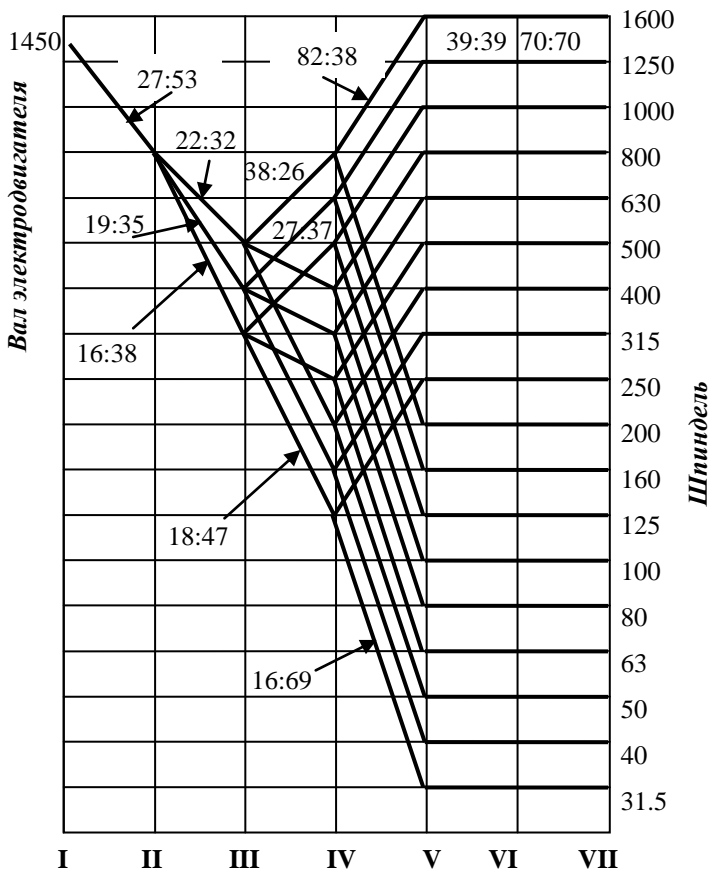


Рис.2. Картина частот оборотов главного привода станка 6М13ГН1

### 3. МЕХАНИЗМ ПОДАЧИ

Осевое перемещение шпинделя с гильзой (пинолью), в который он смонтирован, осуществляется шариковой винтовой парой с шагом  $P=6$  мм, получающей вращение от электродвигателя постоянного тока Б (ПБСТ-23, 0,55 кВт) через редуктор 20/75, 18/45 (рис. 1). Ручное перемещение производится поворотом валика IX через конические колеса 18/27. Установочный поворот головки на необходимый угол выполняется вокруг оси, проходящей через вал V.

Продольная подача стола (по координате X) и поперечная подача салазок (по координате Y) осуществляются от электродвигателей постоянного тока В и Г (ПБСТ-23, 0,85 кВт), прифланцованных к корпусам редукторов и соединенных с их валами. С обратной стороны с валами электродвигателей соосно соединены роторы тахогенераторов (ТГ).

От валов электродвигателей через цилиндрические колеса вращаются гайки шариковых винтовых пар, сообщающие через винты с шагом  $P=8$  мм поступательные перемещения стола и салазок. Регулирование скорости подачи осуществляется путем бесступенчатого изменения частоты вращения ротора с помощью тиристорных устройств. Во всех трех приводах подач производится выборка люфтов в зацеплении при помощи разрезных косозубых шестерен 3 и 5 с шайбами 4 (рис. 3). Выбор люфтов в шариковой паре обеспечивается применением гаек специальной конструкции 8 и 9 с прокладками 10 различной толщины. Регулировка подшипников 6 и 7 производится гайками 1, 2.

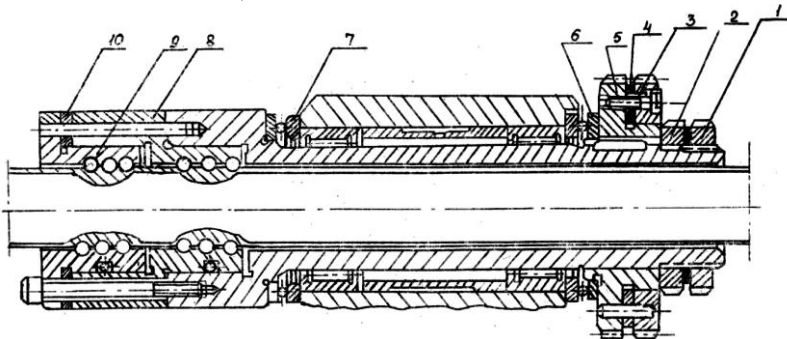


Рис. 3. Шариковая винтовая пара привода механизма подачи стола и салазок.

Для контроля движения от валов электродвигателей через редукторы 60/60 или 70/56 приводятся в движение роторы фотоимпульсных датчиков (ФИД) – датчиков обратной связи по положению.



#### 4. ТИРИСТОРНЫЙ ПРИВОД

Для бесступенчатого регулирования скорости подачи в станке применен тиристорный привод (ТП).

ТП состоит из двигателя постоянного тока  $D_{пт}$ , питаемого от сети переменного тока через полупроводниковые управляемые вентили-тиристоры. Частота вращения  $D_{пт}$  зависит от напряжения на якоре, магнитного потока, тока нагрузки и определяется по формуле [1].

$$n = (U - IR) / k\Phi,$$

где  $U$  – напряжение якорной цепи, В;  $I$  – ток в цепи якоря, А;  $R$  – активное сопротивление якоря, Ом;  $\Phi$  – магнитный поток цепи возбуждения, Ф;  $k$  – коэффициент, зависящий от конструкции двигателя.

Изменяя подводимое к цепи якоря напряжение от 0 до  $U_n$ , а также ослабляя поле двигателя, можно получить диапазон регулирования 1:10000 и более. В системах ЧПУ применяются в основном  $D_{пт}$  с независимым возбуждением и частотой вращения до 3000 об/мин.

Тиристор представляет собой полупроводниковый кремниевый управляемый вентиль таблеточного типа с дополнительным управляющим электродом (УЭ) (рис. 4).

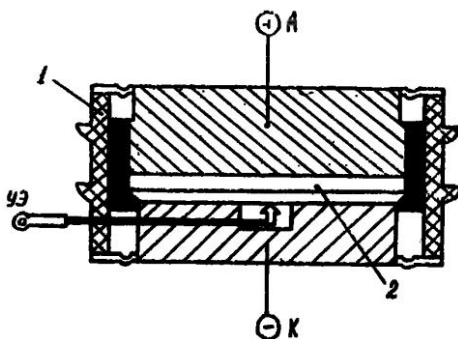


Рис. 4. Кремниевый тиристор таблеточного типа:

1 – изолятор; 2 – кремниевая шайба; А, К – анодный и катодный выходы;  
УЭ – управляющий электрод

Тиристор может пропускать значительный ток  $I$  только в прямом направлении от анода к катоду (рис. 5).

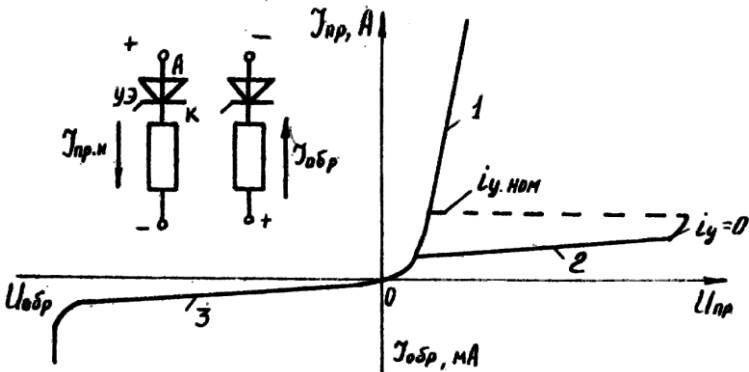


Рис. 5. Вольт-амперная характеристика тиристора

При этом, если напряжение на управляющем электроде отсутствует и  $i_y=0$ , сопротивление тиристора велико, что соответствует участку низкой проводимости 2.

Тиристор начинает проводить ток только тогда, когда к анодному выводу *A* приложен положительный потенциал и одновременно к катодному выводу *K* через УЭ подается напряжение, обеспечивающее  $i_{yном}$ . Сила тока, проходящего через тиристор в прямом направлении  $I_{пр}$ , соответствует участку высокой проводимости 1. Ток проходит до конца полупериода и тиристор снова запирается. В обратном направлении тиристор всегда пропускает ничтожно малый ток – участок 3, так как при таком включении его внутреннее сопротивление велико.

Для управления тиристорным преобразователем используют систему импульсно-фазового управления (СИФУ), которая формирует управляющий (зажигающий) импульс нужной формы и мощности, а также осуществляет сдвиг его по фазе относительно питающего двигателя напряжения сети.

На рис.6 приведена однофазная однополупериодная схема выпрямления (а), переменного напряжения (б), питающего  $D_{пт}$ , управляющего напряжения постоянного тока (в), зажигающего тиристор на различных углах регулирования  $\psi_1 = \omega t_1$  и  $\psi_2 = \omega t_2$ , и соответствующего проходящего выпрямленного постоянного тока (г).

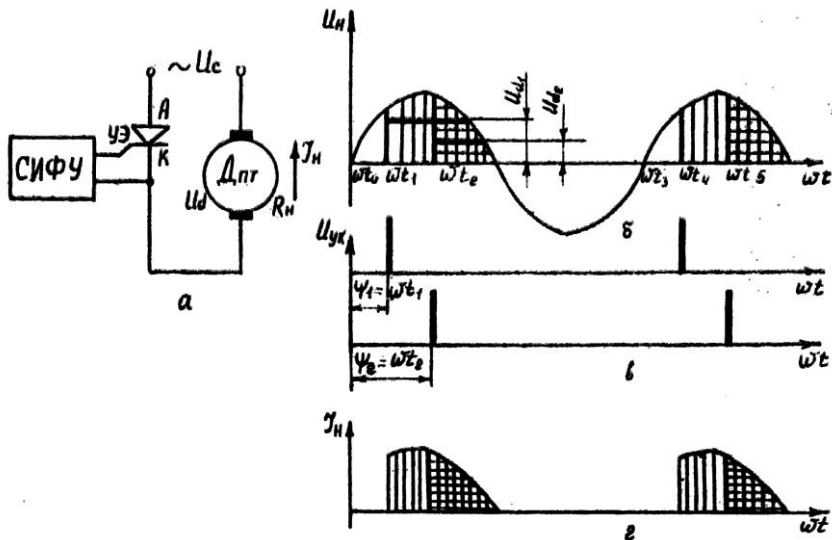


Рис. 6. Однофазная однополупериодная схема выпрямления (а) и диаграммы напряжения (б), управляющих импульсов (в) и тока (г)

Среднее выпрямленное напряжение определяется по формуле

$$U_d = U_{d0} \cdot \cos \alpha,$$

где  $U_{d0}$  – среднее значение выпрямленного напряжения при зажигании тиристора на фазе с  $\psi = 0$ .

Как видим, чем больше сдвиг фазы зажигающего импульса  $\psi$ , тем меньше  $U_d$ , тем ниже будет частота вращения  $D_{пт.}$ . Кроме того, в однополупериодных однофазных схемах выпрямления имеет место значительная, с большими перерывами, пульсация напряжения и тока.

В тиристорных приводах металлорежущих станков применяются трехфазные схемы. В трехфазной системе (рис. 7) для каждой фазы подаются импульсы зажигания, которые смещены относительно друг друга на  $120^\circ$ . Ток пульсирует, но не прерывается. В двухполупериодных трехфазных системах пульсации напряжения и тока незначительны.

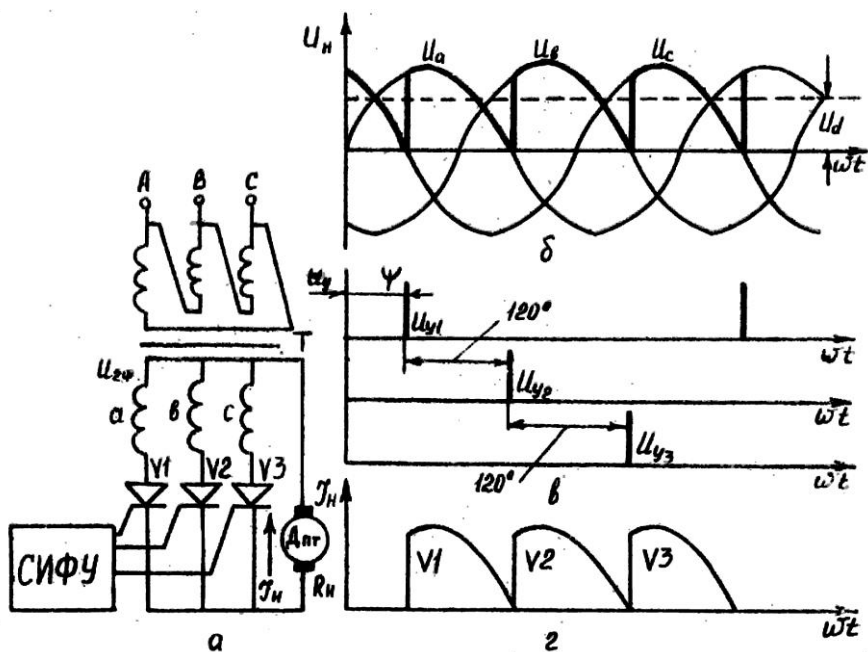


Рис. 7. Трехфазная нулевая схема выпрямления (а) и временные диаграммы выпрямленного напряжения (б), управляющих импульсов (в) и тока (г)

Таким образом, уровень среднего напряжения, питающего двигатель, и частота вращения его ротора зависят от угла сдвига фазы управляющего импульса.

## **5. ПРОГРАММИРОВАНИЕ УПРАВЛЯЮЩИХ ПРОГРАММ В FMS-3000. РЕДАКЦИЯ 5.0**

Система FMS-3000 представляет собой устройство ЧПУ (УЧПУ) на базе промышленного компьютера. Общие принципы программирования для отечественных УЧПУ регламентированы ГОСТ 20999-83 [2]. Однако каждое конкретное УЧПУ имеет свои характерные особенности, которые в сочетании с конструктивными особенностями конкретных металлорежущих станков существенно осложняют задачу программирования обработки на станках с ЧПУ.

Поэтому необходимо иметь представление о программировании для того УЧПУ, которое установлено на данном конкретном станке. В нашем случае это УЧПУ FMS-3000, установленное на вертикально-фрезерном станке 6М13ГН1 [3].

### ***5.1. Программирование в УЧПУ FMS-3000, установленном на станке 6М13ГН1***

Код, примененный в FMS, по существу есть система счисления, которая используется для представления чисел посредством числовых знаков (цифр). В УЧПУ обычно используется двоично-десятичная система, в которой цифра десятичного числа записывается двоичным кодом. При этом используются четыре двоичных разряда (тетрады). Значимость разрядов в тетраде 8421 или  $2^3 + 2^2 + 2^1 + 2^0$ . Цифры: 1, 9, 15 в двоичном коде будут тетрадами: 0001, 1001 и 1111. Для записи числа большего 9 на каждый разряд выделяется тетрада.

Семиразрядный буквенно-цифровой код ИСО-7 бит является базовым для всех отечественных станков с ЧПУ (СЧПУ). Значение букв и символов должно соответствовать ГОСТ 20999-83. Латинским буквам от **A** до **O** присвоено значение цифр от «0» до «15» с определяющим признаком – пробивкой на 7-й дорожке. Буквы с **P** до **Z** имеют значения от «0» до «10» с пробивкой на 5-й и 7-й дорожках. У цифр от «0» до «9» определяющая пробивка на 5-й и 6-й дорожках.

В качестве программносителей для управляющих программ (УП) в станках с ЧПУ используются перфоленты (ПЛ), гибкие и жесткие диски (как в ПК).

Подготовка информации для написания УП требует представления детали, станка и инструмента геометрическими объектами, расположенными в определенной системе координат. УП задает перемещение определенной точки инструмента (расчетной точки,  $P$  или  $P_{и}$ ) относительно профиля будущей детали. Для обычной концевой фрезы расчетной точкой является точка пересечения оси фрезы с ее торцом. Расчетная точка фрезы находится на одном и том же расстоянии от линии контура (т.к.  $R_{фр} = const$ ), поэтому траекторию  $P_{и}$  (при рабочем движении) часто называют эквидистантой. Движения могут быть также подготовительными и вспомогательными. В результате траектория – это сложная пространственная линия, которую необходимо разбить на ряд простых составляющих (обычно это прямые или дуги окружности). Точки сопряжения простых участков являются расчетными (опорными; узловыми) точками траектории перемещения  $P_{и}$ . Координаты этих точек могут быть заданы в одной из трех систем координат: станка; детали; инструмента (рис. 8). Начало этих систем координат называют «нулями», например, «ноль станка». Кроме прямоугольной системы координат могут быть использованы цилиндрическая и сферическая системы координат.

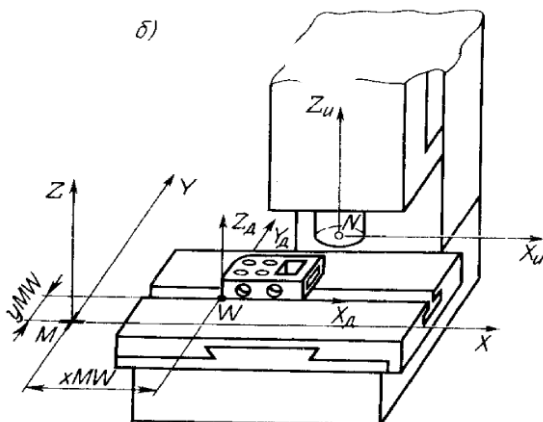


Рис. 8. Системы координат фрезерного станка с ЧПУ (Обозначение  $xMW$  – координата в общем виде, она задаётся совокупностью трех символов:  $x$  – символ оси;  $M$  – обозначение исходной точки;  $W$  – обозначение конечной точки).

В рассматриваемом станке (6М13ГН1) имеется возможность перемещать режущий инструмент одновременно по трем согласованным осям:  $X$ ,  $Y$ ,  $Z$ ; а это дает возможность объемной обработки сложных поверхностей. При плоской обработке используются только две управляемых координаты. Координаты могут быть выражены абсолютными размерами (например,  $x_1, y_2, z_3$ ) или задаваться в виде приращений в направлении движения инструмента от одной опорной точки к другой («относительные размеры», например,  $\Delta x_1, \Delta x_2, \Delta x_3$ ). Способ задания: задается подготовительными функциями G90 (абсолютные координаты) и G91 (размеры в приращениях).

За символами адресов кода программирования УЧПУ FMS-3000 согласно инструкции по программированию закреплены определенные значения, которые используются при кодировании технологической информации (табл.1).

Пределы допустимых значений для адресов из табл.1 следующие: N – (0...9999999); G – (0...99); S – (0...9999 об/мин или код ступени); T – (0...9999); M – (0...99); H, D и DR – (0...255); E – (1...65535 десятых секунды); P – (0...9999). Диапазоны изменения размерных слов (X...R) и величины подачи (F) указываются в эксплуатационной документации на модернизированный станок 6М13ГН1. Информация для УЧПУ FMS всегда записывается **адресным** способом. Общую структуру записи *УП* определяет руководство по эксплуатации [3]. Ввод числовых величин осуществляется в десятичной системе в соответствии с допустимыми значениями. Точка в поле числа является десятичной точкой, разделяющей целую и дробную части в миллиметрах или градусах. При программировании ведущие нули можно опускать, кроме вызова подпрограммы (*ПП*) (X.08 означает размер 0,08 по оси X). Математический знак «плюс» в слове «размерные перемещения» допускается опускать.

Таблица 1

*Значения функций и адресов*

<b>Функция</b>	<b>Адрес</b>	<b>Значение</b>
Номер кадра	N	Номер кадра
Подготовительная функция	G	Определение вида движения рабочего органа
Размерные слова	X, Y, Z A, B, C, U, V, W I, J, K	Команды на перемещен. по координатам станка Команды на перемещение по дополнительным осям Расстояние до центра дуги окружности или шаг винта при линейно круговой интерполяции
Величина подачи	F	Задание величины подачи.
Обороты шпинделя	S	Задание оборотов шпинделя, кода ступени или скорости резания.
Номер инструмента	T	Задание номера инструмента для поиска.
Вспомогательная функция	M	Указание на двухпозиционное управление (вкл-выкл) на станке
Номер корректора, хранящего данные об инструменте	H D DR	Задание номера корректора инструмента для коррекции: -на длину, -на радиус, -на скругление.
Пауза	E	Задание величины паузы
Вызов подпрограммы	P	Команда вызова подпрограммы (ПП)
Угол поворота системы координат	A	Задание угла поворота системы координат по функции G37
Угол полярной системы координат	A	Задание угла для определения конечной точки в полярной системе координат по функции G36
Радиус дуги окружности	R	Задание радиуса дуги окружности при программировании G2/G3 через радиус
Количество повторов	L	Задание количества повторов фрагмента программы с помощью функции G25
Радиус полярной системы координат	I	Задание расстояния от центра полярной системы координат до конечной точки по функции G36

**5.2. Структура управляющей программы**

Программам (УП) при их вводе присваивается номер в диапазоне от 0 до 9999. В памяти УЧПУ возможно одновременное хранение 11110 программ и подпрограмм (ПП). УП заканчивается кадром со вспомогательными функциями M2, M98 или M30 – конец программы. Некоторые УП могут иметь номер, начинающийся с букв G или M, после которых идут **от одной до трех** цифр. Нумерация кадров начинается после номера УП. В начале



кадра следует помещать номер кадра с использованием адреса N и последующего числового значения. Допускается произвольная последовательность номеров кадра и даже пропуск промежуточных номеров (но не адреса N). В общем случае наличие номера кадра не является обязательным, т.е. кадр может выглядеть так: G1X100F200. Здесь X100 – размерное слово, которое является командой на перемещение инструмента. Размерное слово состоит из адреса и числового значения, определяющего направление и величину перемещения. Адреса размерных слов включают в себя оси и параметры круговой или линейно-круговой интерполяции *I, J, K, R*. Оси делят на основные оси *X, Y, Z* и дополнительные оси *A, B, C* и *U, V, W*.

Минимальная программируемая единица перемещения в УЧПУ FMS составляет 0,001 мм и 0,001 град. Однако, хорошая разрешающая способность УЧПУ и точность обработки – не одно и то же. Точность обработки в большей степени определяется жесткостью, виброустойчивостью и другими параметрами системы СПИД (станок – приспособление – инструмент – деталь).

Согласно [4] каждый кадр УП должен содержать слово «номер кадра» (*N*), информационные слова и завершаться словом «конец кадра» (*BK* или *PC* – перевод строки). В УЧПУ FMS кадр может *состоять только* из информационных слов. Информационные слова в кадре следует записывать в определенной последовательности: 1) слово (или слова) «подготовительная функция»; 2) слова «размерные перемещения» в следующем порядке: *X, Y, Z, U, V, W, P, Q, R, A, B, C*; 3) слова «параметр интерполяции или шаг резьбы»: *I, J, K*; 4) слово «функция подачи», которое должно следовать за последним словом «размерное перемещение»; 5) слово «функция главного движения»; 6) слово «вспомогательная функция». При этом в пределах одного кадра **не должны повторяться**: слова «размерные перемещения», «параметр интерполяции или шаг резьбы», «подготовительные функции», входящие в одну группу.

### **5.3. Системы координат**

Работа фрезерного станка тесно связана с системами координат. Оси координат располагают параллельно направляющим станка, что позволяет при программировании обработки указывать направления и величины перемещения рабочих органов. В станке принята правая система координат по ГОСТ 23597-79 (рис.9).



G90 («абсолютные величины»), то все координаты определяются относительно нулевой точки  $M$  станка. В системе координат станка определяются положения базовых точек отдельных узлов станка. Числовые значения некоторых базовых точек можно вывести на экран. При работе в декартовой системе координат (с нулями в точках  $M$ ,  $W$ ,  $N$  (рис. 8)) существует возможность поворота этой системы на произвольный угол относительно заданной точки в действующей плоскости (G17–G20). Этот поворот в плоскости  $XU$  можно задать кадром: N100G37X\_Y\_A\_, где  $X_$ ,  $Y_$  – координаты точки и  $A$  – угол в градусах со знаком. Возврат к исходной системе координат кадром N100G37A0.

**Система координат инструмента** (рис.10) предназначена для задания положения его режущей части относительно державки. Инструмент описывается в рабочем положении в сборе с державкой. Используется система координат инструмента  $X_iZ_i$  (рис. 8), оси которой параллельны осям системы координат станка. Начало системы координат инструмента располагают в базовой точке  $N$  элемента станка, а базовая точка инструментального блока  $T$  либо совпадает с  $N$ , либо находится от  $N$  на заданном расстоянии. Положение настроечной точки  $P$  (рис. 10) относительно системы координат инструмента обеспечивается наладкой инструментального блока вне станка на специальном приспособлении. Настраиваемая точка фрезы  $P$  используется в качестве расчетной точки при вычислении опорных точек траектории для УП.

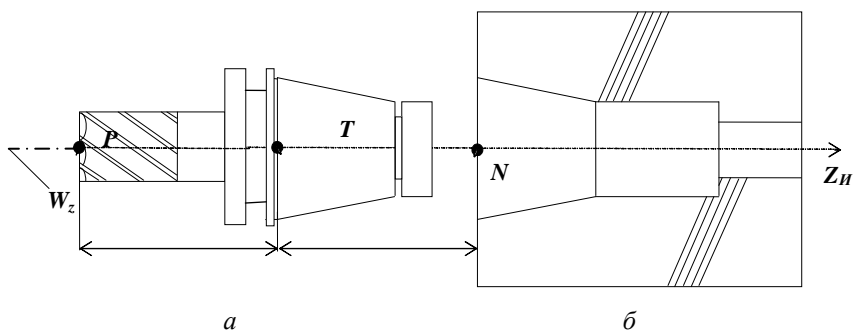


Рис. 10. Схема базирования инструмента:  
 а - инструментальный блок, б - элемент станка

**Система координат детали** – это система, в которой определены все размеры данной детали и даны координаты всех опорных точек контура детали. Система назначается технологом-программистом в соответствии с координатной системой выбранного станка. Нуль системы координат детали обозначается буквой  $W$ , и его иногда называют «плавающим нулем».

В этой системе, которая определяет положение детали в приспособлении, размещение опорных элементов приспособления, траектории движения инструмента; указывается так называемая точка начала обработки (исходная точка, нуль программы). Она обозначается буквой « $O$ ». Перед началом обработки расчетная точка инструмента ( $P$  или  $P_n$ ) должна быть совмещена с нулём программы. Её положение выбирает технолог-программист перед составлением УП, исходя из удобств отсчёта размеров, размещения инструмента и заготовок, стремясь, во избежание излишних холостых ходов, приблизить инструменты к обрабатываемой детали. При многоинструментальной обработке исходных точек может быть несколько. На используемых для обработки приспособлениях должны быть «базовые точки», которые обычно обозначаются латинскими буквами  $C$ ,  $K$ ,  $F$ . Эти точки нужны для перевода размеров из системы координат детали ( $W$ ) в систему координат станка ( $M$ ). Наладка станка для работы по УП упрощается, если базовые точки определены в системах координат станка и детали.

При программировании следует принимать во внимание диапазон перемещений рабочих органов станка (рабочую зону), который задаётся предельными координатами базовых точек этих органов в системе координат станка.

УП создается на базе разработанной технологии обработки интересующей нас детали. Эта технология (применительно к станкам с ЧПУ) требует участия опытного квалифицированного технолога, умеющего выбрать станок, инструмент, выбрать рациональный режим резания и многое другое. В данных методических указаниях считаем, что технология обработки уже написана.

## 6. КОДИРОВАНИЕ ИНФОРМАЦИИ

Подготовленная исходная информация по обработке детали должна быть закодирована в соответствии с инструкцией по программированию [4], которая входит в состав технической документации, поставляемой со станком. Эта закодированная информация и есть УП, которая затем наносится на перфоленту (ПЛ) или записывается в ПЗУ УЧПУ. Часть понятий и

процедур этого процесса была рассмотрена выше. Подготовительным (G) и вспомогательным (M) функциям следует уделить большее внимание.

### 6.1 Подготовительные функции

Функции с адресом G, называемые подготовительными, определяют режим и условия работы станка и УЧПУ. Обычно они кодируются от G00 до G99. За каждой из функций закреплено определенное значение (табл.2). В конкретных УЧПУ значение тех или иных функций может отличаться от рекомендуемых стандартом ИСО - 7 бит. Подготовительные функции разбиты на несколько групп (в нашем случае на 16 групп, а в ГОСТ 20999 -83 только шесть групп). В некоторых группах имеются резервные команды, за счет которых каждая модель УЧПУ индивидуальна (т.е. имеет свой язык программирования).

Как упоминалось выше, существует два способа задания величины перемещения по каждой оси – это задание в абсолютных величинах и в приращениях. Для задания перемещения в абсолютных величинах используется функция G90.

Таблица 2

**Значения подготовительных функций в УЧПУ FMS-3000**

Код	Группа	Функция (значение)
00	01	Позиционирование (ускоренное перемещение)
01		Линейная интерполяция (рабочая подача)
02		Круговая интерполяция по часовой стрелке
03		Круговая интерполяция против часовой стрелки
04	00	Пауза
09		Торможение в конце текущего кадра до нулевой подачи
10		Линейно –круговая интерполяция
14	02	Сопряжение по дуге
15		Сопряжение по прямой
17	03	Задание плоскости 1 -2 ось (XY)
18		Задание плоскости 3 -1 ось (ZX)
19		Задание плоскости 2 -3 ось (YZ)
20		Задание произвольной плоскости
21	04	Разрешение коррекции рабочей подачи
22		Запрет коррекции рабочей подачи
23	05	Разрешение коррекции частоты вращения шпинделя
24		Запрет коррекции частоты вращения шпинделя
25	00	Начало фрагмента программы для повтора
27		Выход в «НОЛЬ» координат станка по путевым выключателям

<i>Код</i>	<i>Группа</i>	<i>Функция (значение)</i>
28		Позиционирование в «НОЛЬ» координат станка
30		Позиционирование в фиксированную точку 1
31		Позиционирование в фиксированную точку 2
32		Завершение перемещений в кадре по внешнему сигналу
33		Нарезание резьбы резцом
34		Синхронизация подачи в кадре с 0-меткой датчика положения
35	06	Декартова система координат
36		Полярная система координат
37	00	Поворот системы координат
38		Запрет покадровой обработки УП на 1 кадр
39		Запрет останова программы по кнопке «Стоп» на 1 кадр
40	07	Отмена коррекции на радиус инструмента или пространственной коррекции
41		Коррекция на радиус инструмента слева
42		Коррекция на радиус инструмента справа
143		Пространственная коррекция на размер инструмента
144		Зеркальная пространственная коррекция на размер инструмента
43	08	Коррекция на длину инструмента в «+»
44		Коррекция на длину инструмента в «-»
49		Отмена коррекции на длину инструмента
45	09	Разрешение учета зависимых осей
46		Запрет учета зависимых осей
47	00	Перемещение неявно заданной координаты в «+»
48		Перемещение неявно заданной координаты в «-»
53	10	Возврат к системе координат станка
54		Выбор координатной системы заготовки 1
55		Выбор координатной системы заготовки 2
56		Выбор координатной системы заготовки 3
57		Выбор координатной системы заготовки 4
58		Выбор координатной системы заготовки 5
59		Выбор координатной системы заготовки 6
60	00	Одностороннее позиционирование
50	11	Геометрическое регулирование подачи в конце каждого кадра
61		Торможение в конце каждого кадра аналогично G9
62		Отмена действия G50,G61,G63
63		Торможение в конце каждого кадра до подачи, заданной параметром
64	00	Торможение в конце текущего кадра до подачи, заданной параметром

<i>Код</i>	<i>Группа</i>	<i>Функция (значение)</i>
65	12	Разрешение пересчета подачи на круговом контуре
66		Запрет пересчета подачи на круговом контуре
67	00	Задание зеркальной обработки по указанным осям
68		Отмена зеркальной обработки по указанным осям
69		Задание масштаба по указанным осям
80	13	Отмена постоянного цикла
81		Цикл сверления
82		Цикл растачивания 1 (Рабочая подача)
83		Цикл глубокого сверления
84		Цикл нарезания резьбы
85		Цикл растачивания 2
86		Цикл прерывистого сверления
87		Цикл прерывистого сверления с выдержкой времени
88		Цикл растачивания с ориентированным остановом шпинделя
150		Однопроходный продольный токарный цикл
151		Однопроходный поперечный токарный цикл
152		Многопроходный продольный токарный цикл
153		Многопроходный поперечный токарный цикл
154		Цикл глубокого сверления по оси Z
155		Цикл снятия припуска по оси X
156		Цикл глубокого сверления с нисходящей обработкой по оси Z
157		Цикл снятия припуска с нисходящей обработкой по оси X
158		Многопроходный цикл нарезания цилиндрических канавок
159		Многопроходный цикл нарезания торцевых канавок
160		Цикл сверления с дроблением стружки по оси Z
161		Цикл снятия припуска с дроблением стружки по оси X
162		Многопроходный цикл нарезания резьбы
163		Цикл нарезания резьбы плашкой или метчиком
164		Цикл продольной обработки до профиля
165		Цикл поперечной обработки до профиля
166		Цикл обработки фаски
167		Цикл обработки скругления
90	14	Задание в абсолютных величинах
91		Задание в приращениях
92	10	Задание координатной системы заготовки в программе
94	15	Задание подачи в мм/мин
95		Задание подачи в мм/об
96	16	Поддержание постоянства скорости резания
97		Задание частоты вращения шпинделя в об/мин

При этом запрограммированная величина представляет собой координаты конечной точки в заданной системе координат. Для задания перемещения в приращениях используется функция G91. При этом запрограммированная величина представляет собой приращение к текущему значению координаты оси. Если запрограммировать показанное на рис.11 перемещение в абсолютных величинах, то получим N105G90X40Y70ПС; а в приращениях: N106G91X-60Y40ПС.

Задание в абсолютных размерах всегда относится к действующей системе координат.

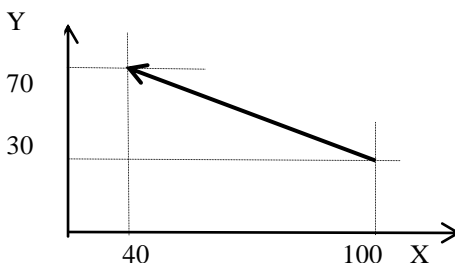


Рис. 11. Кодирование линейной интерполяции

Все геометрические размеры в УП могут быть *масштабированы*, т.е. независимо по каждой координате может быть введен масштабный коэффициент, на который умножаются заданные в УП значения. Задание масштабирования может быть выполнено с пульта оператора или с помощью функции G69 из УП, например: G69X2.5Y1.7, где X2.5 – увеличение размеров по оси X в 2.5 раза; Y1.7 – увеличение размеров по оси Y в 1.7 раза. Отмена масштабирования: G69X1Y1. При круговой интерполяции масштабные коэффициенты должны быть одинаковы.

**Скорость ускоренного перемещения (G00)** по любой из управляемых осей определяется настройкой электропривода соответствующей оси. Перемещение на скорости ускоренного перемещения выполняется автоматически при программировании *позиционирования*. При движении на ускоренных подачах возможна коррекция скорости. Действие функции G00 распространяется только на тот кадр, в котором она запрограммирована.

Понятие «**Скорость рабочей подачи**» (*F*) относится к перемещениям расчетной точки фрезы при различных видах интерполяции и действующих *G* – функциях. Рабочая подача направлена всегда по касательной к траектории движения расчетной точки. Размерность подачи определяется функциями G94 [мм/мин] или G95 [мм/об]. F1000 – это запрограммированная подача 1000 мм/мин или 1000 мм/об. Пределы изменения подачи указыва-



ются в техдокументации на станок. При обработке УП или кадра возможна оперативная процентная **коррекция рабочей подачи**. Функции G21 и G22 реализуют соответственно разрешение или запрет на коррекцию подачи из УП. В УЧПУ реализован автоматический расчет подачи по контуру через функции G65 и G66 (соответственно разрешение или запрет автоматического расчета подачи на круговом контуре).

**Задание плоскости** осуществляется программированием функций G17, G18, G19, G20. Это плоскости круговой интерполяции: 1-2 (XY), 3-1 (ZX), 2-3 (YZ) и XA (произвольная плоскость). Кроме того – это оси коррекции на длину и цикловые оси (перпендикулярны к соответствующим плоскостям). Например, при команде G17Z\_ происходит перемещение по оси Z. Кадр G20Y0U0 задает плоскость YU, при этом значения Y и U ни на что не влияют и не вызывают никаких перемещений.

Выше упоминалось, что **позиционирование** происходит на скорости ускоренного перемещения в заданную точку. Можно запрограммировать перемещение по всем осям: G00X\_Y\_Z\_B\_. При этом перемещение происходит одновременно по всем запрограммированным осям до заданной точки. Траектория перемещения может быть двух видов: «G0 без интерполяции» (траектория не прямая) и «G0 с интерполяцией» (траектория прямая линия). Вид перемещения зависит от установки соответствующего технологического параметра (N3022).

**Одностороннее позиционирование** по функции G60 по характеру движения не отличается от G00 (параметр N3022). Программирование одностороннего позиционирования в общем случае: G60 X\_Y\_Z\_ (рис.12).

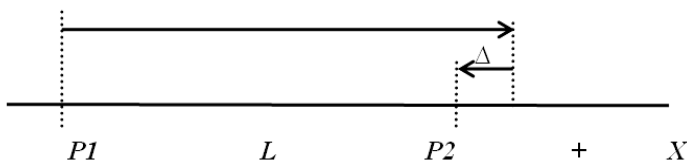


Рис.12. Пример одностороннего позиционирования

Параметром задано направление выхода в точку из «+» в «-». P1 – начальная точка, P2 – конечная точка, величина Δ определяется параметрами УЧПУ. Функция G60 действует на один кадр.

**Линейная интерполяция** задается функцией G01. Если сделать акцент на том, что перемещение, показанное на рис. 11, есть прямая и подача при этом равна 100, то кадры станут: N105G90G01X40Y70F100ПС и N106G91G01X-60Y40ПС.

Задаваемая величиной *F* подача действует до тех пор, пока не будет запрограммирована новая величина подачи, поэтому нет необходимости программировать одну и ту же величину подачи в каждом кадре.

**Круговая интерполяция** задается функцией G02 или G03.

Под круговой интерполяцией *по часовой стрелке* (G02) понимается движение по круговой траектории (рис.13), порождаемое согласованным движением вдоль двух осей, направленное по часовой стрелке, *если плоскость перемещения рассматривать в отрицательном направлении оси, перпендикулярной к плоскости*. То есть, если смотреть на стрелку G02 на рис.13а с конца оси Z, направленной перпендикулярно плоскости рисунка на смотрящего, то направление вращения стрелки должно совпадать со стрелкой часов. Программирование векторов I, J, K, определяющих положение центра дуги относительно начальной точки круговой траектории, осуществляется всегда в приращениях независимо от G90 или G91. В зависимости от направления I, J, K необходимо выбрать для них соответствующий знак.

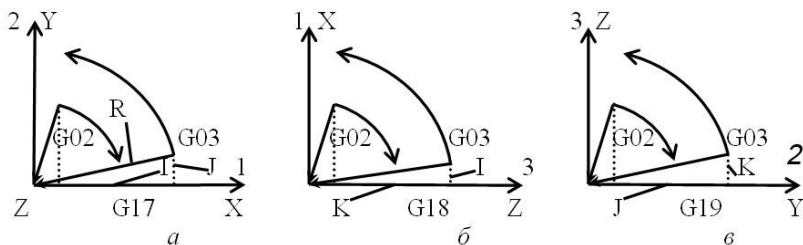


Рис. 13. Схема кодирования элементов круговой траектории в разных плоскостях

Примеры по рис.13 составления кадра УП для перемещения по дуге окружности:

- плоскость 1–2            G17G02(G03)X\_Y\_I\_J\_F\_;
- плоскость 3–1            G18G02(G03)Z\_X\_K\_I\_F\_;
- плоскость 2–3            G19G02(G03)Y\_Z\_J\_K\_F\_.

Применительно к фрезерному станку 6М13ГН1 с концевой фрезой, закрепленной в вертикальном шпинделе, подходит вариант на рис. 13а. В этом случае ось фрезы параллельна оси  $Z_n$ , а плоскость торцевых зубьев параллельна плоскости стола ( $XY$ ), т.е. удобно реализовать, например, контурную обработку плоских изделий.

**Пример программы** (рис. 14).

В абсолютных величинах:

G90G17G03X140Y100I-60F300

G02X120Y60I-50

В приращениях:.

G91G17G03X-60Y60I-60F300

G02X-20Y-40I-50

Скорость подачи для круговой интерполяции соответствует заданной величине  $F$ , направлена по касательной к дуге окружности и поддерживается постоянной в каждой точке дуги.

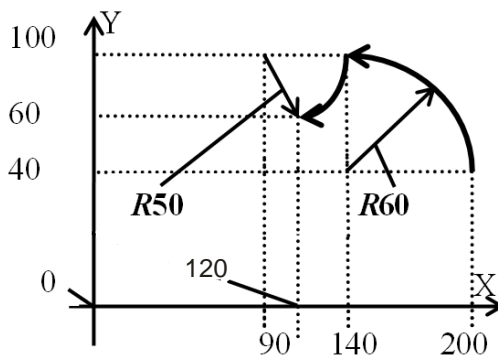


Рис.14. Пример контурной обработки

Рассмотренный вариант задания координат центра дуги окружности через расстояния от начальной точки до центра работает при установленном технологическом параметре  $N3021=0$ . Существуют еще два варианта программирования части дуги (параметры  $N3021=1$  и  $2$ ).

**Позиционирование в ноль координат станка** задается функцией G28. При выполнении кадра G28X0Y0Z0 происходит позиционирование в «ноль станка» (без учета коррекций на размер и смещений нулей). Все движения выполняются на скорости ускоренного перемещения.

**Позиционирование в фиксированную точку** осуществляется функциями G30 и G31. Координаты этих фиксированных точек заранее введены с помощью параметров N7001–N7401, N7002–N7402. Кадр такого позиционирования: G30(G31)X0Y0Z0. Данная функция по своему действию эквивалентна G28, но позиционирование определено массивом G30, G31. Массив координат всегда, независимо от G90/G91, задает абсолютные значения координат фиксированной точки в системе координат станка. Этими точками могут быть точка смены инструмента, точка смены деталей и т.д.

**Пауза** программируется так: G04EX. Это означает, что выполнение следующего кадра задержится на  $X/10$  секунд. Программирование величины паузы производится в десятых долях секунды. Максимальная величина паузы  $6553,5 \text{ с} = 109,225 \text{ мин}$ . Пауза может быть запрограммирована как в отдельном кадре, так и вместе с любой другой информацией.

УЧПУ позволяет запрограммировать три варианта **торможения в конце кадра**: 1) до подачи, равной нулю, 2) до подачи, заданной параметром, 3) до подачи, определяемой величиной изменения направления в соседних кадрах.

Торможение по первому варианту используется для точного останова координат в конце кадра. Кадр считается законченным только тогда, когда разница между конечными и текущими координатами будет меньше величины, заданной параметрами СЧПУ. Этот вид торможения задается функциями G09 и G61, при этом функция G09 действует только на текущий кадр, а функция G61 действует до замены ее на функции G50, G62 – G63 (рис.15).

Торможение до подачи, заданной параметрами, реализуется функциями G63, G64. При этом функция G64 действует только в течении кадра, а функция G63 действует до замены функциями G50, G61, G62. На границах кадров происходит снижение подачи до величины, заданной параметром N3000 ( $F_{\text{пар}}$ , рис. 15).

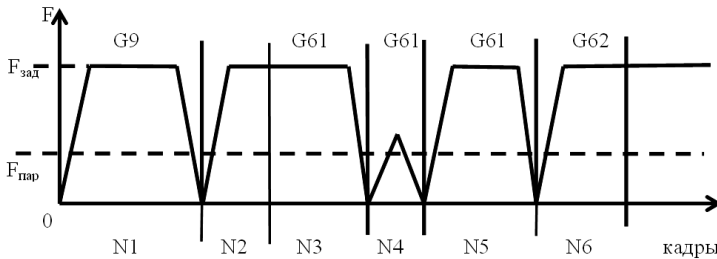


Рис.15. Торможение в конце кадра

Геометрическое регулирование подачи задается функцией  $G50$ , которая действует до замены ее функциями  $G61$ ,  $G62$ ,  $G63$ . Значение подачи на границах кадров определяется величиной параметра точности прохождения стыка этих кадров  $N3034$ .

Запрет останова программы по кнопке «Стоп» на 1 кадр реализуется функцией  $G39$ . Функция действует в течении кадра и защищает процесс обработки от неправильных действий оператора (например, при нарезании резьбы!).

Для программирования в абсолютных величинах необходимо определить систему координат (рис. 8). Система координат станка задается путем установки параметров смещения нулей станка (см. «Руководство оператора»). В эти параметры вводится расстояние от нуля координат по датчикам положения до требуемых точек, принятых за начало отсчета. При совпадении нуля координат станка с нулем координат по датчикам положения необходимо параметры обнулить. Система координат, которая определена для текущего программирования, считается действующей системой координат станка ( $M$ ).

С помощью программирования  $G54-G59$  можно выбрать одну из шести **систем координат детали** (заготовки). При этом устанавливается расстояние по каждой координатной оси от нуля координат станка до начала отсчета новой системы координат детали. При программировании кадра  $G90G55G00X100Y50Z20$  произойдет позиционирование в положение  $X=100$ ,  $Y=50$ ,  $Z=20$  в системе координат, заданной  $G55$ . При включении питания УЧПУ автоматически устанавливается система координат детали, определяемая параметром  $N3008$ . Система координат детали может быть также установлена непосредственно в УП с помощью функции  $G92$ . Задание новой координатной системы («плавающей» системы координат) выглядит так:  $G92X\_Y\_Z\_$ . При этом с каждым новым заданием функции

G92 происходит суммирование этих смещений. Таким образом, может быть задано неограниченное количество систем координат детали. Программирование в кадре G53 отменяет действие системы координат заготовки, выбранной по G54 – G59 и G92. Перемещение, заданное в кадре с G53, и последующие перемещения будут производиться относительно системы координат станка.

Для автоматического учета размера инструмента при обработке детали предназначены **функции коррекции**.

Функции *D*, *H* и *DR* служат для задания вида коррекции и величины смещения в соответствии с заданным номером корректора.

Функция *D* предназначена для задания величины смещения для коррекции по радиусу и используется функциями G40, G41, G42, G143, G144.

Функция *H* задает величину смещения для коррекции по длине и действует по функциям G43, G44, G49.

Функция *DR* предназначена для задания номера корректора величины скругления инструмента и используется функциями G143, G144.

Программируется задание смещения, например, по радиусу так: G41D34.

Здесь запрограммированная величина смещения по радиусу определяется 34-м корректором.

**Величина смещения** инструмента может находиться в пределах  $\pm 1000$  мм или град и задается номером корректора. В УЧПУ *FMS-3000* предусмотрено 255 корректоров с номерами 1-255, что позволяет иметь 255 различных величин смещений. Величины смещения по запрограммированным номерам корректоров следует вводить (см. «Руководство оператора») до начала отработки УП. Один и тот же номер корректора может одновременно использоваться по *D*, *H* и *DR*. При этом номер корректора никак не связан с номером инструмента.

Смещение инструмента по длине: G43H, G44H\_. Функция *H* задает номер корректора, а направление смещения в «+» функция G43 (в «-» функция G44). Вне зависимости от режима задания величин перемещений G90 или G91, величина смещения автоматически добавляется к координатным значениям конечной точки с плюсом по G43 и с минусом по G44. Эти операции производятся без учета знака величины смещения, находящейся в корректоре. Функции G43 и G44 действуют до тех пор, пока не будет запрограммирована другая G-функция этой же группы (т.е. являются

модальными). Для отмены смещения по длине нужно запрограммировать G49 или выбрать H00. Для смещения инструмента по длине *нельзя* использовать функции D и DR. Начальная установка функции из группы G43-G49 определяется параметром N3006. Коррекция длины инструмента в данном УЧПУ возможна по любой из осей, причем величина смещения будет вводиться в зависимости от функции G17, G18, G19 по осям 3, 2, 1 соответственно. Ввод и вывод коррекции на длину инструмента производится в кадрах, где задано перемещение по корректируемой оси.

**Коррекция инструмента на радиус** осуществляется функциями G40, G41, G42. С их участием программируется коррекция траектории движения инструмента на величину его радиуса. Эти функции используются вместе с G00, G01, G02, G03 и они совместно определяют некоторый режим движения инструмента. При введенной коррекции на радиус инструмента возможно программирование до 10 кадров, не содержащих перемещений в плоскости коррекции, или кадров без перемещений. Величина смещения задается номером корректора по функции D. Функция G40 – отмена коррекции на радиус инструмента; G41 – ввод смещения слева от направления перемещения инструмента; G42 – то же, но только справа. В приведенном примере на рис. 16 описан режим коррекции на радиус фрезы.

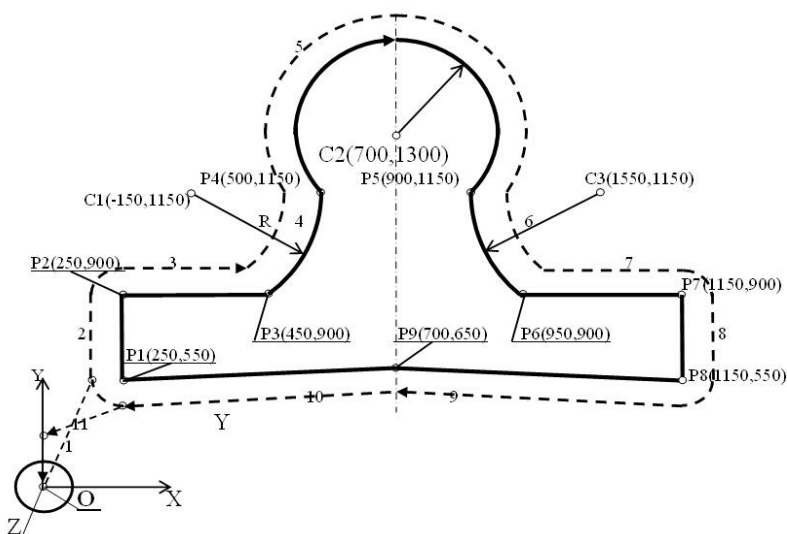


Рис.16. Программирование контурной обработки фрезой с использованием коррекции

Приводим фрагмент УП:

N100G92X0Y0Z0 – установка системы координат детали (заготовки).

N1G90G17G01G41D07X250Y550F150 – абсолютный размер; плоскость  $XY$ ; линейная интерполяция по траектории 1; коррекция на радиус слева; корректор; координаты точки P1; величина подачи.

N2Y900 – линейное перемещение по участку траектории «2» (X250 в кадре N1).

N3X450 – круговая интерполяция относительно точки P2 и линейное перемещение в точку P3 по траектории 3.

N4G03X500Y1150I-600J250 – круговая интерполяция против часовой стрелки в точку P4 по эквидистанте 4 ( $I = -150 + (-450) = -600$ ;  $J = 1150 - 900 = +250$ ).

N5G02X900I200J150 – круговая интерполяция по часовой стрелке до точки P5 на участке траектории 6 ( $Y$  задан в кадре N4;  $I = 700 - 500$ ;  $J = 1300 - 1150 = 150$ ).

N6G03X950Y900I650 – круговая интерполяция против часовой стрелки до точки P6 по эквидистанте 6 ( $I = 1550 - 900 = +650$ ;  $J = 900 - 900 = 0$ ).

N7G01X1150 – линейное перемещение в точку P7 по траектории 7 ( $Y$  из кадра N6) с круговым перемещением вокруг точки P7.

N8Y550 – линейное перемещение в точку P8 ( $X$  из кадра N7) с круговым движением вокруг точки P8.

N9X700Y650 – линейное перемещение в точку P9 по траектории 9.

N10X250Y550 – линейное перемещение в точку P1 по траектории 10.

N11G00G40X0Y0 – отмена коррекции и возвращение в «плавающий» нуль ускоренно по траектории 11 (установлен параметр «G0 без интерполяции»).

Величину смещения  $D$  по номеру 7 необходимо установить до начала отработки программы. Кадр номер один (N1) называют кадром включения. При программировании G41 (N2) происходит переключение из режима отмены коррекции на режим коррекции на радиус инструмента слева от обрабатываемого контура. В точке P1 кадра N1 происходит смещение на величину радиуса инструмента, перпендикулярно к направлению от P1 к



P2. При этом радиус фрезы определен значением корректора  $D07$ , то есть в области памяти, соответствующей номеру корректора 7, хранится значение радиуса фрезы. Теперь, при отработке кадра перемещения в соответствии с данными чертежа, смещение на радиус фрезы будет вводиться автоматически.

При включении УЧПУ или после завершения программы по M02, M30, M98 устанавливается режим отмены коррекции по радиусу. Не допускается программирование круговой интерполяции по функциям G02, G03 и ввода коррекции по радиусу функциями G41, G42 в одном кадре.

Уточним понятие «сторона». Если на заготовке (или детали) имеются два стыкующихся линейных участка с углом между ними, замеренным со стороны материала заготовки, то тогда, если угол больше  $180^\circ$ , сторона считается «внутренней»; а если угол  $0^\circ-180^\circ$ , то сторона считается «внешней». Например, обрабатывается фаска с углом  $45^\circ$  (угол со стороны материала заготовки  $135^\circ$ ), коррекция G42 вправо от фаски, которая будет «внутренней» стороной, движение в сторону 2-й прямой.

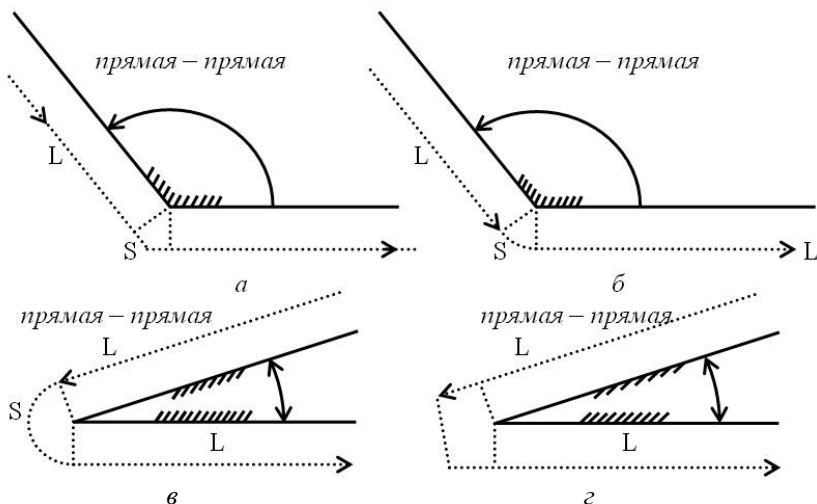


Рис. 17. Дополнительные кадры УП при коррекции (L – перемещение по прямой линии; S –точка останова в режиме покадровой отработки)

При работе УЧПУ с введенной коррекцией на радиус инструмента происходит смещение траектории центра фрезы. При этом не допускается переключение G17, G18, G19 без предварительной отмены G41, G42 функцией G40. При перемещении с *внешней* стороны угла для его обхода *автоматически вставляется* один или несколько кадров. Дополнительные кадры могут представлять собой дугу или отрезки прямых. Вид этих кадров задается с помощью функций G14 – сопряжение по дуге, G15 – сопряжение отрезками прямых.

Перемещение с внешней стороны под тупым углом по функции G15 и G14 .

Программированием G40 или D00 отменяется коррекция на радиус инструмента. Эта процедура зависит от параметра N3035 (есть три варианта). Не допускается программирование G40 или D00 в одном кадре с G02 и G03.

Номер корректора, в котором хранится радиус фрезы, задается адресом *D*, а величина скругления инструмента – адресом *DR*. В зависимости от формы фрезы величина её скругления может меняться от нуля (цилиндрическая фреза) до значений больше, либо равных радиусу фрезы. Ориентация инструмента относительно осей координат определяется действующей плоскостью. При задании функции G17 ось вращения фрезы располагается вдоль оси 3, при G18 – вдоль оси 2, при G19 –вдоль оси 1 (*X*).

**Пространственная коррекция на радиус инструмента** начинает работать, когда в УП заданы: – разрешение действия данной коррекции – G143 или G144; хотя бы один ненулевой номер корректора *D*, *DR*. Реальное действие данной коррекции выполняется только в тех кадрах, где заданы проекции вектора нормали. По функции G144 кроме разрешения действия коррекции происходит изменение знаков проекций вектора нормали на противоположные. Возможно задание функций G143 (G144), *D* и *DR* в разных кадрах. Отмена пространственной коррекции происходит по функции G40 или при задании нулевых значений *D* и *DR*.

С помощью использования таблицы инструментов и установки соответствующих параметров величина коррекции на размер инструмента может задаваться не через номера корректоров *D*, *H* и *DR*, а через задание номера фрезы по функции *T*. При этом для каждого инструмента в таблице задаются его длина, радиус и скругление (см. Руководство оператора). Поэтому для ввода коррекций на длину и радиус в этом случае нужно использовать только функции G40–G42, –G143– G144 и G43, G44, G49.

Для использования таблицы инструментов электроавтоматика станка должна обрабатывать функцию  $T$  независимо от того, есть на станке автоматическая смена инструмента или нет.

Выбором специальных подрежимов на пульте УЧПУ или с помощью функции G67 в тексте УП можно задать *зеркальную обработку* по координатам  $X$ ,  $Y$ ,  $Z$  и другим имеющимся на станке координатам. Точка зеркальности всегда задается в текущей системе координат, заданной по функциям G54–G59.

Для реализации функций цикловой сверлильно-расточной обработки предназначены *постоянные циклы*, программируемые функциями G81–G88. Ось, вдоль которой выполняется постоянный цикл, называется цикловой осью. Задание цикловой оси происходит автоматически при программировании функций выбора плоскости. Параметры цикла задаются одинаково для любой цикловой оси и всегда должны программироваться после G – функции цикла. Параметры циклов показаны в таблице 3.

Таблица 3

**Параметры циклов**

Параметр		Характеристика	Содержание	
			G90	G91
Обязательные	U	Для всех циклов	Позиция точки 1	Перемещение в точку 1
	Z		Позиция точки 1	Перемещение в точку 1
Необязательные	I		Позиция точки 1	Перемещение в точку 1
		Если не задан, то точка совпадает с точкой 3		
Обязательные	V	Для G83 G86	Шаг сверления	
	W	Для G83	Запас для очередного начала сверления	
		Для G86	Величина отскока на скорости ускоренного перемещения	
Необязательные	X	Для G88	Смещение по оси 1 после ориентации	
	Y	Для G88	Смещение по оси 2 после ориентации	
	W	Для G87	Выдержка времени	
	F	Для всех циклов	Подача для перемещения на участке 1-2	
	F	Для G82 Для G84	Подача для перемещения на участке 2-3	
	H	Для G82	Подача для перемещения на участке 2-3	
	E	Для всех циклов	Выдержка времени в точке 2	
			Выдержка в точке 3	
M	Для G85 G84	Признак смены состояния шпинделя в точке 4		

Программирование цикла выглядит следующим образом:

$G\_U\_Z\_W\_V\_I\_F\_E\_M\_H\_X\_Y\_$

Программирование цикла в общем случае  $G\_U\_Z\_I\_F\_E\_$ , где  $G$  – код  $G$ -функции, а остальное – это величины параметров. Параметры всегда должны программироваться после  $G$ -функции цикла. Величины параметров должны задаваться в соответствии с форматом ввода (табл. 1).

Допускается программирование не самих величин, а формальных параметров, в которых эти величины содержатся (см. раздел «Макропрограммирование»).

Если в кадре с циклом нужно запрограммировать какие-либо задания, то их нужно записать до  $G$ -функции цикла. При выполнении такого кадра цикл выполняется последним. Подпрограммы стандартных циклов написаны на языке *макропрограммирования*.

**Цикл сверления** задается функцией  $G81$  и имеет диаграмму перемещений, показанную на рис.18.

Если параметр  $I$  не задан, то точка 4 совпадает с точками 3 и 1. Перемещения на участках выполняются со следующими скоростями: «0 -1» – ускоренное перемещение; «1-2» – подача из параметра  $F$ ; «2 -3» и «3 -4» – скорость ускоренного перемещения.

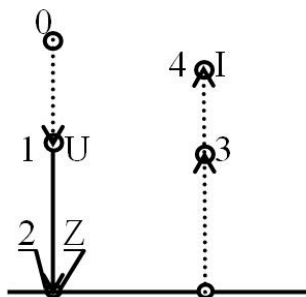


Рис.18. Диаграмма перемещений

В общем случае программирование цикла выглядит:

$G81Z\_U\_I\_F\_E\_$ ,

где  $G81$  – цикл сверления;  $Z$  – позиция конечной точки для движения на рабочей подаче – точка 2, если  $G90$  (или перемещение на рабочей подаче 1-2, если  $G91$ ).  $U$  – позиция начальной точки для движения в точку «1».  $I$  – позиция точки выхода «4»;  $F$  – рабочая подача;  $E$  – выдержка времени в точке «2».

*Пример: Цикловая сверлильная обработка* четырех отверстий без выдержки времени (рис. 19).

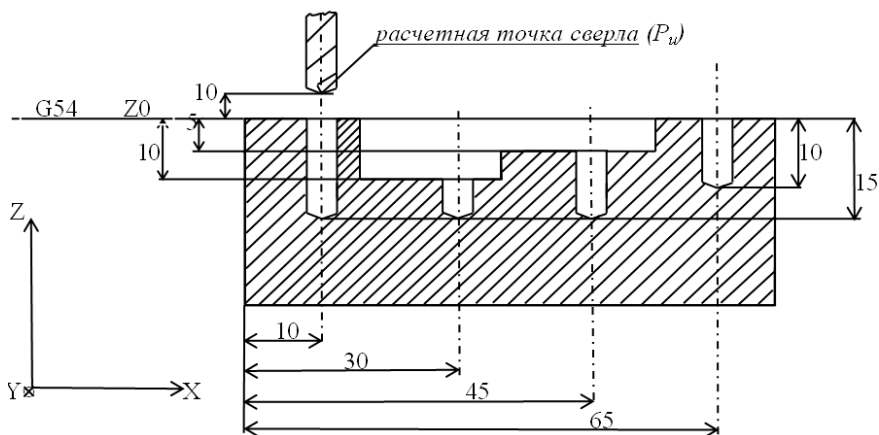


Рис. 19. Сверление четырех отверстий

Предполагается, что предварительно введена коррекция на длину инструмента, и ось  $Y$  установлена в нужную позицию (т.е. направлена  $\perp XZ$  и направлена за плоскость рисунка). Ниже приводится фрагмент УП с использованием «Цикла сверления»:

**N1 G54G0G90X10.Z10.** – подготовительная функция **G54** сдвигает «0» детали в точку на краю верхней плоскости заготовки (рис. 19) с координатой  $Z = 0$ ; устанавливается задание величин перемещений в абсолютных размерах; происходит ускоренное перемещение расчетной точки сверла, находящейся на его перемычке, в точку с координатами **X10.Z10** (нуль программы).

**N2 G81 U0.5 Z-15.F100** – в кадре указан код стандартной подпрограммы «Цикл сверления» **G81** и числовые значения всех параметров, необходимых для ее осуществления: **U0.5** – позиция точки 1 (рис. 18, выше верхней плоскости заготовки на 0,5 мм) для дальнейшего движения на рабочей подаче (**F100**); сверление отверстия глубиной 15 мм (рис. 19). Вывод сверла из отверстия входит в перечень движений цикла **G81** (точки 3 и 4 на рис.18).

N3 X30.G81 U-9.5I-4. – перемещение по оси  $X$  на 30 мм до оси второго отверстия, глубина которого 5 мм; включение цикла сверления G81, с указанием всех параметров, необходимых для его реализации: U-9.5 – перемещение расчетной точки к торцу, где начинается второе отверстие (но не доходя 0,5 мм); I-4 – выход расчетной точки в позицию, близкую к координате торца третьего отверстия ( $Z = -5$  мм). Сверление отверстия глубиной 15 мм (рис.19).

N4 X45.G81 U-4.5I10.5 – смещение расчетной точки по координате  $X$  до оси третьего отверстия; включение цикла сверления G81; его параметры: U-4.5 – перемещение в позицию, где будет включена рабочая подача; I 10.5 – позиция точки выхода 4 (из цикла). По G81 осуществляется сверление отверстия глубиной 15 мм (рис.19).

N5 X65.G81U0.5Z-10.I10. – кадр начинается с движения по  $X$  до оси четвертого отверстия; Включается цикл сверления G81. Вводятся его параметры: U0.5 – позиция включения рабочей подачи, находящаяся на высоте 0,5 мм над поверхностью заготовки; Z-10. – глубина сверления (размер 10 мм от верха заготовки); I 10. – позиция точки 4 (позиция выхода из цикла по оси  $Z$ ).

N6 G80 –отмена постоянного цикла.

Кроме рассмотренного постоянного стандартного цикла обработки сверлением в УЧПУ *FMS-3000* могут быть реализованы на вертикально-фрезерном станке другие циклы обработки:

G82, G85, G88 – циклы растачивания;

G83 – цикл глубокого сверления;

G84 – цикл нарезания резьбы;

G86 – цикл прерывистого сверления;

G87 – цикл прерывистого сверления с выдержками времени.

Вообще, возможности этого УЧПУ в плане реализации постоянных циклов существенно шире, но они относятся к другим группам и типам металлорежущих станков.

Отмена параметров циклов происходит в двух случаях: 1) при задании другого цикла; 2) при задании функции G80. После G80 обязательные параметры нужно повторять.

## 6.2. Функция шпинделя

При обработке числовых значений, запрограммированных под адресами  $M$ ,  $S$ ,  $T$  запускаются соответствующие процессы в фоновом контроллере, управляющем электроавтоматикой станка.

В зависимости от действующих функций G96 (поддержание постоянства скорости резания) или G97 (частота вращения шпинделя в *об/мин*) значение под адресом  $S$  имеет различный смысл. При функции G97 (*об/мин*) значение  $S$  передается в электроавтоматику без изменений (но с коррекцией на максимальную частоту вращения шпинделя ( $n_{\max}$ ), которая определяется по паспортным данным станка). При действии функции G96 (*м/мин*) задаваемое адресом  $S$  значение является *скоростью резания*. При этом частота вращения шпинделя регулируется так, чтобы поддержать постоянство скорости резания, заданной с помощью адреса  $S$  (функция  $S$  имеет три размерности (см. табл.1), и базовый станочный параметр N1030). С помощью функций G23 и G24 возможно соответственно разрешение или запрет оперативной коррекции частоты вращения шпинделя из УП. С помощью технологического параметра N3005 устанавливается G – функция из этой группы, действующая по умолчанию по включению станка и пуску УП.

Сказанное выше относится к возможностям УЧПУ FMS-3000, но на станке 6M13ГН1 привод шпинделя от асинхронного нерегулируемого электродвигателя и коробку скоростей (зубчатый редуктор). Поэтому возможности рассматриваемой СЧПУ в плане регулирования скорости резания ограничены.

## 6.3. Функция инструмента

Для выбора нужного инструмента используется адрес  $T$  и последующее числовое значение, являющееся номером инструмента. Программирование инструмента N39 выглядит так: T39. Номер инструмента для УЧПУ находится в пределах 0–9999, но конкретное максимальное значение номера инструмента определяется либо ёмкостью магазина, либо количеством инструментов, необходимых для изготовления детали.

## 6.4. Вспомогательная функция (M)

При обработке запрограммированных адресов  $M$  с последующим двузначным числом происходит запуск электроавтоматики станка. Действие конкретной функции  $M$  определяется характеристиками станка и реализуется в соответствии с его алгоритмом работы. Ниже рассматриваются

функции *M*, имеющие специальное назначение и действующие в станке 6M13ГН1 с УЧПУ *FMS-3000*.

**M00: Останов программы.**

При отработке кадра с **M00** происходит безусловный останов автоматической работы, причём вся информация при этом сохраняется. При пуске отработки программа будет продолжена с того места, где она была прервана функцией **M00**.

**M01: Технологический останов.**

Действие **M01** полностью повторяет действие **M00**, но отработка запрограммированной функции **M01** возможна только в подрежиме работы УЧПУ с технологическим остановом или по сигналу от станка.

**M02: Конец программы.**

Данная функция означает конец программы и приводит к останову автоматической работы УЧПУ. Состояние системы при этом остается таким, каким оно было в последнем кадре отработанной программы. Для повторного пуска программы необходимо выполнить поиск начала программы.

**M03:** Пуск шпинделя по часовой стрелке, если смотреть на инструмент со стороны шпинделя.

**M04:** Пуск шпинделя против часовой стрелки, если смотреть на инструмент со стороны шпинделя.

**M05: Останов шпинделя.**

При отработке кадра с **M05** происходит выключение и останов привода шпинделя.

**M25:** Конец фрагмента программы для повторения с помощью функции **G25**.

**M30: Конец программы.**

Действие функции **M30** аналогично действию функции **M02**, за исключением того, что для повторного пуска программы не надо выполнять поиск начала программы.

**M98: Конец программы.**

Действие функции **M98** аналогично действию функции **M02**, за исключением того, что при выполнении функции не происходит выдача сообщения оператору «**M02**». Это бывает необходимо, например, в подпрограммах, где при обнаружении ошибки задания параметров нужно остано-





Ниже приведены управляющая программа (УП) обработки детали и пояснения к ней.

### **7.1. Текст УП**

N10 G 90G17  
N15 G00G55  
N20 M03  
N25 G00X0Y42  
N30 Z-10  
N35 G01G42D111X6. 403Y16. 085F80  
N40 G03X5. 74Y15. 749I4. 18J-9.085  
N45 G01X-5. 327Y9. 624  
N50 G03X9. 643Y-5. 292I5. 327J-9.624  
N55 G02X27. 71Y-5. 641I8. 942J-4.908  
N60 G01X34. 356Y-18.945  
N65 G03X34. 445Y-19.0I0.09J0.045  
N70 G01X38. 359  
N75 X38. 448Y-18.945  
N80 X46. 019Y-4.086  
N85 G03X45. 05Y5. 594I-8.019J4. 086  
N90 G01X39. 003Y13. 216  
N95 G03X31. 169Y17. 0I-7. 834J-6.216  
N100 G01X10. 583  
N105 G03X6. 403Y16. 085I0. 0J-10.0  
N110 G01G40X1. 805Y26. 077  
N115 G00X0. 0Y50. 0  
N120 G54G00Z0. 0  
N125 M06  
N130 M02

### **7.2. Пояснения к УП**

**N10** – выбор абсолютной G90 системы отсчета и плоскости G17 интерполяции X-Y

**N15** – на ускоренной подаче G00 выход в ноль детали G55

**N20** – включение оборотов шпинделя M03 по часовой стрелке

**N25** – на ускоренной подаче выход в точку с координатами X=0 Y=50 мм.

**N30** – выход Z на – 10 мм

**N35** – G01 - линейная интерполяция,

**G42** – учет коррекции на радиус инструмента при движении его справа от контура

**D111** – номер корректора (в нашем случае D111=10мм) и на подаче F80 мм/мин идти в точку 1 на контуре детали

**N40** – G03 – круговая интерполяция против часовой стрелки от 1 до 2; координаты центра окружности: I по x, J по y

**N45** – G01 – линейная интерполяция от 2 до 3

**N50** – круговая интерполяция против часовой стрелки от 3 до 6

**N55** – G-02 – круговая интерполяция по часовой стрелке от 6 до 7

**N60** – линейная интерполяция от 7 до 8

**N65** – круговая интерполяция против часовой от 8 до 9

**N70** – линейная интерполяция от 9 до 10

**N75** – линейная интерполяция от 10 до 11

**N80** – линейная интерполяция от 11 до 12

**N85** – круговая интерполяция против часовой от 12 до 13

**N90** – линейная от 13 до 14

**N95** – круговая против часовой от 14 до 15

**N100** – линейная от 15 до 16

**N105** – круговая против 16 до 17

**N110** – линейная, отмена коррекции, уход с контура

**N115** – ускоренное перемещение в точку X0, Y50

**N120** – G54 – отмена функции плавающего «0» и на ускоренном ходу в Z0

**N125** – стоп шпинделя

**N130** – конец программы

## КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Как регулируется частота вращения шпинделя?
2. Как работает привод стола?
3. Как работает привод салазок?
4. Как работает привод пиноли?
5. Как выбирается люфт в шариковой винтовой паре?
6. Как выбирается люфт в зубчатых передачах?
7. Как осуществляется обратная связь?
8. Тиристорный электропривод?
9. Технические характеристики УЧПУ FMS-3000.
10. Что означает кадр и слово в программе?
11. Перечислите размерные слова.
12. Задание перемещений в абсолютных величинах и приращениях.
13. Линейная интерполяция.
14. Круговая интерполяция.

15. Линейно-круговая интерполяция.
16. Коррекция инструмента на радиус.
17. Задание плоскости.
18. Позиционирование.
19. Фиксированные системы координат заготовки.
20. Функции коррекции.
21. Понятие «внутренней» и «внешней» стороны при вводе коррекции на радиус инструмента.
22. Режим отмены коррекции на радиус инструмента.
23. Ввод коррекции на радиус инструмента.
24. Отработка введенной коррекции на радиус инструмента.
25. Вспомогательные функции.

## **СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ**

1. Смолин, В.Д. Следящий привод станка с числовым программным управлением / В.Д. Смолин. – Самара: СГАУ, 2002. – 118 с.
2. ГОСТ 20999-83. Устройства ЧПУ для металлообрабатывающего оборудования. Кодирование информации управляющих программ. – М.: Изд-во стандартов, 1984. – 26 с.
3. FMS-3000/ Устройство ЧПУ на базе промышленного компьютера / Руководство по эксплуатации. – Н.-Новгород: ООО «Модмаш-софт», 2007. – 475 с.
4. Гжиров, Р.И. Программирование на станках с ЧПУ: Справочник / Р.И. Гжиров, П.П. Серебренецкий – Л.: Машиностроение, 1990. – 588 с.
5. Волков А.Н. Режимы резания авиационных материалов при фрезеровании: учеб. пособие / А.Н. Волков. – Самара: СГАУ, 1994. – 90 с.

## СОДЕРЖАНИЕ

1. НАЗНАЧЕНИЕ, КОНСТРУКЦИЯ И ОСНОВНЫЕ ДВИЖЕНИЯ СТАНКА 6М13ГН1 .....	3
2. МЕХАНИЗМ ГЛАВНОГО ДВИЖЕНИЯ .....	5
3. МЕХАНИЗМ ПОДАЧ .....	7
4. ТИРИСТОРНЫЙ ПРИВОД .....	8
5. ПРОГРАММИРОВАНИЕ УПРАВЛЯЮЩИХ ПРОГРАММ В FMS-3000. РЕДАКЦИЯ 5.0 .....	12
5.1. Программирование в УЧПУ FMS-3000, установленном на станке 6М13ГН1 .....	12
5.2. Структура управляющей программы .....	15
5.3. Системы координат .....	16
6. КОДИРОВАНИЕ ИНФОРМАЦИИ .....	19
6.1. Подготовительные функции .....	20
6.2. Функция шпинделя .....	38
6.3. Функция инструмента .....	38
6.4. Вспомогательная функция (М) .....	38
7. ТЕСТОВАЯ УПРАВЛЯЮЩАЯ ПРОГРАММА .....	40
7.1. Текст УП .....	41
7.2. Пояснения к УП .....	41
КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ .....	42
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ .....	43