

**Система ЧПУ «АксиОМА Контрол»  
Руководство программиста по созданию  
управляющих программ**

Настоящий документ содержит информацию, защищенную авторским правом. Право принадлежит МГТУ «СТАНКИН». Любая часть этого документа запрещена к воспроизведению в любой форме, к передаче и сохранению в какой-либо иной системе обработки данных, к переводу на другой язык без предварительного письменного разрешения МГТУ «СТАНКИН».

# Содержание

|       |  |    |
|-------|--|----|
| 1     | Введение.....  | 7  |
| 2     | Общая информация о построении управляющей программы .....  | 8  |
| 2.1   | Структура управляющей программы.....   | 8  |
| 2.2   | Структура кадра .....  | 8  |
| 2.3   | Допустимые символы .....   | 10 |
| 2.4   | Таблица G-функций.....   | 12 |
| 2.5   | Таблица M-функций .....  | 14 |
| 3     | Координатные системы и преобразования между ними .....   | 18 |
| 3.1   | Программируемые координаты и оси станка .....  | 18 |
| 3.2   | Виды координатных систем ЧПУ и станка .....  | 19 |
| 3.3   | Определение осей и углов ориентации декартовых систем координат .....  | 19 |
| 3.4   | Принятые обозначения нулевых точек систем координат .....  | 21 |
| 3.5   | Последовательность преобразований координат системой ЧПУ .....   | 22 |
| 4     | Функции координатных преобразований и задания размерностей.....  | 25 |
| 4.1   | Табличное смещение нуля управляющей программы G53–G59 .....  | 25 |
| 4.2   | Табличное задание системы координат детали G153–G159 .....   | 26 |
| 4.3   | Преобразования координат управляющей программы .....   | 27 |
| 4.3.1 | Зеркальное отображение G72/G73 .....   | 27 |
| 4.3.2 | Масштабирование отображения G172/G173 .....  | 29 |
| 4.3.3 | Поворот осей G272/G273 .....   | 31 |
| 4.3.4 | Совокупность преобразований программной системы координат .....  | 34 |
| 4.4   | Смещение нуля управляющей программы G193/G194/G195.....  | 37 |
| 4.4.1 | Относительное смещение G194 .....  | 37 |
| 4.4.2 | Абсолютное смещение G195 .....   | 38 |
| 4.5   | Размерность измерения детали G70 (G20) / G71 (G21).....  | 38 |
| 4.6   | Программирование перемещения по поперечным осям в радиальном/диаметральном исчислении G10.....                             | 39 |
| 4.7   | Система отсчета G90/G91 .....  | 43 |
| 4.7.1 | Абсолютная система отсчета G90.....  | 43 |
| 4.7.2 | Относительная система отсчета G91 .....  | 45 |
| 4.8   | Система отсчета для центра окружности G190/G191 .....  | 46 |
| 4.8.1 | Абсолютная система отсчета G190.....   | 47 |
| 4.8.2 | Относительная система отсчета G191 .....   | 48 |
| 4.9   | Полярные координаты.....   | 50 |
|       | Определение значений положения .....   | 50 |
|       | Заданное начало полярных координат (полюс).....  | 51 |
| 4.9.1 | Отмена режима программирования в полярных координатах (задание режима программирования в декартовых координатах) G15 ..... | 51 |
| 4.9.2 | Задание начала полярных координат G16.....   | 51 |
| 4.9.3 | Программирование дуги окружности в полярных координатах G02/G03 .....  | 55 |
| 4.9.4 | Примеры программирования.....  | 59 |
| 5     | Инструкции перемещения .....   | 61 |
| 5.1   | Позиционирование G00.....  | 61 |
| 5.2   | Линейная интерполяция G01 .....  | 63 |
| 5.3   | Круговая и винтовая интерполяция G02/G03 .....   | 65 |
| 5.3.1 | Параметры интерполяции I, J, K .....   | 66 |
| 5.3.2 | Радиус окружности R .....  | 68 |
| 5.3.3 | Радиус окружности CR= .....  | 70 |
| 5.3.4 | Программирование полной окружности .....   | 71 |
| 5.3.5 | Синхронные перемещения по дополнительным осям .....  | 72 |
| 5.3.6 | Дополнительное число полных оборотов .....   | 74 |

|       |  |     |
|-------|--|-----|
| 5.4   | Сплайновая интерполяция .....  | 76  |
| 5.4.1 | Аkима-сплайн ASPLINE.....  | 76  |
| 5.4.2 | NURBS-кривая BSPLINE.....  | 77  |
| 5.4.3 | Кубический сплайн CSPLINE .....                                      | 80  |
| 5.4.4 | Разрыв сплайна SPLBREAK.....   | 80  |
| 5.5   | Обработка датчика касания G75, M910/M911 .....                       | 81  |
| 5.6   | Пауза G04.....   | 83  |
| 6     | Технологическая информация.....                                      | 84  |
| 6.1   | Скорость подачи F и ее кинематическая интерпретация.....             | 84  |
| 6.2   | Абсолютная скорость подачи G94 .....                                 | 85  |
| 6.3   | Относительная скорость подачи G95.....                               | 86  |
| 6.4   | Обратное время движения G93 .....                                    | 86  |
| 6.5   | Режимы управления подачей G60/G64.....                               | 87  |
| 6.6   | Режимы ускорения и торможения BRISK/SOFT.....                        | 89  |
| 6.7   | Постоянная скорость резания G96 (CSS – Constant surface speed) ..... | 90  |
| 6.8   | Частота вращения шпинделя .....                                      | 91  |
| 6.9   | Движение в домашние позиции и возврат из них .....                   | 93  |
| 6.9.1 | Движение в домашнюю позицию G28 .....                                | 94  |
| 6.9.2 | Возврат из домашней позиции G29 .....                                | 95  |
| 6.10  | Номер инструмента T .....  | 96  |
| 6.11  | Номер режущей кромки инструмента D.....                              | 97  |
| 7     | Вспомогательные станочные функции (M-функции).....                   | 99  |
| 7.1   | Функции останова программы .....                                     | 99  |
|       | M00 Безусловный останов .....  | 99  |
|       | M01 Условный останов.....  | 100 |
| 7.2   | Функции конца программы .....  | 100 |
|       | M02/M30 Конец программы.....   | 100 |
|       | M99 Конец программы с выходом в позицию ожидания.....                | 100 |
| 7.3   | Управление шпинделем .....   | 100 |
|       | M<x>03/M<x>04 Включение шпинделя .....                               | 100 |
|       | M<x>05 Выключение шпинделя.....                                      | 101 |
|       | M<x>13/M<x>14 Включение охлаждения и вращения шпинделя.....          | 101 |
|       | M<x>19 Ориентированный останов шпинделя .....                        | 102 |
| 7.4   | Управление режимом шпиндель/ось .....                                | 102 |
|       | M<x>70 Режим интерполируемой оси .....                               | 103 |
|       | M902 Режим интерполируемой оси.....                                  | 103 |
|       | M903 Режим шпинделя .....  | 104 |
| 7.5   | M905 Управление глубиной эквидистантной коррекции.....               | 104 |
| 7.6   | Управление охлаждением .....   | 105 |
|       | M07 Включение режима 1 охлаждения.....                               | 105 |
|       | M08 Включение режима 2 охлаждения.....                               | 105 |
|       | M09 Выключение охлаждения .....                                      | 105 |
| 7.7   | Управление сменой инструмента.....                                   | 105 |
|       | M66 Ручная смена инструмента.....                                    | 105 |
|       | M06 Автоматическая смена инструмента .....                           | 105 |
| 7.8   | Управление патроном.....   | 106 |
|       | M21 Зажим патрона.....   | 106 |
|       | M22 Разжим патрона .....   | 106 |
| 7.9   | Управление транспортером стружки .....                               | 107 |
|       | M50 Включение транспортера стружки.....                              | 107 |
|       | M51 Выключение транспортера стружки .....                            | 107 |
| 7.10  | Управление ограждением.....  | 107 |

|        |     |  |     |
|--------|-----|--|-----|
|        | M54 | Закрытие ограждения .....  | 107 |
|        | M55 | Открытие ограждения.....   | 107 |
| 8      |     | Вспомогательные станочные функции (M-функции), специфичные для отдельных видов оборудования .....  | 108 |
| 8.1    |     | M-функции, специфичные для 5-осевого станка BeaverMill BVR B-110 (изготовитель – «Бивертех») ..... | 108 |
|        |     | M-функции включения/выключения систем охлаждения M_Cool_AirCool .....                              | 108 |
|        |     | M-функции включения/выключения системы измерения M_ProbeSwitch.....                                | 109 |
|        |     | M-функции управления зажимом/разжимом осей глобусного стола MSwivelRotaryTable .....               | 109 |
| 9      |     | Компенсация размеров инструмента .....   | 111 |
| 9.1    |     | Компенсация длины инструмента.....   | 111 |
| 9.1.1  |     | Геометрический смысл величин коррекции .....   | 112 |
| 9.1.2  |     | Функции компенсации длины инструмента и указания базовой ориентации G43, G44, G45, G49.....        | 113 |
| 9.2    |     | Компенсация радиуса инструмента G40, G41, G42, G143, G144.....                                     | 115 |
| 9.2.1  |     | Выбор и отмена компенсации радиуса инструмента.....  | 118 |
| 9.2.2  |     | Примеры обработки «бутылочного горлышка» .....   | 130 |
| 9.2.3  |     | Положение (ориентация) резца при токарной обработке.....   | 135 |
| 10     |     | Установка-сброс сигналов к контроллеру электроавтоматики (G110/G111).....                          | 138 |
| 10.1   |     | Установка-сброс сигналов к ПЛК. Функции G110/111 .....   | 138 |
| 10.1.1 |     | Установка выходов ПЛК (G110).....  | 139 |
| 10.1.2 |     | Сброс выходов ПЛК (G111) .....   | 139 |
| 10.1.3 |     | Примеры использования функций G110/111 .....   | 140 |
| 11     |     | Встроенные циклы.....  | 142 |
| 11.1   |     | Общие сведения.....  | 142 |
| 11.2   |     | Активация и вызов цикла .....  | 142 |
| 11.3   |     | Отмена цикла .....   | 143 |
| 11.4   |     | Базовые параметры циклов .....   | 144 |
| 11.5   |     | Точка возврата. Функции G98 и G99. ....  | 145 |
| 11.6   |     | Циклы сверления G81, G83 .....   | 145 |
| 11.6.1 |     | Однопроходное сверление отверстия (цикл G81) .....   | 146 |
| 11.6.2 |     | Многопроходное сверление отверстия (цикл G83).....   | 147 |
| 11.7   |     | Циклы токарной обработки G276 – G289 .....   | 148 |
| 11.7.1 |     | Многопроходное нарезание резьбы резцом (цикл G276).....  | 148 |
| 11.7.2 |     | Обработка продольной выточки (цикл G281) .....   | 152 |
| 11.7.3 |     | Обработка торцевой выточки (цикл G282).....  | 153 |
| 11.7.4 |     | Обработка продольной канавки (цикл G288) .....   | 154 |
| 11.7.5 |     | Обработка торцевой канавки (цикл G289).....  | 156 |
| 11.8   |     | Циклы фрезерной обработки G387, G388, G389.....  | 157 |
| 11.8.1 |     | Фрезерование прямоугольного кармана (цикл G387).....   | 157 |
| 11.8.2 |     | Фрезерование паза (цикл G388) .....  | 160 |
| 11.8.3 |     | Фрезерование круглого кармана (цикл G389) .....  | 162 |
| 12     |     | Функции поддержки многокоординатной обработки.....   | 165 |
| 12.1   |     | Понятие многокоординатной обработки .....  | 165 |
| 12.1   |     | Базовая ориентация инструмента .....   | 166 |
| 12.2   |     | Трансформация ориентации инструмента. Функции TRAORI и TRAF OFF.....                               | 167 |
| 12.2.1 |     | Задача компенсации смещения при изменении ориентации.....  | 167 |
| 12.2.2 |     | Функция включения трансформации TRAORI .....   | 168 |
| 12.2.3 |     | Функция отключения трансформации TRAF OFF.....   | 169 |
| 12.2.4 |     | Особенности работы .....   | 170 |
| 12.3   |     | Средства программирования ориентации инструмента.....  | 171 |

|        |   |     |
|--------|---|-----|
| 12.3.1 | Прямое задание позиций осей ориентации .....  | 171 |
| 12.3.2 | Углы ориентации. Функции ORIEULER и ORIRPY .....  | 172 |
| 12.3.3 | Вектор ориентации .....   | 176 |
| 12.3.4 | Выбор базы ориентации. Функции ORIWKS и ORIMKS.....   | 176 |
| 12.3.5 | Смена способов задания ориентации в программе .....   | 177 |
| 12.4   | Режимы управления движением ориентации инструмента. Функции ORIAxes и ORIVECT.....                | 178 |
| 12.4.1 | Линейная интерполяция осей ORIAxes.....   | 178 |
| 12.4.2 | Поворот вектора в пределах плоскости ORIVECT .....  | 179 |
| 12.4.3 | Общие замечания по разделу .....  | 181 |
| 13     | Функции 3D компенсации радиуса инструмента.....   | 182 |
| 13.1   | Краткая информация.....   | 182 |
| 13.2   | Общие правила использования функций 3D компенсации .....  | 182 |
| 13.2.1 | Активация и деактивация режимов. Кадры входа и выхода.....  | 182 |
| 13.2.2 | Смена режимов. Возврат к режиму эквидистантной коррекции (CUT2DF) .                               | 183 |
| 13.2.3 | Ограничения на вызовы функций.....  | 184 |
| 13.2.4 | Влияние особенностей кинематической схемы.....  | 184 |
| 13.2.5 | Применение компенсации в дифференциальной форме .....   | 185 |
| 13.3   | Компенсация периферийной обработки. Функция CUT3DC .....  | 185 |
| 13.4   | Компенсация периферийной обработки с ограничивающей поверхностью. Функции CUT3DCC, CUT3DCCD ..... | 187 |
| 13.5   | Поведение на углах при компенсациях периферийной обработки .....                                  | 189 |
| 13.5.1 | Определение типа угла .....   | 189 |
| 13.5.2 | Обработка внешних углов .....   | 190 |
| 13.5.3 | Обработка внутренних углов .....  | 191 |
| 13.6   | Компенсация торцевой обработки. Функции CUT3DF, CUT3DFS, CUT3DFF                                  | 193 |
| 13.7   | Поведение на углах при компенсациях торцевой обработки .....                                      | 195 |
| 13.7.1 | Определение типа угла .....   | 195 |
| 13.7.2 | Обработка внешних углов .....   | 196 |
| 13.7.3 | Обработка внутренних углов .....  | 197 |
| 13.8   | Контроль кривизны контура и столкновений.....   | 199 |
| 14     | Приложение. Методика подготовки и запуска управляющей программы .....                             | 201 |
| 14.1   | Движение осей станка при задании координат .....  | 201 |
| 14.2   | Подготовительный этап программирования .....  | 202 |
| 14.3   | Ввод программ.....  | 202 |
| 15     | Приложение. G- и M-векторы .....  | 203 |

## 1 Введение

Руководство программиста содержит наиболее важную информацию о написании управляющих программ в коде ISO-7bit (стандарт ISO 6983-1:2009) для системы ЧПУ «АксиОМА Контрол». Дается базовое представление о синтаксисе языка, командах управления станком и системой ЧПУ.

Примеры, представленные в тексте, не предназначены для практического исполнения. Они служат для пояснения принципов программирования и моделируют практические ситуации. Примеры программирования даны в коде ISO-7bit. Все размерные величины и значения подач в примерах заданы в метрических единицах (мм, мм/мин), если явно не указано иное. Разработчик оставляет за собой право вносить изменения по мере развития системы.

Содержание данного документа регулярно проверяется и обновляется, необходимые изменения вносятся в последующие издания.

## 2 Общая информация о построении управляющей программы

### 2.1 Структура управляющей программы

Обработка заготовки на станке осуществляется по управляющей программе. Управляющая программа состоит из кадров (отдельных строк кода).

Первый кадр часто содержит строку безопасности.

#### Строка безопасности

Строкой безопасности называется кадр, содержащий G-коды, которые переводят систему ЧПУ в определенный стандартный режим, отменяют ненужные функции и обеспечивают безопасную работу с управляющей программой.

В последнем кадре, как правило, задается команда M30, которая является признаком конца программы.

#### Схема программы

| Заголовок | % Имя программы      |
|-----------|----------------------|
|           | Кадр                 |
|           | Кадр                 |
|           | .                    |
|           | .                    |
|           | .                    |
|           | Последний кадр (M30) |

Управляющая программа может быть введена с панели оператора, через Ethernet-интерфейс (от внешнего компьютера) или с помощью интегрированного USB-порта. Более подробная информация по этому вопросу приведена в руководстве оператора системы «АксиОМА Контрол».

### 2.2 Структура кадра

В кадре содержится информация, необходимая для очередного шага обработки. Эта информация представлена одним или несколькими словами программы, за которыми следует символ конца кадра.

#### Пример:

| Номер кадра | Слово программы | Слово программы | Символ конца кадра |
|-------------|-----------------|-----------------|--------------------|
|-------------|-----------------|-----------------|--------------------|

Номера кадров имеют адрес N, шаг нумерации может быть выбраны произвольно. В системе «АксиОМА Контрол» допустимо программирование без указания номеров кадров.

Каждое слово программы является инструкцией, которая может содержать геометрическую информацию (величины перемещений, координаты и т.д.), технологическую информацию (величины подачи, скорости шпинделя и т.д.) и другие параметры. Слова программы построены по адресному принципу, т.е. содержат адресный символ и несколько цифр. Обычно адрес является буквой, иногда с числовым индексом и

присваиванием. Последовательность цифр может включать знак и десятичную точку. Плюс и незначащие нули могут быть опущены.

### Слово программы:

| Адрес | Последовательность цифр |
|-------|-------------------------|
| X     | 105.5                   |

Слова программы могут быть **модальными** (продолженного действия) и **немодальными** (локального действия).

**Модальное слово** действует до тех пор, пока оно не будет отменено словом той же группы с другим значением.

**Немодальное слово** имеет силу лишь в пределах того кадра, где оно было объявлено.

В кадрах допустимы следующие слова:

|   |   |
|---|---|
| слово с номером кадра                                   | (N)   |
| слово подготовительной функции                          | (G, спец. слова для отдельных функций)                          |
| слово функции перемещения                               | (A, B, C, D, E, X, Y, Z, X', Y', Z1, R, Q, U, V, W)             |
| слово с параметром интерполяции                         | (I, J, K, [R])  |
| слово со скоростью подачи                               | (F)   |
| слово со скоростью вращения шпинделя                    | (S, S<i>), где i=2..4   |
| слово с номером инструмента                             | (T)   |
| слово с номером режущей кромкой (корректор) инструмента | (D)   |
| слово вспомогательной функции                           | (M)   |
| слово выходных адресов                                  | (Q<i>), где i=1..32   |
| слово параметров  | (H<i>), где i=1..32   |
| слова вспомогательной информации                        | (E, L, P, O, H, Q)  |
| слово ориентации инструмента и заготовки                | (A<i>, B<i>, C<i>, LEAD, TILT), где i=2..5                      |
| слово параметров сплайна                                | (PW, PL, SD)  |
| слово пределов  | (LMAXS, LMINS, REFAX, LMAXS<i>, LMINS<i>, REFAX<i>), где i=2..4 |

В некоторых случаях используются слова с присваиванием, содержащие адрес с числовым индексом, например, S2=1000. В таких случаях говорят о расширении адресного стиля.

### Расширенная адресная структура:

| Адрес | Номер | Знак присваивания | Значение |
|-------|-------|-------------------|----------|
| S     | 2     | =                 | 1000     |

Расширенная адресная структура полезна, когда однотипные слова программы имеют множественное применение. Такая ситуация возникает в управляющих программах для многошпиндельных станков или при назначении вспомогательных функций программируемого контроллера.

Взаимовлияющие или отменяющие друг друга слова программы могут присутствовать в любом кадре только один раз (например, G00 и G01, M07 и M09). В противном случае работать будет только последнее слово программы. Все допустимые адреса приведены в конце этой главы.

**Пример кадра (фрагмент управляющей программы):**

N10 G02 X50 Y0 I25 J0 F2000 S10000 T2 M06 M03

**Пояснения:**

- N10 Номер кадра равен 10
- G02 Признак круговой интерполяции по часовой стрелке.
- X50 Перемещение по координате X.
- Y0 Перемещение по координате Y.
- I25 Координата центра по оси X.
- J0 Координата центра по оси Y.
- F2000 Скорость подачи равна 2000 мм /мин.
- S10000 Частота вращения шпинделя равна 10000 об/мин.
- T2 Номер инструмента равен 2.
- M06 Автоматическая смена инструмента
- M03 Вспомогательная функция “Шпиндель Включен”.

### 2.3 Допустимые символы

При построении кадров допустимы следующие символы кода ISO-7bit.

**Буквы латинского алфавита (можно использовать как заглавные, так и строчные):**

A, B, C, D, E, F, G, H, I, J, K, M, N, O, P, Q, R, S, T, U, V, W, X, Y, Z

**Цифры:**

0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9

**Специальные символы:**

%, /, ;, \*, (,), +, -, ., :

|     |                 |                   |                  |
|-----|-----------------|-------------------|------------------|
| SP  | space           | (пробел)          | разделитель слов |
| TAB | tabulator       | (табуляция)       | разделитель слов |
| CR  | carriage return | (возврат каретки) | конец кадра      |
| LF  | line feed       | (смещение строки) | конец кадра      |
| EOF | end of file     | (конец файла)     | конец кадра      |

**Пояснения к специальным символам:**

**% Начало программы**

По этому символу система «АксиОМА Контрол» интерпретирует оставшуюся часть строки как комментарий.

**(...) Комментарий**

Текст в скобках интерпретируется как комментарий. Этот тип комментария обычно используется в середине строки (кадра).

### **\* , или ; Строка комментариев**

Полная строка после символа комментария («\*» или «;») интерпретируется как комментарий. В комментариях допускается использование не только латиницы, но и других алфавитов (например, кириллицы).

### **// и /\* .... \*/ Одно- и многострочные комментарии**

Помимо символов кода ISO-7bit для комментариев поддерживаются также однострочные и многострочные комментарии в стиле языка C (см. «Язык высокого уровня для создания параметрических управляющих программ»).

### **CR/LF Конец (перевод) строки**

Каждая кадровая строка завершается этой комбинацией символов.

### **. Десятичная точка**

Дробная часть десятичных чисел отделяется от целой десятичной точкой.

### **/ Формальные кадры**

Формальные кадры в системе «АксиОМА Контрол» в настоящее время не поддерживаются. Символ будет проигнорирован, и будет выдано соответствующее сообщение.

### **: Главный кадр**

Система «АксиОМА Контрол» не делает различий между главным и второстепенными кадрами. Символ будет проигнорирован.

### **MSG("...") Пользовательские сообщения**

Сообщения могут быть запрограммированы в тексте программы для того, чтобы оператор во время выполнения программы получал информацию о текущей ситуации в процессе обработки детали.

Сообщение отображается на экране до тех пор, пока оно не будет заменено новым сообщением из программы или просто удалено.

Текст сообщения может содержать не более 256 символов. Поддерживаются только сообщения латиницей, кириллица и другие алфавиты, отличные от латиницы, в текущей версии системы не поддерживаются, такие сообщения не отображаются.

При помощи NC-команды MSG ("...") на экране отображается пользовательское сообщение, которое может быть удалено при помощи команды MSG().

### **Пример 2.1:**

```
G17 G90 G15 G191 G71 G72 G172 G272 G94 G97 G49 G40 G00 G80 G98  
G53 G153 G193 G64 BRISK CUT2DF ORIAxes // Строка безопасности
```

```
N10 G00 X50 F500  
N20 M6 T3  
N30 MSG("Tool T3 is active")  
N40 G04 X5  
N50 Z-38  
N60 G01 X30  
N70 MSG()  
N80 G04 X10  
N90 M30
```

## Форматирование строки функцией *sprintf*

Для того чтобы выдать сообщение, которое включает значение переменной, используется форматирование строки и запись в переменную с помощью функции *sprintf*. Для того, чтобы выдать результат, используется функция *MSG*. Ниже приведен пример выдачи сообщения с использованием языка высокого уровня.

### Пример (фрагмент управляющей программы):

```
string str;          //создание переменной строкового типа, в которую
//будет записан результат
long num = 50;      // создание и инициализация числовой переменной
sprintf (str, "value: %d", num); //форматирование строки

N10 MSG(str)        // выдача сообщения «value: 50»
```

Для более подробного ознакомления с возможностями форматирования см. «Язык высокого уровня для создания параметрических управляющих программ», раздел №10 «Строковые функции».

## 2.4 Таблица G-функций

G-функции, используемые в системе ЧПУ «АксиОМА Контрол», представлены ниже:

Таблица 2.1 – Перечень G-функций

| Имя      | Назначение   | Подгруппа         | Модальность | Активность   | Раздел     |
|----------|--|-------------------|-------------|--------------|------------|
| G00      | Позиционирование   | Interpolate       | X           | По умолчанию | 5.1        |
| G01      | Линейная интерполяция  |                   | X           |              | 5.2        |
| G02      | Круговая интерполяция по часовой стрелке   |                   | X           |              | 4.9.3, 5.3 |
| G03      | Круговая интерполяция против часовой стрелки   |                   | X           |              | 4.9.3, 5.3 |
| ASPLINE  | Аkima-сплайн   |                   | X           |              | 5.4.1      |
| BSPLINE  | NURBS-сплайн   |                   | X           |              | 5.4.2      |
| CSPLINE  | Кубический сплайн  |                   | X           |              | 5.4.3      |
| G75      | Обработка датчика касания  |                   | X           |              | 5.5        |
| SPLBREAK | Разрыв сплайна   | SplineBreak       | -           |              | 5.4.4      |
| G04      | Пауза  | Delay             | -           |              | 5.6        |
| G15      | Отмена режима программирования в полярных координатах (Задание режима программирования в декартовых координатах) | Plane2_polar      | X           | По умолчанию | 4.9        |
| G16      | Задание начала полярных координат /Задание режима программирования в полярных координатах                        |                   | X           |              | 4.9.1      |
| G17      | Плоскость XY   | Plane0            | X           | По умолчанию | 5.3        |
| G18      | Плоскость ZX   |                   | X           |              | 5.3        |
| G19      | Плоскость YZ   |                   | X           |              | 5.3        |
| G28      | Движение в домашнюю позицию  | HomePosition      |             |              | 6.9.1      |
| G29      | Возврат из домашней позиции  |                   |             |              | 6.9.2      |
| G40      | Отмена компенсации радиуса инструмента   | EqCorrect         | X           | По умолчанию | 9.2        |
| G41      | Компенсация радиуса инструмента слева  |                   | X           |              | 9.2        |
| G42      | Компенсация радиуса инструмента справа   |                   | X           |              | 9.2        |
| G143     | Компенсация радиуса инструмента при подводе до касания снаружи   |                   |             |              | 9.2        |
| G144     | Компенсация радиуса инструмента при подводе до касания изнутри   |                   |             |              | 9.2        |
| G43      | Активация компенсации длины инструмента  | ToolLengthCorrect | X           |              | 9.1.2      |
| G44      | Активация компенсации длины инструмента (компенсация с отрицательным знаком)                                     |                   | X           |              | 9.1.2      |

| Имя       | Назначение  | Подгруппа    | Модальность | Активность                  | Раздел       |       |
|-----------|---|--------------|-------------|-----------------------------|--------------|-------|
| G45       | Активация компенсации с постоянной базовой ориентацией инструмента                    |              | X           |                             | 9.1.2        |       |
| G49       | Отмена компенсации длины инструмента  |              | X           | По умолчанию                | 9.1.2        |       |
| G53       | Отмена смещения программного нуля (G54-G59)   | ZeroShift    | X           | По умолчанию                | 4.1          |       |
| G54       | Смещение (первое) нуля  |              | X           |                             | 4.1          |       |
| G55       | Смещение (второе) нуля  |              | X           |                             | 4.14         |       |
| G56       | Смещение (третье) нуля  |              | X           |                             | 4.1          |       |
| G57       | Смещение (четвертое) нуля   |              | X           |                             | 4.1          |       |
| G58       | Смещение (пятое) нуля   |              | X           |                             | 4.1          |       |
| G59       | Смещение (шестое) нуля  |              | X           |                             | 4.1          |       |
| G70 (G20) | Размерность в дюймах  | Dimension0   | X           |                             | 4.5          |       |
| G71 (G21) | Размерность в миллиметрах   |              | X           | По умолчанию                | 4.5          |       |
| G72       | Отмена зеркального отображения запрограммированного контура                           | Frame_Mirror | X           | По умолчанию                | 4.3.1        |       |
| G73       | Включение зеркального отображения запрограммированного контура                        |              | X           |                             | 4.3.1        |       |
| G172      | Отмена масштабирования запрограммированного контура                                   | Frame_Scale  | X           | По умолчанию                | 4.3.2        |       |
| G173      | Включение масштабирования запрограммированного контура                                |              | X           |                             | 4.3.2        |       |
| G272      | Отмена поворота запрограммированного контура в активной плоскости                     | Frame_Rot    | X           | По умолчанию                | 4.3.3        |       |
| G273      | Поворот запрограммированного контура в активной плоскости                             |              | X           |                             | 4.3.3        |       |
| G80       | Отмена стандартного цикла   | CannedCycle  | X           | По умолчанию                | 11.3         |       |
| G81       | Вызов стандартного цикла «Однопроходное сверление отверстия»                          |              | X           |                             | 11.6.1       |       |
| G83       | Вызов стандартного цикла «Многопроходное сверление отверстия»                         |              | X           |                             | 11.6.2       |       |
| G276      | Вызов стандартного цикла «Нарезание резьбы резцом»                                    |              | X           |                             | 11.7.1       |       |
| G281      | Вызов стандартного цикла «Черновая обработка продольной выточки»                      |              | X           |                             | 11.7.2       |       |
| G282      | Вызов стандартного цикла «Черновая обработка торцевой выточки»                        |              | X           |                             | 11.7.3       |       |
| G288      | Вызов стандартного цикла «Обработка продольной канавки»                               |              | X           |                             | 11.7.4       |       |
| G289      | Вызов стандартного цикла «Обработка торцевой канавки»                                 |              | X           |                             | 11.7.5       |       |
| G387      | Вызов стандартного цикла «Фрезерование прямоугольного кармана»                        |              | X           |                             | 11.8.1       |       |
| G388      | Вызов стандартного цикла «Фрезерование паза»  |              | X           |                             | 11.8.2       |       |
| G389      | Вызов стандартного цикла «Фрезерование круглого кармана»                              |              | X           |                             | 11.8.3       |       |
| G90       | Абсолютная система отсчета  |              | Plane1      | X                           | По умолчанию | 4.7.1 |
| G91       | Относительная система отсчета   |              |             | X                           |              | 4.7.2 |
| G10       | Программирование перемещения по поперечным осям в радиальном/диаметральном исчислении | Dimension0   | X           | По умолчанию – в радиальном | 4.6          |       |
| G93       | Программирование времени перемещения (обратная по времени подача)                     | Dimension1   | X           |                             | 6.4          |       |
| G94       | Программирование скорости подачи мм /мин, дюймы/мин                                   |              | X           | По умолчанию                | 6.2          |       |
| G95       | Скорость подачи мм/об, дюймы/об   |              | X           |                             | 6.3          |       |
| G96       | Режим постоянной скорости резания   | Dimension2   | X           |                             | 6.7          |       |
| G97       | Отключение режима постоянной скорости резания (режим постоянной скорости вращения)    |              | X           | По умолчанию                | 6.7          |       |
| G98       | Возврат из цикла на исходную позицию  | CycleRet     | X           | По умолчанию                | 11.5         |       |
| G99       | Возврат из цикла на заданное безопасное расстояние                                    |              | X           |                             | 11.5         |       |
| G110      | Установка выходов ПЛК   | PICOOut      | -           |                             | 10.1         |       |
| G111      | Сброс выходов ПЛК   |              | -           |                             | 10.1         |       |
| G153      | Отмена задания системы координат детали   | WCSTable     | X           | По умолчанию                | 4.2          |       |
| G154      | Табличное задание системы координат детали 1  |              | X           |                             | 4.2          |       |
| G155      | Табличное задание системы координат детали 2  |              | X           |                             | 4.2          |       |

| Имя      | Назначение  | Подгруппа           | Модальность | Активность                         | Раздел |
|----------|---|---------------------|-------------|------------------------------------|--------|
| G156     | Табличное задание системы координат детали 3  |                     | X           |                                    | 4.2    |
| G157     | Табличное задание системы координат детали 4  |                     | X           |                                    | 4.2    |
| G158     | Табличное задание системы координат детали 5  |                     | X           |                                    | 4.2    |
| G159     | Табличное задание системы координат детали 6  |                     | X           |                                    | 4.2    |
| G190     | Абсолютный отсчет для центра окружности   | Plane3              | X           | По умолчанию                       | 4.8.1  |
| G191     | Относительный отсчет для центра окружности  |                     | X           |                                    | 4.8.2  |
| G193     | Отмена смещения программного нуля (G194, G195)  | ProgCoordShift      | X           | По умолчанию                       | 4.3.3  |
| G194     | Относительное смещение программного нуля  |                     | X           |                                    | 4.4.1  |
| G195     | Абсолютное смещение программного нуля   |                     | X           |                                    | 4.4.2  |
| TRAF0FF  | Отключение режима трансформации ориентации  | KinTransform Mode   | X           | По умолчанию                       | 12.2.3 |
| TRAORI   | Включение режима трансформации ориентации   |                     | X           |                                    | 12.2.2 |
| ORIEULER | Режим программирования углов ориентации в системе углов Эйлера (ZY'Z'')                                     | OrientationMode     | X           | По умолчанию                       | 12.3.2 |
| ORIRPY   | Режим программирования углов ориентации в системе углов «крен-тангаж-рысканье»                              |                     | X           |                                    | 12.3.2 |
| ORIXES   | Линейная интерполяция осей для движений ориентации  | OrientationMoveType | X           | По умолчанию                       | 12.4.1 |
| ORIVECT  | Плоская интерполяция вектора (поворот вектора в плоскости) для движений ориентации                          |                     | X           |                                    | 12.4.2 |
| ORIWKS   | Ориентация в системе координат детали   | OrientationBase     | X           | По умолчанию                       | 12.3.4 |
| ORIIMKS  | Ориентация в системе координат станка   |                     | X           |                                    | 12.3.4 |
| G60      | Режим точного останова  | LookaheadType       | X           | Определяется машинными параметрами | 6.5    |
| G64      | Режим непрерывной подачи  |                     |             |                                    |        |
| BRISK    | Режим линейного ускорения   | AccelerationType    | X           | Определяется машинными параметрами | 6.6    |
| SOFT     | Режим ускорения с ограничением рывка  |                     |             |                                    |        |
| CUT2DF   | Режим плоской эквидистантной коррекции  | RadiusCompensation  | X           | По умолчанию                       | 13.2.2 |
| CUT3DC   | Режим периферийной 3D компенсации   | RadiusCompensation  | X           |                                    | 13.3   |
| CUT3DCC  | Режим периферийной 3D компенсации с ограничивающей поверхностью   | RadiusCompensation  | X           |                                    | 13.4   |
| CUT3DCCD | Режим периферийной 3D компенсации с ограничивающей поверхностью (дифференциальный)                          | RadiusCompensation  | X           |                                    | 13.4   |
| CUT3DF   | Режим торцевой 3D компенсации с изменяемой ориентацией инструмента  | RadiusCompensation  | X           |                                    | 13.6   |
| CUT3DFS  | Режим торцевой 3D компенсации с фиксированной относительно системы координат станка ориентацией инструмента | RadiusCompensation  | X           |                                    | 13.6   |
| CUT3DFE  | Режим торцевой 3D компенсации с фиксированной относительно системы координат детали ориентацией инструмента | RadiusCompensation  | X           |                                    | 13.6   |

Как видно из таблицы, ряд функций задается с помощью зарезервированных ключевых слов, а не простых G-кодов.

Схематически набор G-функций (G-вектор), используемых в системе ЧПУ «АксиОМА Контрол», показан в разделе 15 (Рисунок 15.1).

## 2.5 Таблица M-функций

Адресами M программируются вспомогательные функции управления автоматикой и смены режимов. Значение адреса соответствует номеру функции. Незначащие нули могут быть опущены.

M-функции разделены на группы. В модальных группах есть активные по умолчанию функции.

Различают префиксные и постфиксные М-команды. Префиксные команды выполняются перед обработкой движения в кадре управляющей программы, постфиксные – после обработки движения в кадре.

В зависимости от определений станкостроителя возможны различия между подготовительными функциями, описанными в таблице, и теми, которые реально выполняются на станке.

М-функции, используемые в системе ЧПУ «АксиОМА Контрол», представлены ниже (Таблица 2.2 и Таблица 2.3):

**Таблица 2.2 – Перечень М-функций, общих для любых станков**

| Имя                           | Назначение   | Группа     | Активность   | Тип функции |             | Раздел |
|-------------------------------|--|------------|--------------|-------------|-------------|--------|
|                               |  |            |              | Префиксная  | Постфиксная |        |
| M00                           | Безусловный останов                                    | M_PrgCtrl  |              |             | X           | 7.1    |
| M01                           | Условный останов                                       |            |              |             | X           | 7.1    |
| M02                           | Конец программы  |            |              |             | X           | 7.2    |
| M30                           | Конец программы (как и M02)                            |            |              |             | X           | 7.2    |
| M99                           | Конец программы с выходом в позицию ожидания           |            |              |             | X           | 7.2    |
| M999                          |  |            |              |             | X           |        |
| Шпиндель 1 (главный шпиндель) |  |            |              |             |             |        |
| M03                           | Включение вращения шпинделя по часовой стрелке         | M_SpnCtrl  |              | X           |             | 7.3    |
| M04                           | Включение вращения шпинделя против часовой стрелки     |            |              | X           |             | 7.3    |
| M05                           | Выключение шпинделя                                    |            | По умолчанию |             | X           | 7.3    |
| M13                           | Включение охлаждения и вращения по часовой стрелке     |            |              | X           |             | 7.3    |
| M14                           | Включение охлаждения и вращения против часовой стрелки |            |              | X           |             | 7.3    |
| M19                           | Ориентированный останов шпинделя                       |            |              | X           |             | 7.3    |
| M70                           | Переключение шпинделя в режим интерполируемой оси      |            |              | X           |             | 7.4    |
| Шпиндель 2                    |  |            |              |             |             |        |
| M203                          | Включение вращения шпинделя по часовой стрелке         | M_Spn2Ctrl |              | X           |             | 7.3    |
| M204                          | Включение вращения шпинделя против часовой стрелки     |            |              | X           |             | 7.3    |
| M205                          | Выключение шпинделя                                    |            | По умолчанию |             | X           | 7.3    |
| M213                          | Включение охлаждения и вращения по часовой стрелке     |            |              | X           |             | 7.3    |
| M214                          | Включение охлаждения и вращения против часовой стрелки |            |              | X           |             | 7.3    |
| M219                          | Ориентированный останов шпинделя                       |            |              | X           |             | 7.3    |
| M270                          | Переключение шпинделя в режим интерполируемой оси      |            |              | X           |             | 7.3    |
| Шпиндель 3                    |  |            |              |             |             |        |
| M303                          | Включение вращения шпинделя по часовой стрелке         | M_Spn3Ctrl |              | X           |             | 7.3    |
| M304                          | Включение вращения шпинделя против часовой стрелки     |            |              | X           |             | 7.3    |
| M305                          | Выключение шпинделя                                    |            | По умолчанию |             | X           | 7.3    |
| M313                          | Включение охлаждения и вращения по часовой стрелке     |            |              | X           |             | 7.3    |
| M314                          | Включение охлаждения и вращения против часовой стрелки |            |              | X           |             | 7.3    |
| M319                          | Ориентированный останов шпинделя                       |            |              | X           |             | 7.3    |
| M370                          | Переключение шпинделя в режим интерполируемой оси      |            |              | X           |             | 7.3    |
| Шпиндель 4                    |  |            |              |             |             |        |

| Имя  | Назначение  | Группа             | Активность   | Тип функции |             | Раздел |
|------|---|--------------------|--------------|-------------|-------------|--------|
|      |   |                    |              | Префиксная  | Постфиксная |        |
| M403 | Включение вращения шпинделя по часовой стрелке            | M_Spn4Ctrl         |              | X           |             | 7.3    |
| M404 | Включение вращения шпинделя против часовой стрелки        |                    |              | X           |             | 7.3    |
| M405 | Выключение шпинделя                                       |                    | По умолчанию |             | X           | 7.3    |
| M413 | Включение охлаждения и вращения по часовой стрелке        |                    |              | X           |             | 7.3    |
| M414 | Включение охлаждения и вращения против часовой стрелки    |                    |              | X           |             | 7.3    |
| M419 | Ориентированный останов шпинделя                          |                    |              | X           |             | 7.3    |
| M470 | Переключение шпинделя в режим интерполируемой оси         |                    |              | X           |             | 7.3    |
| M902 | Переключение шпинделя в режим интерполируемой оси         | M_ExtCmd           |              | X           |             | 7.4    |
| M903 | Переключение шпинделя в режим шпинделя                    |                    | По умолчанию | X           |             |        |
| M905 | Установка/восстановление глубины эквидистантной коррекции | M_ExtCmd           |              |             | X           | 7.5    |
| M06  | Автоматическая смена инструмента                          | M_Tool             |              | X           |             | 7.7    |
| M66  | Ручная смена инструмента                                  |                    |              | X           |             | 7.7    |
| M07  | Включение режима 1 охлаждения                             | M_Ctrl             |              | X           |             | 7.6    |
| M08  | Включение режима 2 охлаждения                             |                    |              | X           |             | 7.6    |
| M09  | Выключение охлаждения                                     |                    | По умолчанию |             | X           | 7.6    |
| M16  | Управление пинолью  | M_Clamp            |              |             | X           |        |
| M17  | Управление пинолью  |                    |              | X           |             |        |
| M21  | Зажим патрона   | M_ClampLock        |              | X           |             | 7.8    |
| M22  | Разжим патрона  |                    | По умолчанию |             | X           | 7.8    |
| M50  | Включение транспортера стружки                            | M_ChipConveyorCtrl |              | X           |             | 7.9    |
| M51  | Выключение транспортера стружки                           |                    | По умолчанию |             | X           | 7.9    |
| M54  | Закрытие ограждения                                       | M_SafeguardCtrl    |              | X           |             | 7.10   |
| M55  | Открытие ограждения                                       |                    | По умолчанию |             | X           | 7.10   |
| M910 | Включение пакетной обработки датчика касания              | M_BatchProbe       |              | X           |             | 5.5    |
| M911 | Выключение пакетной обработки датчика касания             |                    | По умолчанию |             | X           | 5.5    |
| M108 | Подача воздуха в режущую головку                          | M_AirCtrl          |              | X           |             |        |
| M109 | Подача воздуха в режущую головку                          |                    | По умолчанию |             | X           |        |
| M110 | Регулирование подачи абразива                             | M_AbrasiveCtrl     |              |             | X           |        |
| M111 | Давление гидроабразивной струи                            | M_PressureCtrl     |              | X           |             |        |
| M112 | Давление гидроабразивной струи                            |                    | По умолчанию |             | X           |        |

**Таблица 2.3 – Перечень M-функций, специфичных для отдельных видов оборудования**

| Имя  | Назначение                                      | Группа         | Активность   | Тип функции |             | Раздел |
|------|---|----------------|--------------|-------------|-------------|--------|
|      |   |                |              | Префиксная  | Постфиксная |        |
| M07  | СОЖ смыв стружки                                | M_Cool_AirCool |              | X           |             | 8.1    |
| M08  | СОЖ охлаждение инструмента                      |                |              | X           |             | 8.1    |
| M09  | Отключение всех видов СОЖ и охлаждения воздухом |                | По умолчанию |             | X           | 8.1    |
| M10  | Охлаждение инструмента воздухом                 |                |              | X           |             | 8.1    |
| M708 | Одновременное включение СОЖ для смыва стружки и |                |              | X           |             | 8.1    |

| Имя  | Назначение  | Группа              | Активность   | Тип функции |             | Раздел |
|------|---|---------------------|--------------|-------------|-------------|--------|
|      |   |                     |              | Префиксная  | Постфиксная |        |
|      | охлаждения инструмента  |                     |              |             |             |        |
| M710 | Одновременное включение СОЖ для смыва стружки и охлаждения инструмента воздухом |                     |              | Х           |             | 8.1    |
| M73  | Включение системы измерения инструмента   | M_ProbeSwitch       |              | Х           |             | 8.1    |
| M74  | Включение системы измерения детали  |                     |              | Х           |             | 8.1    |
| M75  | Выключение системы измерения  |                     | По умолчанию |             | Х           | 8.1    |
| M115 | Разжим осей поворотного стола   | MSwivelRotary Table | По умолчанию | Х           |             | 8.1    |
| M116 | Зажим осей поворотного стола  |                     |              | Х           |             | 8.1    |
| M120 | Зажать ось А  |                     |              | Х           |             | 8.1    |
| M121 | Разжать ось А   |                     |              | Х           |             | 8.1    |
| M122 | Зажать ось С  |                     |              | Х           |             | 8.1    |
| M123 | Разжать ось С   |                     |              | Х           |             | 8.1    |

Схематически набор М-функций (М-вектор), используемых в системе ЧПУ «АксиОМА Контрол», показан в разделе 15 (Рисунок 15.2).

Рекомендации по использованию этих функций более подробно представлены в разделах 7 и 8 настоящего руководства.

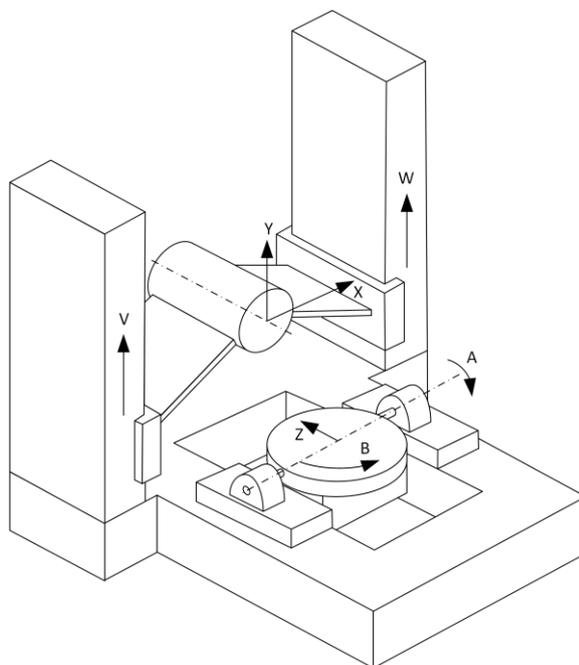
Конкретный набор доступных М-функций определяется в конфигурации машинных параметров канала.

### 3 Координатные системы и преобразования между ними

#### 3.1 Программируемые координаты и оси станка

Следует различать программируемые координаты, задаваемые в тексте управляющей программы, и оси станка. Оси станка представляют собой логическое представление физических реализаций отдельных кинематических степеней свободы (например, перемещение портала, вращение стола) или изменяемых технологических параметров (например, сила тока, мощность лазерного излучения). Программируемые координаты – это объекты управляющей программы, представляющие одну из степеней свободы в многомерном пространстве программируемых адресов и имеющие заданное имя. Таким образом, те адреса (например, X, Y, Z), которые задаются в кадре, – это не имена осей станка, а наименования координат, которые, конечно, могут напрямую соответствовать осям с такими же именами, но не всегда.

В общем случае программируемая координата может быть не связана с какой-то физической осью соотношением «один к одному». В качестве примера можно рассмотреть станок с кинематическим преобразованием типа «бипод» (Рисунок 3.1). (Примечание: эскиз станка приводится только в иллюстративных целях, поддержка данной кинематической схемы в текущей версии системы ЧПУ не заявляется).



*Рисунок 3.1 – Станок с глобусным столом и преобразованием типа «бипод»*

Для данной схемы позиционирование инструмента в плоскости XY декартовой системы координат станка осуществляется с помощью движения штанг, связанных с двумя параллельными линейными осями V и W. Очевидно, что координатам X и Y в этом случае нельзя напрямую сопоставить оси станка. Для таких конфигураций осей требуется кинематическая трансформация. Рассмотрим пример программы с разными вариантами задания движения для рассматриваемого станка.

*Пример (фрагмент управляющей программы):*

```
N10 G01 X50 Y50 F500 //Задание координат X и Y
N20 G01 V35 W20 //Задание координат V и W
N30 G01 X20 V30 //Ошибка: смешение взаимозависимых координат
```

## Пояснения:

- N10 в кадре задается движение в плоскости XY, но система ЧПУ при обработке кадра будет задавать движение осям V, W, используя преобразование для заданной в настройках кинематической схемы.
- N20 в кадре задается движение по координатам V и W, напрямую связанным с соответствующими осями станка.
- N30 в кадре задано перемещение для координат X и V, однако обратим внимание на то, что позиции обеих координат взаимосвязаны посредством кинематического преобразования. Из этого следует, что заданное движение невыполнимо. При задании таких смешанных кадров система ЧПУ останавливает обработку программы, генерируя ошибку №653.

При описании G-функций часто можно встретить использование понятия оси для координат кадра. Это исторически сложившаяся условность. Не забывайте, что под адресами «осей» в кадрах управляющей программы подразумеваются программируемые координаты, а не оси станка.

Подробнее о конфигурации кинематических схем, связывании координат и осей станка см. документ «Конфигурирование кинематической схемы станка».

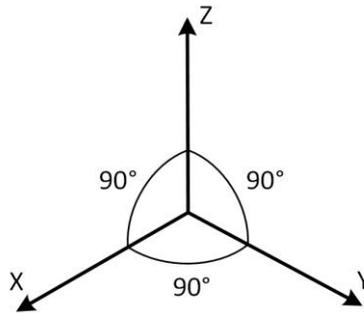
## 3.2 Виды координатных систем ЧПУ и станка

При работе с системой ЧПУ и станком различают несколько координатных систем:

- 1) Осевая система координат станка (ОСКС) – это система координат, образованная всеми физическими осями станка. Так как станок может иметь сложную кинематическую схему, ряд поворотных и других вспомогательных осей, его система в общем случае может не являться декартовой и даже может не содержать декартову систему как подмножество (впрочем, большинство простых станков имеет оси {X, Y, Z}, образующие декартову систему).
- 2) Система координат станка (СКС) – декартова система координат, ноль которой совпадает с нулем станка, жестко определенным станкостроителем и станочными параметрами системы ЧПУ. При отсутствии кинематических трансформаций совпадает с ОСКС. СКС является базовой системой координат детали (БСКД). Понятия СКС и БСКД можно считать равнозначными.
- 3) Текущая система координат детали (СКД) – декартова система координат, выбранная в данный момент в качестве базы для программирования координат инструмента относительно детали. Она может быть смещена и повернута относительно БСКД или совпадать с ней.
- 4) Система координат инструмента (СКИ) – декартова система координат, жестко связанная с инструментом. Конец инструмента совпадает с нулем СКИ, вектор ориентации инструмента (направление от его конца к началу) направлен вдоль оси Z СКИ. Эта система редко интересует пользователя в контексте программирования ЧПУ и рассматривается в задачах пятикоординатной обработки.

## 3.3 Определение осей и углов ориентации декартовых систем координат

Координатные оси любой декартовой системы расположены под прямым углом друг к другу, а их обычными наименованиями являются X, Y, Z. Декартовы координатные системы построены по правилу правой руки, в соответствии с которым круговое движение винта от +X к +Y приводит к осевому перемещению винта вдоль +Z.

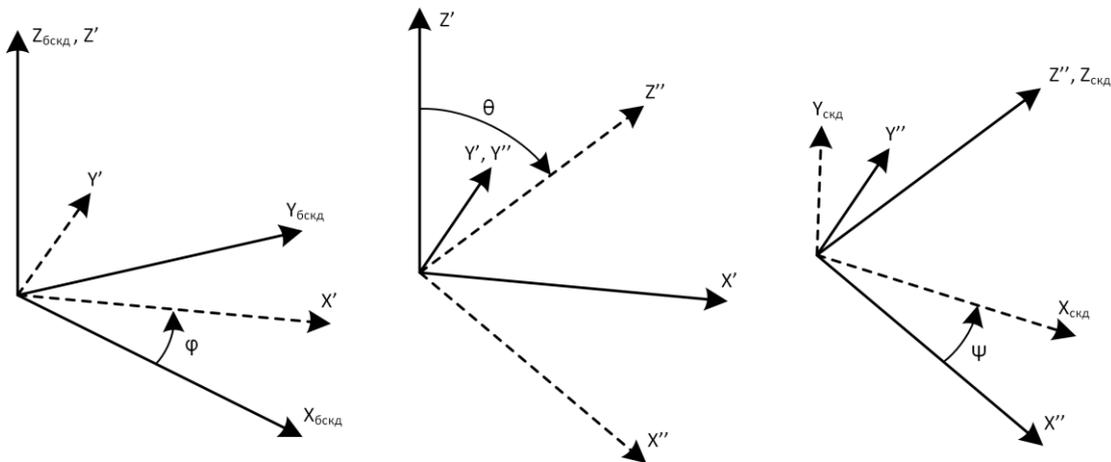


**Рисунок 3.2 – Расположение осей декартовой системы координат**

В системе ЧПУ «АксиОМА Контрол» можно задавать ориентацию текущей СКД с помощью углов Эйлера, соответствующих последовательности поворотов  $ZY'Z''$  декартовой системы координат, совпадающей с БСКД:

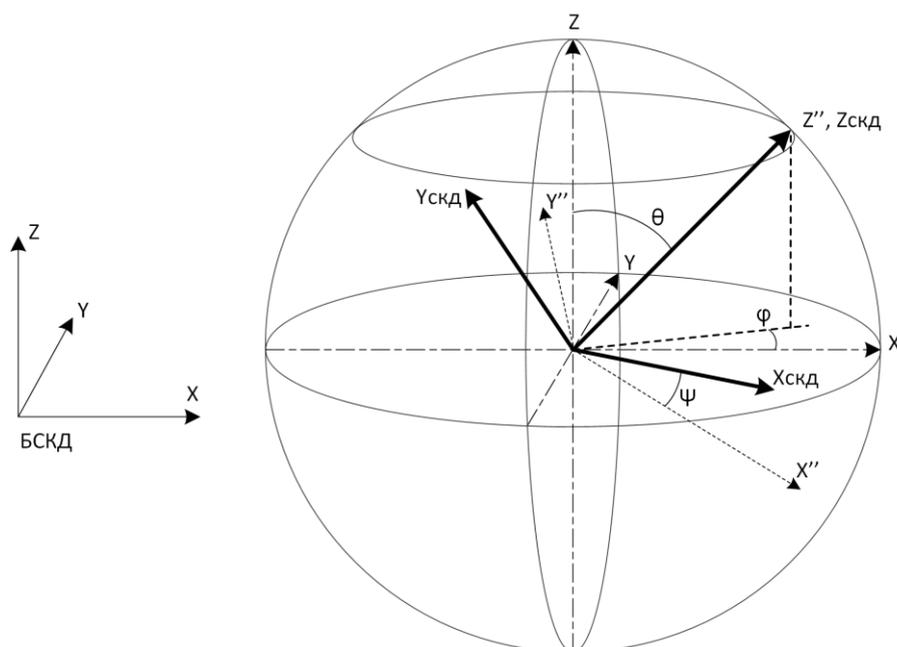
- 1) Угол прецессии  $\varphi$  (поворот вокруг оси  $Z$  исходной системы)
- 2) Угол нутации  $\theta$  (поворот вокруг новой оси  $Y'$ )
- 3) Угол собственного вращения  $\psi$  (поворот вокруг новой оси  $Z''$ )

Получение ориентации текущей СКД путем трех последовательных поворотов БСКД на углы  $\varphi$ ,  $\theta$ ,  $\psi$  показано на следующем рисунке (сплошными линиями обозначены оси до поворота, штриховыми – после поворота):



**Рисунок 3.3 – Получение ориентации текущей системы координат детали**

Геометрический смысл углов ориентации можно пояснить, представив их на координатной сфере (Рисунок 3.4). Угол  $\varphi$  – это азимутальный угол оси  $Z$  СКД. Угол  $\theta$  является полярным углом оси  $Z$  СКД. Для определения наклонной плоскости достаточно углов  $\varphi$  и  $\theta$ . Угол  $\psi$  определяет дополнительный поворот вокруг оси  $Z''$ , т.е. азимутальный угол оси  $X$  СКД в системе, полученной двумя первыми поворотами. На практике ненулевой угол  $\psi$  используется редко. Все три угла могут быть как положительными, так и отрицательными и задаются в диапазоне  $-180 \dots 180$  градусов.



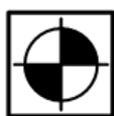
**Рисунок 3.4 – Углы ориентации СКД на координатной сфере**

Углы ориентации вводятся в таблице функций выбора СКД (G154–G159). Для этого используются средства интерфейса оператора или непосредственные вызовы функции языка высокого уровня `settable_wcs` (см. документы «Руководство оператора» и «Язык высокого уровня для создания параметрических управляющих программ»).

### **3.4 Принятые обозначения нулевых точек систем координат**

Для всех систем координат определяют нулевые точки: нулевая точка системы ЧПУ, нулевая точка станка, нулевая точка заготовки. Для оператора и самого станка они служат ориентиром для обеспечения неизменных стартовых условий.

#### **Базовая (опорная) точка станка с ЧПУ**



Опорная точка устанавливает позицию фиксированного останова на осях станка. Этот останов реализуется с помощью конечных переключателей или датчиков нуля. Конечные переключатели останавливают движение при перемещении к опорным точкам. Каждая ось имеет один или несколько переключателей.

#### **Нулевая точка системы ЧПУ (нулевая точка осевой системы координат)**



Нулевая точка системы ЧПУ зафиксирована в качестве начала координат всех осей станка (т.е. является нулем ОСКС). Она не может быть установлена свободно, но должна быть настроена автоматически перемещением в опорную точку. Эта точка определяется через расстояние от опорной, а потому становится известной после выхода в опорную точку. Ее положение также определяется ручной привязкой осей с помощью функций панели оператора. Для нулевой точки абсолютные координаты всех физических осей указываются как 0. При некоторых способах реферирования может совпадать с опорной точкой.

#### **Нулевая точка станка**



Нулевая точка станка является началом его базовой координатной системы (СКС). Для большинства простых станков (не требующих кинематической трансформации) совпадает с нулевой точкой системы ЧПУ.

### Нулевая точка заготовки



Под такой точкой обычно подразумевают нулевую точку текущей системы координат детали (СКД). Она назначается программистом и привязана к заготовке. Вся позиционная информация в управляющей программе соотносится с этой точкой (с учетом дополнительных смещений координат управляющей программы G194–G195 и G54–G59).

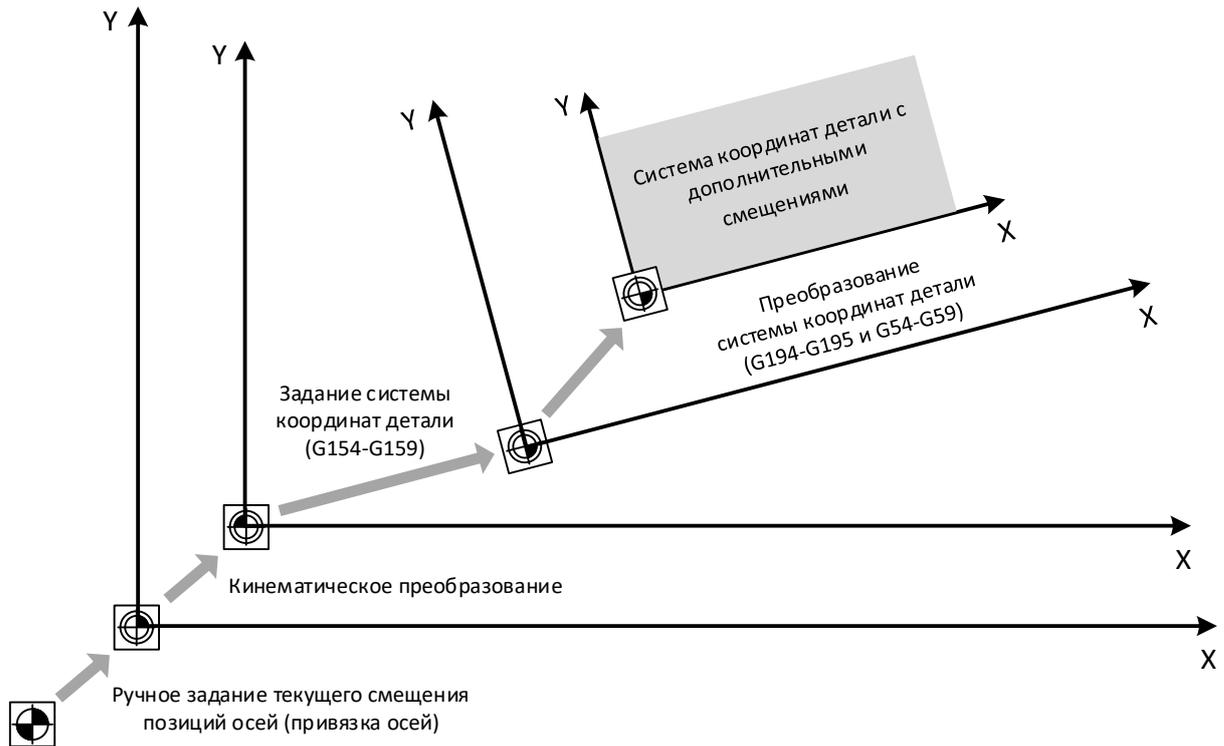
## 3.5 Последовательность преобразований координат системой ЧПУ

Процедура смещения нулей и задания ориентации систем координат позволяет изменить положение нулевой точки и наклон детали в пределах возможностей системы управления. Положение нуля детали изменяют, например, для повторения управляющей программы или ее фрагмента в разных местах рабочей зоны. После смещения все запрограммированные позиции будут соотнесены с новой нулевой точкой.

В системе «АксиОМА Контроль» возможны следующие преобразования взаимного положения систем координат:

- программируемое абсолютное смещение нуля управляющей программы G195;
- программируемое относительное смещение нуля управляющей программы G194;
- табличные смещения нуля управляющей программы G54–G59;
- табличное задание смещения и ориентации системы координат детали G154–G159;
- ручное задание смещения позиций осей станка (привязка осей, т.е. «ручное» реферирование).

Ниже (Рисунок 3.5) представлена диаграмма, которая демонстрирует пример взаимного расположения систем координат при использовании разных видов смещений (показано в плоскости XY).

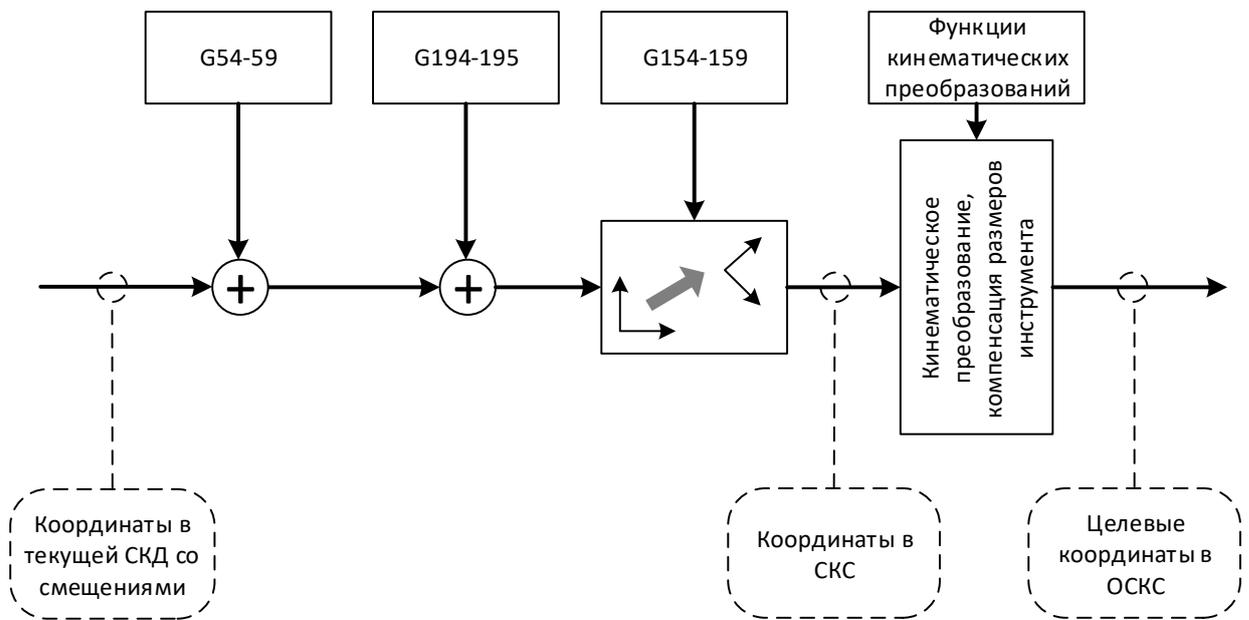


**Рисунок 3.5 – Цепь систем координат разных типов**

Все координаты, задаваемые в кадрах управляющей программы (например, G01 X30 Y50), относятся к текущей системе координат детали с учетом ее дополнительных программных преобразований (смещений G54–G59, G194–G195).

Система ЧПУ может реализовывать другие преобразования координат, например, кинематические трансформации и компенсации размеров инструмента. Последовательность преобразований координат управляющей программы при вычислении целевых позиций осей станка представлена на диаграмме (Рисунок 3.6).

- 1) К координатам, заданным в управляющей программе, добавляются смещения G194–G195 и G54–G59.
- 2) К геометрическим координатам (X, Y, Z и углы ориентации) применяется преобразование поворота и смещения системы координат детали G154–G159.
- 3) К полученным значениям координат в станочной системе (СКС) добавляются коррекции инструмента и применяются осевые кинематические трансформации.



**Рисунок 3.6 – Конвейер преобразований координат**

Конвейер преобразований работает аддитивно. Например, если активны функции G194, G154 и G54, их смещения будут суммироваться. Функции смещения подробно описаны в последующих разделах.

## 4 Функции координатных преобразований и задания размерностей

### 4.1 Табличное смещение нуля управляющей программы G53–G59

Подготовительные функции: G53, G54, G55, G56, G57, G58, G59

Характеристика: **модальные**

С помощью функций G54, G55, ... G59 выбирают одно из табличных смещений нуля управляющей программы в рамках текущей системы координат детали. Смещение отменяется функцией G53.

Указанные G-функции формируют подгруппу, из которой только одна функция может быть активна в данный момент времени. Смещение нуля сохраняется, пока не будет вызвана другая функция смещения нуля или функция отмены G53.

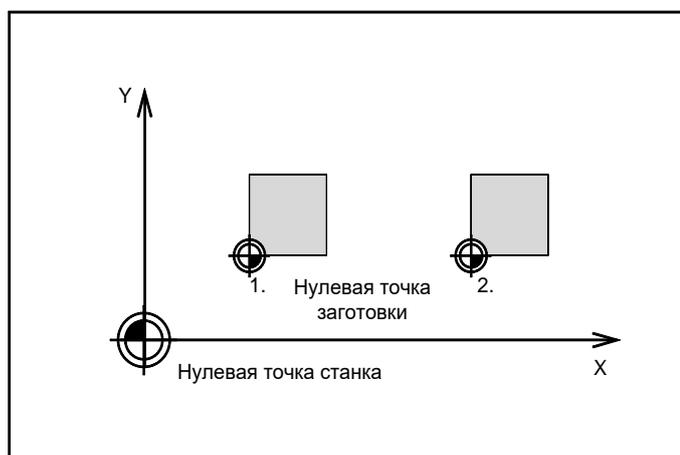
Таблицы смещений для функций G54–G59 содержат по 32 страницы значений. Таким образом, общее количество смещений составляет  $32 \times 6 = 192$  табличных смещения. Страница указывается при вызове функции с помощью адреса P. Допустимые номера страниц: от 1 до 32 включительно. Если адрес P не указан, используется первая страница таблицы.

**Пример 4.1:**

```
G17 G90 G15 G191 G71 G72 G172 G272 G94 G97 G49 G40 G00 G80 G98
G53 G153 G193 G64 BRISK CUT2DF ORIAXES // Строка безопасности

N10 G01 X0 Y0 F500 //Движение в ноль СКС
N20 G54 X0 Y0 //Движение в смещенный ноль (G54, страница 1)
N20 G56 P12 X0 Y0 //Движение в смещенный ноль (G56, страница 12)
N30 G53 X0 Y0 //Отмена смещения и движение в ноль СКС
N40 M30 //Конец программы
```

Рассмотрим вариант практического использования функций. Обрабатываются несколько одинаковых заготовок. Заготовки расположены одна за другой на рабочем столе. Можно разработать только одну версию управляющей программы и после обработки первой заготовки ввести в систему управления значение новой нулевой точки для следующей заготовки. Система автоматически подсчитает новые значения координат по отношению к текущей нулевой точке.



**Рисунок 4.1 – Смещение нулевой точки заготовки**

Значения смещений для функций G54–G59 задаются в интерфейсе оператора или непосредственно в управляющей программе функцией `settable_zs` (см. документы «Руководство оператора» и «Язык высокого уровня для создания параметрических управляющих программ»).

## 4.2 Табличное задание системы координат детали G153–G159

**Подготовительные функции: G153, G154, G155, G156, G157, G158, G159**

**Характеристика: модальные**

С помощью функций G154, G155, ..., G159 выбирают одну из табличных систем координат детали. Функция G153 отменяет выбор табличной системы координат детали и активирует базовую систему, совпадающую с базовой системой координат станка.

Указанные G-функции формируют подгруппу, из которой только одна функция может быть активна в данный момент времени. Выбор системы координат сохраняется, пока не будет вызвана другая функция G154–G159 или функция отмены G153.

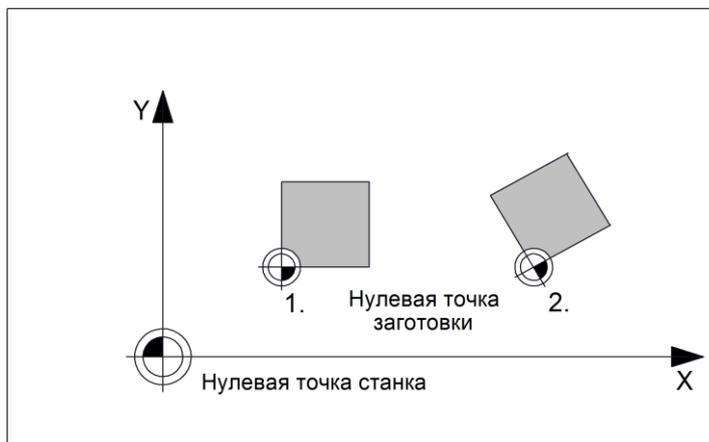
Таблицы для функций G154–G159 содержат по 32 страницы значений. Таким образом, общее количество значений составляет  $32 \times 6 = 192$  табличных системы координат. Страница указывается при вызове функции с помощью адреса P. Допустимые номера страниц: от 1 до 32 включительно. Если адрес P не указан, используется первая страница таблицы.

**Пример 4.2:**

```
G17 G90 G15 G191 G71 G72 G172 G272 G94 G97 G49 G40 G00 G80 G98
G53 G153 G193 G64 BRISK CUT2DF ORIAXES // Строка безопасности

N10 G01 X0 Y0 F500 //Движение в ноль СКС
N20 G154 X20 Y20 //Движение в позицию СКД (G154, страница 1)
N20 G157 P6 X20 Y20 //Движение в позицию СКД (G157, страница 6)
N30 G153 X0 Y0 //Отмена выбора СКД и движение в ноль СКС
N40 M30 //Конец программы
```

Вариант применения функций: заготовки расположены на рабочем столе, при этом их ориентация различна. Можно разработать только одну версию управляющей программы и после обработки первой заготовки выбрать повернутую систему координат для следующей заготовки. Система автоматически пересчитает значения координат при движении по траектории.



**Рисунок 4.2 – Поворот и смещение системы координат детали**

Значения смещений и углов поворотов для функций G154–G159 задаются в интерфейсе оператора или непосредственно в управляющей программе функцией `settable_wcs` (см. документы «Руководство оператора» и «Язык высокого уровня для создания параметрических управляющих программ»).

### 4.3 Преобразования координат управляющей программы

Преобразования координат управляющей программы позволяют выполнить сегмент управляющей программы с зеркальным отображением, масштабированием, поворотом осей или сдвигом. Все преобразования выполняются в декартовом пространстве для осей X, Y, Z.

#### Задание координат полюса

Координаты полюса для преобразований координат «зеркальное отображение», «масштабирование», «поворот осей» задаются по аналогии с заданием центра окружности адресами I, J, K соответственно для осей X, Y, Z.

Координаты полюса задаются в кадре задания преобразования вместе со вспомогательной функцией G72/G172/G272. Если полюс не задан, то за координаты полюса принимаются текущие координаты.

В зависимости от активности функций G190/G191 координаты полюса задаются в абсолютной или относительной системе отсчета.

Если не указана команда G190 (задание абсолютной системы координат для полюса), то при повторном выполнении полюс может сместиться.

#### 4.3.1 Зеркальное отображение G72/G73

**Подготовительные функции:** G72, G73

**Характеристика:** модальные

**Синтаксис:** G73 X<значение> Y<значение> Z<значение> I<значение> J<значение> K<значение>. Например, G73 X-1 Y-1 I5 J5

Зеркальное отображение запрограммированного контура производится по отношению к запрограммированной оси симметрии, параллельной оси декартовой системы X, или Y или Z (Рисунок 4.3).

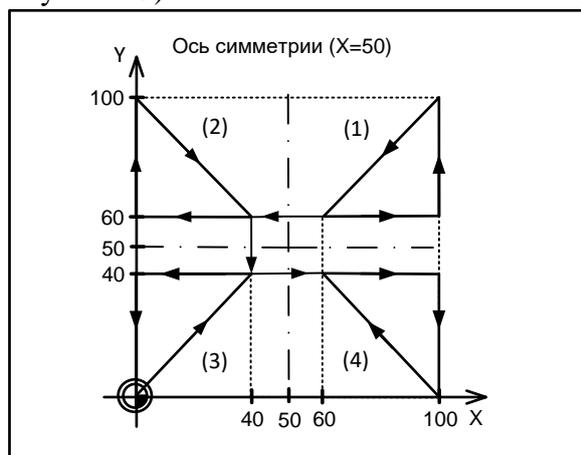


Рисунок 4.3 – Зеркальное отображение контура

### Пример 4.3:

```
G17 G90 G15 G191 G71 G72 G172 G272 G94 G97 G49 G40 G00 G80 G98
G53 G153 G193 G64 BRISK CUT2DF ORIAxes // Строка безопасности

M6 T2
M3 S500 G190 // задание абсолютной системы координат для полюса,
чтобы не было его смещения

N10 G00 X60 Y60
N20 G01 X100 F1500
N30 Y100
N40 X60 Y60

N50 G73 X-1 I50 J50 // Отображение по оси X
N60 G00 X60 Y60
N70 G01 X100 F1500
N80 Y100
N90 X60 Y60

N100 G73 X-1 Y-1 I50 J50 // Отображение по оси X и Y
N110 G00 X60 Y60
N120 G01 X100 F1500
N130 Y100
N140 X60 Y60

N150 G73 Y-1 I50 J50 // Отображение по оси Y
N160 G00 X60 Y60
N170 G01 X100 F1500
N180 Y100
N190 X60 Y60

G72 G191 // Выключение зеркального отображения, включение
относительной системы координат для полюса
M30
```

### Пояснения:

- |             |  |
|-------------|--|
| N10 – N40   | (1) Исходный контур.   |
| N50 – N90   | (2) Зеркальное отображение исходного контура относительно оси симметрии, параллельной оси Y и проходящей через полюс с координатами (50, 50).          |
| N100 – N140 | (3) Зеркальное отображение исходного контура относительно осей симметрии, параллельных оси X и оси Y и проходящих через полюс с координатами (50, 50). |
| N150 – N190 | (4) Зеркальное отображение исходного контура относительно оси симметрии, параллельной оси X и проходящей через полюс с координатами (50, 50).          |

Зеркальное отображение по всем осям отменяется подготовительной функцией G72. Зеркальное отображение по конкретной оси отменяется заданием ей значения 1.

С помощью функции зеркального отображения можно изменить знак любой функции размерного перемещения. Например, изменение знака в X-слове означает зеркальное отображение относительно координаты полюса, задаваемой в I-слове.

Для включения зеркального отображения необходима следующая информация.

- Предварительное задание команды G190, чтобы полюс зеркального отображения задавался в абсолютной системе координат
- Подготовительная функция G73
- Адрес той оси, перемещения вдоль которой должны быть инвертированы, а также:
  - 1, если необходимо инвертирование;
  - + 1, если необходимо отменить инвертирование.

Таким образом, кадр:

**N10 G190 G73 X-1 I0**

означает, что функции перемещения для оси X должны быть инвертированы. Эффект проявится в зеркальном отображении относительно оси Y, если активна плоскость XY.

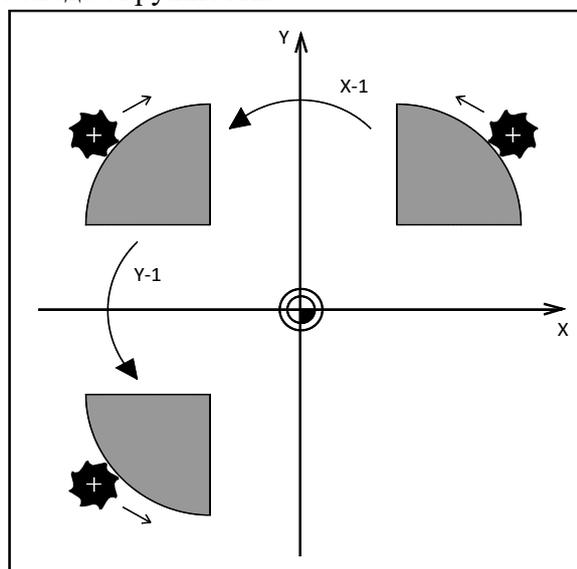
Функция G73 может работать с несколькими осями в одном кадре. Зеркальное отображение отменяется:

- подготовительной функцией G72, отменяющей инверсию для всех осей (полная отмена);
- функцией G73 и адресом оси, дополненным +1; в этом случае только инверсия этой оси будет отменена.

Смещения нуля не подлежат зеркальному отображению. При инверсии только одной оси система управления изменяет:

- знак координат вдоль инвертируемой оси;
- направление вращения при круговой интерполяции (G02/G03);
- знак коррекции на величину радиуса (G41/G42).
- направление вращения в полярной системе координат.

Зеркальное отображение относительно двух осей в одной плоскости меняет знак коррекции и направление обхода окружности.



*Рисунок 4.4 – Зеркальное отображение*

### 4.3.2 Масштабирование отображения G172/G173

Подготовительные функции: **G172, G173**

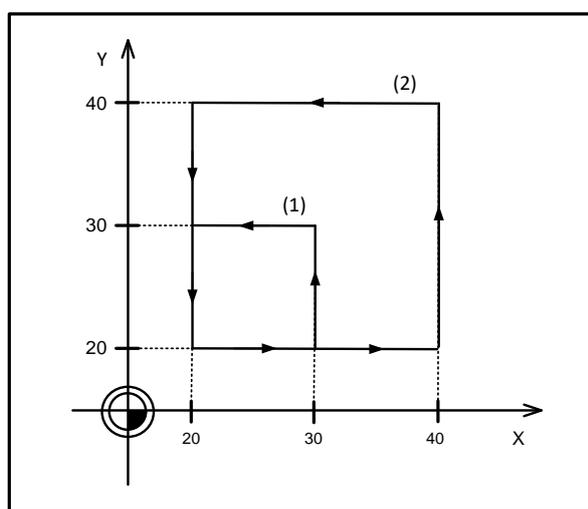
Характеристика: **модальные**

**Синтаксис: G173 X<значение> Y<значение> Z<значение> I<значение> J<значение> K<значение>. Например, G173 X2 Y3 I5 J5**

Масштабирование запрограммированного контура производится по отношению к заданному полюсу. Масштабирование по осям программируют подготовительной функцией G173 и заданием коэффициента масштабирования по каждой из осей декартового пространства. Если масштаб по всем осям декартового пространства одинаковый, то вместо задания трех одинаковых коэффициентов по осям X, Y и Z используется адрес P. В качестве значений коэффициентов масштабирования используются положительные целые или дробные числа, отличные от нуля.

Если при круговой интерполяции в плоскости для каждой из осей заданы разные коэффициенты масштабирования, то масштабирование происходит с использованием большего из коэффициентов.

Масштабирование запрограммированного контура отменяется подготовительной функцией G172. Масштабирование по отдельной оси можно отменить заданием значения 1 коэффициента масштабирования по этой оси.



**Рисунок 4.5 – Масштабирование контура**

**Пример 4.4:**

```
G17 G90 G15 G191 G71 G72 G172 G272 G94 G97 G49 G40 G00 G80 G98  
G53 G153 G193 G64 BRISK CUT2DF ORIAXES // Строка безопасности
```

```
N10 M5  
N20 M6 T2  
N30 M3 S700  
N40 G01 G54 X0 Y0 Z0 F1000
```

```
N50 X10  
N60 Y10  
N70 X0  
N80 Y0  
N90 M5  
N100 M6 T3  
N110 M3 S500
```

```
N120 G173 P2 // аналогично заданию масштабирования X2 Y2  
N130 G01 X0 Y0 F1000  
N140 G01 X10  
N150 Y10
```

N160 X0  
N170 Y0  
N180 G172 M5 // - выключение масштабирования  
  
N200 M30

**Пояснения:**

- N50 – N110 (1) Исходный контур.  
N120 – N170 (2) Отмасштабированный в 2 раза исходный контур.

### 4.3.3 Поворот осей G272/G273

**Подготовительные функции:** G272, G273

**Характеристика:** модальные

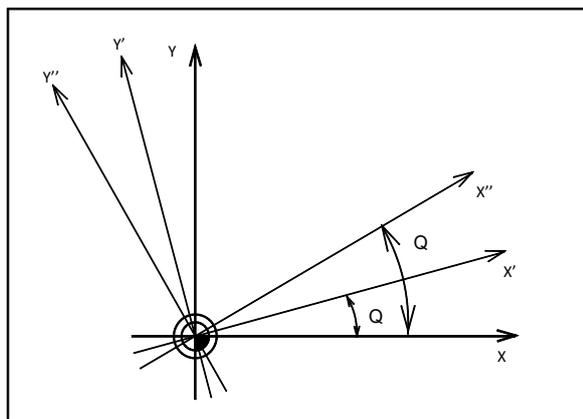
**Синтаксис:** G273 Q<значение> I<значение> J<значение> K<значение>. Например, G273 Q45 I5 J5

Поворот запрограммированного контура в активной плоскости (см. G17/G18/G19) производится по отношению к заданному полюсу. Поворот осей программируют подготовительной функцией G273 и заданием угла поворота через адрес Q в градусах. Это слово определяет угол поворота координатных осей в текущей плоскости.

Поворот запрограммированного контура отменяется подготовительной функцией G272. Задание значения угла поворота Q0 не поворачивает оси.

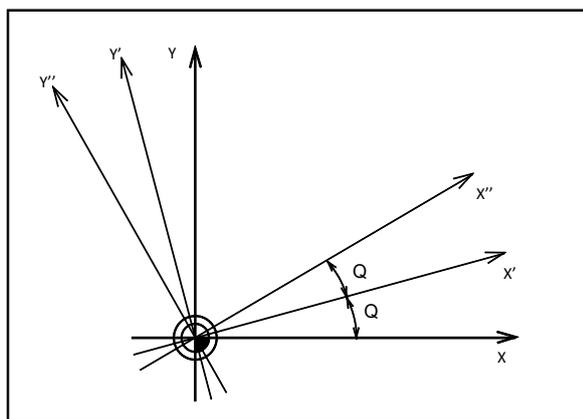
В зависимости от активной подготовительной функции G90/G91 угол поворота может задаваться в абсолютных или относительных величинах:

1. Поворот на угол относительно оси X (активна G17). В этом случае говорят об абсолютном угле поворота.



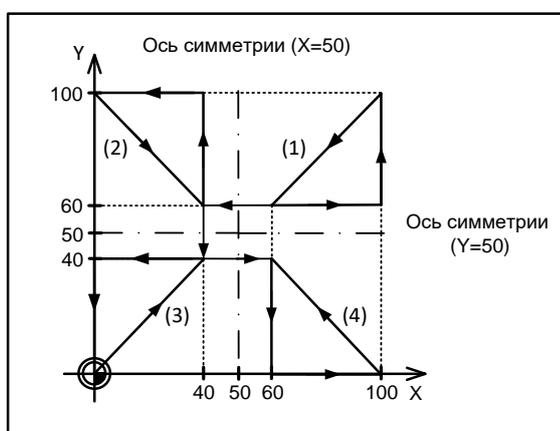
*Рисунок 4.6 – Поворот на угол относительно оси*

2. Поворот на угол относительно ранее повернутой оси X (активна G17). В этом случае говорят о приращении угла или об относительном угле поворота.



**Рисунок 4.7 – Поворот на угол относительно ранее повернутой оси**

Поворот осей отменяется подготовительной функцией G272.



**Рисунок 4.8 – Поворот контура**

**Пример 4.5 (Относительный угол поворота):**

G17 G90 G15 G191 G71 G72 G172 G272 G94 G97 G49 G40 G00 G80 G98  
G53 G153 G193 G64 BRISK CUT2DF ORIAXES // Строка безопасности

M6 T2  
M3 S500 G190

N05 G273 Q0 I50 J50  
N10 G00 X60 Y60  
N20 G01 X100 F1500  
N30 Y100  
N40 X60 Y60

N50 G91 G273 Q90 I50 J50  
N60 G90 G00 X60 Y60  
N70 G01 X100 F1500  
N80 Y100  
N90 X60 Y60

N100 G91 G273 Q90 I50 J50  
N110 G90 G00 X60 Y60  
N120 G01 X100 F1500  
N130 Y100

N140 X60 Y60

N150 G91 G273 Q90 I50 J50

N160 G90 G00 X60 Y60

N170 G01 X100 F1500

N180 Y100

N190 X60 Y60

G272 G191

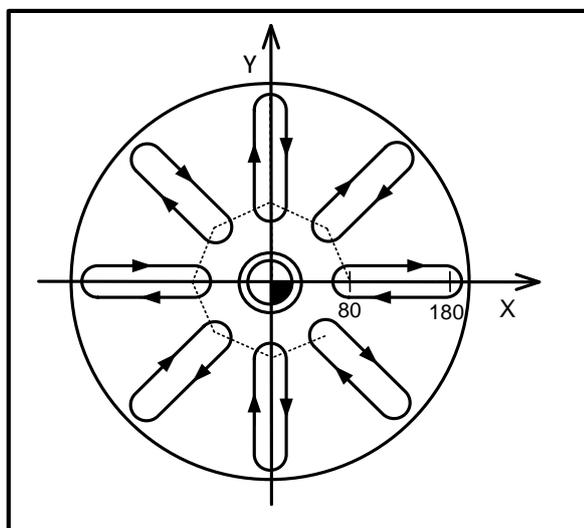
M30

**Пояснения:**

- N5 – N40 (1) Исходный контур.  
N50 – N90 (2) Поворот исходного контура на угол  $90^\circ$  относительно полюса с координатами (50, 50).  
N100 – N140 (3) Относительный поворот исходного контура на угол  $90^\circ$  относительно полюса с координатами (50, 50).  
N150 – N190 (4) Относительный поворот исходного контура на угол  $90^\circ$  относительно полюса с координатами (50, 50).

Относительный поворот осей часто используют для повторения обрабатываемого контура, расположенного под определенным углом.

**Пример 4.6:**



**Рисунок 4.9 – Пример поворота осей**

G17 G90 G15 G191 G71 G72 G172 G272 G94 G97 G49 G40 G00 G80 G98  
G53 G153 G193 G64 BRISK CUT2DF ORIAxes // Строка безопасности

M6 T2  
M3 S500

G190

N10 G00 Z10  
N20 G00 X80 Y0

```

N30 G01 Z0 F2000
N40 G143 G01 X80 Y20
N50 G42 X180 Y20
N60 G02 X180 Y-20 I180 J0
N70 G01 X80 Y-20
N80 G02 X80 Y20 I80 J0
N90 G143
N100 G40 G01 X80 Y0
N105 G00 Z10

int ii=0;
for(ii=1; ii<8; ii++)
{
    N110 G91 G273 Q45 I0 J0
    N120 G90

    N130 G00 Z10
    N140 G00 X80 Y0
    N150 G01 Z0 F2000
    N160 G143 G01 X80 Y20
    N170 G42 X180 Y20
    N180 G02 X180 Y-20 I180 J0
    N190 G01 X80 Y-20
    N200 G02 X80 Y20 I80 J0
    N210 G143
    N220 G40 G01 X80 Y0
    N230 G00 Z10
}

G191 G272
M30

```

#### **Пояснения:**

В цикле семь раз осуществляется относительный поворот на 45 градусов.

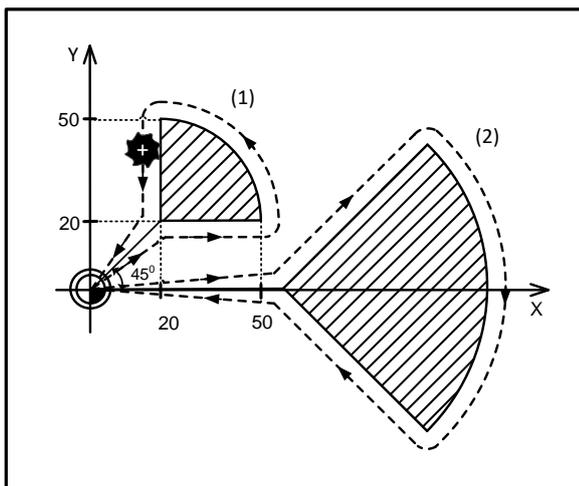
Благодаря относительному повороту все канавки будут обработаны относительно единого нуля детали.

#### **4.3.4 Совокупность преобразований программной системы координат**

К запрограммированному контуру могут быть применены сразу несколько или все преобразования программной системы координат. Каждое преобразование со своим полюсом должно быть запрограммировано в отдельном кадре.

Независимо от порядка программирования преобразований сначала выполняется зеркальное отображение, затем масштабирование и затем поворот.

**Пример 4.7 (Совокупность преобразований программной системы координат):**



**Рисунок 4.10 – Совокупность преобразований программной системы координат при эквидистантной обработке**

```
G17 G90 G15 G191 G71 G72 G172 G272 G94 G97 G49 G40 G00 G80 G98
G53 G153 G193 G64 BRISK CUT2DF ORIAXES // Строка безопасности
```

```
M6 T2
M3 S500
```

```
N10 G00 X20 Y20
N15 G01 X50 F1500
N20 G03 I-30 X20 Y50
N25 G01 Y20
N30 G00 X0 Y0
N35 G00 X20 Y20 G42
N40 G01 X50 F1500
N45 G03 I-30 X20 Y50
N50 G01 Y20
N55 G00 X0 Y0 G40
```

```
N100 G73 Y-1 I0 J0 // включение зеркального отображения по оси
Y
```

```
N105 G173 P2 I0 J0 // включение масштабирования X2 Y2
```

```
N110 G273 Q45 I0 J0 // поворот на 45 градусов
```

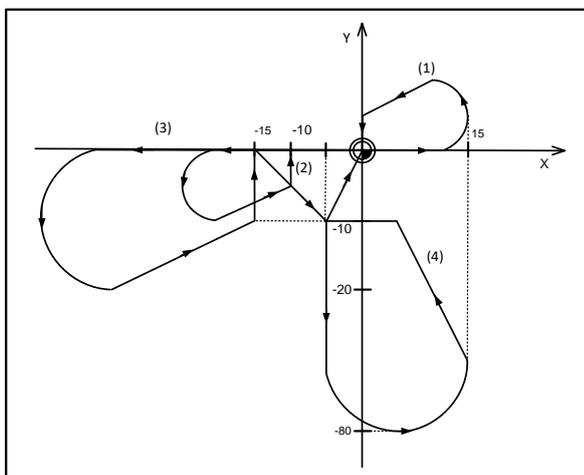
```
N115 G00 X20 Y20
N120 G01 X50 F1500
N130 G03 I-30 X20 Y50
N140 G01 Y20
N150 G00 X0 Y0
N160 G00 X20 Y20 G42
N170 G01 X50 F1500
N180 G03 I-30 X20 Y50
N190 G01 Y20
N195 G00 X0 Y0 G40
```

```
N200 G72 G172 G272 // отключение зеркального отображения,
масштабирования и поворота
M30
```

**Пояснения:**

- N10 – N55 (1) Исходный контур.  
N100 – N195 (2) Зеркальное отображение относительно оси Y, масштабирование в 2 раза и поворот на 45° исходного контура

**Пример 4.8 (Совокупность преобразований программной системы координат):**



**Рисунок 4.11 – Совокупность преобразований программной системы координат, координаты полюса (-5, 0)**

```
G17 G90 G15 G191 G71 G72 G172 G272 G94 G97 G49 G40 G00 G80 G98
G53 G153 G193 G64 BRISK CUT2DF ORIAXES // Строка безопасности

//--- абсолютные координаты ---
N10 M6 T2
N20 M3 S500
N30 G90 G01 X0 Y0 Z0 F1000
N40 X10
N50 G190 G03 Y10 I10 J5
N60 G01 X0 Y5
N70 Y0
N80 M5

N100 M6 T3
N105 M3 S500
N110 G73 X-1 Y-1 I-5 J0 // зеркальное отображение по осям X и
Y
N115 G90 G01 X0 Y0 F1000
N120 G01 X10
N125 G190 G03 Y10 I10 J5
N130 G01 X0 Y5
N135 Y0
N140 G72 G172 G272 M5 // отключение зеркального отображения,
масштабирования и поворота

N200 M6 T3
N205 M3 S500
N210 G73 X-1 Y-1 I-5 J0 // зеркальное отображение по осям X и
Y
N215 G173 P2 I-5 J0 // масштабирование X2 Y2
```

```

N220 G90 G01 X0 Y0 F1000
N225 G01 X10
N230 G190 G03 Y10 I10 J5
N235 G01 X0 Y5
N240 Y0
N245 G72 G172 G272 M5 // отключение зеркального отображения,
масштабирования и поворота

N300 M6 T3
N305 M3 S500
N310 G73 X-1 Y-1 I-5 J0 // зеркальное отображение по осям X и
Y
N315 G173 P2 I-5 J0 // масштабирование X2 Y2
N320 G273 Q90 I-5 J0 // поворот на 90 градусов
N325 G90 G01 X0 Y0 F1000
N330 G01 X10
N335 G190 G03 Y10 I10 J5
N340 G01 X0 Y5
N345 Y0
N350 G72 G172 G272 M5 // отключение зеркального отображения,
масштабирования и поворота

N400 M30

```

## 4.4 Смещение нуля управляющей программы G193/G194/G195

**Подготовительные функции:** G193, G194, G195

**Характеристика:** модальные

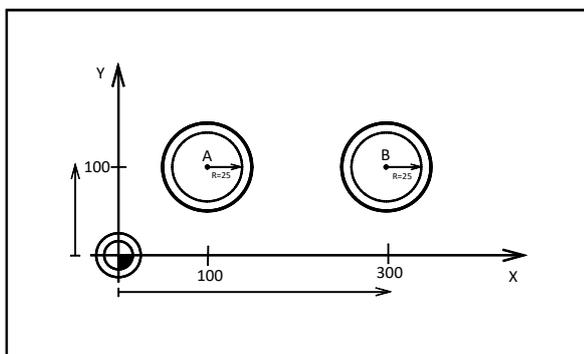
Смещение нуля управляющей программы предполагает непосредственный ввод вектора смещения в кадре. Координаты такого смещения указывают непосредственно вслед за подготовительной функцией. Смещение нуля может повторяться в управляющей программе произвольное число раз, и можно использовать две альтернативные возможности смещения нуля. Функция G193 отменяет смещение нуля управляющей программы. Смещения G194–G195 действуют относительно нуля текущей системы координат детали и смещают эту систему.

### 4.4.1 Относительное смещение G194

С помощью функции относительного смещения G194 координаты новой нулевой точки задаются по отношению к предыдущей нулевой точке. При вызове функции G194 вектор смещения носит аддитивный характер. Функция G194 отменяется функцией отмены G193.

#### **Пример 4.9:**

В заготовке должны быть профрезерованы два круговых кармана с расстоянием между центрами 200 мм. Первоначально нулевая точка будет смещена в позицию А. После обхода первого контура нулевая точка будет перенесена из поз. А в поз. В, и рабочий процесс будет повторен.



**Рисунок 4.12 – Пример реализации программного смещения нуля**

```
G17 G90 G15 G191 G71 G72 G172 G272 G94 G97 G49 G40 G00 G80 G98
G53 G153 G193 G64 BRISK CUT2DF ORIAXES // Строка безопасности
```

```
N10 G17 T1 M06 S10000
N15 G54 /*Параметры: X100 и Y100*/
N20 G190 G00 Z5 F1000
N25 G00 X25 Y0
N30 G01 Z-2
N35 G02 X25 Y0 I0 J0
N40 G00 Z5

N45 G194 X200 Y0
N50 G190 G00 X25 Y0
N55 G01 Z-2
N60 G02 X25 Y0 I0 J0
N65 G00 Z5
N70 M30
```

**Пояснения:**

|         |   |
|---------|---|
| M06     | Автоматическая смена инструмента                            |
| N15     | Смещение нуля программы в точку A                           |
| N20-N40 | Обработка кармана. Поверхность заготовки определена как Z=0 |
| N45     | Смещение нуля программы из точки A в точку B                |
| N50-N65 | Обработка второго кармана                                   |
| N70     | Конец управляющей программы                                 |

**4.4.2 Абсолютное смещение G195**

Функцией G195 запрограммированные координаты новой нулевой точки программы соотносятся с фиксированной нулевой точкой текущей системы координат детали.

**4.5 Размерность измерения детали G70 (G20) / G71 (G21)**

**Подготовительные функции: G70 (G20), G71 (G21)**

**Характеристика: модальные**

При программировании все размеры могут быть представлены в мм или дюймах. Изменение размерности осуществляется выбором одной из двух подготовительных функций:

**G70 (G20): Размеры объявляются в дюймах**

**G71 (G21): Размеры объявляются в мм**

Обе функции модальные и могут переключаться любое число раз во время выполнения программы.

Функции G70, G20 и G71, G21 попарно идентичны, G70/G71 обычно используются при фрезерной обработке, а G20/G21 – при токарной.

**Примечание.** Для круговых осей позиции всегда указываются в градусах, а функции размерности (дюймы/мм) на них никак не влияют.

**Пример 4.10:**

```
G17 G90 G15 G191 G71 G72 G172 G272 G94 G97 G49 G40 G00 G80 G98
G53 G153 G193 G64 BRISK CUT2DF ORIAxes // Строка безопасности

N10 G90 G00 X0 Y0 Z0
N20 G91 G71 G01 X100 Y100 Z100 G94 F500
N30 G90 G00 X0 Y0 Z0
N40 G91 G70 G01 X10 Y10 Z10 G94 F20
N50 G90 G00 X0 Y0 Z0
N60 M30
```

**Пояснения:**

- N10 Выход в «0» на быстром ходу
- N20 Линейная интерполяция в относительных координатах, подача и координаты задаются в мм
- N30 Выход в «0» на быстром ходу
- N40 Линейная интерполяция в относительных координатах, подача и координаты задаются, соответственно, в дюймах в единицу времени и в дюймах
- N50 Выход в «0» на быстром ходу

## **4.6 Программирование перемещения по поперечным осям в радиальном/диаметральном исчислении G10**

**Подготовительная функция: G10**

**Характеристика:** модальная

**Синтаксис: G10 [Имя\_оси<Значение 0/1>]. Например, G10 X1**

Выбор между использованием радиуса или диаметра для расчета расстояния перемещения по каждой оси осуществляется подготовительной функцией G10. Эта функция позволяет оперативно заменить используемые данные, например радиус, на диаметр для каждой управляемой оси.

**Примечание.** Далее программирование перемещения по оси через задание радиуса названо «программированием в радиальном исчислении» («программированием в радиусе»), а программирование через задание диаметра – «программированием в диаметральном исчислении» («программированием в диаметре»).

В диаметре могут программироваться только поперечные линейные оси (соответственно сконфигурированные в машинных параметрах), продольные оси всегда программируются в радиусе. Попытка программирования в диаметре несконфигурированной для этого оси вызывает ошибку выполнения УП.

Координата перемещения по поперечным осям (на токарных станках при G18 это обычно ось X) может интерпретироваться как радиус или диаметр. Таким образом, любая размерная информация может быть передана непосредственно в программу обработки детали из чертежа без пересчета.

Формат G-кода для переключения способа программирования перемещения по оси через задание радиуса/диаметра выглядит следующим образом:

G10 [Имя оси] <Способ задания размеров по оси>, где

Способ задания размеров по оси – тип программирования оси (в радиусе или в диаметре). В качестве способа задания размеров по оси допустимы только два значения: 0 или 1:

- 0 – программирование в радиусе;
- 1 – программирование в диаметре.

Ввод других значений вызовет ошибку выполнения УП

#### **Примечания.**

1. Код с инструкцией G10 вводится в отдельном блоке, без каких-либо других кодов.
2. После имени оси вводится способ задания размеров для нее.

#### **Пример (фрагмент):**

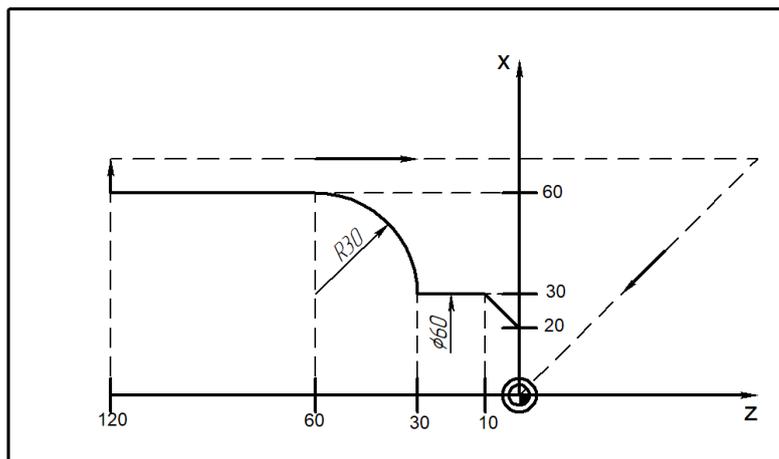
```
G10 X1 Y0 // далее размеры по X воспринимаются как диаметр,  
размеры по Y – как радиус
```

По умолчанию оси программируются в радиусе.

Сброс канала отменяет способ задания размеров посредством G10 и устанавливает значение по умолчанию.

Программирование в диаметре посредством G10 не влияет на параметры круговой интерполяции I, J, K. Координаты центра окружности, длина инструмента, смещение нулевой точки, координаты продольных осей всегда интерпретируются как при программировании в радиусе.

**Пример 4.11:**



**Рисунок 4.13 – Программирование в диаметральной и радиальной исчислениях по оси X при токарной обработке**

```
G18 G90 G15 G191 G71 G72 G172 G272 G94 G97 G49 G40 G00 G80 G98  
G53 G153 G193 G64 BRISK CUT2DF // Строка безопасности (токарная  
обработка)
```

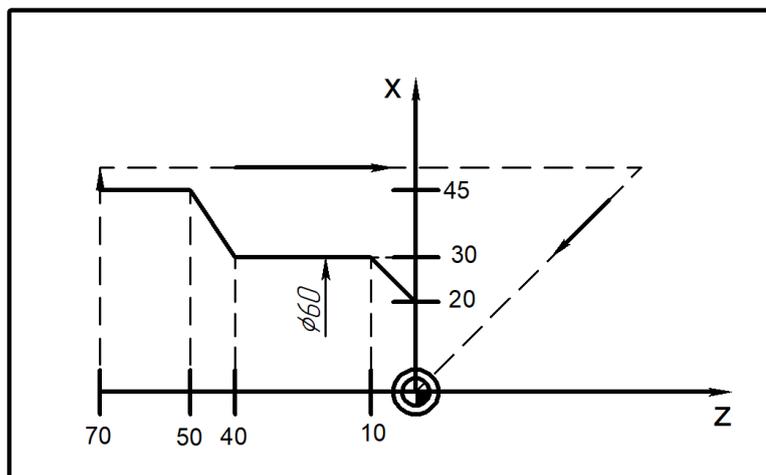
```
N10 T10 M6  
N20 S100 M03 F500  
N30 G90 G00 X70 Z50  
N40 G00 X0 Z1  
N50 G01 X0 Z0  
N60 X20 Z0  
N70 G10 X1  
N80 X60 Z-10  
N90 G91 X0 Z-20  
N100 G10 X0  
N110 G03 X30 Z-30 R30  
N120 G90 G01 X60 Z-120  
N130 G00 X70  
N140 X70 Z50  
N150 M02
```

**Пояснения:**

- N10-20 Выбор инструмента, задание параметров обработки (по умолчанию используется программирование координат по оси X в радиусе)
- N30 Инструмент ускоренно перемещается в точку с координатами (50, 70)
- N40 Инструмент ускоренно перемещается в точку с координатами (1, 0)
- N50 Подвод инструмента к контуру
- N60 Движение с заданной подачей по контуру
- N70 Смена способа программирования координат по оси X на программирование в диаметре (X1 в этом кадре задает не величину перемещения по оси, а тип программирования – в диаметре)
- N80-90 Движение с заданной подачей по контуру
- N100 Смена способа программирования координат по оси X на программирование в радиусе (X0 в этом кадре задает не величину перемещения по оси, а тип программирования – в радиусе)

- N110 Движение по дуге против часовой стрелки (конечная точка X30 X60 Z-30; радиус окружности R30)
- N120 Движение с заданной подачей по контуру
- N130-140 Отвод инструмента
- N150 Конец управляющей программы

**Пример 4.12:**



**Рисунок 4.14 – Программирование в диаметральном и радиальном исчислении по оси X при токарной обработке**

G18 G90 G15 G191 G71 G72 G172 G272 G94 G97 G49 G40 G00 G80 G98  
 G53 G153 G193 G64 BRISK CUT2DF // Строка безопасности (токарная обработка)

```

N10 T10 M6
N20 S100 M03 F500
N30 G90 G00 X50 Z50
N40 G00 X0 Z1
N50 G01 X0 Z0
N60 G01 X20 Z0
N70 G10 X1
N80 X60 Z-10
N90 X60 Z-40
N100 G10 X0
N110 X45 Z-50
N120 G00 X55
N130 G00 X50 Z50
N140 M02
  
```

**Пояснения:**

- N10-20 Выбор инструмента, задание параметров обработки (по умолчанию используется программирование координат по оси X в радиусе)
- N30 Инструмент ускоренно перемещается в точку с координатами (50, 70)
- N40 Инструмент ускоренно перемещается в точку с координатами (1, 0)
- N50 Подвод инструмента к контуру
- N60 Движение с заданной подачей по контуру

- N70 Смена способа программирования координат по оси X на программирование в диаметре (X1 в этом кадре задает не величину перемещения по оси, а тип программирования – в диаметре)
- N80-90 Движение с заданной подачей по контуру
- N100 Смена способа программирования координат по оси X на программирование в радиусе (X0 в этом кадре задает не величину перемещения по оси, а тип программирования – в радиусе)
- N110 Движение с заданной подачей по контуру (конечная точка X45 Z-50)
- N120-130 Отвод инструмента
- N140 Конец управляющей программы

## 4.7 Система отсчета G90/G91

### Подготовительные функции: G90, G91

**Характеристика:**                    **модальные**

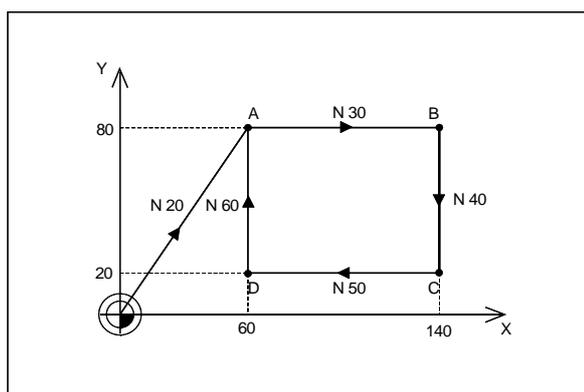
Перемещение в некоторую заданную в координатной системе точку может быть альтернативно описано в абсолютных координатах или в приращениях.

#### 4.7.1 Абсолютная система отсчета G90

При использовании абсолютной системы отсчета вся размерная информация соотносится с фиксированной нулевой точкой. Этой нулевой точкой является текущая нулевая точка управляющей программы. Численное значение позиционной информации описывает целевую точку в координатной системе управляющей программы. Функция модальная. Величина перемещения подсчитывается как разность между целевой и текущей точкой.

#### *Пример 4.13 (Фрезерная обработка):*

На ускоренной подаче подвести инструмент в точку A, затем на рабочей подаче последовательно переместить A-B-C-D-A.



**Рисунок 4.15 – Пример управляющей программы, использующей абсолютную систему отсчета**

```
G17 G90 G15 G191 G71 G72 G172 G272 G94 G97 G49 G40 G00 G80 G98
G53 G153 G193 G64 BRISK CUT2DF ORIAXES // Строка безопасности
```

```
N10 G90
N20 G00 X60 Y80
```

```

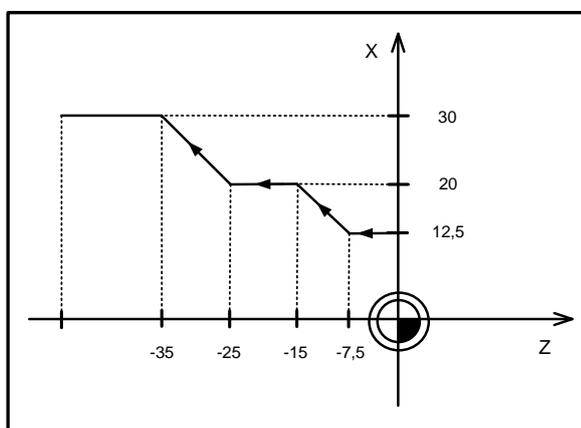
N30 G01 X140 F1000
N40 Y20
N50 X60
N60 Y80
N70 M30

```

**Пояснения:**

- N10 Переключение в абсолютную систему отсчета
- N20 Ускоренное перемещение в начальную точку A(X60,Y80)
- N30 Линейная интерполяция, подача 1000мм/мин до точки B(X140 Y80)
- N40 Перемещение инструмента к C(X140 Y20)
- N50 Перемещение инструмента к D(X60 Y20)
- N60 Перемещение инструмента к A(X60 Y80)
- N70 Конец управляющей программы

**Пример 4.14 (Токарная обработка):**



**Рисунок 4.16 – Использование абсолютной системы отсчета при токарной обработке**

```

G18 G90 G15 G191 G71 G72 G172 G272 G94 G97 G49 G40 G00 G80 G98
G53 G153 G193 G64 BRISK CUT2DF // Строка безопасности (токарная
обработка)

```

```

N10 G18 X12.5 Z0
N20 G01 X12.5 Z-7.5 F1000
N30 X20 Z-15
N40 X20 Z-25
N50 X30 Z-35
N60 M30

```

**Пояснения**

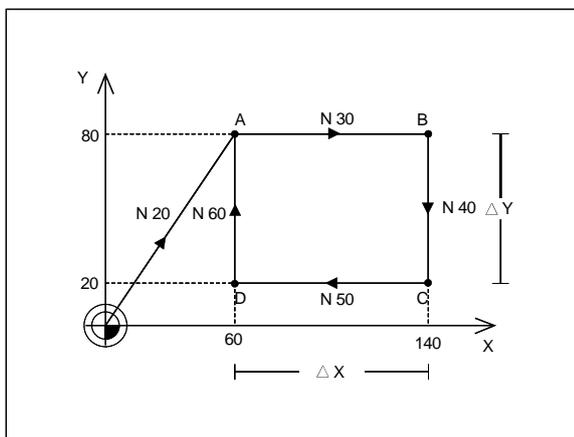
- N10 Инструмент ускоренно перемещается в точку 1 (Z0, X12.5)
- N20-N50 Линейное перемещение по контуру с заданной подачей (координаты всех точек контура заданы абсолютно, т.е. относительно нуля системы координат детали)
- N60 Конец управляющей программы

## 4.7.2 Относительная система отсчета G91

При использовании относительной системы отсчета численное значение в позиционной информации соответствует величине перемещения. При этом знак указывает на направление движения.

В управляющей программе переключение между абсолютной и относительной системами отсчета может осуществляться произвольное число раз.

**Пример 4.15 (Фрезерная обработка):**



**Рисунок 4.17 – Пример управляющей программы, использующей относительную систему отсчета**

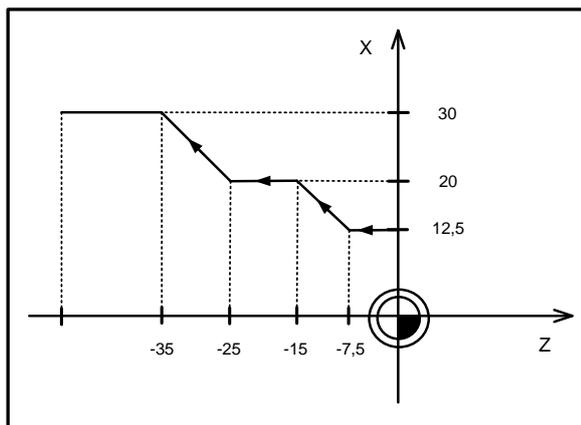
```
G17 G90 G15 G191 G71 G72 G172 G272 G94 G97 G49 G40 G00 G80 G98  
G53 G153 G193 G64 BRISK CUT2DF ORIAXES // Строка безопасности
```

```
N10 G91  
N20 G00 X60 Y80  
N30 G01 X80 F1000  
N40 Y-60  
N50 X-80  
N60 Y60  
N70 M30
```

### Пояснения:

- N10 Переключение в относительную систему отсчета
- N20 Ускоренное перемещение в начальную точку (X60, Y80).
- N30 Подача 1000 мм/мин. Инструмент перемещается по оси X на 80 мм к точке В(X140 Y80) в положительном направлении
- N40 Движение по оси Y на 60 мм в отрицательном направлении к С(X140 Y20)
- N50 Движение по оси X на 80 мм в отрицательном направлении к D(X60 Y20)
- N60 Движение по оси Y на 60 мм в положительном направлении к А(X60 Y80)
- N70 Конец управляющей программы

**Пример 4.16 (Токарная обработка):**



**Рисунок 4.18 – Использование относительной системы отсчета при токарной обработке**

```
G18 G90 G15 G191 G71 G72 G172 G272 G94 G97 G49 G40 G00 G80 G98  
G53 G153 G193 G64 BRISK CUT2DF // Строка безопасности (токарная  
обработка)
```

```
N10 G18 X12.5 Z0  
N20 G91 G01 X0 Z-7.5 F1000  
N30 X7.5 Z-7.5  
N40 X0 Z-10  
N50 X10 Z-10  
N60 M30
```

**Пояснения**

- N10 Инструмент ускоренно перемещается в точку 1 (Z0, X12.5)
- N20-N50 Линейное перемещение с заданной подачей по контуру (координаты всех точек контура заданы относительно, т.е. координата каждой последующей точки задается относительно предыдущей)
- N60 Конец управляющей программы

## 4.8 Система отсчета для центра окружности G190/G191

### Подготовительные функции: G190, G191

#### Характеристика модальные

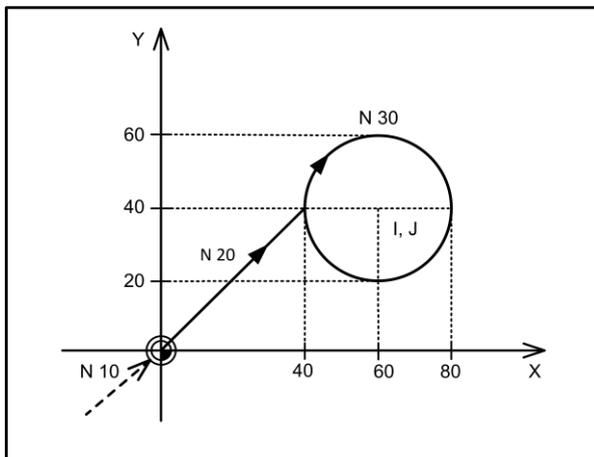
Положение центра окружности может быть задано по выбору – в абсолютной или относительной системах отсчета. Одна из подготовительных функций активна по умолчанию настройкой станочных параметров.

Если используется команда G90, то необходимо использовать дополнительно G190/G191. По умолчанию в системе вместе с активной командой G90 активна G191. Если активна функция G91, то положение центра окружности всегда определяется в относительной системе отсчета, а функции G190/G191 игнорируются системой ЧПУ.

## 4.8.1 Абсолютная система отсчета G190

Если активна функция G190, то положение центра окружности задано в абсолютной системе отсчета. Программирование в этом случае такое же, как и при линейной интерполяции с отсчетом от нулевой точки.

**Пример 4.17 (Фрезерная обработка):**



**Рисунок 4.19 – Пример задания координат центра окружности в абсолютной системе отсчета**

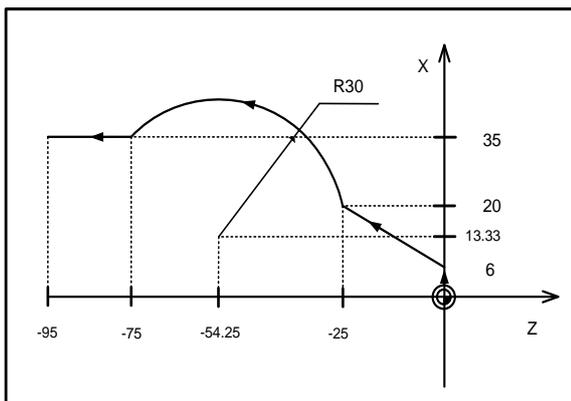
```
G17 G90 G15 G191 G71 G72 G172 G272 G94 G97 G49 G40 G00 G80 G98  
G53 G153 G193 G64 BRISK CUT2DF ORIAXES // Строка безопасности
```

```
N10 G00 G90 X0 Y0  
N20 G01 X40 Y40 F1000  
N30 G02 G190 X40 Y40 I60 J40  
N40 M30
```

### Пояснения:

- N10 Выбор абсолютной системы отсчета, ускоренное перемещение в начальную точку (X0, Y0).
- N20 Подача 1000 мм/мин. Инструмент перемещается в точку (X40, Y40) – начало обхода кругового контура
- N30 Движение по окружности по часовой стрелке, инструмент должен переместиться в точку (X40, Y40), при этом координаты центра окружности задаются в абсолютной системе отсчета (G190)
- N40 Конец управляющей программы

**Пример 4.18 (Токарная обработка):**



**Рисунок 4.20 – Задание координат центра окружности в абсолютной системе отсчета**

```
G18 G90 G15 G191 G71 G72 G172 G272 G94 G97 G49 G40 G00 G80 G98  
G53 G153 G193 G64 BRISK CUT2DF // Строка безопасности (токарная  
обработка)
```

```
N10 G18 G00 X0 Z0  
N20 G01 X6 Z0 S1200 M03 F500  
N30 G01 X20 Z-25  
N40 G190 G03 X35 Z-75 I13.33 K-54.25  
N50 G01 Z-95  
N60 M30
```

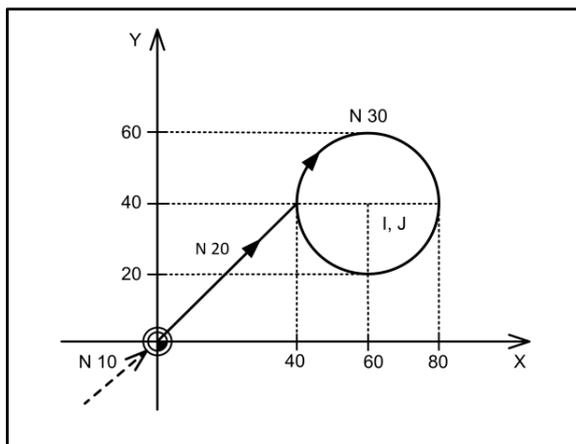
**Пояснения**

- N10 Инструмент ускоренно перемещается в точку с координатами (0, 0)
- N20 Движение с заданной подачей по контуру
- N30 Линейная интерполяция к началу дуги
- N40 Движение по дуге против часовой стрелки (конечная точка X35 Z-75; положение центра I13.33 K-54.25 – задано абсолютно – G190).
- N50 Линейная интерполяция к точке
- N80 Конец управляющей программы

**4.8.2 Относительная система отсчета G191**

Если активна функция G191, то положение центра окружности задается как расстояние от начальной точки дуги окружности.

**Пример 4.19 (Фрезерная обработка):**



**Рисунок 4.21 – Пример задания координат центра окружности в относительной системе отсчета**

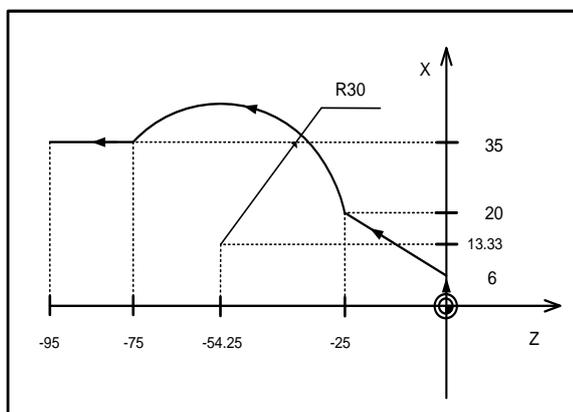
```
G17 G90 G15 G191 G71 G72 G172 G272 G94 G97 G49 G40 G00 G80 G98
G53 G153 G193 G64 BRISK CUT2DF ORIAXES // Строка безопасности

N10 G00 G90 X0 Y0
N20 G01 X40 Y40 F1000
N30 G02 G191 X40 Y40 I20 J0
N40 M30
```

**Пояснения:**

- N10 Выбор абсолютной системы отсчета, ускоренное перемещение в начальную точку (X0, Y0).
- N20 Подача 1000 мм/мин. Инструмент перемещается в точку (X40, Y40) – начало обхода кругового контура
- N30 Движение по окружности по часовой стрелке, инструмент перемещается в точку (X40, Y40), при этом координаты центра окружности задан в относительной системе отсчета (G191)
- N40 Конец управляющей программы

**Пример 4.20 (Токарная обработка):**



**Рисунок 4.22 – Задание координат центра окружности в относительной системе отсчета**

```
G18 G90 G15 G191 G71 G72 G172 G272 G94 G97 G49 G40 G00 G80 G98
G53 G153 G193 G64 BRISK CUT2DF // Строка безопасности (токарная
обработка)
```

```
N10 G18 G00 X0 Z0
N20 G01 X6 Z0 S1200 M03 F500
N30 G01 X20 Z-25
N40 G191 G03 X35 Z-75 I-6.67 K-29.25
N50 G01 Z-95
N60 M30
```

## Пояснения

- N10 Инструмент ускоренно перемещается в точку с координатами (0, 0)  
 N20 Движение с заданной подачей по контуру  
 N30 Линейная интерполяция к началу дуги  
 N40 Движение по дуге против часовой стрелки (конечная точка X35 Z-75; положение центра I-6.67 K-29.25 – задано относительно – G191).  
 N50 Линейная интерполяция к точке  
 N80 Конец управляющей программы

## 4.9 Полярные координаты

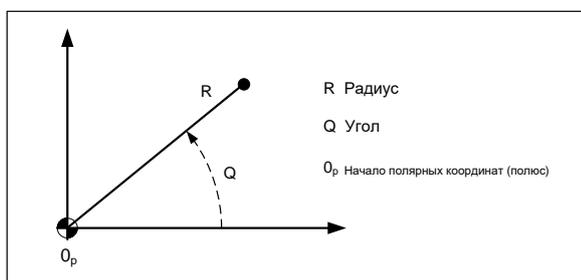
При наличии круговых контуров у детали или угловых размеров может оказаться удобным выражать координаты различных точек плоскости в полярных координатах.

Для задания размеров в этой системе координат необходимо задать значения полюса, радиуса и угла.

### Определение значений положения

Положение различных точек задается радиусом "R" и углом "Q" следующим образом:

- Радиусом является расстояние между началом полярных координат (полюсом) и точкой, в которую необходимо переместиться.
- Угол – это угол, сформированный осью абсциссы и линией, соединяющей начало полярных координат (полюс) с точкой, в которую необходимо переместиться.



**Рисунок 4.23 – Определение положения точки в полярной системе координат**

Радиус может быть задан в миллиметрах или в дюймах; угол задается в градусах. Оба значения могут быть заданы в абсолютных (G90) или в относительных (G91) системах отсчета.

- При активной функции G90 значения "R" и "Q" будут абсолютными. Значение, присвоенное радиусу, должно всегда быть положительным или нулевым.

- При активной функции G91 значения "R" и "Q" будут относительными. Хотя могут быть запрограммированы отрицательные значения "R", при программировании в относительной системе отсчета результирующее значение, присвоенное радиусу, должно всегда быть положительным или нулевым.

Если программируется значение "Q", большее 360°, то значение приводится к диапазону от 0 до  $\pm 360^\circ$ . Таким образом, Q420 – это то же самое, что и Q60, а Q-420 – то же самое, что и Q-60.

## **Заданное начало полярных координат (полюс)**

Начало полярных координат (полюс) задается в программе функцией G16. Если не выбраны координаты, в качестве полюса принимается текущее положение инструмента.

Выбранный полюс изменяется в следующих случаях:

- При изменении рабочей плоскости ЧПУ принимает нуль детали как новое "начало полярных координат".
- При включении питания, после M02 или M30 и после СБРОСА – ЧПУ принимает нуль детали в качестве нового начала полярных координат.

### **4.9.1 Отмена режима программирования в полярных координатах (задание режима программирования в декартовых координатах) G15**

Функция G15 отменяет режим программирования в полярных координатах и возвращает режим программирования в декартовых координатах.

**Подготовительная функция: G15**

**Характеристика: модальная**

### **4.9.2 Задание начала полярных координат G16**

Функция G16 используется для задания любой точки рабочей плоскости в качестве нового начала полярных координат (полюса).

**Подготовительная функция: G16**

**Характеристика: модальная**

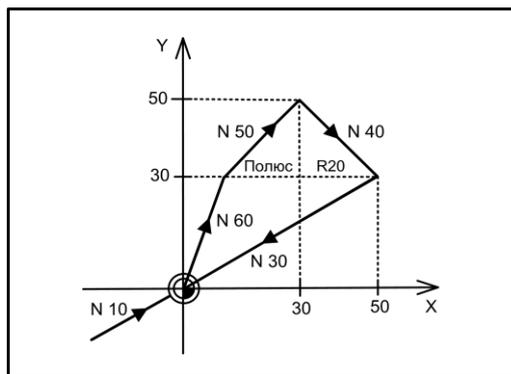
**Синтаксис: G16 X<значение> Y<значение>. Например, G16 X50 Y40**

Задание начала полярных координат (полюса) должно быть запрограммировано в отдельном кадре. Формат программирования зависит от выбранной плоскости (см. G17–G19) – "G16 X Y", "G16 X Z" или "G16 Y Z".

Начало полярных координат остается активным пока не задано другое значение. X и Y определяют абсциссу и ординату нового начала полярных координат (полюса). Они должны быть определены в абсолютных координатах относительно нуля детали при активной функции G90 либо в относительных координатах при активной G91.

Если не запрограммирован какой-либо из параметров, то координата текущего положения инструмента принимается за начало полярных координат.

### Пример 4.21:



**Рисунок 4.24 – Использование полярных координат**

```
G17 G90 G15 G191 G71 G72 G172 G272 G94 G97 G49 G40 G00 G80 G98  
G53 G153 G193 G64 BRISK CUT2DF ORIAXES // Строка безопасности
```

```
N10 G01 X0 Y0 F500  
N20 G16 X30 Y30  
N30 R20 Q0  
N40 R20 Q90  
N50 R20 Q180  
N60 G15 X0 Y0  
N70 M30
```

### Пояснения:

- N10 Перемещение в начальную точку (X0, Y0) с заданной подачей 500 мм/мин
- N20 Задание полюса полярной системы координат
- N30 Перемещение в точку, положение которой определяется радиусом (R20) и углом (Q0) относительно заданного в предыдущем кадре полюса
- N40 Перемещение в точку, положение которой определяется радиусом (R20) и углом (Q90) относительно заданного полюса
- N50 Перемещение в точку, положение которой определяется радиусом (R20) и углом (Q180) относительно заданного полюса
- N60 Отмена использования полярной системы координат/ возвращение в декартову систему координат и перемещение в точку (X0, Y0) с заданной подачей 500 мм/мин
- N70 Конец управляющей программы

Функция G16 может быть запрограммирована следующим образом:

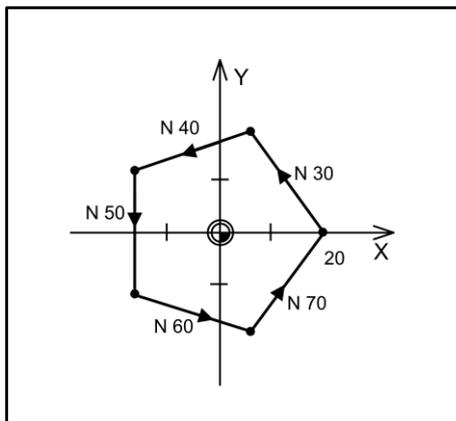
- G16 XY – Принимается в качестве нового начала полярных координат точка, абсцисса которой – "X" и ордината – "Y" относительно нуля детали.
- G16 Текущее положение инструмента принято в качестве нового начала полярных координат.

### Программирование

Расчет перемещений в полярных координатах ("R", "Q") осуществляется через радиус и угол конечной точки, отнесенной к началу полярных координат. Радиусом "R" будет расстояние между началом полярных координат и точкой. Угол "Q" будет сформирован осью абсциссы и линией, соединяющей начало полярных координат с точкой.

Если угол или радиус не запрограммированы, поддерживается значение, запрограммированное для последнего перемещения.

**Пример 4.22:**



**Рисунок 4.25 – Пример использования полярных координат**

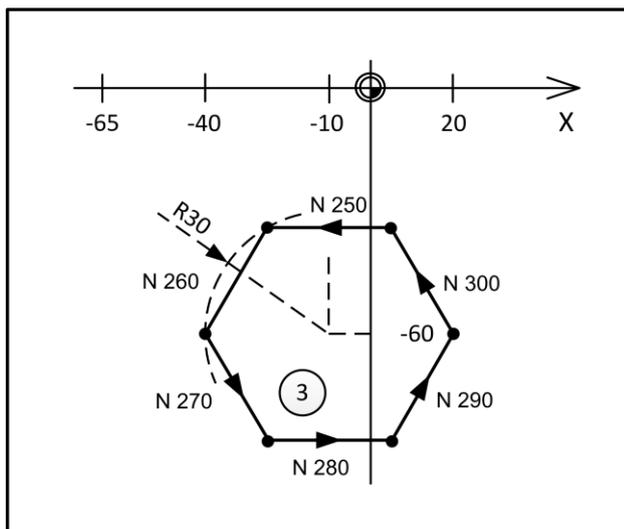
```
G17 G90 G15 G191 G71 G72 G172 G272 G94 G97 G49 G40 G00 G80 G98
G53 G153 G193 G64 BRISK CUT2DF ORIAXES // Строка безопасности
```

```
N10 G90 G00 X20 Y0
N20 G16 X0 Y0
N30 G01 R20 Q72 F350
N40 Q144
N50 Q216
N60 Q288
N70 Q360
N80 M30
```

**Пояснения:**

- N10 Выбор абсолютной системы отсчета и ускоренное перемещение в начальную точку (X20, Y0)
- N20 Задание полюса полярной системы координат
- N30 Перемещение в точку, положение которой определяется радиусом (R20) и углом (Q72) относительно заданного в предыдущем кадре полюса, с запрограммированной подачей 350 мм/мин
- N40 Перемещение в точку, положение которой определяется радиусом (R20) (не указывается, т.к. значение радиуса не изменяется) и углом (Q144) относительно заданного полюса
- N50 Перемещение в точку, положение которой определяется радиусом (R20) (не указывается, т.к. значение радиуса не изменяется) и углом (Q216) относительно заданного полюса
- N60 Перемещение в точку, положение которой определяется радиусом (R20) (не указывается, т.к. значение радиуса не изменяется) и углом (Q288) относительно заданного полюса
- N70 Перемещение в точку, положение которой определяется радиусом (R20) (не указывается, т.к. значение радиуса не изменяется) и углом (Q360) относительно заданного полюса
- N70 Конец управляющей программы

**Пример 4.23:**



**Рисунок 4.26 – Пример использования полярных координат**

```
G17 G90 G15 G191 G71 G72 G172 G272 G94 G97 G49 G40 G00 G80 G98  
G53 G153 G193 G64 BRISK CUT2DF ORIAXES // Строка безопасности
```

```
N220 G16 X-10 Y-60  
N230 G00 R30 Q60 F350 S1200  
N240 G01 Z-5  
N250 Q120  
N260 Q180  
N270 Q240  
N280 Q300  
N290 Q360  
N300 Q60  
N310 Z10  
N320 G15  
N330 G00 X0 Y0  
N340 M30
```

**Пояснения:**

- N220 Задание полюса полярной системы координат
- N230 Ускоренное перемещение в начальную точку, положение которой определяется радиусом (R30) и углом (Q60) относительно заданного в предыдущем кадре полюса
- N240 Перемещение с запрограммированной в предыдущем кадре подачей по оси Z
- N250 Перемещение в точку, положение которой определяется радиусом (R30) (не указывается, т.к. значение радиуса не изменяется) и углом (Q120) относительно заданного полюса
- N260 Перемещение в точку, положение которой определяется радиусом (R30) (не указывается, т.к. значение радиуса не изменяется) и углом (Q180) относительно заданного полюса
- N270 Перемещение в точку, положение которой определяется радиусом (R30) (не указывается, т.к. значение радиуса не изменяется) и углом (Q240) относительно заданного полюса
- N280 Перемещение в точку, положение которой определяется радиусом (R30) (не указывается, т.к. значение радиуса не изменяется) и углом (Q300) относительно заданного полюса

- N290 Перемещение в точку, положение которой определяется радиусом (R30) (не указывается, т.к. значение радиуса не изменяется) и углом (Q360) относительно заданного полюса
- N300 Перемещение в точку, положение которой определяется радиусом (R30) (не указывается, т.к. значение радиуса не изменяется) и углом (Q60) относительно заданного полюса
- N310 Перемещение с запрограммированной подачей по оси Z
- N320 Отмена использования полярной системы координат/возвращение в декартову систему координат
- N330 Ускоренное перемещение в точку (X0, Y0)
- N340 Конец управляющей программы

### 4.9.3 Программирование дуги окружности в полярных координатах G02/G03

**Подготовительные функции: G02/G03**

**Характеристика:**                    **модальные**

**Синтаксис: G02/G03 R<значение> Q<значение> I<значение> J<значение>.**

**Например, G02 R60 Q0 I30 J0**

Дуга программируется функцией G02 (движение по часовой стрелке) или G03 (движение против часовой стрелки) с указанием координат точки конца дуги и координат ее центра (относительно начальной точки дуги) соответственно осям активной рабочей плоскости.

#### **Координаты конечной точки**

Положение конечной точки определяется радиусом "R" и углом "Q" следующим образом:

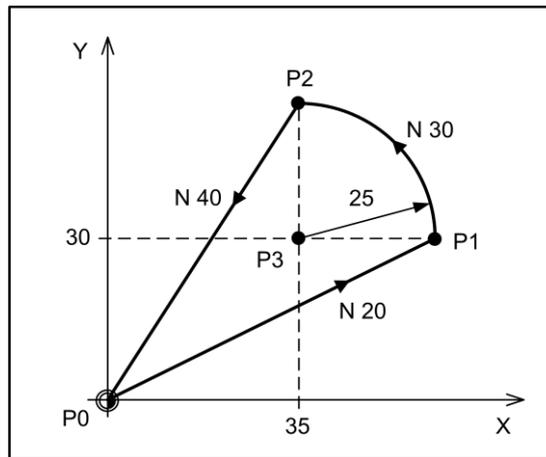
- R – расстояние между началом полярных координат (полюсом) и точкой.
- Q – угол, образуемый линией, соединяющей начало полярных координат с точкой, и горизонталью, проходящей через начало полярных координат.

Если угол или радиус не запрограммированы, поддерживается значение, запрограммированное для последнего перемещения. Радиус и угол могут быть определены в абсолютных (G90) или в относительных системах отсчета координат (G91).

При программировании угла в G91 он задается относительно координат предыдущей точки; при программировании в G90 указывается угол, сформированный горизонталью, проходящей через начало полярных координат.

Программирование угла 360° в G91 означает программирование полной окружности.

Программирование угла 360° в G90 означает программирование дуги, где целевая точка формирует угол 360° с горизонталью, проходящей через начало полярных координат.



**Рисунок 4.27 – Использование полярных координат при задании круговой траектории**

**Пример 4.24:**

```
G17 G90 G15 G191 G71 G72 G172 G272 G94 G97 G49 G40 G00 G80 G98
G53 G153 G193 G64 BRISK CUT2DF ORIAXES // Строка безопасности

N10 G16 X35 Y30
N20 G90 G01 R25 Q0 F500
N30 G03 Q90
N40 G15 G01 X0 Y0
N50 M30
```

**Пояснения:**

- N10 Задание полюса полярной системы координат
- N20 Перемещение с запрограммированной подачей 500 мм/мин в начальную точку, положение которой определяется радиусом (R25) и углом (Q0) относительно заданного в предыдущем кадре полюса
- N30 Перемещение по круговой траектории в точку, положение которой определяется радиусом (R25) (не указывается, т.к. значение радиуса не изменяется) и углом (Q90) относительно заданного полюса
- N40 Отмена использования полярной системы координат/возвращение в декартову систему координат, перемещение с запрограммированной подачей в точку (X0, Y0)
- N50 Конец управляющей программы

При программировании дуги окружности G02/G03 в полярных координатах без параметров I, J, K используются те же ограничения на угол дуги, как при программировании дуги окружности в декартовых координатах с использованием радиуса R.

**Координаты центра**

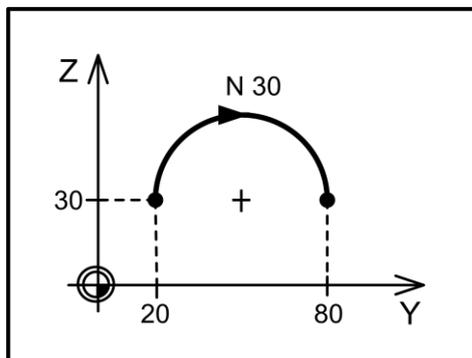
Координаты центра дуги определяются символами "I", "J" или "K" в зависимости от активной плоскости.

Если координата центра на оси – нуль, она не должна программироваться; если ни одна из них не запрограммирована, в качестве центра дуги будет принято начало полярных координат (полюс). Эти координаты не затрагиваются функциями G90 и G91.

```
(Плоскость XY G17) G02/G03 R... Q... I... J...
```

(Плоскость ZX G18) G02/G03 R... Q... I... K...  
(Плоскость YZ G19) G02/G03 R... Q... J... K...

**Пример 4.25:**



**Рисунок 4.28 – Использование полярных координат при обходе контура в плоскости YZ**

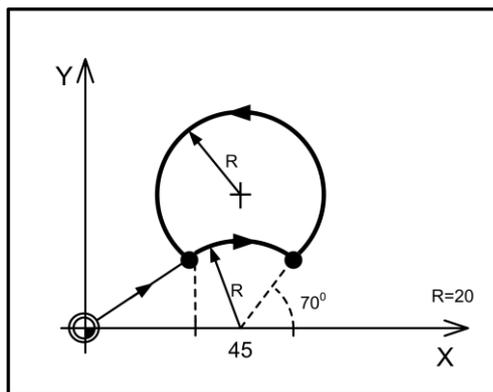
```
G17 G90 G15 G191 G71 G72 G172 G272 G94 G97 G49 G40 G00 G80 G98  
G53 G153 G193 G64 BRISK CUT2DF ORIAXES // Строка безопасности
```

```
N10 G19 G00 G90 Y20 Z30 F350  
N20 G16  
N30 G02 G190 R60 Q0 J50 K30  
N40 G15 G00 Y0 Z0  
N50 M30
```

**Пояснения:**

- N10 Выбор плоскости обработки YZ, абсолютной системы отсчета, ускоренное перемещение в точку (Y20, Z30)
- N20 Задание полюса – т.к. не указаны координаты, то по умолчанию будет использоваться в качестве полюса точка, в которой находится инструмент (Y20, Z30)
- N30 Перемещение по круговой траектории с запрограммированной подачей 350 мм/мин в точку, положение которой определяется радиусом (R60) и углом (Q0), относительно заданного в предыдущем кадре полюса; координаты центра круговой траектории задаются абсолютно (относительно нуля управляющей программы)
- N40 Отмена использования полярной системы координат/возвращение в декартову систему координат, ускоренное перемещение в точку (Y0, Z0)
- N50 Конец управляющей программы

**Пример 4.26:**



**Рисунок 4.29 – Использование полярных координат**

```
G17 G90 G15 G191 G71 G72 G172 G272 G94 G97 G49 G40 G00 G80 G98  
G53 G153 G193 G64 BRISK CUT2DF ORIAXES // Строка безопасности
```

```
N10 G00 G90 X0 Y0 F350  
N20 G16 X45 Y0  
N30 G01 R20 Q110  
N40 G02 Q70  
N50 G03 Q110 I-6.8404 J18.7938  
N60 M30
```

**Пояснения:**

- N10 Выбор абсолютной системы отсчета, ускоренное перемещение в точку (X0, Y0)
- N20 Задание полюса полярной системы координат (X45, Y0)
- N30 Перемещение с запрограммированной подачей 350 мм/мин в точку, положение которой определяется радиусом (R20) и углом (Q110) относительно заданного в предыдущем кадре полюса
- N40 Перемещение по круговой траектории с запрограммированной подачей 350 мм/мин в точку, положение которой определяется радиусом (R20) (не указывается, т.к. значение радиуса не изменяется) и углом (Q70) относительно заданного полюса
- N50 Перемещение по круговой траектории с запрограммированной подачей 350 мм/мин в точку, положение которой определяется радиусом (R20) (не указывается, т.к. значение радиуса не изменяется) и углом (Q110), относительно заданного в предыдущем кадре полюса; координаты центра круговой траектории задаются относительно точки, в которой находился инструмент после выполнения кадра N40
- N60 Конец управляющей программы

## 4.9.4 Примеры программирования

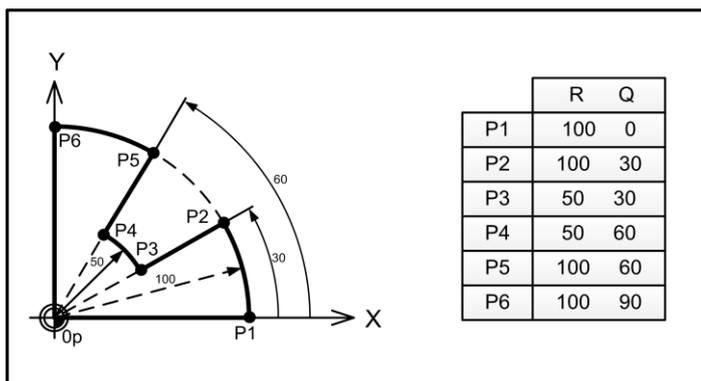


Рисунок 4.30 – Пример использования полярных координат

### Пример 4.27 (Абсолютные координаты):

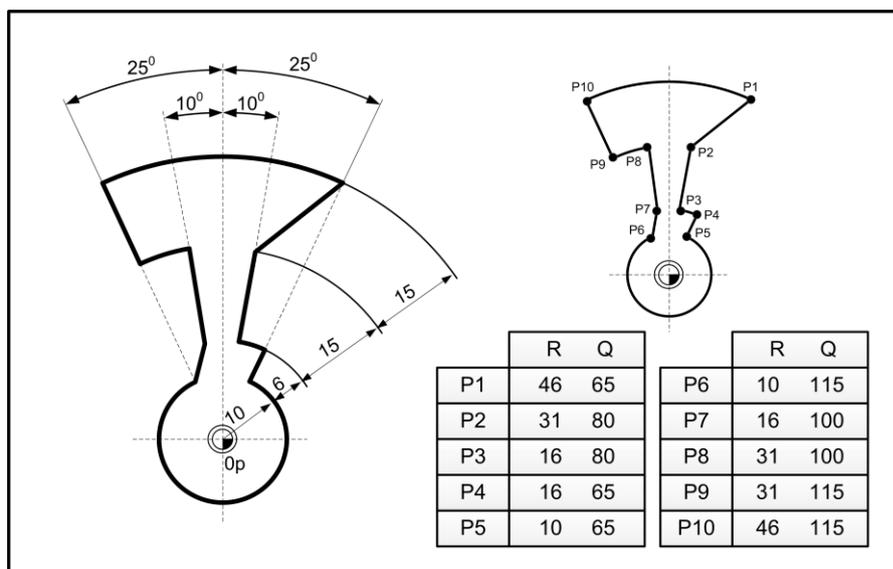
```
G17 G90 G15 G191 G71 G72 G172 G272 G94 G97 G49 G40 G00 G80 G98
G53 G153 G193 G64 BRISK CUT2DF ORIAXES // Строка безопасности
```

```
G00 G90 X0 Y0 F350      (Точка P0 - полюс)
G16
G01 R100 Q0             (Точка P1)
G03 Q30                 (Точка P2)
G01 R50 Q30            (Точка P3)
G03 Q60                 (Точка P4)
G01 R100 Q60          (Точка P5)
G03 Q90                 (Точка P6)
G01 R0 Q90             (Точка P0)
M30
```

### Пример 4.28 (Относительные координаты):

```
G17 G90 G15 G191 G71 G72 G172 G272 G94 G97 G49 G40 G00 G80 G98
G53 G153 G193 G64 BRISK CUT2DF ORIAXES // Строка безопасности
```

```
G00 G90 X0 Y0 F350      (Точка P0)
G16
G91 G01 R100 Q0         (Точка P1)
G03 Q30                 (Точка P2)
G01 R-50                (Точка P3)
G03 Q30                 (Точка P4)
G01 R50                 (Точка P5)
G03 Q30                 (Точка P6)
G01 R-100               (Точка P0)
M30
```



**Рисунок 4.31 – Пример использования полярных координат**

**Пример 4.29 (Абсолютные координаты):**

G17 G90 G15 G191 G71 G72 G172 G272 G94 G97 G49 G40 G00 G80 G98  
G53 G153 G193 G64 BRISK CUT2DF ORIAxes // Строка безопасности

```
G16 X0 Y0
G90 G00 R46 Q65 F350 /*Точка P1*/
G01 R31 Q80 /*Точка P2*/
G01 R16 /*Точка P3*/
G02 Q65 /*Точка P4*/
G01 R10 /*Точка P5*/
G02 Q115 /*Точка P6*/
G01 R16 Q100 /*Точка P7*/
G01 R31 /*Точка P8*/
G03 Q115 /*Точка P9*/
G01 R46 /*Точка P10*/
G02 Q65 /*Точка P0*/
M30
```

**Пример 4.30 (Относительные координаты):**

G17 G90 G15 G191 G71 G72 G172 G272 G94 G97 G49 G40 G00 G80 G98  
G53 G153 G193 G64 BRISK CUT2DF ORIAxes // Строка безопасности

```
G16 X0 Y0
G90 G00 R46 Q65 F350 /*Точка P1*/
G91 G01 R-15 Q15 /*Точка P2*/
G01 R-15 /*Точка P3*/
G02 Q-15 /*Точка P4*/
G01 R-6 /*Точка P5*/
G02 Q-310 /*Точка P6*/
G01 R6 Q-15 /*Точка P7*/
G01 R15 /*Точка P8*/
G03 Q15 /*Точка P9*/
G01 R15 /*Точка P10*/
G02 Q-50 /*Точка P0*/
M30
```

## 5 Инструкции перемещения

При обработке заготовок оси должны перемещаться на строго определенные величины. Адрес в инструкции указывает имя программируемой оси (например, X, Y, Z, B, C), а последующее число – на величину перемещения по этой оси.

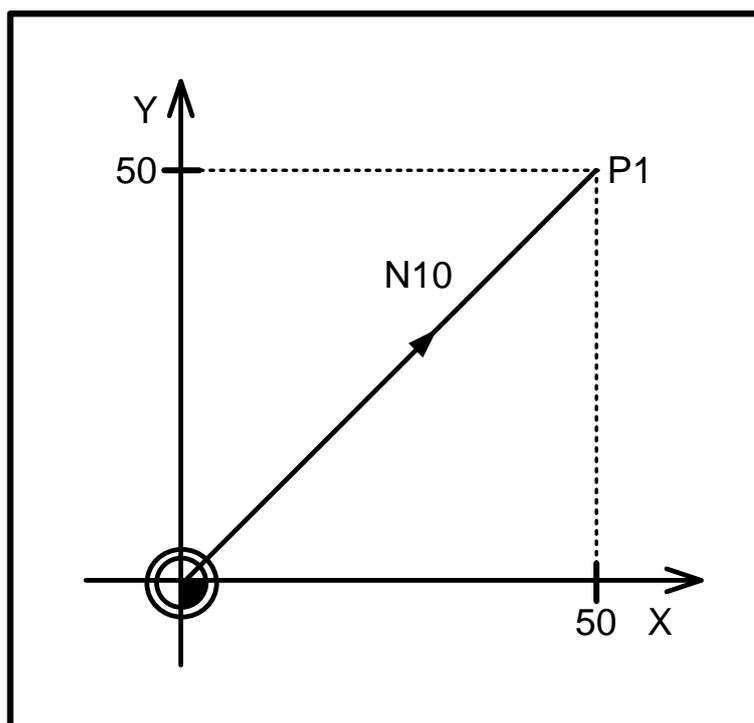
### 5.1 Позиционирование G00

#### Подготовительная функция: G00

**Характеристика:** модальная

С помощью функции G00 программируется ускоренное перемещение на основе информации о целевой точке. Целевая точка определяется через указание ее абсолютных или относительных координат. Функция G00 поддерживает движение по прямой от текущей точки к заданной с максимально возможной скоростью, которая и обеспечивает быстрое перемещение. Скорость быстрого перемещения определяется ограничением подачи канала в станочных параметрах (см. Параметры канала → Ограничение подачи).

**Пример 5.1 (Фрезерная обработка):**



**Рисунок 5.1 – Пример ускоренного перемещения в точку**

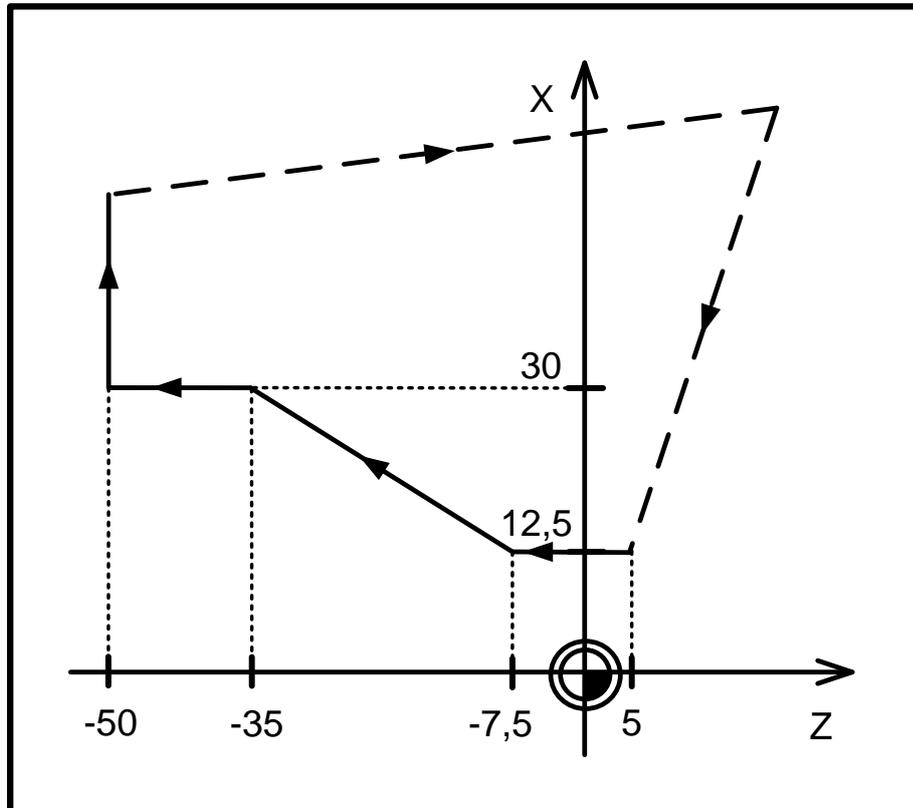
```
G17 G90 G15 G191 G71 G72 G172 G272 G94 G97 G49 G40 G00 G80 G98  
G53 G153 G193 G64 BRISK CUT2DF ORIAXES // Строка безопасности
```

```
N10 G00 G90 X50 Y50  
M30
```

#### Пояснения:

N10 Позиционирование в точку P1(50, 50) осуществится в плоскости XY.

**Пример 5.2 (Токарная обработка):**



**Рисунок 5.2 – Ускоренное перемещение при токарной обработке**

```
G18 G90 G15 G191 G71 G72 G172 G272 G94 G97 G49 G40 G00 G80 G98  
G53 G153 G193 G64 BRISK CUT2DF // Строка безопасности (токарная  
обработка)
```

```
N10 G18 G90 S500 M3  
N15 X60 Z20  
N20 X12.5 Z5  
N30 G01 G94 Z0 F1000  
N40 G95 Z-7.5 F0.2  
N50 X30 Z-35  
N60 Z-50  
N70 G00 X50  
N80 X60 Z20  
N90 M30
```

**Пояснения**

- N15 Инструмент ускоренно перемещается в точку (Z20, X60)
- N20 Инструмент ускоренно перемещается в точку начала обработки контура (Z5, X12.5)
- N30-N60 Линейная интерполяция с заданной подачей – проход по контуру
- N70-N80 Ускоренный отвод инструмента
- N80 Конец управляющей программы

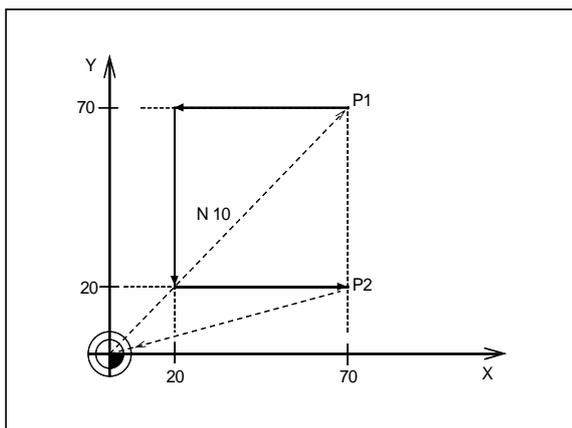
## 5.2 Линейная интерполяция G01

Подготовительная функция: G01

Характеристика: модальная

Инструмент перемещается к целевой точке по прямой с определенной подачей. Если в организацию движения вовлечены несколько осей, то траектория определится с помощью линейной интерполяции. Подача программируется с помощью адреса F в мм/мин. Для поворотных осей подача программируется в градусах/мин (если в кадре нет перемещений по линейным осям).

**Пример 5.3 (Фрезерная обработка):**



**Рисунок 5.3 – Пример линейной интерполяции с заданной скоростью подачи**

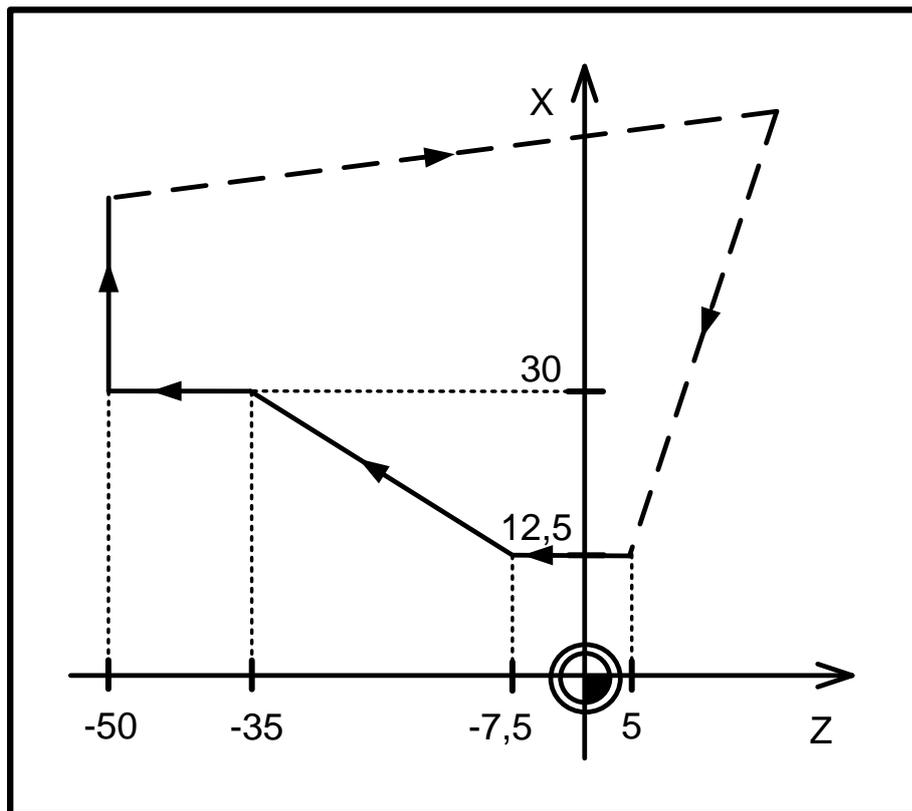
```
G17 G90 G15 G191 G71 G72 G172 G272 G94 G97 G49 G40 G00 G80 G98  
G53 G153 G193 G64 BRISK CUT2DF ORIAXES // Строка безопасности
```

```
N10 G00 G90 X70 Y70 Z10 S5000 M3  
N20 G01 Z-5 F1000  
N30 G01 X20  
N40 Y20  
N50 X70  
N60 G00 Z10  
N70 G00 X0 Y0 M5  
N80 M30
```

### Пояснения:

- N10 Инструмент быстро перемещается в точку P1. Скорость вращения шпинделя – 5000 об/мин.
- N20 Движения по Z на глубину резания
- N30-50 Обработка заготовки по контуру в направлении точки P2 с подачей 1000 мм/мин
- N60 Отвод инструмента в безопасную плоскость
- N70 Выключение шпинделя, возврат в исходную точку
- N80 Конец управляющей программы

**Пример 5.4 (Токарная обработка):**



**Рисунок 5.4 – Пример линейной интерполяции с заданной скоростью подачи при токарной обработке**

```
G18 G90 G15 G191 G71 G72 G172 G272 G94 G97 G49 G40 G00 G80 G98  
G53 G153 G193 G64 BRISK CUT2DF // Строка безопасности (токарная  
обработка)
```

```
N10 G18 G90 S500 M3  
N15 X60 Z20  
N20 X12.5 Z5  
N30 G01 G94 Z0 F1000  
N40 G95 Z-7.5 F0.2  
N50 X30 Z-35  
N60 Z-50  
N70 G00 X50  
N80 G00 X60 Z20  
N90 M30
```

**Пояснения**

- N15 Инструмент ускоренно перемещается в точку (Z20, X60)
- N20 Инструмент ускоренно перемещается в точку начала обработки контура (Z5, X12.5)
- N30-N60 Линейная интерполяция с заданной подачей – проход по контуру
- N70-N80 Ускоренный отвод инструмента
- N90 Конец управляющей программы

## 5.3 Круговая и винтовая интерполяция G02/G03

Подготовительные функции:

**G02** Обход окружности по часовой стрелке

**G03** Обход окружности против часовой стрелки

Синтаксис

**G2/G3 X<значение> Y<значение> Z<значение> I<значение> J<значение> K<значение>**; координаты конечной точки и центра окружности

**G2/G3 X<значение> Y<значение> Z<значение> R<значение>**; координаты конечной точки и радиус, если угол поворота меньше или равен  $180^\circ$

**G2/G3 X<значение> Y<значение> Z<значение> CR=<значение>**; координаты конечной точки и радиус;  $CR < 0$ , если угол поворота больше  $180^\circ$  угол,  $CR \geq 0$ , если угол меньше или равен  $180^\circ$

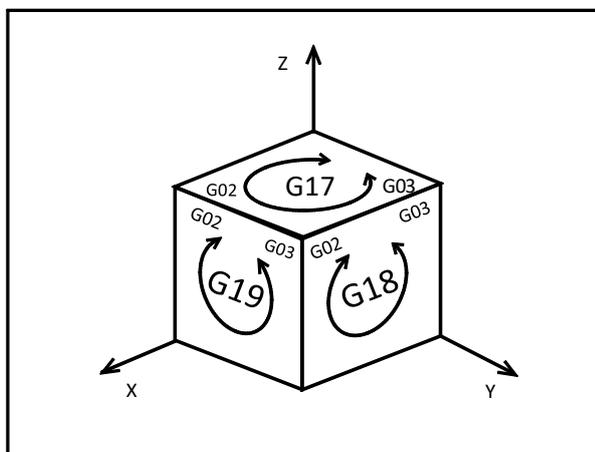
**Характеристика:**                    **модальные**

При круговой интерполяции инструмент движется вдоль дуги окружности, обрабатывая заготовку – от начальной до конечной точки дуги. Движение осуществляется по часовой стрелке либо против часовой стрелки (G02 и G03 соответственно). Подачу задают адресом F (скорость подачи).

При круговой интерполяции кадр должен включать следующую информацию:

- G02 или G03 (направление обхода);
- данные о конечной точке дуги;
- данные о центре окружности (I, J, K) или радиусе (R) (CR=).

При помощи подготовительных функций G17, G18 и G19 (выбор плоскости) интерполяция может быть привязана к разным плоскостям системы координат детали, соответственно: XY, ZX или YZ. Выбор функции G02 или G03 в той или иной плоскости делается так: если смотреть вдоль отрицательного направления оси, перпендикулярной к выбранной плоскости, то для обхода по часовой стрелке следует выбрать G02, а для обхода против часовой стрелки – G03.



*Рисунок 5.5 – Выбор функции G02/G03 в плоскости обработки*

Винтовая интерполяция отличается от круговой наличием синхронного движения по одной или нескольким дополнительным осям (см. раздел 5.3.5). Чаще всего под винтовой интерполяцией в узком смысле понимается движение по спирали (т.е. круговая интерполяция одновременно с движением по оси, перпендикулярной рабочей плоскости окружности).

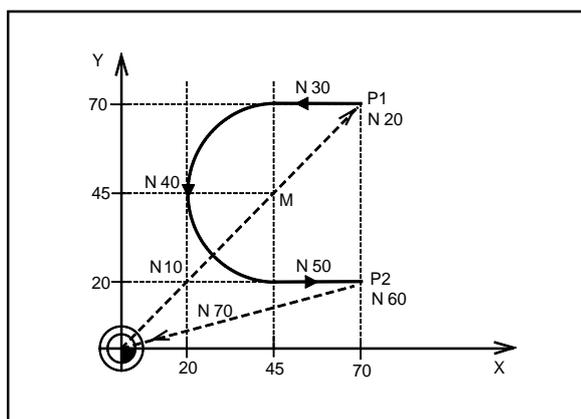
### 5.3.1 Параметры интерполяции I, J, K

Параметры интерполяции определяют центр окружности в абсолютной или относительной системе отсчета. Параметры I, J и K привязаны соответственно к осям X, Y и Z. Для каждой плоскости должны быть запрограммированы два параметра:

- I, J для окружности в плоскости XY
- K, I для окружности в плоскости ZX
- J, K для окружности в плоскости YZ

**Примечание.** При круговой интерполяции должны быть введены все данные, даже если приращение до конечной точки или параметр центра окружности равны нулю.

**Пример 5.5 (Фрезерная обработка):**



**Рисунок 5.6 – Круговая интерполяция с заданными координатами центра окружности**

```
G17 G90 G15 G191 G71 G72 G172 G272 G94 G97 G49 G40 G00 G80 G98
G53 G153 G193 G64 BRISK CUT2DF ORIAxes // Строка безопасности
```

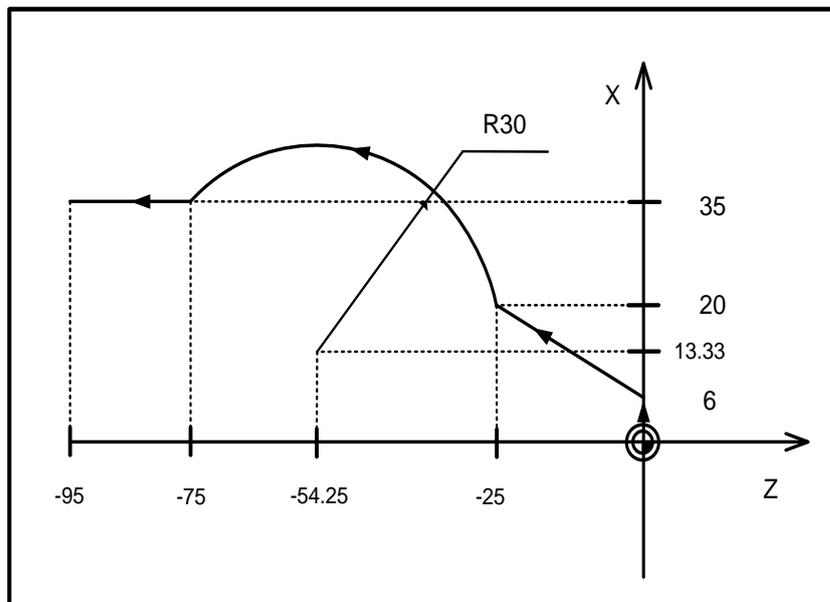
```
N10 G00 G90 X70 Y70 Z10 S5000 M3
N20 G01 Z-5 F1000
N30 G01 X45
N40 G190 G03 X45 Y20 I45 J45
N50 G01 X70
N60 G00 Z10
N70 G00 X0 Y0 M5
N80 M30
```

**Пояснения:**

- N10 Инструмент ускоренно перемещается в P1, шпиндель включен с 5000 об/мин
- N20 Движение по Z на глубину резания
- N30 Линейная интерполяция к началу дуги

- N40 Движение по дуге против часовой стрелки на угол 180 град. (конечная точка X45 Y20; положение центра X45 Y45).
- N50 Линейная интерполяция к точке P2
- N60 Вывод инструмента в безопасную плоскость
- N70 Останов шпинделя и возврат в начальную точку
- N80 Конец управляющей программы

**Пример 5.6 (Токарная обработка):**



**Рисунок 5.7 – Круговая интерполяция с заданными координатами центра окружности при токарной обработке**

```
G18 G90 G15 G191 G71 G72 G172 G272 G94 G97 G49 G40 G00 G80 G98
G53 G153 G193 G64 BRISK CUT2DF // Строка безопасности (токарная
обработка)
```

```
N10 G18 G00 X0 Z0
N20 G01 X6 Z0 S1200 M03 F500
N30 G01 X20 Z-25
N40 G191 G03 X35 Z-75 I-6.67 K-29.25
N50 G01 Z-95
N60 M30
```

**Пояснения**

- N10 Инструмент ускоренно перемещается в точку с координатами (0, 0)
- N20 Движение с заданной подачей по контуру
- N30 Линейная интерполяция к началу дуги
- N40 Движение по дуге против часовой стрелки (конечная точка X35 Z-75; положение центра I-6.67 K-29.25 – задано относительно – G191)
- N50 Линейная интерполяция к точке
- N60 Конец управляющей программы

**Замечание.**

Если введены неточные значения радиуса или параметров интерполяции, система управления попытается скорректировать положение центра так, чтобы конечная точка была достигнута. Если ошибка слишком велика, то будет послано сообщение на экран дисплея:

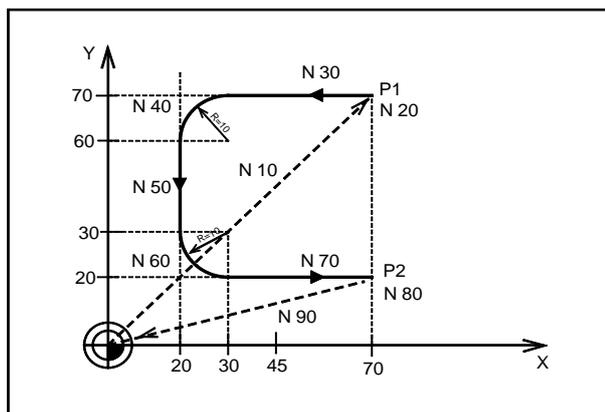
### Ошибки задания параметров I, J, K [R] [CR=]

```
//--- circle
621, // Интерпретатор: невалидные координаты центра окружности.
622, // Интерпретатор: невалидные координаты конечной точки
окружности.
623, // Интерпретатор: невалидное значение радиуса окружности
```

### 5.3.2 Радиус окружности R

Альтернативой заданию центра окружности является прямое указание радиуса под адресом R. При этом дуга составляет **менее 180 град**. Радиус R должен быть задан без знака. Для полных окружностей или больших углов поворота необходимо использовать параметры интерполяции I, J, K.

*Пример 5.7 (Фрезерная обработка):*



*Рисунок 5.8 – Круговая интерполяция с заданным радиусом окружности*

```
G17 G90 G15 G191 G71 G72 G172 G272 G94 G97 G49 G40 G00 G80 G98
G53 G153 G193 G64 BRISK CUT2DF ORIAXES // Строка безопасности
```

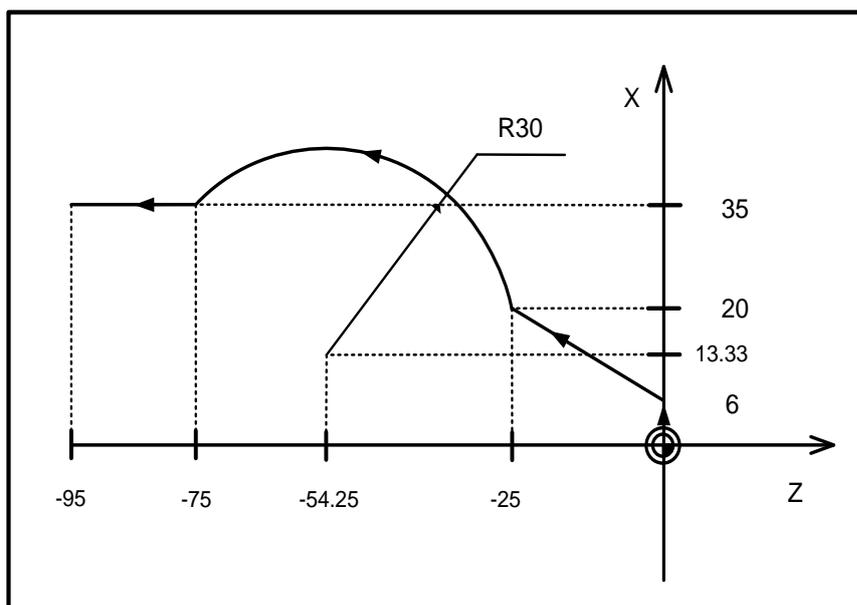
```
N10 G00 G90 X70 Y70 Z10 S5000 M3
N20 G01 Z-5 F1000
N30 G01 X30
N40 G03 X20 Y60 R10
N50 G01 Y30
N60 G03 X30 Y20 R10
N70 G01 X70
N80 G00 Z10
N90 G00 X0 Y0 M5
N95 M30
```

#### Пояснения:

- N10 Инструмент ускоренно перемещается в P1. Шпиндель включен с 5000 об/мин
- N20 Движение по Z на глубину резания
- N30 Линейная интерполяция к началу дуги

- N40 Движение по дуге против часовой стрелки на угол 90 град. (радиус 10; конечная точка X20 Y60)
- N50 Движение по Y к точке X20 Y30
- N60 Движение по дуге против часовой стрелки на угол 90 град. (радиус 10; конечная точка X30 Y20)
- N70 Линейная интерполяция к точке P2
- N80 Вывод инструмента в безопасную плоскость
- N90 Останов шпинделя и возврат в начальную точку
- N95 Конец управляющей программы

**Пример 5.8 (Токарная обработка):**



**Рисунок 5.9 – Круговая интерполяция с заданным радиусом окружности при токарной обработке**

G18 G90 G15 G191 G71 G72 G172 G272 G94 G97 G49 G40 G00 G80 G98  
 G53 G153 G193 G64 BRISK CUT2DF // Строка безопасности (токарная обработка)

N10 G18 G00 X0 Z0  
 N20 G01 X6 Z0 S1200 M03 F500  
 N30 G01 X20 Z-25  
 N40 G03 X35 Z-75 R30  
 N50 G01 Z-95  
 N60 M30

**Пояснения**

- N10 Инструмент ускоренно перемещается в точку с координатами (0, 0)
- N20 Движение с заданной подачей по контуру
- N30 Линейная интерполяция к началу дуги
- N40 Движение по дуге против часовой стрелки (конечная точка X35 Z-75; радиус окружности R30).
- N50 Линейная интерполяция к точке
- N60 Конец управляющей программы

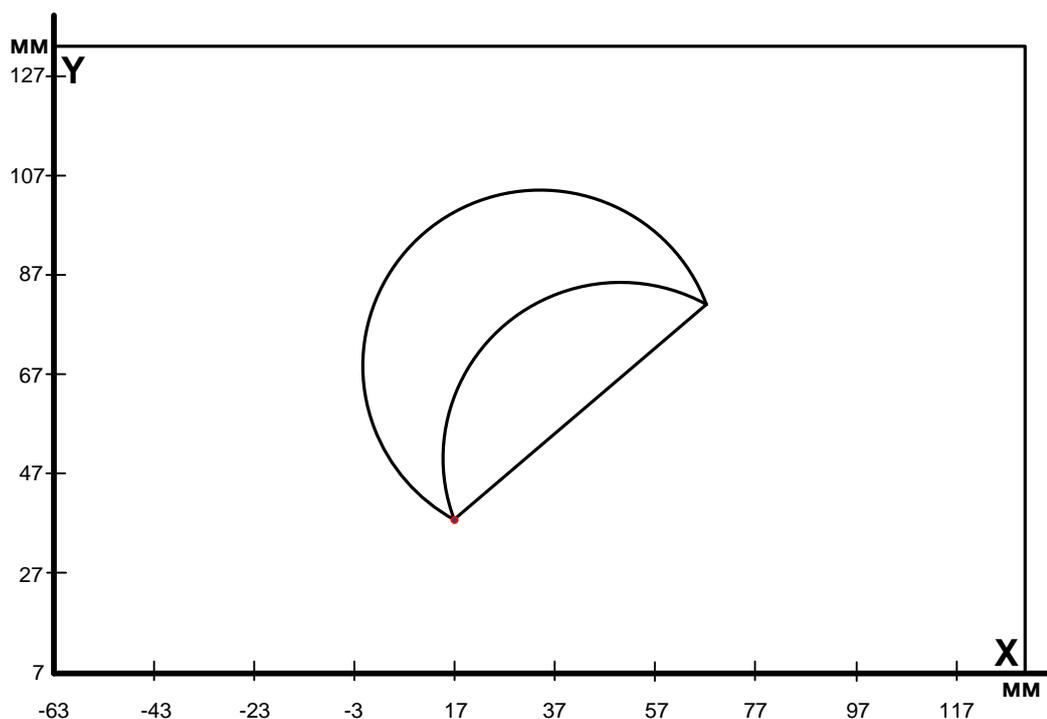
### 5.3.3 Радиус окружности CR=

Наряду с радиусом окружности CR= посредством знака +/- необходимо указать, должен ли угол перемещения быть больше или меньше  $180^\circ$ . Положительный знак можно опустить.

CR=+...: угол меньше или равен  $180^\circ$

CR=-...: угол больше  $180^\circ$

**Пример 5.9 (Фрезерная обработка):**



**Рисунок 5.10 – Круговая интерполяция с большим  $180^\circ$  ( $CR < 0$ ) и меньшим  $180^\circ$  ( $CR \geq 0$ ) углом поворота**

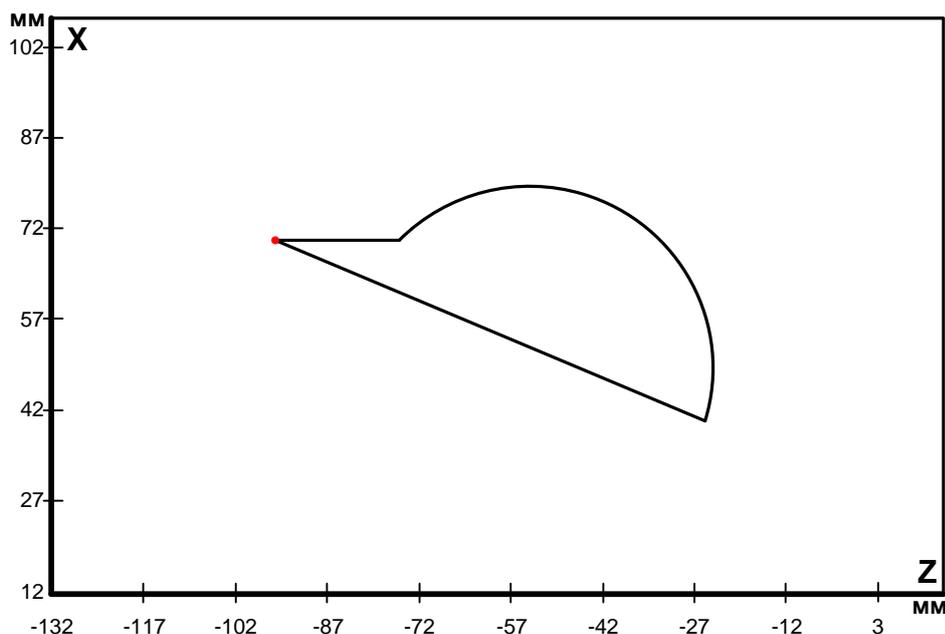
```
G17 G90 G15 G191 G71 G72 G172 G272 G94 G97 G49 G40 G00 G80 G98 G53  
G153 G193 G64 BRISK CUT2DF ORIAXES // Строка безопасности
```

```
N10 G0 X67.5 Y80.511  
N20 G3 X17.203 Y38.029 CR=34.913 S1200 F500  
N30 G0 X67.5 Y80.511  
N40 G3 X17.203 Y38.029 CR=-34.913  
N50 M30
```

#### Пояснения:

- N10 Инструмент ускоренно перемещается в начальную точку окружности
- N20 Движение по дуге против часовой стрелки (конечная точка X17.203 Y38.029; радиус окружности CR 34.913, угол перемещения меньше  $180^\circ$ )
- N30 Линейная интерполяция к началу дуги
- N40 Движение по дуге против часовой стрелки (конечная точка X17.203 Y38.029; угол перемещения больше  $180^\circ$ ).
- N50 Конец управляющей программы

**Пример 5.10 (Токарная обработка):**



**Рисунок 5.11 – Круговая интерполяция с заданным радиусом окружности (CR) при токарной обработке**

```
G18 G90 G15 G191 G71 G72 G172 G272 G94 G97 G49 G40 G00 G80 G98  
G53 G153 G193 G64 BRISK CUT2DF // Строка безопасности (токарная  
обработка)
```

```
N10 G1 X40 Z-25 S1200 F500  
N20 G3 X70 Z-75 CR=30  
N30 G1 Z-95  
N40 M30
```

**Пояснения**

- N10 Линейная интерполяция к началу дуги
- N20 Движение по дуге против часовой стрелки (конечная точка X70 Z-75; радиус окружности CR30, угол перемещения меньше 180°).
- N50 Линейная интерполяция к точке X70 Z-95
- N60 Конец управляющей программы

**5.3.4 Программирование полной окружности**

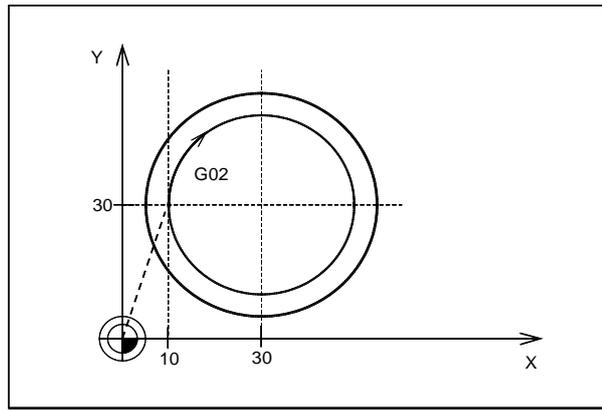
Для программирования полной окружности предусмотрены 2 варианта.

**Вариант 1**

Полную окружность можно запрограммировать с помощью полного набора параметров интерполяции. Конечная точка окружности совпадает с конечной точкой предыдущего кадра (Пример 1).

**Вариант 2**

Полную окружность из текущей точки также можно запрограммировать, используя только параметры I, J, K (в зависимости от заданной плоскости) без повторного задания координат начальной точки в кадре с круговой интерполяцией (Пример 2).



**Рисунок 5.12 – Полная окружность в плоскости XY**

**Пример 5.11:**

```
G17 G90 G15 G191 G71 G72 G172 G272 G94 G97 G49 G40 G00 G80 G98
G53 G153 G193 G64 BRISK CUT2DF ORIAxes // Строка безопасности

N10 G00 G90 X10 Y30 Z10 S5000 M3
N20 G01 Z-5 F1000
N30 G190 G02 X10 Y30 I30 J30
N40 G00 Z10
N50 G00 X0 Y0 M5
N60 M30
```

**Пример 5.12:**

```
G17 G90 G15 G191 G71 G72 G172 G272 G94 G97 G49 G40 G00 G80 G98
G53 G153 G193 G64 BRISK CUT2DF ORIAxes // Строка безопасности

N10 G00 G90 X10 Y30 Z10 S5000 M3
N20 G01 Z-5 F1000
N30 G190 G02 I30 J30
N40 G00 Z10
N50 G00 X0 Y0 M5
N60 M30
```

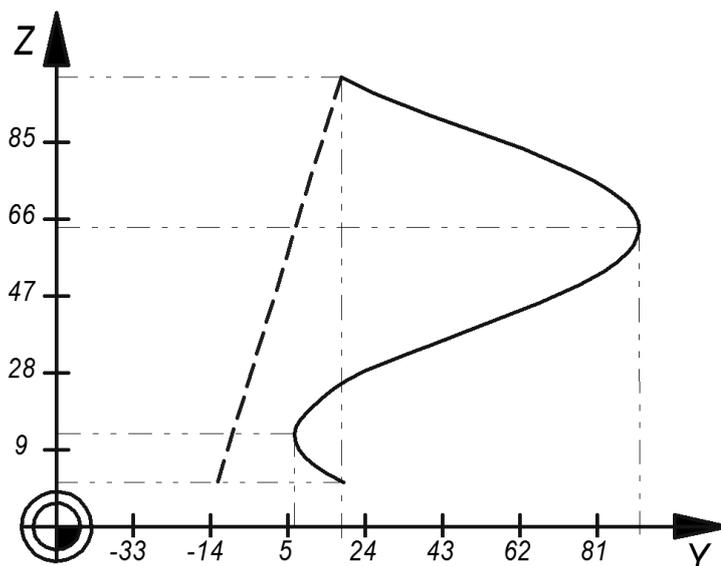
**Пояснения:**

- N10 Инструмент ускоренно перемещается в начальную точку окружности. Шпиндель включен с 5000 об/мин
- N20 Движение на глубину резания
- N30 Полный поворот по часовой стрелке с подачей 1000 мм/мин
- N40 Выход инструмента в безопасную плоскость
- N50 Останов шпинделя и возврат в начальную точку
- N60 Конец управляющей программы

**5.3.5 Синхронные перемещения по дополнительным осям**

В кадре круговой интерполяции может быть задано перемещение по осям, не связанным с движением по окружности. В этом случае движение по этим осям производится с помощью линейной интерполяции синхронно с перемещением по окружности основных осей.





**Рисунок 5.15 – Синхронное Перемещение в плоскости YZ**

**Пояснения:**

- N10 Инструмент ускоренно перемещается в начальную точку окружности
- N20 Полный поворот по часовой стрелке с подачей 1000 мм/мин с одновременным перемещением по Z. Таким образом производится один виток “винтовой” интерполяции
- N30 Конец управляющей программы

При включении в кадре дополнительных осей подача рассчитывается исходя из полного пространственного перемещения инструмента, а не движения по окружности.

**5.3.6 Дополнительное число полных оборотов**

В кадре круговой и винтовой интерполяции может быть задано число дополнительных полных оборотов с помощью адреса P. Чаще всего эта возможность используется для винтовой интерполяции, когда требуется обойти несколько витков.

**Пример 5.14:**

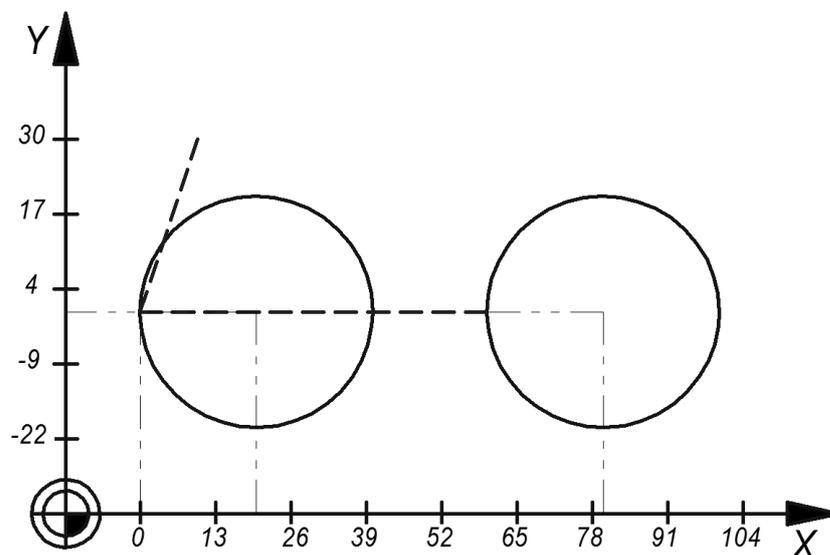
```
G17 G90 G15 G191 G71 G72 G172 G272 G94 G97 G49 G40 G00 G80 G98
G53 G153 G193 G64 BRISK CUT2DF ORIAXES // Строка безопасности

N10 G00 X0 Y0 Z80
N20 G02 X0 Y0 Z0 I20 P4 F1800
N30 G00 X60 Y0 Z100
N40 G03 X100 Y0 Z50 I20 P2 F1800
N50 M30
```

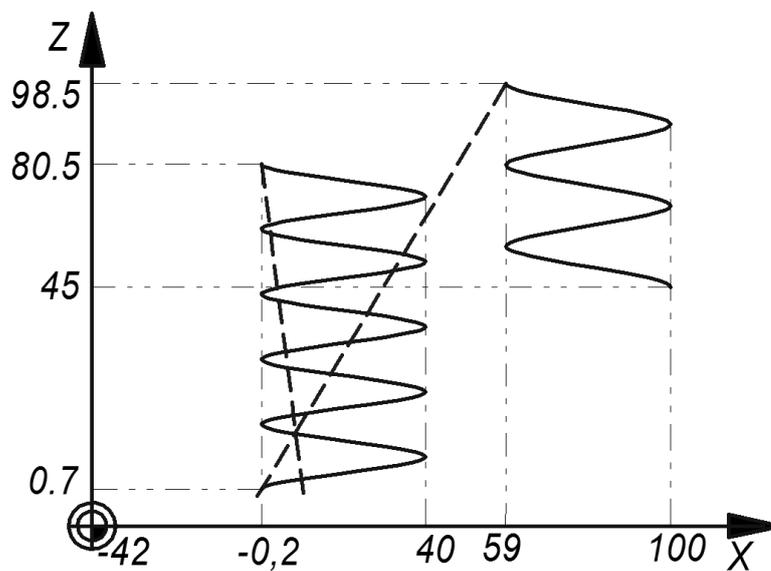
**Пояснения:**

- N10 Инструмент перемещается в начальную точку первой спирали
- N20 Поворот по часовой стрелке с подачей 1800 мм/мин с одновременным перемещением по Z. Всего производится 5 оборотов (витков) – 1 полный и 4 дополнительных
- N30 Инструмент перемещается в начальную точку второй спирали

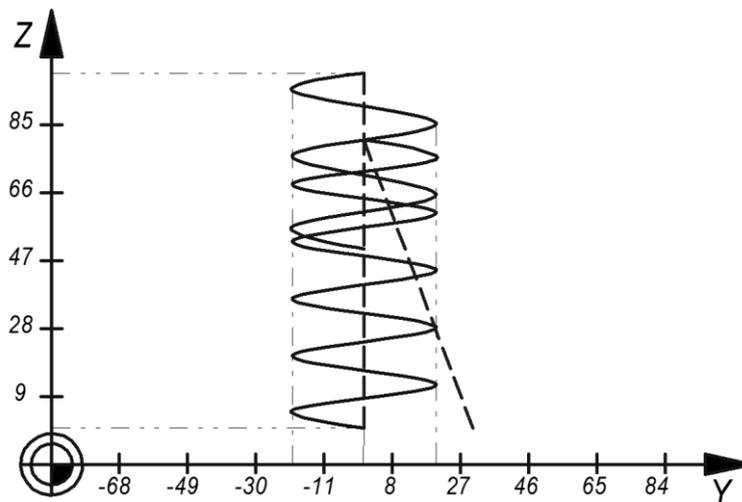
- N40 Поворот против часовой стрелки с подачей 1800 мм/мин с одновременным перемещением по Z. Всего производится 2.5 оборота – половина дуги, неявно заданная конечной точкой и адресом I, плюс 2 дополнительных оборота
- N50 Конец управляющей программы



*Рисунок 5.16 – Перемещение с дополнительным числом оборотов в плоскости XY*



*Рисунок 5.17 – Перемещение с дополнительным числом оборотов в плоскости XZ*



*Рисунок 5.18 – Перемещение с дополнительным числом оборотов в плоскости YZ*

## 5.4 Сплайновая интерполяция

Сплайновая интерполяция применяется для объединения последовательности отдельных точек в гладкий непрерывный контур.

Система поддерживает 3 вида сплайн-интерполяции: **ASPLINE**, **BSPLINE**, **CSPLINE**.

В кадре сплайновой интерполяции может указываться любое количество координат точки, но по сплайну перемещение интерполируется только для координат X, Y, Z. Движение по остальным указанным в кадре координатам интерполируется линейно (синхронно с перемещением текущей точки контура вдоль сплайна).

В текущей версии системы ЧПУ эквидистантная коррекция для сплайнов запрещена.

### 5.4.1 Akima-сплайн ASPLINE

**Подготовительная функция: ASPLINE**

**Характеристика: модальная**

**ASPLINE** (Akima-сплайн, т.е. сплайн Акимы) представляет собой кусочно-непрерывную кривую третьей степени и определяется последовательностью параметрических многочленов вида (1), которые описывают сегменты аппроксимируемой кривой, лежащие между парами соседних точек.

$$\begin{aligned}
 X &= A_x t^3 + B_x t^2 + C_x t + D_x \\
 Y &= A_y t^3 + B_y t^2 + C_y t + D_y \\
 Z &= A_z t^3 + B_z t^2 + C_z t + D_z
 \end{aligned}
 \tag{1}$$

Коэффициенты многочленов подбираются системой ЧПУ так, чтобы в точках стыковки сегментов (узлах) обеспечить непрерывность первой производной по параметру для каждой координаты сплайна.

Необходимое количество точек контура для вычисления коэффициентов A, B, C и D не ограничивается, в предельном случае можно использовать даже две точки, хотя в этом

случае кривая вырождается в отрезок прямой. В начальной и конечной точке контура кривизна кривой принимается равной нулю.

В отличие от обычного кубического сплайна, сплайн Акимы определяется локально: только 2 узла с каждой стороны влияют на величину производной в заданном узле. Сплайн Акимы более устойчив при резких изломах контура и в целом лучше аппроксимирует контуры поверхностей свободной формы, описанные последовательностью точек, но при этом не обеспечивает непрерывность кривизны и хуже реализует интерполяцию аналитических кривых.

#### **Пример 5.15:**

```
G17 G90 G15 G191 G71 G72 G172 G272 G94 G97 G49 G40 G00 G80 G98
G53 G153 G193 G64 BRISK CUT2DF ORIAxes // Строка безопасности

N10 ASPLINE X20 Y10 F1500
N20 X30
N30 X40 Y50
N40 X50 Y15
N50 X55 Y70
N60 X60 Y20
N70 X65 Y20
N80 X70 Y0
N90 X80 Y10
N100 X90 Y0
N110 M30
```

#### **Пояснения:**

N10 Включение сплайновой интерполяции, задание подачи 1500 мм/мин  
N20 – N100 Координаты точек для построения сплайновой кривой  
N110 Конец управляющей программы

## **5.4.2 NURBS-кривая BSPLINE**

### **Подготовительная функция: BSPLINE**

#### **Характеристика: модальная**

**BSPLINE** реализует кривую типа NURBS (неоднородный рациональный B-сплайн).

Форма кривых NURBS определяется позициями и весами управляющих точек, хотя кривые при этом редко проходят через сами точки. Управляющие точки и линии между ними формируют так называемый управляющий многоугольник (control polygon).

При активной NURBS-интерполяции кадр, помимо координат управляющей точки, может включать следующую информацию:

- Вес управляющей точки (адрес PW). Допустимые значения: от 0.0 до 3.0 включительно. По умолчанию вес точки равен 1.0.
- Степень сплайна (адрес SD). Допустимые значения: 2 или 3 (внимание: это не порядок сплайна, а его степень). Степень сплайна нужно указывать в одном кадре с командой BSPLINE или, по крайней мере, до указания первой контрольной точки. Значение SD, указанное в промежуточной точке сплайна, игнорируется. По умолчанию степень сплайна равна 3.
- Приращение параметра для вектора узлов (адрес PL). Неотрицательное значение. По умолчанию для всех сегментов применяется равномерное приращение PL=1.0.

### **Пример 5.16:**

```
G17 G90 G15 G191 G71 G72 G172 G272 G94 G97 G49 G40 G00 G80 G98  
G53 G153 G193 G64 BRISK CUT2DF ORIAxes // Строка безопасности
```

```
N10 G01 X30 Y0 F1500  
N20 BSPLINE X30 Y30 PW=0.707 SD=2 PL=0.25  
N30 X0 Y30 PW=1 PL=0.0  
N40 X-30 PW=0.707 PL=0.25  
N50 Y0 PW=1 PL=0.0  
N60 Y-30 PW=0.707 PL=0.25  
N70 X0 PW=1 PL=0.0  
N80 X30 PW=0.707 PL=0.25  
N90 Y0 PW=1 PL=0.0  
N100 G01 X0 Y0  
N110 M30
```

### **Пояснения:**

N10 Линейное перемещение в точку (X30, Y0) с подачей 1500 мм/мин  
N20 Включение сплайновой интерполяции  
N20 – N90 Координаты и параметры точек для построения кривой  
N110 Конец управляющей программы

В результате работы этого примера получается полная окружность, построенная с помощью сплайна.

Минимальное количество точек, необходимое для построения В-сплайна (включая начальную точку), равно порядку кривой, т.е. на единицу больше степени SD. Например, для сплайна степени 3 должно быть запрограммировано минимум 3 смежных кадра с координатами управляющих точек (четвертая точка при этом – это начальная точка первого кадра). Следует учесть, что М-команды, D, T адреса и команды переключения режимов многокоординатной обработки прерывают сплайн.

### **Пример (фрагмент управляющей программы):**

```
N10 G01 X0 Y0 F1500  
N20 BSPLINE X10 Y10 SD=3  
N30 X20 Y0  
N40 G01 X0 Y0 //ошибка – только два кадра для кривой 3-й степени
```

Несколько замечаний по поводу задания приращений вектора узлов. Согласно каноническому определению кривой NURBS, количество узлов должно быть равным сумме количества управляющих точек и порядка сплайна. То есть, если задано 6 управляющих точек для кривой 3-й степени (т.е. 4-го порядка), общее количество узлов равно 10. Первые K и последние K-1 узлов (где K-порядок сплайна) генерируются автоматически, так как первый и последний узел вектора должны повторяться K раз. Подробнее см. литературу по математике кривых NURBS. Зависимость общего количества узлов от порядка кривой обуславливает различие в правилах задания приращений PL при разных значениях степени SD. Для кривой степени 3 приращение, задаваемое с 1-й управляющей точкой, игнорируется. Для кривой любой степени также игнорируется приращение, задаваемое вместе с последней точкой.

Кратность узла не может превышать степень кривой. Это означает, что значение промежуточного узла в векторе не может повторяться более SD раз. Так как в начале и конце вектора автоматически генерируются кратные узлы, первое и последнее задаваемые

приращения PL не могут быть равны нулю. Все описанные правила иллюстрируются следующими двумя примерами.

**Пример для кривой 3-й степени (фрагмент управляющей программы):**

```
N0 G1 ...
...
N10 BSPLINE SD=3 X16.535 Y-16.769 Z95. //первые 4 узла
генерируются автоматически
N20 PL=0.10 X21.392 Y-18.854 // 5-й узел. PL=0 запрещено!
N30 PL=0.05 X26.942 Y-21.238 // 6-й узел
...
N100 PL=.10 X39.971 Y-28.441 Z92.743
N110 PL=.15 X35.962 Y-26.72 Z94.165 // PL=0 запрещено!
N120 X33.909 Y-25.838 Z94.559 // последние 3 узла генерируются
автоматически
N130 G01 X32.988 Y-25.272 Z94.744
```

**Пример для кривой 2-й степени (фрагмент управляющей программы):**

```
N0 G1 ...
... //первые три узла генерируются автоматически.
N10 BSPLINE SD=2 X16.535 Y-16.769 Z95.PL=1 // 4-й узел. PL=0
запрещено!
N20 PL=0.10 X21.392 Y-18.854 //5-й узел
N30 PL=0.05 X26.942 Y-21.238 //6-й узел
...
N100 PL=.10 X39.971 Y-28.441 Z92.743
N110 PL=.15 X35.962 Y-26.72 Z94.165 // PL=0 запрещено!
N120 X33.909 Y-25.838 Z94.559 // последние 2 узла генерируются
автоматически
N130 G01 X32.988 Y-25.272 Z94.744
```

Так как последняя, а также первая для SD=3 задаваемые точки не определяют никакого сегмента кривой (интервала параметра), любое задание дополнительных осей и параметров ориентации вместе с этими точками запрещено. При этом для промежуточной точки, определяющей кратный узел (т.е. при PL=0), дополнительные оси задавать разрешается, так как промежуточный интервал с нулевым приращением параметра все равно считается активной командой перемещения.

**Пример (фрагмент управляющей программы):**

```
N10 G01 X0 Y0 F1500
N20 BSPLINE SD=3
N30 X10 Y10 C45 //Точка1 - дополнительные оси запрещены!
N40 X20 Y0 C30
N50 X20 Y0 C90 PL=0 //Здесь задавать доп. оси можно
N60 X20 Y0 C70
N70 X20 Y0 C0
N80 X30 Y20 A2=30 B2=45 //Последняя точка - ориентация запрещена!
N90 M3
```

**Пояснения:**

N30, N80 Ошибочные кадры с заданием негеометрических осей и ориентации для пустой команды.

N50 Промежуточный интервал нулевой длины. При выполнении таких кадров движение по сплайну приостанавливается, пока будет произведено заданное перемещение по дополнительным осям.

### 5.4.3 Кубический сплайн CSPLINE

Подготовительная функция: CSPLINE

Характеристика: модальная

**CSPLINE** (кубический сплайн), как и сплайн Акимы, представляет собой кусочно-непрерывную параметрическую кривую третьей степени, проходящую через заданные точки. Кубический сплайн, в отличие от сплайна Акимы, обеспечивает непрерывность кривизны и определяется глобально (т.е. потенциально все точки влияют на производную в заданном узле, хотя фактически система ЧПУ использует конечную область взаимного влияния точек, ширину которой можно задать в машинных параметрах. По умолчанию, 8 следующих точек определяют производную в узле). Кубический сплайн хорошо подходит для аппроксимации кривых, близких к аналитическим, но может осциллировать и давать «странные» изгибы при резких и частых изломах контура.

*Пример 5.17:*

```
G17 G90 G15 G191 G71 G72 G172 G272 G94 G97 G49 G40 G00 G80 G98
G53 G153 G193 G64 BRISK CUT2DF ORIAXES // Строка безопасности

N10 CSPLINE X20 Y10 F1500
N20 X30
N30 X40 Y5
N40 X50 Y15
N50 X55 Y7
N60 X60 Y20
N70 X65 Y20
N80 X70 Y0
N90 X80 Y10
N100 X90 Y0
N110 M30
```

**Пояснения:**

N10 Включение сплайновой интерполяции, задание подачи 1500 мм/мин  
N20 – N100 Координаты точек для построения сплайновой кривой  
N110 Конец управляющей программы

### 5.4.4 Разрыв сплайна SPLBREAK

Подготовительная функция: SPLBREAK

Характеристика: немодальная

Команда **SPLBREAK** предназначена для создания точки разрыва сплайна, то есть делит сплайн на два независимых друг от друга сегмента.

*Пример 5.18:*

```
G17 G90 G15 G191 G71 G72 G172 G272 G94 G97 G49 G40 G00 G80 G98
G53 G153 G193 G64 BRISK CUT2DF ORIAXES // Строка безопасности
```

```
G01 X0 Y0 F1000
ASPLINE
X10 Y0
Y20 X20
Y0 X30
Y20 X40
SPLBREAK
Y0 X50
Y20 X60
Y0 X70
Y20 X80
M30
```

Все точки, запрограммированные до вызова SPLBREAK, образуют один сплайн, все, расположенные после, – второй. Единственная связь между двумя сплайнами – это конечная точка первого, которая является начальной для второго. Точки первого сплайна никак не влияют на расчеты коэффициентов для второго. Таким образом, условие непрерывности не связывает два сплайна.

Команда SPLBREAK используется в специальных приложениях и при отладке. В большинстве управляющих программ, как правило, нет необходимости в вызове этой команды явным образом.

**Примечание.** М-команды, команды смещения нуля и задания СКД, а также команды поддержки многокоординатной обработки также создают точку разрыва сплайна. Это нужно иметь в виду при построении управляющей программы.

## 5.5 Обработка датчика касания G75, M910/M911

**Подготовительная функция: G75**

**Характеристика:** модальная

**Синтаксис:** G75 X<значение> Y<значение> Z<значение> I<значение> J<значение> K<значение>. Например, G75 X-1 Y-1 I5 J5

**Пакетный режим пропуска (режим зонда) M910/M911 – включение/выключение**

M910 – префиксная функция  
M911 – постфиксная функция

Пакетный режим пропуска целесообразно включать при пакетном вызове кадров обмера – G75. Прямое задание режима пропуска (через M910) при одиночном вызове G75 нецелесообразно, поскольку если не включен пакетный режим пропуска, то функция G75 сама по себе включает и выключает режим пропуска.

**Пример 5.19:**

```
G17 G90 G15 G191 G71 G72 G172 G272 G94 G97 G49 G40 G00 G80 G98
G53 G153 G193 G64 BRISK CUT2DF ORIAXES // Строка безопасности

N10 G00 G90 X0 Y20 F1000
N20 G75 X200 F100
N30 X250 Y50
N40 G01 X300 Y100 F1000
N60 M30
```

В пакетном режиме Probe вызов G75 идентичен вызову G01, т.е. исполнение кода предыдущего примера идентично следующему примеру:

**Пример 5.20:**

```
G17 G90 G15 G191 G71 G72 G172 G272 G94 G97 G49 G40 G00 G80 G98
G53 G153 G193 G64 BRISK CUT2DF ORIAXES // Строка безопасности

N10 G00 G90 X0 Y0 F5000
N10 G91 Z20 M910 F300
N20 G01 X10
N30 X-20
N40 Y10
N50 Z-20 M911
N60 M30
```

### ФУНКЦИЯ ПРОПУСКА (ЗОНДА) (G75)

Линейная интерполяция с обработкой сигнала касания и торможение с максимальным ускорением. Функция используется для нахождения начальной точки обработки при обмере заготовки.

**Пример (фрагмент управляющей программы):**

```
N20 G75 X150 Y200 F1000
```

Чтобы задать линейную интерполяцию после команды G75, необходимо указать значения осевого перемещения и подачи (аналогично команде G01). Если во время выполнения этой команды поступает внешний сигнал пропуска (при срабатывании датчика касания), то прерывается выполнение данной команды и начинается выполнение следующего кадра.

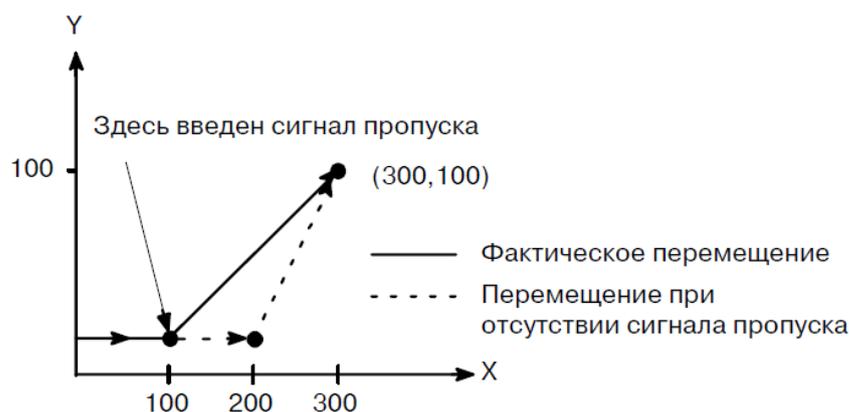
Во избежание повреждения щупа значение подачи выбирается, как правило, небольшим.

Значения координат касания определяются в системе координат станка без учета смещения и коррекции.

**Примечание.** Точка останова может отличаться от зафиксированных координат касания.

Движение в кадре с G75 начинается с  $V = 0$ . Как только фронт сигнала касания обнаружен, система ЧПУ выполняет следующие действия:

- сохранение фактического положения осей, запрограммированного в кадре;
- торможение до  $V = 0$  с максимально допустимым замедлением;
- отмена G75 и остатка пути, запрограммированного в кадре (distance to go);
- переход на следующий кадр и продолжение выполнения управляющей программы.



**Рисунок 5.19 – Линейная интерполяция с обработкой сигнала касания и торможением с максимальным ускорением**

## 5.6 Пауза G04

**Подготовительная функция: G04**

**Характеристика: немодальная**

**Синтаксис: G04 X<время в секундах> или G04 E<время в тысячах миллисекунд>.**

**Например, G04 X10.5 или G04 E0.412**

С помощью функции G04 программируют паузу. Время задают адресами X в секундах или E в тысячах миллисекунд. Функция работает только в текущем кадре.

Допустимые интервалы: [0,0 – 65,0] с дискретой 0,001 с и [65 – 65000] с дискретой 1 с.

**Примечание.** Если останов управляющей произведён во время выполнения функции G04 (т.е. на строке УП, содержащей G04), то после нажатия кнопки «Старт» станочной панели пауза выполняться не будет.

**Пример 5.21:**

```
G17 G90 G15 G191 G71 G72 G172 G272 G94 G97 G49 G40 G00 G80 G98
G53 G153 G193 G64 BRISK CUT2DF ORIAXES // Строка безопасности

N10 G04 X11.5 // пауза равна 11.5 секундам
N20 G04 E0.123 // пауза равна 123 миллисекундам
N30 G04 X54 // пауза равна 54 секундам
N40 M30
```

## 6 Технологическая информация

Кроме данных о геометрии контура кадры программы содержат технологическую информацию – о частоте вращения шпинделя, скорости подачи, номере инструмента, номере режущей кромки инструмента.

### 6.1 Скорость подачи F и ее кинематическая интерпретация

**Адрес функции: F**

Скорость подачи в управляющей программе программируется адресом F с указанием численного значения. Программируемое значение определяет рабочую подачу для всех видов интерполяции.

**Синтаксис: F<Константа>, F=<выражение>**

**Примеры (фрагмент управляющей программы):**

```
F1000 (Задание подачи константой)
F=$iPerm[1] (Задание подачи значением системной переменной)
```

#### Использование таблицы подач

В машинных параметрах канала имеется таблица предустановленных значений подачи. Для доступа к значениям таблицы подач используется библиотечная функция FTABLE, имеющая следующую сигнатуру:

```
double FTABLE (long index)
```

Аргумент index задает индекс в таблице подач и может принимать значения от 0 до 127.

**Таблица 6.1 – Значения в таблице подачи (по умолчанию)**

| Индекс | Подача в мм/мин или дюйм/мин |
|--------|------------------------------|
| 0      | 2000                         |
| 1      | 2500                         |
| 2      | 3000                         |
| 3      | 3500                         |
| .      | .                            |
| .      | .                            |
| 127    | 15000                        |

Настройка таблицы подач в соответствии с пожеланиями пользователя в машинных параметрах системы производится в параметрах канала (Каналы→Параметры канала (номер канала)→Таблица подач, мм/мин). Для получения дополнительной информации см. документ «Руководство оператора».

#### Примеры задания подачи в кадре управляющей программы

**Пример 1 (фрагмент управляющей программы):**

```
N10 G90 G01 X50 F2000 // Задание подачи константой
```

Инструмент будет перемещаться в позицию X50 со скоростью подачи 2000 мм/мин.

**Пример 2 (фрагмент управляющей программы):**

```
N10 G90 G01 X50 F=$iPerm[1] // Задание подачи значением системной
переменной
```

**Пример 3 (фрагмент управляющей программы):**

```
N10 G90 G01 X50 F=FTABLE(20) // Задание подачи значением элемента
таблицы подач с индексом 20
```

Если величина подачи программируется в отдельном кадре, то она сохранится в памяти и распространит свое влияние на последующие перемещения. Если слово подачи присутствует в кадре вместе с путевой информацией, то значение подачи определено уже для заданного в этом кадре перемещения.

### **Кинематическая интерпретация скорости подачи**

Кинематическая интерпретация значения скорости зависит от характера движения, задаваемого в кадре. Приоритет имеют пространственные перемещения. Правила следующие:

- 1) Если в кадре присутствует задание какого-либо перемещения в пространстве, то подача определяет скорость пространственного перемещения (под этим понимаются, как правило, перемещения по координатам X, Y, Z), а скорости перемещения по круговым и другим вспомогательным осям являются косвенными величинами и вычисляются из условия синхронизации всех интерполируемых осей.
- 2) Если в кадре при отсутствии пространственного перемещения есть задание движения хотя бы для одной круговой оси, то подача определяет скорость кругового движения в градусах/мин. Если круговых осей несколько, то подача определяет величину корня из суммы квадратов скоростей всех круговых осей, задействованных в движении (т.е. евклидову норму вектора скоростей круговых осей). Скорости перемещения по вспомогательным осям вычисляются из условия синхронизации всех интерполируемых осей.
- 3) Если в кадре заданы перемещения только по вспомогательным осям (для которых кинематическая схема не определяет геометрического смысла, т.е. не связанным с пространственным перемещением или изменением круговых координат), то подача определяет величину корня из суммы квадратов скоростей всех осей кадра (т.е. евклидову норму вектора скоростей всех задействованных осей).

Помимо характера заданного в кадре движения, интерпретация значения адреса F определяется активной функцией задания типа подачи: G93 (обратное время), G94 (абсолютная скорость) и G95 (скорость в расчете на оборот главного шпинделя). При переключениях между функциями выбора типа подачи (G94→G95, G95→G94 и т.д.) слово подачи F обнуляется и должно быть перепрограммировано.

## **6.2 Абсолютная скорость подачи G94**

**Подготовительная функция: G94**

**Характеристика:                    модальные**

При активной функции G94 значение F интерпретируется как абсолютная скорость подачи, выраженная в мм/мин или дюймах/мин (в зависимости от активной функции размерности G70/G71). Функция G94 модальная и отменяется функциями G93 и G95.

### 6.3 Относительная скорость подачи G95

#### Подготовительная функция: G95

**Характеристика:** модальные

При активной функции G95 значение F интерпретируется как относительная скорость подачи, выраженная в мм (или дюймах) на 1 оборот ведущего шпинделя канала. Если кадр задает только круговое движение (см. 6.1), F выражается в градусах на оборот.

Функция G95 не затрагивает перемещений в G00, скорость которых всегда определяется максимальной подачей канала в мм/мин и задается в параметрах станка.

**Примечание.** При нулевой скорости S главного шпинделя активация функции G95 не разрешается (ошибка 615). При остановке шпинделя командой M<x>05 необходимо выключать оборотную подачу (отменить функцию G95 одной из функций – G93 или G94).

### 6.4 Обратное время движения G93

#### Подготовительная функция: G93

**Характеристика:** модальные

При активной функции G93 значение F интерпретируется как величина, обратная машинному времени для выполнения запрограммированного перемещения. Число, следующее за адресом F, равно обратному значению времени в минутах (1/мин), необходимому для обработки кадра.

Исходя из заданного времени, система управления назначает скорость подачи с учетом ограничений. Если в кадре с заданными перемещениями F-слово отсутствует, то сохраняется значение F-слова предыдущего кадра. Функция модальная и отменяется функциями G94 и G95.

При активной функции задания обратного времени в каждом кадре управления движением, за исключением ускоренного перемещения (G00), как правило, нужно указывать новое значение F, если перемещение существенно отличаются от заданного в предыдущем кадре.

#### *Пример (фрагмент управляющей программы):*

```
N10 G93 G01 X20 C60 F6 //Время движения – 10 секунд
N20 Y40 C30 F0.5 //Время движения – 2 минуты
```

Функция G93 не затрагивает перемещений в G00, скорость которых всегда определяется максимальной подачей канала в мм/мин и задается в параметрах станка.

Использование функции G93 запрещено для встроенных циклов и команды G75 (в таких случаях происходит останов программы с ошибкой 617).

**Примечание.** Абсолютная скорость движения рассчитывается системой ЧПУ исходя из линейной зависимости от длины кадра и обратного времени. Использование ограничений ускорения и рывка, продолжительность периодов разгона и торможения не учитываются для функции G93. Таким образом, для коротких кадров заданное время перемещения (когда периоды разгона достаточно велики относительно общего времени движения) может не обеспечиваться с достаточной точностью.

## 6.5 Режимы управления подачей G60/G64

Подготовительные функции:

**G60** Включение режима точного останова в конце кадра

**G64** Включение режима непрерывной подачи

Характеристика:                    модальные

В зависимости от активного режима управления подачей система ЧПУ по-разному реализует проход точек соединения кадров.

Команда G60 включает режим точного останова. В этом режиме в конце каждого кадра производится полная остановка всех осей, даже если кадры соответствуют тангенциально соединенным отрезкам траектории. Только после останова начинает обрабатываться следующий кадр.

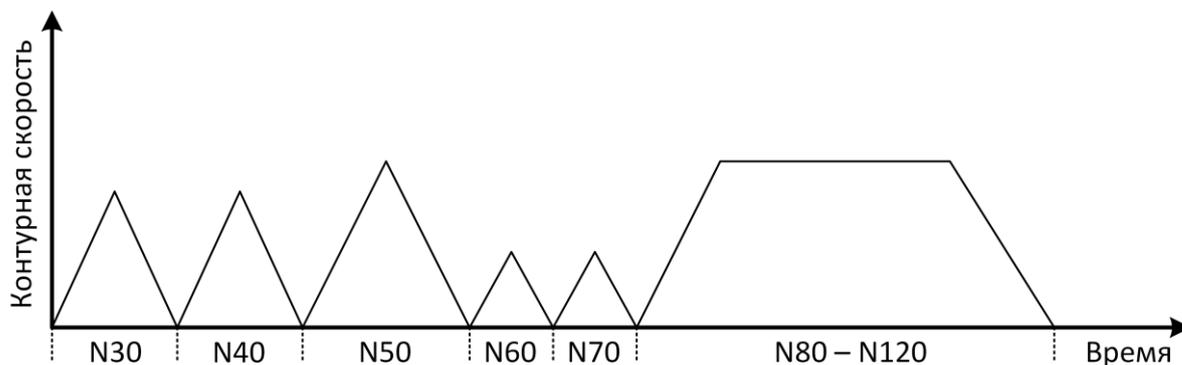
Команда G64 активирует режим обеспечения непрерывной подачи, в котором система ЧПУ реализует прохождение точек соединения кадров с ненулевой скоростью. Скорость зависит от ряда настроек, введенных наладчиками станка и определяется прежде всего допустимыми ускорениями приводов и другими ограничениями механики. Система управления учитывает заданные в машинных параметрах ограничения и задает максимально допустимую контурную скорость в конце каждого кадра. Если кадры соединены тангенциально, то, как правило, проход сопряжения производится с заданной подачей (т.е. без снижения скорости). Чем больше угол между касательными к траектории в конце одного и начале другого кадра, тем меньше будет в общем случае скорость.

**Пример 6.1:**

```
G17 G90 G15 G191 G71 G72 G172 G272 G94 G97 G49 G40 G00 G80 G98  
G53 G153 G193 G64 BRISK CUT2DF ORIAXES // Строка безопасности
```

```
N10 G0 X0  
N20 G91 G60 //Относительные перемещения, точный останов  
N30 G01 X10 F1800  
N40 G01 X10  
N50 G01 X15  
N60 G01 X5  
N70 G01 X5  
N80 G64 G01 X10 //Режим непрерывной подачи  
N90 G01 X10  
N100 G01 X15  
N110 G01 X5  
N120 G01 X5  
M30
```

Рисунок 6.1 демонстрирует график контурной скорости, соответствующий примеру 1. Последовательности кадров N30-N70 и N80-N120 идентичны, но первый набор обрабатывается в режиме точного останова, а второй – в режиме обеспечения непрерывной подачи.



**Рисунок 6.1 – Движение в разных режимах управления подачей**

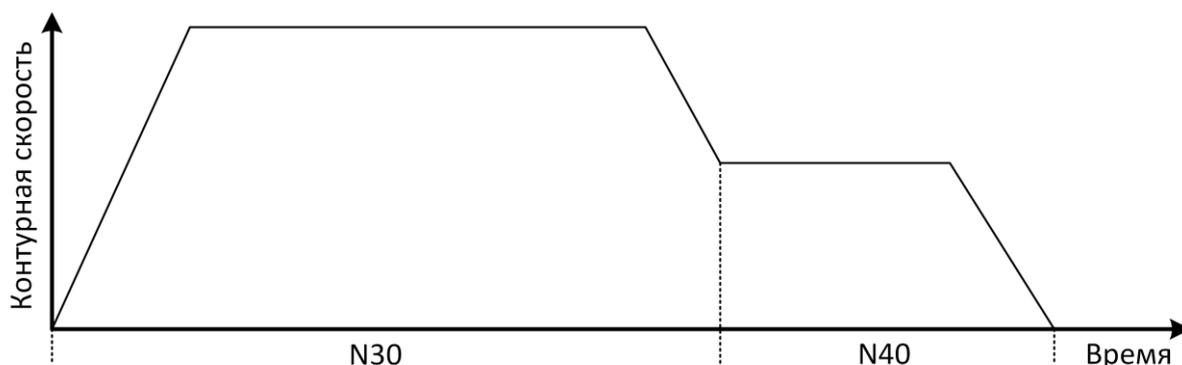
Рассмотрим случай перехода между кадрами с разной подачей при активной команде G64.

**Пример 6.2:**

```
G17 G90 G15 G191 G71 G72 G172 G272 G94 G97 G49 G40 G00 G80 G98
G53 G153 G193 G64 BRISK CUT2DF ORIAXES // Строка безопасности

N10 G0 X0
N20 G91 G64 //Относительные перемещения, непрерывная подача
N30 G01 X30 F1600
N40 G01 X10 F800
M30
```

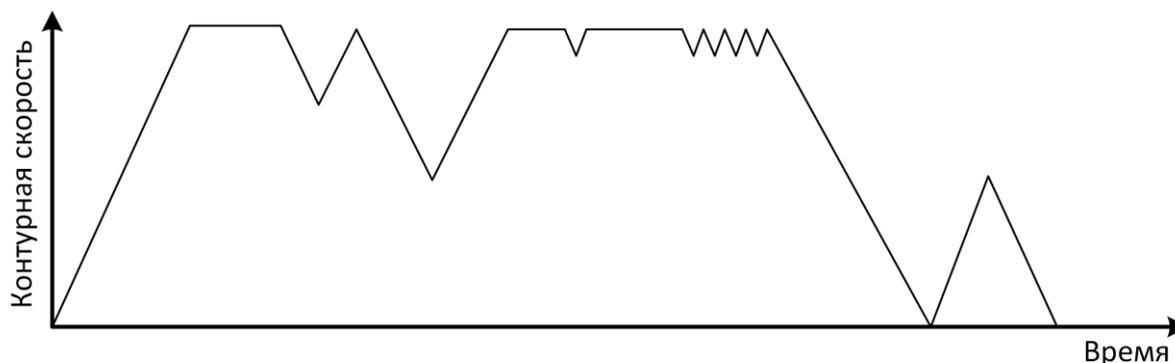
При изменении заданной подачи скорость в точке соединения кадров определяется наименьшим значением из двух соседних (Рисунок 6.2). Это справедливо как при уменьшении, так и при увеличении подачи в следующем кадре относительно предыдущего.



**Рисунок 6.2 – Переход между кадрами с разной подачей**

Как правило, контур обработки детали задается множеством мелких кадров, образующих сложную ломаную. Поэтому не стоит думать, что режим непрерывной подачи всегда реализует гладкий график скорости. Изменения направления движения приводят к локальным увеличениям ускорения и рывка в точках соединения кадров. Равномерность графика скорости при этом зависит от допусков по динамике, заданных в машинных параметрах наладчиками. Бесконечно увеличивать допуски на ускорение нельзя, поэтому для сложных контуров график скорости выглядит как постоянные колебания скорости разной амплитуды и частоты (Рисунок 6.3). Нежелательные

колебания можно частично сгладить включением режима ограничения рывка (см. раздел 6.6), а для аппроксимации кривых вместо линейных кадров рекомендуется рассмотреть использование сплайнов.



**Рисунок 6.3 – Общий пример графика скорости для произвольного набора кадров**

Общей рекомендацией при написании программы является использование режима непрерывного обеспечения подачи (G64), так как система при этом сама следит за динамикой движения и останавливает оси там, где это необходимо. Режим точного останова (G60) нужен скорее для лишней перестраховки при особо ответственных операциях обработки.

Начальный режим управления (активный при старте системы) определяется машинным параметром канала «Управление подачей».

## 6.6 Режимы ускорения и торможения BRISK/SOFT

### Подготовительные функции: BRISK/SOFT

**Характеристика:**                    **модальные**

Режим ускорения и торможения определяет вид функции изменения скорости при движении по траектории.

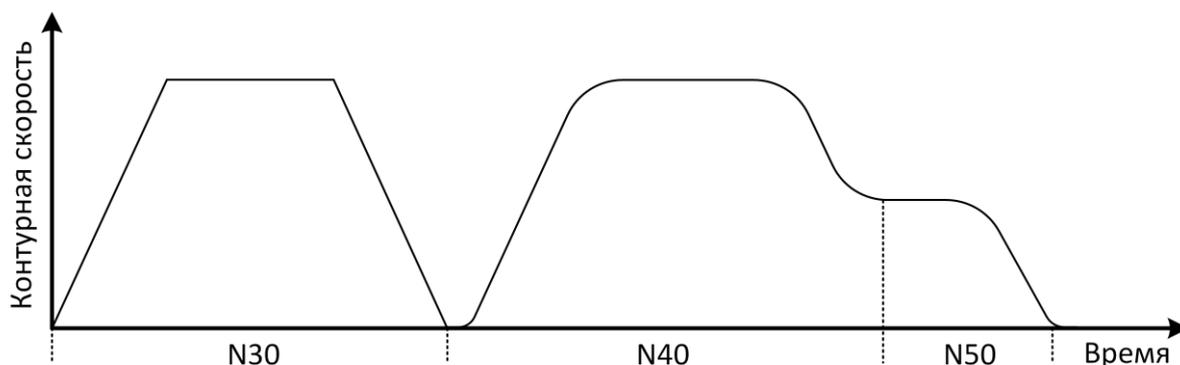
Режим BRISK соответствует линейному изменению скорости. Другими словами, ускорение в этом режиме равно постоянной величине и меняется мгновенно (от нуля до константы и обратно) при переходе от состояния покоя или равномерного движения к состоянию разгона/торможения.

В режиме SOFT ускорение при переходе от состояния покоя или равномерного движения меняется линейно (т.е. обеспечивается ускорение с постоянным значением рывка). Скорость при этом возрастает или падает по параболическому закону (Рисунок 6.4).

#### **Пример 6.3:**

```
G17 G90 G15 G191 G71 G72 G172 G272 G94 G97 G49 G40 G00 G80 G98
G53 G153 G193 G64 BRISK CUT2DF ORIAXES // Строка безопасности

N10 G0 X0
N20 G91 G64 BRISK //Непрерывная подача, линейное ускорение
N30 G01 X30 F1600
N40 G01 SOFT X30 //Ускорение с ограничением рывка
N50 X10 F800
M30
```



**Рисунок 6.4 – Движение в разных режимах ускорения и торможения**

Режим SOFT обеспечивает более плавное управление осями, что может положительно сказаться как на вибрационной нагрузке на станок, так и непосредственно на точности обработки, особенно вблизи точек сопряжения кадров. Однако ограничение рывка может привести к падению производительности, так как разгон по параболическому закону длится дольше, чем в режиме BRISK.

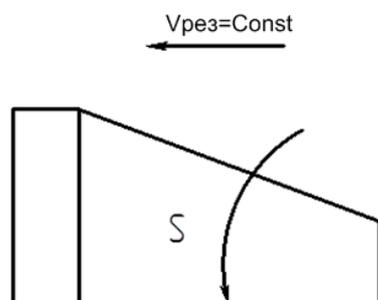
Начальный режим ускорения (активный при старте системы) определяется машинным параметром канала «Вид разгона и торможения». Режим SOFT реально действует только в том случае, если приводам в машинных параметрах задано ненулевое ограничение рывка подачи. При изменении подачи внешней регулировкой (маховиком) скорость всегда меняется по линейному закону независимо от активного режима.

## 6.7 Постоянная скорость резания G96 (CSS – Constant surface speed)

Подготовительная функция: G96

Характеристика: модальная

Функция контролирует скорость вращения шпинделя при изменении координат во время обработки детали в диаметральном направлении таким образом, чтобы поддерживать постоянную относительную скорость между вершиной режущей кромки инструмента и обрабатываемой поверхностью детали.



**Рисунок 6.5 – Постоянная скорость резания**

Когда G96 активна, S-слово интерпретируется как постоянная скорость резания.

**Синтаксис: G96: [S<Значен.>] [LMAXS<Значен.>] [LMINS <Значен.>]**

[REFAX<Значен.>]: где 2 <= Значен. <= 4 (до 4 шпинделей)

LMAXS – максимальные обороты шпинделя при постоянной скорости резания

LMINS – минимальные обороты шпинделя при постоянной скорости резания

REFAX – IPD-индекс оси, по которой считается радиус (reference axis)

*Пример (фрагмент управляющей программы):*

```
G96 S300 LMAXS 5000 LMINS 150 REFAX 3
G96 S300 LMAXS 5000 LMINS 150 S2=250 LMAXS2=4500 LMINS2=100
S3=350 LMAXS3=5500 LMINS3=200 M30
```

Функция модальная и отменяется функцией **G97**.

**Особенности и ограничения:**

- Несколько шпинделей можно включить вместе в одном кадре, последовательно программируя адрес S (например: G96 S2 = 100 S3 = 1000).
- Чтобы изменить величину постоянной скорости резания, которая была включена функцией G96, нужно перепрограммировать адрес S.
- Максимальные и минимальные обороты шпинделя ограничены значениями машинных параметров.
- G96 учитывает смещение координатной системы.

*Пример 6.4:*

```
G17 G90 G15 G191 G71 G72 G172 G272 G94 G97 G49 G40 G00 G80 G98
G53 G153 G193 G64 BRISK CUT2DF ORIAXES // Строка безопасности

N10 G18 G90 G01 X10 Z0 F200
N20 M3 S1000
N30 G96 S300 LMAXS 1200 LMINS 150 REFAX 1
N40 G01 X20 Z-200
N50 Z-240
N60 M30
```

## 6.8 Частота вращения шпинделя

**Адрес: S**

Под адресом S в управляющей программе записывают частоту вращения шпинделя. Если на станке несколько шпинделей, то частота вращения каждого шпинделя (**кроме первого шпинделя** каждого из каналов) программируется с помощью расширения адреса S<i>.

Если S-слово представлено в отдельном кадре, то оно запоминается как частота вращения шпинделя для последующих вспомогательных функций (например, M03). Если же это слово представлено в кадре вместе с вспомогательной функцией, то сначала активизируется вспомогательная функция, а затем и величина частоты. Частота вращения всегда определяется в об/мин.

**Синтаксис:** S<константа>, S=<выражение>

Или, при расширенной адресной структуре:

**S<индекс> = <константа>. Например, S2=2000**

**Примеры (фрагменты управляющей программы):**

```
S1000 // Задание частоты вращения константой  
S=$iPerm[1] // Задание частоты значением системной переменной,  
см. «Язык высокого уровня для создания параметрических  
управляющих программ»
```

**Использование таблицы частот вращения шпинделя**

В машинных параметрах канала имеется таблица предустановленных значений частоты вращения шпинделя. Для доступа к значениям таблицы используется библиотечная функция STABLE, имеющая следующую сигнатуру (см. «Язык высокого уровня для создания параметрических управляющих программ»):

```
double STABLE (long index)
```

Аргумент index задает индекс в таблице частот и может принимать значения от 0 до 127.

**Таблица 6.2 – Частоты вращения шпинделя в таблице (по умолчанию)**

| Индекс | Скорость вращения, об/мин |
|--------|---------------------------|
| 0      | 1000                      |
| 1      | 1100                      |
| 2      | 1200                      |
| 3      | 1500                      |
| .      | .                         |
| .      | .                         |
| 127    | 50000                     |

Настройка таблицы частот вращения шпинделей в соответствии с пожеланиями пользователя в машинных параметрах системы производится в параметрах канала (Каналы→Параметры канала (номер канала)→Таблица шпинделей, об/мин). Для получения дополнительной информации см. документ «Руководство оператора».

**Примеры задания частоты вращения шпинделя в кадре управляющей программы:**

**Пример 1 – Прямое задание частоты вращения (фрагмент управляющей программы):**

```
N10 S10000 M3 // Включение вращения шпинделя с частотой 10000  
об/мин
```

**Пример 2 (фрагмент управляющей программы):**

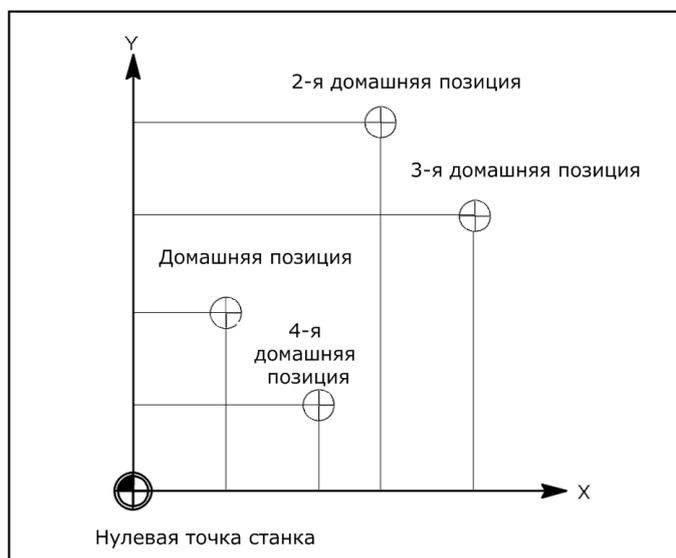
```
N10 S=$iPerm[5] // Задание частоты вращения шпинделя значением  
системной переменной
```

**Пример 3 (фрагменты управляющей программы):**

```
N10 S=STABLE(2) M3 // Задание табличного значения частоты  
вращения первого шпинделя  
N10 S2=STABLE(20) M203 // Задание табличного значения частоты  
вращения второго шпинделя
```

## 6.9 Движение в домашние позиции и возврат из них

На станках с ЧПУ имеются особые положения, в которых происходит смена инструмента или установка системы координат. Эти положения называются домашними позициями (а также фиксированными точками или референтными положениями).



**Рисунок 6.6 – Точка отсчета станка и домашние позиции**

Инструмент перемещается из текущего положения в домашнюю позицию вдоль заданной оси либо напрямую, либо через некоторое промежуточное положение. Аналогично возврат инструмента из домашней позиции в заданную точку производится либо напрямую, либо через промежуточное положение.

Домашние позиции – это позиции в системе координат станка, сохраненные в машинных параметрах («Приводы → Параметры привода <номер\_привода> → Домашние позиции»). Может быть определено до 8 домашних позиций, нумерация начинается с 1.

|                                      |          |
|--------------------------------------|----------|
| ☐ Домашние позиции                   |          |
| ☐ Домашняя позиция 1 = 18000000      |          |
| Позиция, ед. оси                     | 50       |
| Позиция, дискр.                      | 18000000 |
| Используется                         | True     |
| ☐ Домашняя позиция 2 не используется |          |
| ☐ Домашняя позиция 3 не используется |          |
| ☐ Домашняя позиция 4 не используется |          |
| ☐ Домашняя позиция 5 не используется |          |
| ☐ Домашняя позиция 6 не используется |          |
| ☐ Домашняя позиция 7 не используется |          |
| ☐ Домашняя позиция 8 не используется |          |

**Рисунок 6.7 – Домашние позиции в машинных параметрах «АксиОМА Контроль»**

Для движения в домашнюю позицию используется команда G28, для возврата из нее в заданную точку – G29.

## 6.9.1 Движение в домашнюю позицию G28

Подготовительная функция: G28

Характеристика: немодальная

Синтаксис (подвод напрямую): G28 H<значение>. Например, G28 H2

Синтаксис (подвод через промежуточную точку): G28 X<значение> Y<значение> H<значение> ,

где X, Y – координаты промежуточной точки, H<значение> – домашняя позиция с номером <значение>.

*Примеры кадра (фрагменты управляющей программы):*

```
G28 X50 Y40 H2
```

G28 H2 X50 Y40 ; порядок следования номера домашней позиции и координат промежуточной точки не важен

G28 X20 Y30 ; если в кадре не задан номер домашней позиции, то по умолчанию используется H1

Если осей больше двух, то указываются и координаты остальных осей, по которым перемещается инструмент.

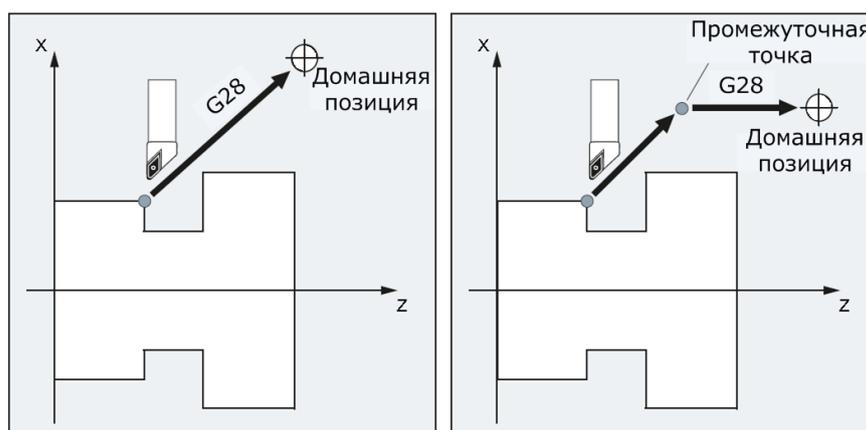
С помощью действующей покадрово команды G28 осуществляется перемещение со скоростью ускоренного подвода в домашние позиции в станочной области, например, в точки смены инструмента, точки загрузки, точки смены палет и т.д.

Подвод к домашним позициям может быть осуществлен из любой программы ЧПУ, независимо от актуальной позиции инструмента или детали.

Перед движением осей должна быть остановлена обработка детали.

Подвод возможен напрямую или через промежуточную точку.

Координаты промежуточной точки хранятся в системе ЧПУ до окончания выполнения УП и сбрасываются после вызова G29.



*Рисунок 6.8 – Перемещение в домашнюю позицию напрямую и через промежуточную точку*

## 6.9.2 Возврат из домашней позиции G29

Подготовительная функция: G29

Характеристика: немодальная

Синтаксис (подвод через промежуточную точку): G29 X<значение> Y<значение> ,

где X, Y – координаты точки возврата.

*Пример кадра (фрагмент управляющей программы):*

```
G29 X50 Y40
```

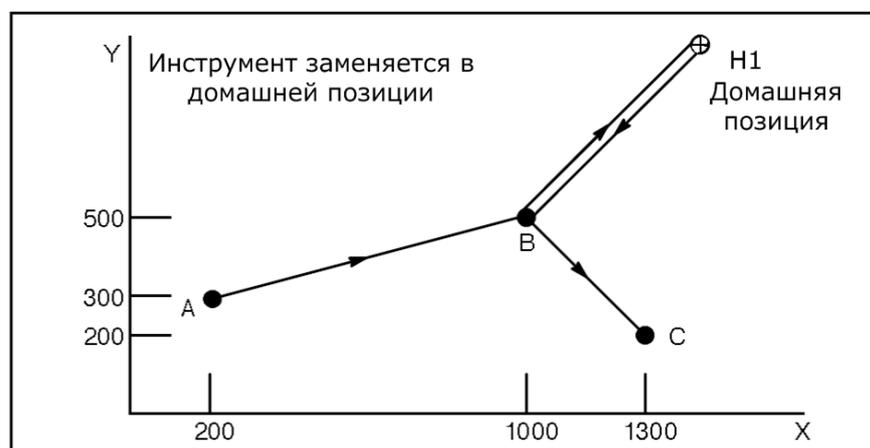
Если осей больше двух, то указываются и координаты остальных осей, по которым перемещается инструмент.

Как правило, возврат из домашней позиции программируется сразу же за командой G28. Координаты задают точку возврата из домашней позиции.

Возврат из фиксированной точки в заданную командой G29 позицию производится соответственно тому, как в команде G28 был задан подвод в фиксированную точку – напрямую либо через промежуточную точку (сохраненную в памяти СЧПУ).

*Пример (фрагмент управляющей программы):*

```
G28 G90 X1000.0 Y500.0 N1 ; Перемещение в домашнюю позицию N1  
через промежуточную точку B  
M66 T1 ; Смена инструмента в домашней позиции  
G29 X1300.0 Y200.0 ; Возврат из домашней позиции N1 через  
промежуточную точку B в точку C
```



**Рисунок 6.9 – Перемещение в домашнюю позицию и возврат из нее в заданную точку**

*Пример 6.5 – Движение в домашнюю позицию и возврат из нее:*

```
G17 G90 G15 G191 G71 G72 G172 G272 G94 G97 G49 G40 G00 G80 G98  
G53 G153 G193 G64 BRISK CUT2DF ORIAxes // Строка безопасности
```

```
N10 G00 X0 Y0 Z0
```

```
N20 G28 N1 Z77 // Движение в домашнюю позицию N1 через  
промежуточную точку (0, 0, 77)
```

```
N30 G04 X3
```

```

N40 G29 X0 Y0 Z0 // Возврат из домашней позиции в точку (0,0,0)

N120 G28 X0 Y0 Z77 // Движение в домашнюю позицию N1 через
промежуточную точку (0,0,77)
N130 G04 X3
N140 G29 X0 Y0 Z0 // Возврат из домашней позиции в точку (0,0,0)
N150 M30

```

## 6.10 Номер инструмента T

### Адрес: T

Номер инструмента задается адресом T. Геометрические параметры соответствующих инструментов записаны в таблице инструментов системы ЧПУ.

**Синтаксис: T<константа> M06 или M66. Например, T10 M66**

**Синтаксис: T<номер шпинделя>=<константа> M06 или M66. Например, T2=10 M06**

Второй вариант синтаксиса (с номером шпинделя) предназначен для установки инструмента в шпиндель, отличный от главного шпинделя канала.

Система ЧПУ может содержать информацию о 256 инструментах. Номер инструмента может быть определен в диапазоне от 1 до 32767. Функция T0 зарезервирована для ситуации, когда инструмент не задан (длина = 0, радиус = 0). Номер необходим системе для определения текущих размеров инструмента с целью коррекции управляющей программы. При выборе инструмента с T-адресом 0 активный инструмент убирается в магазин или другой контейнер инструментов (если предполагается автоматическая смена), а коррекция на длину и радиус отключается.

### *Примеры кадра (фрагмент управляющей программы):*

```

N10 T1 M66 // Ручная смена инструмента, в результате выполнения
будет установлен инструмент с номером 1

```

```

N50 T3 M6 // Автоматическая смена инструмента, в результате
выполнения будет установлен инструмент с номером 3

```

```

N60 M06 T2 T2=3 // Автоматическая смена инструмента, в результате
выполнения будет установлен инструмент с номером 2 в первом
шпинделе и инструмент с номером 3 во втором шпинделе

```

### *Пример 6.6:*

```

G17 G90 G15 G191 G71 G72 G172 G272 G94 G97 G49 G40 G00 G80 G98
G53 G153 G193 G64 BRISK CUT2DF ORIAxes // Строка безопасности

```

```

N10 G00 X0 Y0
N20 G43 //Коррекция на длину инструмента
N30 M06 T2 //Выбран инструмент T2
N40 G00 X10 Y10 //Движение с активной коррекцией на длину
N50 M06 T0 //Выбор нулевого инструмента
N60 G00 X0 Y0 //Движение с отключенной коррекцией
M30

```

## 6.11 Номер режущей кромки инструмента D

Адрес: D

Вместе с функциями M06 и M66, наряду с T-адресом, можно указать номер режущей кромки (корректора) D. Геометрические параметры режущих кромок записаны в таблице инструментов системы ЧПУ.

**Синтаксис: D<константа> M06 или M66. Например, D2 M66**

**Синтаксис: D<номер шпинделя>=<константа> M06 или M66. Например, D3=2 M06**

У инструмента в таблице может быть задано от 1 до 4 корректоров. С помощью выбора корректора можно использовать разные величины компенсаций геометрии инструмента, не меняя сам инструмент.

Если корректор D в кадре не указан вместе с адресом T, система выбирает по умолчанию первый корректор (т.е. отсутствие адреса D эквивалентно заданию D1).

Если корректор D указан в кадре вместе с M06/M66 без указания адреса T инструмента, меняется только номер активного корректора, а цикл смены инструмента не запускается.

Если в кадре с M06/M66 указаны и адрес T, и адрес D, и при этом номер инструмента в кадре совпадает с текущим установленным инструментом, то меняется только номер активного корректора, а цикл смены инструмента не запускается.

**Пример 6.7:**

```
G17 G90 G15 G191 G71 G72 G172 G272 G94 G97 G49 G40 G00 G80 G98
G53 G153 G193 G64 BRISK CUT2DF ORIAXES // Строка безопасности

N10 G00 X0 Y0
N20 M06 T1 //Выбран инструмент T1, корректор 1 по умолчанию
N30 G00 X10 Y10
N40 M06 T2 D2 //Выбран инструмент T2, корректор 2
N50 G00 X0 Y0
N60 M06 D1 //Выбран корректор 1 текущего инструмента
N70 G00 X0 Y0
M30
```

Допустимые номера корректора D: от 0 до 4 включительно. Указание корректора без функции M06/M66, заданной в том же кадре, запрещено.

Нулевой корректор (D0) отключает коррекцию на геометрию инструмента и указывает, что активная режущая кромка инструмента не выбрана.

**Пример 6.8:**

```
G17 G90 G15 G191 G71 G72 G172 G272 G94 G97 G49 G40 G00 G80 G98
G53 G153 G193 G64 BRISK CUT2DF ORIAXES // Строка безопасности

N10 G00 X0 Y0
N20 G43 //Коррекция на длину инструмента
N30 M06 T2 //Выбран инструмент T2, корректор 1 по умолчанию
N40 G00 X10 Y10 //Движение с активной коррекцией на длину
N50 M06 D0 //Выбор нулевого корректора
N60 G00 X0 Y0 //Движение с отключенной коррекцией
M30
```

При написании и отладке программы следует помнить, что выбор ненулевого активного инструмента и ненулевого корректора необходим для активации коррекций на геометрию инструмента (длину и радиус).

**Пример 6.9:**

```
G17 G90 G15 G191 G71 G94 G97 G49 G40 G00 G80 G98 G53 G153 G193
G64 BRISK // Строка безопасности

N10 G00 X0 Y0
N20 M06 T1 D1 T2=2 D2=2 // T1/D1 в 1-й шпиндель, T2/D2 во 2-й
шпиндель
N30 G00 X50 Y50
N40 M06 T2 D2 T2=3 D2=1 // T2/D2 в 1-й шпиндель, T3/D1 во 2-й
шпиндель
N50 G00 X0 Y0
N60 M06 T0 T2=0
M30
```

**Пояснения:**

- N20 Автоматическая установка инструмента T1 в первый шпиндель и выбор для него корректора D1; установка инструмента T2 во второй шпиндель и выбор для него корректора D2.
- N40 Автоматическая установка инструмента T2 в первый шпиндель и выбор для него корректора D2; установка инструмента T3 во второй шпиндель и выбор для него корректора D1.
- N60 С помощью автоматической смены инструмента инструменты из первого и второго шпинделя убираются в магазин инструментов.

## 7 Вспомогательные станочные функции (М-функции)

**Адрес: М**

Разнообразные функции включения-выключения (например, включение-выключение шпинделя, охлаждения и т.д.) программируют с помощью вспомогательных функций. Все вспомогательные функции имеют адрес М и числовую часть. Смысл вспомогательных функций частично определен стандартом ISO 6983-1:2009 для кода ISO-7bit, а частично – станкостроителями.

За исключением функций управления шпинделем (M03, M04, M05, M19) и функций, определяющих конец программы (M02, M30, M99), все другие М-функции находятся в распоряжении станкостроителей, поскольку они не влияют на внутренние переключения в системе управления.

**Синтаксис: М<константа>. Например, M03**

Если кадр управляющей программы содержит несколько М-функций, то сначала выполняются все префиксные функции, а потом – все постфиксные. Очередность выполнения и тех и других зависит от номера группы М-функций (см. Рисунок 15.2). Сначала выполняются функции группы 0, затем – группы 1 и т.д. Если требуется сначала выполнить (префиксную либо постфиксную) функцию из группы с большим номером, а затем – с меньшим, то эти функции следует вызывать в разных кадрах УП.

**Пример – вызов М-функций в разных кадрах (фрагмент управляющей программы):**

```
N30 M9 // выключение подачи охлаждающей жидкости
N40 M6 T2 // автоматическая смена инструмента
N50 M3 S500 // включение вращения шпинделя
N60 M7 // включение подачи охлаждающей жидкости
```

В приведенном выше примере последовательно производится покадровое выполнение М-функций. При записи этих же функций **в одном кадре:**

```
M9 M6 T2 M3 S500 M7
```

последовательность их выполнения изменится. М-функции будут выполнены в следующем порядке:

- M3 S500 – включение вращения шпинделя (префиксная функция группы 1);
- M7 – включение подачи охлаждающей жидкости (префиксная функция группы 2);
- M6 T2 – автоматическая смена инструмента (префиксная функция группы 3);
- M9 – выключение подачи охлаждающей жидкости (постфиксная функция группы 2).

Далее кратко описаны наиболее важные М-функции. Список всех допустимых вспомогательных функций был приведен в разделе 2.5.

### 7.1 Функции останова программы

#### **M00 Безусловный останов**

**Характеристика: постфиксная**

Функция останавливает дальнейшую отработку управляющей программы в конце текущего кадра. Вращение шпинделя и подача охлаждающей жидкости останавливаются. После нажатия пусковой кнопки работа управляющей программы возобновляется. Однако

перед этим вновь включаются вращение шпинделя и подача охлаждающей жидкости. Все предустановки для шпинделя (если они были) сохраняют свои значения.

## **M01 Условный останов**

**Характеристика:**                    **постфиксная**

M01 работает аналогично M00, но должна быть подтверждена нажатием клавиши  («Условный останов») станочной панели. Функция M01 обычно используется при отладке программ.

## **7.2 Функции конца программы**

### **M02/M30 Конец программы**

**Характеристика:**                    **постфиксные**

Эта функция завершает процесс отработки управляющей программы. Вращение шпинделя и подача охлаждающей жидкости прекращаются.

### **M99 Конец программы с выходом в позицию ожидания**

**Характеристика:**                    **постфиксная**

Эта инструкция аналогична M30, но предусматривает выход в позицию ожидания. Позиция ожидания может быть определена через конфигурацию M-команд с использованием домашней позиции, определенной в машинных параметрах.

## **7.3 Управление шпинделем**

### **M<x>03/M<x>04 Включение шпинделя**

**M03/M04 Включение главного шпинделя**

**M203/M204 Включение второго шпинделя**

**M303/M304 Включение третьего шпинделя**

**M403/M404 Включение четвертого шпинделя**

**Характеристика:**                    **префиксные**

Эти функции программируются в кадре перед функциями перемещения.

Функцией M03 (M<x>03) включается вращение шпинделя по часовой стрелке, функцией M04 (M<x>04) – вращение против часовой стрелки. После разгона шпинделя до заданной частоты вращения начинается обработка информации остальной части кадра. Действие функции прекращается функцией M05 (выключение шпинделя).

**Синтаксис: M03 S<константа>. Например, M03 S2500**

#### **Пример 7.1:**

```
G17 G90 G15 G191 G71 G72 G172 G272 G94 G97 G49 G40 G00 G80 G98  
G53 G153 G193 G64 BRISK CUT2DF ORIAxes // Строка безопасности
```

N10 M03 S2500 M203 S2=3000 M30

**Пример 7.2:**

G17 G90 G15 G191 G71 G72 G172 G272 G94 G97 G49 G40 G00 G80 G98  
G53 G153 G193 G64 BRISK CUT2DF ORIAXES // Строка безопасности

N10 M03 S2500  
N20 M204 S2=3000 M30

**M<x>05 Выключение шпинделя**

**M05** Выключение главного шпинделя

**M205** Выключение второго шпинделя

**M305** Выключение третьего шпинделя

**M405** Выключение четвертого шпинделя

**Характеристика:** постфиксные, активны по умолчанию

Шпиндель останавливается после выполнения всех инструкций, заданных в кадре.

**Синтаксис:** M05

**Пример 7.3:**

G17 G90 G15 G191 G71 G72 G172 G272 G94 G97 G49 G40 G00 G80 G98  
G53 G153 G193 G64 BRISK CUT2DF ORIAXES // Строка безопасности

N10 M05 M30 // останавливается главный шпиндель

**Пример 7.4:**

G17 G90 G15 G191 G71 G72 G172 G272 G94 G97 G49 G40 G00 G80 G98  
G53 G153 G193 G64 BRISK CUT2DF ORIAXES // Строка безопасности

N10 M05 M205 M30 // останавливаются главный и второй шпиндель

**M<x>13/M<x>14 Включение охлаждения и вращения шпинделя**

**M13/M14** Включение охлаждения и вращения главного шпинделя

**M213/M214** Включение охлаждения и вращения второго шпинделя

**M313/M314** Включение охлаждения и вращения третьего шпинделя

**M413/M414** Включение охлаждения и вращения четвертого шпинделя

**Характеристика:** префиксные

Эти функции располагаются в кадре перед функциями перемещения.

Функцией M13 включается охлаждение и вращение шпинделя по часовой стрелке, функцией M14 – охлаждение и вращение шпинделя против часовой стрелки. После разгона шпинделя до заданной частоты вращения начинается обработка информации остальной части кадра. Действие функции прекращается функцией M05 (выключение шпинделя).

**Синтаксис:** M13 S<константа>. Например, M13 S2500

### **Пример 7.5:**

```
G17 G90 G15 G191 G71 G72 G172 G272 G94 G97 G49 G40 G00 G80 G98
G53 G153 G193 G64 BRISK CUT2DF ORIAXES // Строка безопасности

N10 M13 S2500 M213 S2=3000
M30
```

### **Пример 7.6:**

```
G17 G90 G15 G191 G71 G72 G172 G272 G94 G97 G49 G40 G00 G80 G98
G53 G153 G193 G64 BRISK CUT2DF ORIAXES // Строка безопасности

N10 M13 S2500
N20 M214 S2=3000
M30
```

## **M<x>19 Ориентированный останов шпинделя**

### **M19 Ориентированный останов главного шпинделя**

### **M219 Ориентированный останов второго шпинделя**

### **M319 Ориентированный останов третьего шпинделя**

### **M419 Ориентированный останов четвертого шпинделя**

#### **Характеристика: префиксные**

Программированием M19 S... можно ориентированно установить шпиндель. Угловое положение определяется в градусах под адресом S. M19 вызывает временное переключение в режим ориентации до следующей команды M3/M4/M5.

#### **Синтаксис: M19 S<константа>. Например, M19 S90**

Позиционирование шпинделя возможно как в остановленном состоянии, так и при его вращении. Если функция M19 не сопровождается S-словом, то шпиндель устанавливается в предыдущую позицию или позицию по умолчанию (0 градусов). Программируют позиции от 0 до 360 градусов. Обработка информации кадра прекращается на период выхода шпинделя в заданную позицию.

### **Пример 7.7:**

```
G17 G90 G15 G191 G71 G72 G172 G272 G94 G97 G49 G40 G00 G80 G98
G53 G153 G193 G64 BRISK CUT2DF ORIAXES // Строка безопасности

N10 M19 S90 M219 S2=180
M205 M30
```

**Примечание.** Функция M19 работает только тогда, когда следящий привод шпинделя оснащен SERCOS- или EtherCAT-интерфейсом либо установлен круговой датчик положения.

## **7.4 Управление режимом шпиндель/ось**

Шпиндели имеют два режима работы:

1. Режим шпинделя (M903) – управление движением по скорости (используется по умолчанию для шпинделей). Используется для осей главного движения токарных станков и фрезерных станков.
2. Режим интерполируемой оси M<x>70 (M902) – управление движением по положению. Используется, например, для режимов токарно-фрезерной обработки при проточке фигурных пазов и винтовых канавок. Во фрезерных станках используется для специальных режимов обработки (например, нарезание резьбы) или измерительных операций, [а также при автоматической смене инструмента](#).

В канале может быть настроено до 4 шпинделей.

#### **Примечание.**

Команды M902 и M903 [предназначены для внутреннего использования и](#) не показываются в области экрана оператора, отображающей GMT-вектор.

### **M<x>70 Режим интерполируемой оси**

**M70** Режим интерполируемой оси главного шпинделя

**M270** Режим интерполируемой оси второго шпинделя

**M370** Режим интерполируемой оси третьего шпинделя

**M470** Режим интерполируемой оси четвертого шпинделя

**Характеристика:** префиксные

Команда переводит указанный в качестве параметра шпиндель канала в режим интерполируемой оси.

**Синтаксис:** M<x>70,

где <x> – номер шпинделя в канале.

**Пример (фрагмент управляющей программы):**

```
M70 // перевод первого шпинделя активного канала в режим  
интерполируемой оси
```

---

[Функции M902 и M903 предназначены для внутреннего использования.](#)

---

### **M902 Режим интерполируемой оси**

**Характеристика:** префиксная

Команда переводит указанный в качестве параметра шпиндель канала в режим интерполируемой оси.

**Синтаксис:** M902 H1=<номер шпинделя>,

где <номер шпинделя> – номер шпинделя в канале.

**Пример (фрагмент управляющей программы):**

```
M902 H1=1 // перевод первого шпинделя активного канала в режим  
интерполируемой оси
```

## **M903 Режим шпинделя**

**Характеристика:**                    **постфиксная**

Команда переводит указанный в качестве параметра шпиндель канала в режим шпинделя.

**Синтаксис: M903 N1=<номер шпинделя>**,

где <номер шпинделя> – номер шпинделя в канале.

*Пример (фрагмент управляющей программы):*

```
M903 N1=1 // перевод первого шпинделя активного канала в режим шпинделя
```

## **7.5 M905 Управление глубиной эквидистантной коррекции**

**Характеристика:**                    **постфиксная**

**Синтаксис: M905 N1=<глубина эквидистантной коррекции>**,

где <глубина эквидистантной коррекции> – количество кадров, одновременно просматриваемых при эквидистантной коррекции.

По умолчанию глубина эквидистантной коррекции (т.е. количество одновременно просматриваемых кадров при эквидистантной коррекции) задана в машинных параметрах канала (Каналы→Параметры канала (номер канала) → Глубина коррекции).

Команда M905 позволяет устанавливать в управляющей программе значение глубины эквидистантной коррекции, отличное от определенного в машинных параметрах канала, на котором выполняется УП. Поскольку команда постфиксная, она должна вызываться хотя бы за кадр до включения эквидистантной коррекции. Изменение глубины коррекции внутри эквидистантного контура запрещено.

При вызове без параметра N1 команда M905 восстанавливает значение глубины эквидистантной коррекции, определенное в машинных параметрах канала, на котором выполняется УП (т.е. отменяет значение, установленное при вызове команды с параметром).

Команда действует до ее отмены либо до выключения системы.

*Пример (фрагмент управляющей программы):*

```
M905 N1=3 // установка глубины эквидистантной коррекции, равной 3 кадрам
G91 G42 G01 X20 Y20 F2000
...
...
G40 X-20 Y-20
M905 // восстановление значения глубины эквидистантной коррекции, заданного в машинных параметрах
```

**Примечание.**

Команда M905 не показывается в области экрана оператора, отображающей GMT-вектор.

## **7.6 Управление охлаждением**

### **M07 Включение режима 1 охлаждения**

**Характеристика:**                    **префиксная**

Эта функция включает подачу охлаждающей жидкости на уровне 1. Функция активна с начала кадра, а ее действие прекращается функцией M09 (выключение охлаждения) или функцией конца программы.

### **M08 Включение режима 2 охлаждения**

**Характеристика:**                    **префиксная**

Эта функция включает подачу охлаждающей жидкости на уровне 2. Функция активна с начала кадра, а ее действие прекращается функцией M09 (выключение охлаждения) или функцией конца программы.

### **M09 Выключение охлаждения**

**Характеристика:**                    **постфиксная, активна по умолчанию**

После выполнения всех инструкций кадра функции M07 или M08 деактивируются.

## **7.7 Управление сменой инструмента**

### **M66 Ручная смена инструмента**

**Характеристика:**                    **префиксная**

В соответствии с технологией обработки может потребоваться смена инструмента в пределах управляющей программы. Возможно, что эта смена будет осуществлена вручную. Функция M66 приостанавливает работу системы управления на время, пока не будет установлен новый инструмент. Подача охлаждающей жидкости и вращение шпинделя будут прекращены. Номер того инструмента, который должен быть установлен, появится на экране монитора панели управления. Положение по координате Z установится в предварительно заданное для позиции ожидания.

После того как будет выполнена ручная смена инструмента для продолжения выполнения управляющей программы необходимо нажать кнопку «Старт» станочной панели, после чего возобновятся вращение шпинделя и подача охлаждающей жидкости. Кроме того, все рабочие органы возвратятся в положение, соответствующее точке прерывания.

### **M06 Автоматическая смена инструмента**

**Характеристика:**                    **префиксная**

Функция M06 обеспечивает автоматическую смену инструмента. Эта функция должна быть реализована соответственно описанию цикла смены инструмента, разработанного станкостроителем.

### Пример 7.8:

```
G17 G90 G15 G191 G71 G72 G172 G272 G94 G97 G49 G40 G00 G80 G98
G53 G153 G193 G64 BRISK CUT2DF ORIAXES // Строка безопасности

N10 G00 X0 Y0
N20 M06 T1 T2=2
N30 G00 X50 Y50
N40 M06 T2 T2=3
N50 G00 X0 Y0
N60 M06 T0 T2=0
M30
```

### Пояснения:

- N20 Автоматическая установка инструмента T1 в первый шпиндель и T2 во второй шпиндель
- N40 Автоматическая установка инструмента T2 в первый шпиндель и T3 во второй шпиндель
- N60 С помощью автоматической смены инструмента инструменты из первого и второго шпинделя убираются в магазин инструментов.

### Выбор нулевого инструмента T0

При выборе инструмента с T-адресом 0 активный инструмент убирается в магазин или другой контейнер инструментов (если предполагается автоматическая смена), а коррекция на длину и радиус отключается. Подробнее – см. раздел 6.9.

### Выбор нулевого корректора D0

Нулевой корректор (D0) отключает коррекцию на геометрию инструмента и указывает, что активная режущая кромка инструмента не выбрана. Подробнее – см. раздел 6.11.

При написании и отладке программы следует помнить, что выбор ненулевого номера инструмента T и ненулевого корректора D необходим для активации коррекций на геометрию инструмента (длину и радиус).

## 7.8 Управление патроном

### M21 Зажим патрона

**Характеристика:** префиксная

Функция M21 осуществляет зажим устройства крепления деталей (патрона). Действие команды прекращает команда M22. Функция является префиксной, вступает в силу до начала отработки кадра.

### M22 Разжим патрона

**Характеристика:** постфиксная, активна по умолчанию

Функция M22 осуществляет разжим устройства крепления деталей (патрона). Функция является постфиксной, вступает в силу после отработки кадра.

## **7.9 Управление транспортером стружки**

### **M50 Включение транспортера стружки**

**Характеристика:** префиксная

Функция M50 определяет включение перемотки ленты транспортера стружки. Действие команды прекращает команда M51. Функция является префиксной, вступает в силу до начала отработки кадра.

### **M51 Выключение транспортера стружки**

**Характеристика:** постфиксная, активна по умолчанию

Функция M51 определяет выключение перемотки ленты транспортера стружки. Функция является постфиксной, вступает в силу после отработки кадра.

## **7.10 Управление ограждением**

### **M54 Закрытие ограждения**

**Характеристика:** префиксная

Функция M54 осуществляет закрытие защитного ограждения станка. Действие команды прекращает команда M55. Функция является префиксной, вступает в силу до начала отработки кадра.

### **M55 Открытие ограждения**

**Характеристика:** постфиксная, активна по умолчанию

Функция M55 осуществляет открытие защитного ограждения станка. Функция является постфиксной, вступает в силу после отработки кадра.

## 8 Вспомогательные станочные функции (М-функции), специфичные для отдельных видов оборудования

Данный раздел содержит описание М-функций, специфичных для отдельных видов станков разных производителей.

### 8.1 М-функции, специфичные для 5-осевого станка BeaverMill BVR B-110 (изготовитель – «Бивертех»)

#### М-функции включения/выключения систем охлаждения

##### М\_Cool\_AirCool

Характеристика:                    модальные

М7 – СОЖ смыв стружки, [префиксная](#)

М8 – СОЖ охлаждение инструмента, [префиксная](#)

М9 – отключение всех видов СОЖ и охлаждения воздухом (активна по умолчанию), [постфиксная](#)

М10 – охлаждение инструмента воздухом, [префиксная](#)

М708 – М7 + М8 (одновременное включение СОЖ для смыва стружки и охлаждения инструмента), [префиксная](#)

М710 – М7 + М10 (одновременное включение СОЖ для смыва стружки и охлаждения инструмента воздухом), [префиксная](#)

Поскольку все М-функции включения/выключения систем охлаждения модальные и расположены в одной группе, то вызов любой из этих функций отменяет действие предыдущей. В М-векторе (т.е. в области «Активные функции» экрана оператора) отображается активная в данный момент функция.

Функция конца программы (М30), так же как и М9, отключает все системы охлаждения.

#### *Пример:*

```
N10 M7 MSG("Chip-flushing coolant ON -> MVector[M7]")
N20 G04 X3
N30 M8 MSG("Chip-flushing coolant OFF, Tool coolant ON ->
MVector[M8]")
N40 G04 X3
N50 M9 MSG("Tool coolant OFF -> MVector[M9]")
N60 G04 X3
N70 M10 MSG("Air cooling tool ON -> MVector[M10]")
N80 G04 X3
N90 M708 MSG("Chip-flushing coolant ON, Tool coolant ON ->
MVector[M708]")
N100 G04 X3
N110 M710 MSG("Chip-flushing coolant ON, Air cooling tool ON ->
MVector[M710]")
N120 G04 X3
N130 M9 MSG("Chip-flushing coolant OFF, Air cooling tool OFF ->
MVector[M9]")
```

М30

## М-функции включения/выключения системы измерения M\_ProbeSwitch

**Характеристика:**                    **модальные**

M73 – включение системы измерения инструмента, [префиксная](#)

M74 – включение системы измерения детали, [префиксная](#)

M75 – выключение системы измерения (активна по умолчанию), [постфиксная](#)

Все М-функции включения/выключения систем измерения расположены в одной группе, поэтому в М-векторе (т.е. в области «Активные функции» экрана оператора) отображается:

M73 – включена система измерения инструмента;

M74 – включена система измерения детали;

M75 – обе системы измерения выключены.

### **Пример:**

```
N10 M73 MSG("Measure tool ON -> MVector[M73]")
N20 G04 X3
N30 M74 MSG("Measure tool OFF, Measure workpiece ON ->
MVector[M74]")
N40 G04 X3
N50 M73 MSG("Measure workpiece OFF, Measure tool ON ->
MVector[M73]")
N60 G04 X3
N70 M75 MSG("Measure tool OFF -> MVector[M75]")
N80 G04 X3
N90 M74 MSG("Measure workpiece ON -> MVector[M74]")
N100 G04 X3
N110 M73 MSG("Measure workpiece OFF -> MVector[M75]")

M30
```

## М-функции управления зажимом/разжимом осей глобусного стола MSwivelRotaryTable

**Характеристика:**                    **модальные, [префиксные](#)**

M115 – разжим осей поворотного стола (по умолчанию поворотные оси разжаты)

M116 – зажим осей поворотного стола

M120 – зажать ось А

M121 – разжать ось А

M122 – зажать ось С

M123 – разжать ось С

**Внимание!** Зажим поворотных осей не производится, когда эти оси вращаются, например при включенной трансформации TRAORI. Назначение зажима осей – повышение жесткости поворотных осей при выполнении фрезерования для 3+2-осевой обработки.

Все М-функции управления зажимом/разжимом осей глобусного стола располагаются в одной группе, т.к. M115 и M116 управляют зажимом/разжимом обеих осей глобусного стола. В связи с этим в М-векторе (т.е. в области «Активные функции» экрана оператора) отображается:

M115 – если все поворотные оси разжаты;  
M120 – если зажата только ось А;  
M122 – если зажата только ось С;  
M116 – если обе поворотные оси зажаты.

Графы в Таблица 8.1: «Активная М» – команда до выполнения текущего кадра УП, «Новая М» – команда, вызываемая в текущем кадре, «Результат М» – отображение в М-векторе после выполнения текущего кадра.

**Таблица 8.1 – Возможные комбинации активных и новых команд зажима/разжима поворотных осей**

| №   | Активная М   |                   | Новая М |                   | Результат М |                   |
|-----|--|-------------------|---------|-------------------|-------------|-------------------|
| 1.  | M115   | Разжаты оси А и С | M116    | Зажать оси А и С  | M116        | Зажаты оси А и С  |
| 2.  | M120   | Зажата ось А      |         |                   |             |                   |
| 3.  | M122   | Зажата ось С      |         |                   |             |                   |
| 4.  | M120   | Зажата ось А      | M122    | Зажать ось С      | M115        | Разжаты оси А и С |
| 5.  | M122   | Зажата ось С      | M120    | Зажать ось А      |             |                   |
| 6.  | M116   | Зажаты оси А и С  | M115    | Разжать оси А и С |             |                   |
| 7.  | M120   | Зажата ось А      |         |                   |             |                   |
| 8.  | M122   | Зажата ось С      |         |                   |             |                   |
| 9.  | M120   | Зажата ось А      | M121    | Разжать ось А     | M120        | Зажата ось А      |
| 10. | M122   | Зажата ось С      | M123    | Разжать ось С     |             |                   |
| 11. | M115   | Разжаты оси А и С | M120    | Зажать ось А      | M120        | Зажата ось А      |
| 12. |  |                   | M122    | Зажать ось С      | M122        | Зажата ось С      |
| 13. | Остальные комбинации бессмысленны и приводят к генерации предупреждения на экране оператора. |                   |         |                   |             |                   |

**Пример:**

```

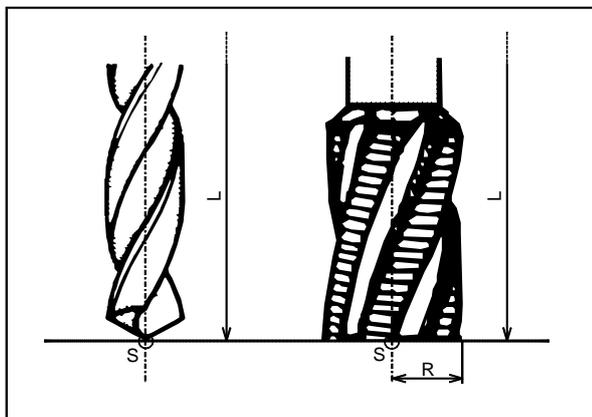
N10 M116 MSG("Clamp axes 'A' and 'C' -> MVector[M116]")
N20 G04 X4
N30 M121 MSG("Unclamp axis 'A' -> MVector[M122]")
N40 G04 X4
N50 M123 MSG("Unclamp axis 'C' -> MVector[M115]")
N60 G04 X4
N70 M120 MSG("Clamp axis 'A' -> MVector[M120]")
N80 G04 X4
N90 M122 MSG("Clamp axis 'C' -> MVector[M116]")

M30

```

## 9 Компенсация размеров инструмента

Режущие инструменты имеют геометрические параметры (размер вылета, длина, радиус), которые должны быть приняты во внимание при расчете перемещений. Центр инструмента ( $s$ ) (Рисунок 9.1) – это точка, для которой, как правило, задается траектория в управляющей программе.



*Рисунок 9.1 – Параметры инструмента*

Так как положение центра режущей кромки в пространстве зависит от размеров инструмента, система ЧПУ должна компенсировать эти размеры при задании движений.

Для осуществления компенсации система управления располагает таблицей инструментов, в которой сохраняются значения длин и радиусов. При выборе инструмента система управления автоматически учитывает его параметры, извлекая их из памяти.

У инструмента, определенного в таблице системы ЧПУ, может быть от 1 до 4 режущих кромок. Физически эти кромки могут и не существовать, так как они являются только логическими ячейками параметров, позволяющими хранить и использовать несколько значений коррекции для одного инструмента. С их помощью в управляющей программе можно задавать разные величины коррекций, не меняя инструмент. Для этого используется адрес D (см. раздел 7.7).

### 9.1 Компенсация длины инструмента

У резцов центр инструмента располагается обычно на их вершинах либо в центре скругления вершины, а у фрез — в точке пересечения оси инструмента с его торцевой плоскостью. Функция компенсации длины инструмента делает возможным программирование контура обработки без учета размеров инструмента, который будет реально использоваться. То есть программируемая траектория инструмента не зависит от длины инструмента. Длина инструмента учитывается системой ЧПУ при активизации функции компенсации длины, что необходимо, в частности, при перемещениях инструмента, при подводе инструмента к контуру и при обработке детали. Это удобно, так как не требуется перерасчет траектории инструмента в случае применения инструментов разных размеров, кроме того данная функция позволяет компенсировать величину износа инструмента.

### 9.1.1 Геометрический смысл величин коррекции

В общем случае инструменту могут быть заданы три параметра длины ( $L_1, L_2, L_3$ ), определяющие его смещение по трем осям декартовой системы координат станка. Привязка каждого параметра к конкретной оси СКС зависит от типа инструмента и текущей рабочей плоскости, выбираемой функциями G17, G18, G19 (но при активной G45 выбор плоскости не влияет на привязку величин).

Длины указываются в таблице инструментов вместе со значениями износа (см. «Руководство оператора», раздел «Управление инструментами»).

Длина инструмента, как правило, отсчитывается относительно базовой поверхности узла крепления. Эта базовая поверхность считается инструментом нулевой длины (Рисунок 9.2).

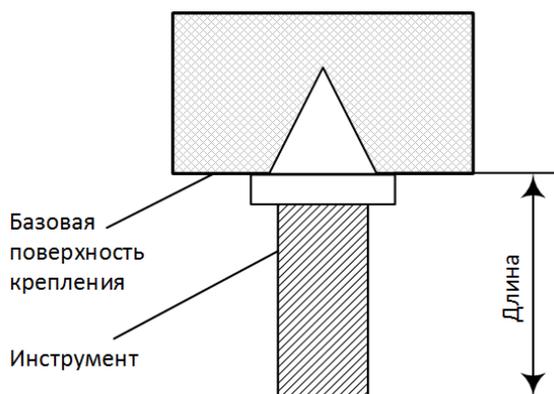


Рисунок 9.2 – Пример отсчета длины инструмента

Величина компенсации определяется собственно длиной и коррекцией на износ следующим образом:

$$C_1 = L_1 + DL_1,$$

$$C_2 = L_2 + DL_2,$$

$$C_3 = L_3 + DL_3,$$

где  $C_{(1,2,3)}$  – величины компенсаций по осям,  $L_{(1,2,3)}$  – длины инструментов,  $DL_{(1,2,3)}$  – величины коррекций на износ.

Величины компенсаций  $C_1 - C_3$  определяют смещения целевых координат в положительных направлениях декартовых осей СКС (или отрицательных, если активна функция G44).

Зависимости привязки линейных размеров к декартовым осям СКС от типа инструмента и выбранной плоскости описаны ниже.

Таблица 9.1 – Фрезерный, сверлильный и специальный инструмент

| Выбранная плоскость | Привязка размеров инструмента к осям |
|---------------------|--------------------------------------|
| G17                 | L1 по Z<br>L2 по Y<br>L3 по X        |
| G18                 | L1 по Y<br>L2 по X<br>L3 по Z        |

| Выбранная плоскость | Привязка размеров инструмента к осям |
|---------------------|--------------------------------------|
| G19                 | L1 по X<br>L2 по Z<br>L3 по Y        |

**Таблица 9.2 – Токарный и шлифовальный инструмент**

| Выбранная плоскость | Привязка размеров инструмента к осям |
|---------------------|--------------------------------------|
| G17                 | L1 по Y<br>L2 по X<br>L3 по Z        |
| G18                 | L1 по X<br>L2 по Z<br>L3 по Y        |
| G19                 | L1 по Z<br>L2 по Y<br>L3 по X        |

Таблицы соответствуют коррекциям, применяемым при активной функции G43. При активной функции G44 величины коррекций инвертируются. Функция G45 позволяет указать вариант направления коррекции независимо от выбора рабочей плоскости.

О геометрическом смысле параметров каждого типа инструмента см. «Руководство оператора», раздел «Управление инструментами».

### **9.1.2 Функции компенсации длины инструмента и указания базовой ориентации G43, G44, G45, G49**

**Подготовительные функции: G43, G44, G45, G49**

**Характеристика: модальные**

Функции G43, G44 и G45 включают коррекцию инструмента. При этом они имеют более широкий смысл, а именно, указывают, как инструмент направлен при базовом положении кинематики станка.

Отключение компенсации длины инструмента производится активацией функции G49. Функция G49 активна по умолчанию (т.е. при старте системы ЧПУ компенсация отключена).

Прекратить действие компенсации можно также выбором нулевого инструмента (T0 M6) или нулевого D-корректора (M6 D0). Однако в этом случае активная функция G43–G45 не выключается, и при выборе нового инструмента с ненулевыми размерами и ненулевого корректора компенсация будет действовать.

Рассмотрим простейший пример для сверла, имеющего длину L1=20 мм.

**Пример 9.1:**

```
G17 G90 G15 G191 G71 G72 G172 G272 G94 G97 G49 G40 G00 G80 G98
G53 G153 G193 G64 BRISK CUT2DF ORIAxes // Строка безопасности

N10 G17 // Смена рабочей плоскости
N20 G01 X0 Y0 Z0 F200 // Позиционирование в точку X0 Y0 Z0
N30 T1 M06 // Выбран инструмент №1 длиной 20 мм
N40 G43 X0 Y0 Z0 // Включение компенсации и движение в точку X0 Y0
Z20
```

```

N50 G18          // Смена рабочей плоскости
N60 X0 Y0 Z0    // Z вернется в 0, а Y в +20 мм, так как
                // плоскость сменилась
N70 G19          // Смена рабочей плоскости
N80 G01 X0 Y0 Z0 F200 // Позиционирование в точку X20 Y0 Z0
N90 G44          // Включение отрицательной компенсации
N100 G01 X0 Y0 Z0 F200 // Позиционирование в точку X-20 Y0 Z0
N110 G49         // Отмена компенсации
N120 G01 X0 Y0 Z0 F200 // Позиционирование в точку X0 Y0 Z0
N130 M30

```

В каждом кадре перемещения указаны нулевые координаты, но из-за наличия инструмента ненулевой длины физические позиции осей принимают значения, определяемые размерами инструмента и текущей рабочей плоскостью. Система ЧПУ обеспечивает смещение координат при движении таким образом, чтобы режущая кромка находилась в запрограммированной точке траектории.

**Примечание.** Чтобы коррекция на длину была активной, помимо вызова G43/G44/G45 требуется, чтобы инструмент был выбран, а текущий корректор D был отличен от нуля. В противном случае величины коррекции будут нулевыми, а инструмент будет считаться направленным вдоль оси Z СКС.

Функцию G44 следует использовать с осторожностью, так как компенсация при активной G44 работает в обратную сторону относительно положительной компенсации G43 (величины L1, L2, L3 берутся с отрицательным знаком).

Функция G45 предназначена для явного указания плоскости, которой соответствует коррекция длины. Номер плоскости указывается адресом L. Если функция G45 активна, смена плоскости не будет приводить к смене привязки значений L1-L3 к геометрическим осям. Таким образом, с помощью функции G45 можно независимо друг от друга указывать базовое направление инструмента и рабочую плоскость для программирования окружностей. Пример (считаем, что выбран фрезерный инструмент):

### **Пример 9.2:**

```

G17 G90 G15 G191 G71 G72 G172 G272 G94 G97 G49 G40 G00 G80 G98
G53 G153 G193 G64 BRISK CUT2DF ORIAXES // Строка безопасности

N10 G45 L17      //Коррекция всегда для G17 (инструмент вдоль Z)
N20 G18          // Смена рабочей плоскости
N30 T1 M06       // Выбран инструмент №1 длиной 20 мм
N40 G01 X0 Y0 Z0 F200 // Позиционирование в точку X0 Y0 Z0
N50 G02 I30 X60 //Полуокружность в плоскости ZX
N60 M30

```

Здесь производится обход полуокружности в плоскости ZX инструментом, направленным вдоль оси Z (что достигается вызовом функции G45 с параметром L17).

В качестве значения L используются следующие: 17, 18, 19, -17, -18, -19. Любое другое указанное в программе значение будет автоматически сброшено в 17. Значение соответствует номеру эффективной рабочей плоскости. Отрицательные значения равнозначны выбору плоскости с отрицательной коррекцией (т.е. L-18 равнозначно коррекции G44 с выбором плоскости G18).

**Примечание.** Выбор функции G43–G45 не оказывает влияние на выбор плоскости двумерной коррекции радиуса (функции G41–G42). Плоскость коррекции радиуса в любом случае определяется активной функцией G17–G19, даже если активна G45. Но работа трехмерной коррекции радиуса, как и других функций поддержки

многокоординатной обработки, зависит от функций группы G43–G45, так как они меняют логическую ориентацию инструмента (см. дополнительно раздел 12.1).

## **9.2 Компенсация радиуса инструмента G40, G41, G42, G143, G144**

### **Подготовительные функции: G40, G41, G42, G143, G144**

**Характеристика:** **модальные**

В управляющей программе чаще всего задаются только контуры деталей. В этом случае по умолчанию траектория движения, рассчитанного системой ЧПУ, описывается центром инструмента. Чтобы правильно обработать контур и учесть размеры инструмента, расчет траектории может осуществляться системой управления с учетом радиуса инструмента.

У резцов центр располагается обычно на их вершинах либо в центре скругления вершины, а у фрез всех видов – в точке пересечения оси инструмента с его торцовой плоскостью. При обработке заготовки с включенной коррекцией радиуса центр инструмента перемещается по эквидистанте, т. е. линии или поверхности, отстоящей от обрабатываемой поверхности на постоянную величину, определяемую как радиус инструмента.

### **Важно для компенсации радиуса при фрезеровании**

Запрограммированный радиус (G02/G03), меньший диаметра фрезы, не может быть скомпенсирован.

Упомянутые условия сохраняют свою силу, когда компенсация включается или выключается. Всего существует 5 подготовительных функций для компенсации радиуса инструмента.

### **Примечания**

- 1) Вход в эквидистантный контур и выход из него должен быть запрограммирован в кадре линейного перемещения.
- 2) При входе и выходе из эквидистантного контура расстояние до контура детали должно быть больше радиуса инструмента.

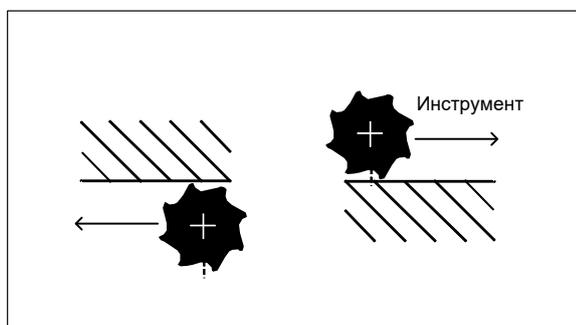
### **G40**

Отключение функций компенсации радиуса инструмента G41, G42, G143, G144. Все запрограммированные перемещения отнесены к центру инструмента. Эта функция активна по умолчанию при пуске программы. В конце управляющей программы необходимо обязательно использовать команду G40 для отключения функций G41, G42.

Прекратить действие компенсации можно также выбором нулевого инструмента (T0 M6) или нулевого D-корректора (M6 D0). Однако в этом случае активная функция компенсации не выключается, и при выборе нового инструмента с ненулевыми размерами и ненулевого корректора компенсация будет вновь действовать.

### **G41**

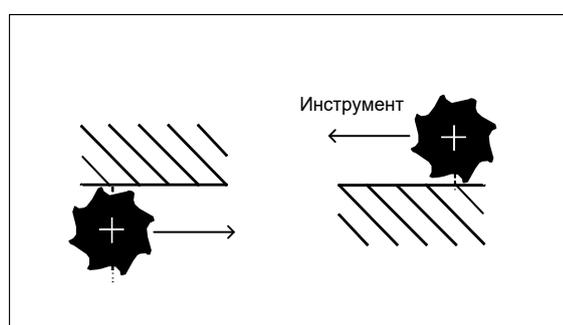
Компенсация радиуса инструмента осуществляется слева от контура детали. При этом смотреть нужно в направлении движения инструмента.



*Рисунок 9.3 – Компенсация радиуса инструмента слева от контура*

## G42

Компенсация радиуса инструмента осуществляется справа от контура детали. При этом нужно смотреть в направлении движения инструмента.



*Рисунок 9.4 – Компенсация радиуса инструмента справа от контура*

Компенсация действует в заранее выбранной плоскости (G17–G19).

### Примечание для функций G41/G42

Знак радиуса в таблице инструментов должен быть положительным (при определении скорректированного положения).

После выбора способа компенсации (G41/G42) в данном или следующем кадре должны быть запрограммированы функции G00 или G01. Только после обработки этих функций реализуется компенсация в выбранной плоскости.

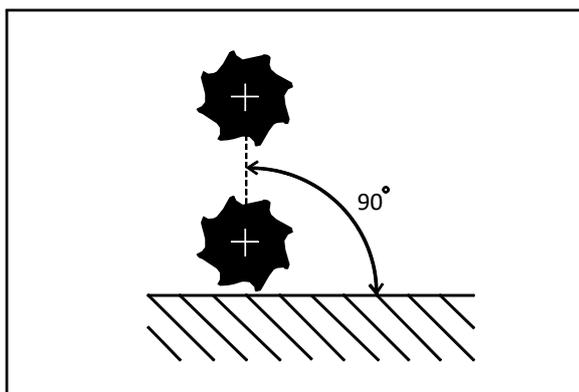
При включенной компенсации не могут быть выполнены следующие команды:

- Вызов нового номера инструмента со своим радиусом (слово с адресом T).
- Не должно быть переключений между G41 (компенсация слева) и G42 (компенсация справа). Изменение направления компенсации должно быть выполнено через промежуточную инструкцию G40.
- Нельзя изменять плоскость компенсации (G17/G18/G19). Перед изменением плоскости компенсация радиуса должна быть выключена.
- В течение компенсации нельзя программировать смещение нулевой точки (G53–G59, G153–G159, G194, G195).

## G143

Компенсация радиуса инструмента при подводе до касания снаружи. Инструмент перемещается линейно из исходного положения к запрограммированной конечной точке. Центр инструмента смещается на радиус перед запрограммированной конечной точкой.

Эту функцию используют для подвода к контуру, который должен быть скомпенсирован. Условия компенсации радиуса инструмента могут быть изменены функциями G40, G41 и G42.

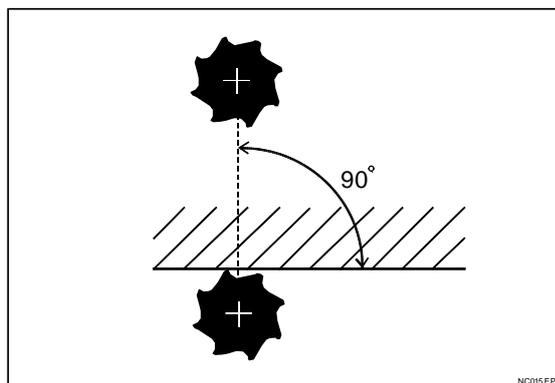


*Рисунок 9.5 – Коррекция при подводе до касания снаружи (G143)*

## G144

Компенсация радиуса инструмента при подводе до касания изнутри. Инструмент перемещается линейно из текущей позиции в запрограммированную конечную точку. Центр инструмента смещается на радиус позади запрограммированной конечной точки.

Эту функцию используют для подвода к контуру, который должен быть скомпенсирован. Условия работы могут быть изменены функциями G40, G41 и G42.



*Рисунок 9.6 – Коррекция при подводе до касания изнутри (G144)*

## Примечание для функций G143/G144

Знак радиуса в таблице инструментов должен быть положительным (при определении скорректированного положения).

После выбора способа компенсации (G143/G144) в данном или следующем кадре должны быть запрограммированы функции G00 или G01. Только после обработки этих функций реализуется компенсация в выбранной плоскости.

При активной функции G144 только кадры, содержащие линейные движения (G00/G01), могут быть запрограммированы. Программирование окружности или дуги окружности (G02/G03) не допускается.

При включенной компенсации не могут быть выполнены следующие команды:

- Вызов нового номера инструмента со своим радиусом (слово с адресом T).
- Нельзя изменять плоскость компенсации (G17/G18/G19). Перед изменением плоскости компенсация радиуса должна быть выключена.

В течение компенсации нельзя запрограммировать смещение нулевой точки (G53–G59, G153–G159, G194, G195).

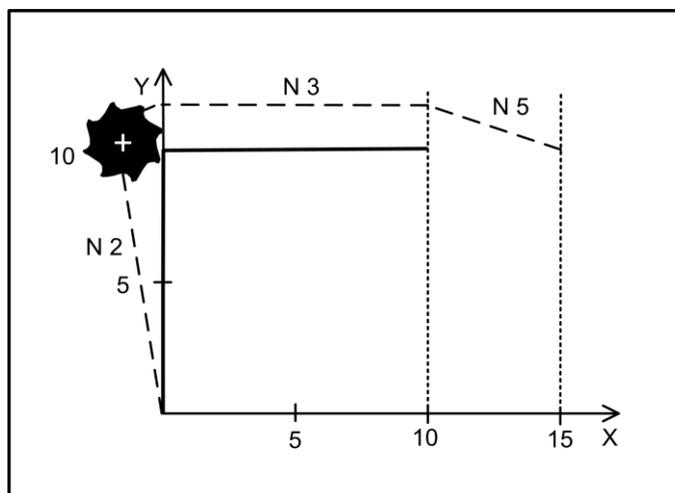
**Внимание!** Чтобы коррекция на радиус была активной, помимо вызова функций G41/G42 или G143/G144 требуется, чтобы инструмент был выбран, а текущий корректор D был отличен от нуля. В противном случае будет использован нулевой радиус инструмента.

## 9.2.1 Выбор и отмена компенсации радиуса инструмента

*Примеры выбора компенсации:*

Выбор вида компенсации радиуса осуществляется с помощью функций G41, G42, G143, G144.

*Пример 9.3 (Фрезерная обработка):*



*Рисунок 9.7 – Переход к эквидистантному контуру*

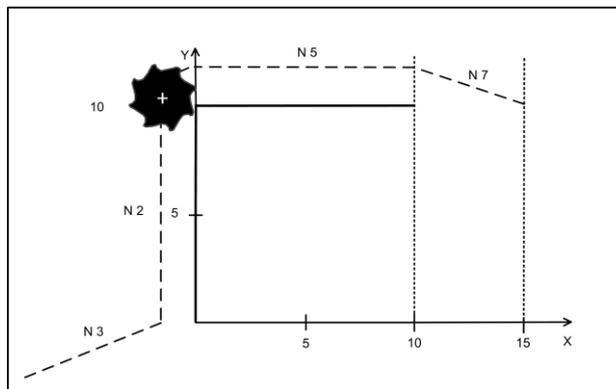
```
G17 G90 G15 G191 G71 G72 G172 G272 G94 G97 G49 G40 G00 G80 G98  
G53 G153 G193 G64 BRISK CUT2DF ORIAXES // Строка безопасности
```

```
N1 T01 M06 F200  
N2 G41 G01 Y10  
N3 X10  
N4 G40 X15  
N5 M30
```

**Пояснения:**

- N1 Выбор инструмента с типом его смены и плоскости коррекции (плоскость не указывается, т.к. команда G17 активна по умолчанию)
- N2 Выбор компенсации радиуса слева от контура детали, к концу этого кадра инструмент выходит на эквидистантную траекторию
- N3 Инструмент перемещается слева от контура
- N4 Отключение компенсации радиуса инструмента, к концу этого кадра инструмент выходит с эквидистантной траектории
- N5 Конец управляющей программы

**Пример 9.4 (Фрезерная обработка):**



**Рисунок 9.8 – Переход к эквидистантному контуру вне контура детали**

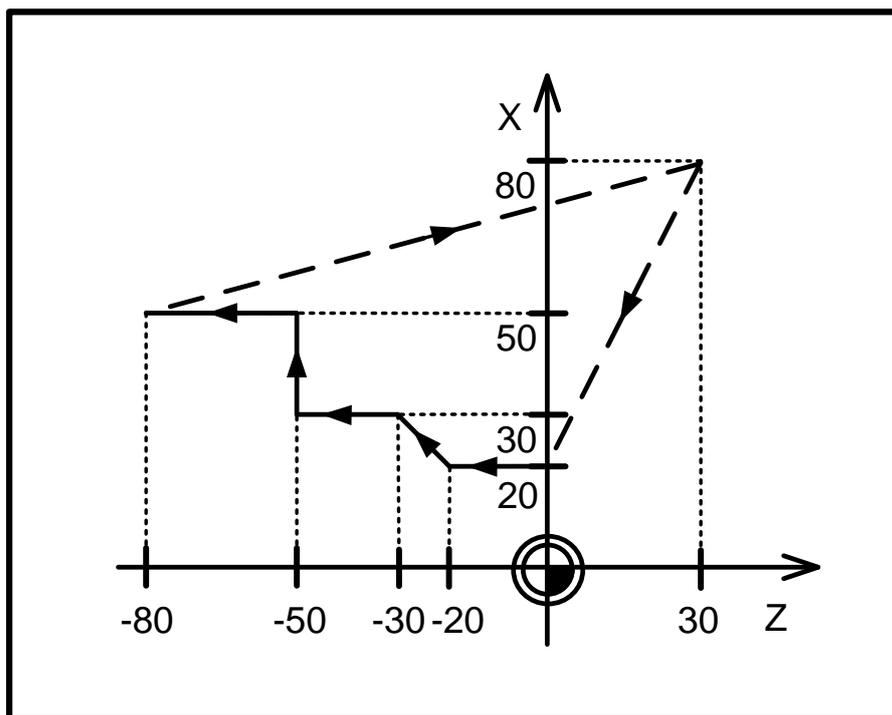
```
G17 G90 G15 G191 G71 G72 G172 G272 G94 G97 G49 G40 G00 G80 G98  
G53 G153 G193 G64 BRISK CUT2DF ORIAXES // Строка безопасности
```

```
N1 T1 M06  
N2 G01 X-10 Y-5 F200  
N3 G41 X0 Y0  
N4 Y10  
N5 X10  
N6 G40 X15  
N7 M30
```

**Пояснения:**

- N1 Выбор инструмента с типом его смены и плоскости коррекции (плоскость не указывается, т.к. команда G17 активна по умолчанию)
- N2 Перемещение в промежуточную точку вне контура
- N3 Выбор компенсации радиуса слева от контура детали, к концу этого кадра инструмент выходит на эквидистантную траекторию
- N4 Инструмент перемещается слева от контура
- N5 Инструмент перемещается слева от контура
- N6 Отключение компенсации радиуса инструмента, к концу этого кадра инструмент выходит с эквидистантной траектории
- N7 Конец управляющей программы

**Пример 9.5 (Токарная обработка):**



**Рисунок 9.9 – Переход к эквидистантному контуру вне контура детали при токарной обработке**

```
G18 G90 G15 G191 G71 G72 G172 G272 G94 G97 G49 G40 G00 G80 G98  
G53 G153 G193 G64 BRISK CUT2DF // Строка безопасности (токарная  
обработка)
```

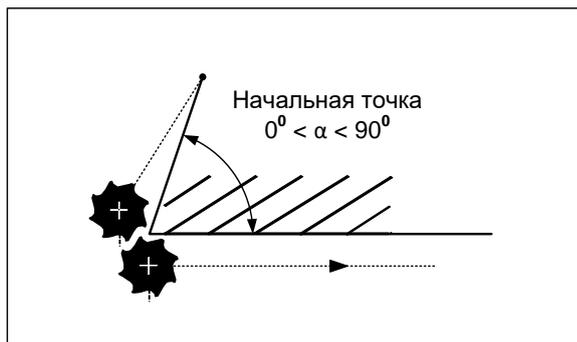
```
N5 T1 M06  
N10 G18 S1000 M03  
N20 G00 X80 Z30  
N30 G42 X20 Z1  
N40 G01 Z-20 F500  
N50 X30 Z-30  
N60 Z-50  
N70 X50  
N80 Z-80  
N90 G00 G40 X80 Z30  
N100 M30
```

**Пояснения**

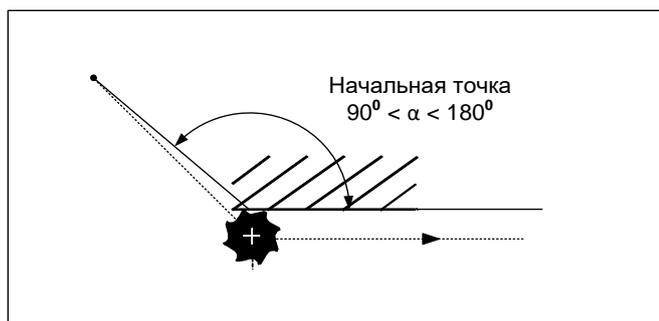
- N20 Инструмент ускоренно перемещается в точку (30,80)
- N30 Включение коррекции инструмента справа от контура детали и подход к точке (1,20) – в конце кадра перемещения инструмент скорректирован
- N40 – N80 Обработка контура
- N90 Отвод инструмента в безопасную точку (30,80) с выключением функции коррекции инструмента

Следующие примеры демонстрируют выход на эквидистантную траекторию под углом. Примеры даны для функции G42. Если в программе задана функция G41, то нужно принять во внимание  $\beta$ , вычисляемую уравнением:

$$\beta = 360 - \alpha$$

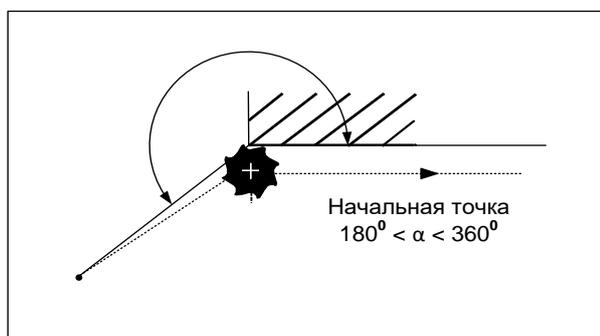


*Рисунок 9.10 – Вход на эквидистантную траекторию под углом ( $\alpha < 90^\circ$ )*



*Рисунок 9.11 – Вход на эквидистантную траекторию под углом ( $90^\circ < \alpha < 180^\circ$ )*

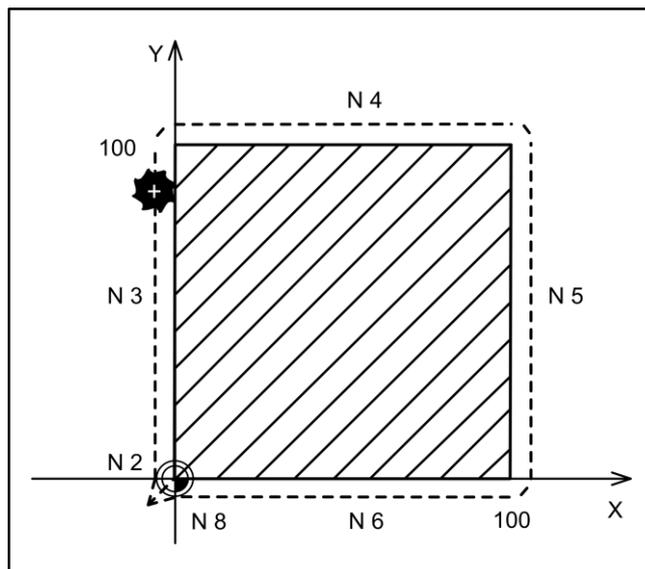
Для обеспечения выхода на эквидистантный участок система управления вставляет круговой контур.



*Рисунок 9.12 – Вход на эквидистантную траекторию под углом ( $180^\circ < \alpha < 360^\circ$ )*

Выход на эквидистантную траекторию не требует включения дополнительных перемещений.

**Пример 9.6 (Фрезерная обработка):**



**Рисунок 9.13 – Пример обхода контура с включенной компенсацией радиуса инструмента**

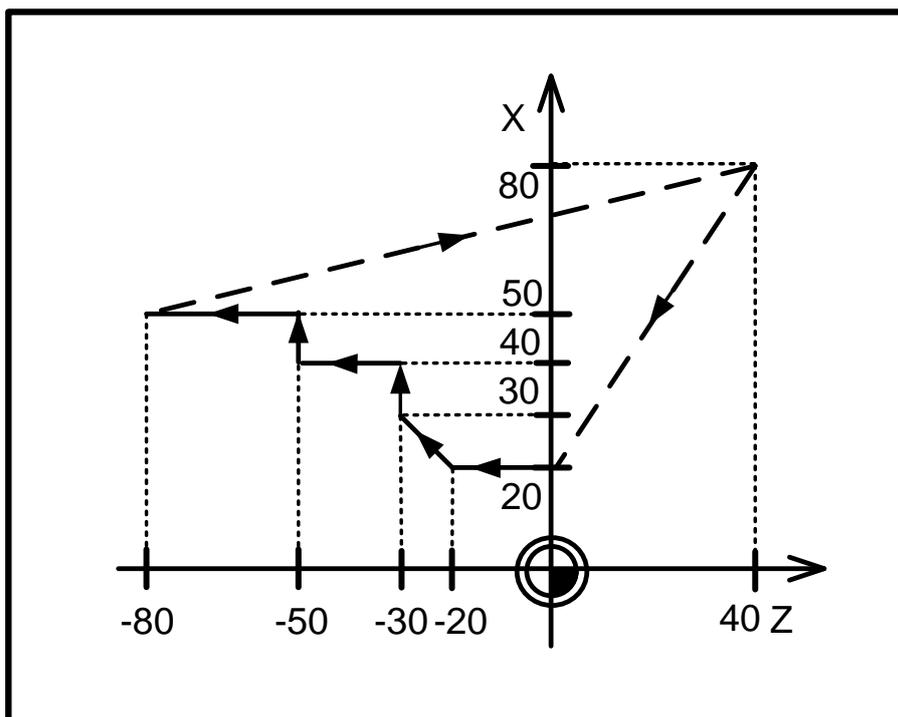
```
G17 G90 G15 G191 G71 G72 G172 G272 G94 G97 G49 G40 G00 G80 G98  
G53 G153 G193 G64 BRISK CUT2DF ORIAXES // Строка безопасности
```

```
N1 G90 T1 M06 X-10 Y-10  
N2 G41 G01 X0 Y0 F1000  
N3 X0 Y100  
N4 X100 Y100  
N5 X100 Y0  
N6 X0 Y0  
N7 G40 X-10 Y-10  
N8 M30
```

**Пояснения:**

- N1 Выбор инструмента с типом его смены и плоскости коррекции (плоскость не указывается, т.к. команда G17 активна по умолчанию), перемещение в промежуточную точку вне контура
- N2 Выбор компенсации радиуса слева от контура детали, к концу этого кадра инструмент выходит на эквидистантную траекторию
- N3 Инструмент перемещается слева от контура
- N4 Инструмент перемещается слева от контура
- N5 Инструмент перемещается слева от контура
- N6 Инструмент перемещается слева от контура
- N7 Отключение компенсации радиуса инструмента, к концу этого кадра инструмент выходит с эквидистантной траектории
- N8 Конец управляющей программы

**Пример 9.7 (Токарная обработка):**



**Рисунок 9.14 – Обработка контура с эквидистантной коррекцией при токарной обработке**

```
G18 G90 G15 G191 G71 G72 G172 G272 G94 G97 G49 G40 G00 G80 G98  
G53 G153 G193 G64 BRISK CUT2DF // Строка безопасности (токарная  
обработка)
```

```
N5 T1 M06  
N10 G18 S1000 M03  
N20 G00 X80 Z40  
N30 G42 X20 Z1  
N40 G01 Z-20 F500  
N50 X30 Z-30  
N60 X40  
N70 Z-50  
N80 X50  
N90 Z-80  
N100 G00 G40 X80 Z40  
N110 M30
```

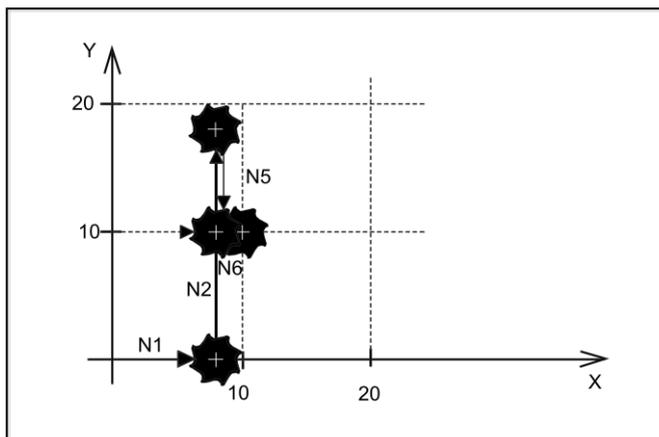
**Пояснения**

- N20 Инструмент ускоренно перемещается в точку (30,80)
- N30 Включение коррекции инструмента справа от контура детали и подход к точке (1,20) – в конце кадра перемещения инструмент скорректирован
- N40 – N80 Обработка контура
- N90 Отвод инструмента в безопасную точку (30,80) с выключением функции коррекции инструмента

**Примеры отмены коррекции:**

Отмена коррекции радиуса осуществляется функцией G40.

**Пример 9.8:**



**Рисунок 9.15 – Пример отмены коррекции радиуса функцией G40**

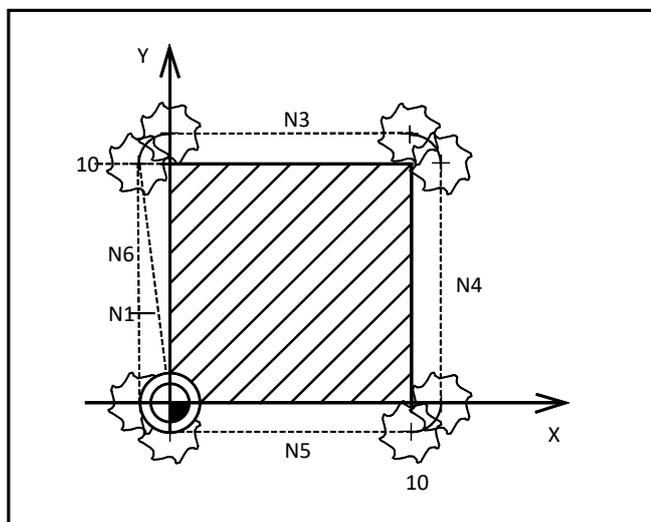
```
G17 G90 G15 G191 G71 G72 G172 G272 G94 G97 G49 G40 G00 G80 G98  
G53 G153 G193 G64 BRISK CUT2DF ORIAXES // Строка безопасности
```

```
N1 G143 G01 X10 F500  
N2 Y20  
N3 G40 Z-10  
N5 Y10  
N6 X10  
N7 M30
```

**Пояснения:**

- N1 Подвод к контуру по оси X, коррекция активна
- N2 Подвод к контуру по оси Y, коррекция активна
- N3 Отмена функции G143, перемещение по оси Z на -10мм
- N5 В конце кадра центр инструмента окажется в точке Y = 10 мм (по оси X коррекция сохраняется)
- N6 В конце кадра центр инструмента окажется в точке X = 10 мм

**Пример 9.9:**



**Рисунок 9.16 – Пример отмены коррекции радиуса функцией G40**

```
G17 G90 G15 G191 G71 G72 G172 G272 G94 G97 G49 G40 G00 G80 G98
G53 G153 G193 G64 BRISK CUT2DF ORIAXES // Строка безопасности
```

```
G00 X0 Y0 ;в начале системы координат
```

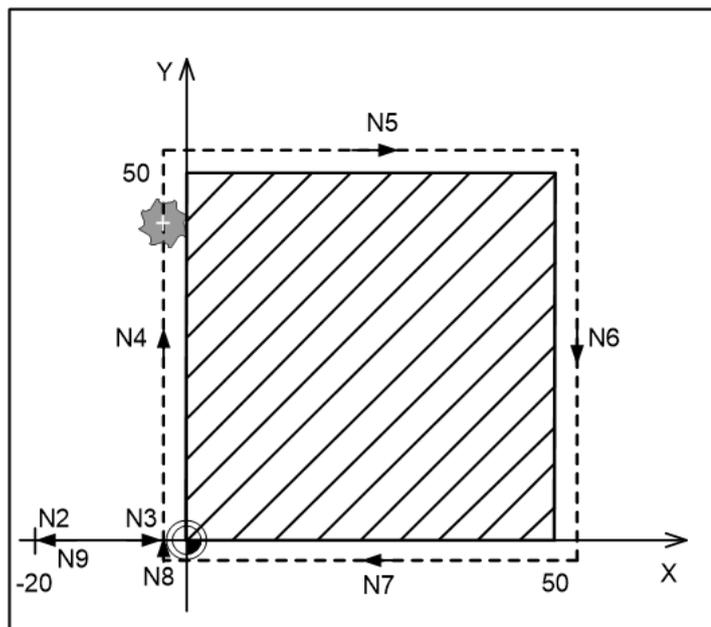
```
N1 G41 G01 Y10 F300
N2 Z-10
N3 X10
N4 Y0
N5 X0
N6 Y10
N7 G40 Z10
N8 X0 Y0
N9 M30
```

**Пояснения:**

- N1 Включение коррекции радиуса и перемещение над контуром, подлежащим коррекции
- N2 Движение по оси Z
- N3-N6 Инструмент перемещается слева от контура детали
- N7 Отмена коррекции, движение по оси Z
- N8 Инструмент перемещается в конечную точку X=0 Y=0

При отмене коррекции радиуса инструмента (G40) в последующих кадрах следует принимать во внимание необходимые движения по оси, которая не находится в плоскости коррекции.

**Пример 9.10:**



**Рисунок 9.17 – Обход квадрата по внешнему контуру с включенной компенсацией радиуса инструмента G143/G144**

```
G17 G90 G15 G191 G71 G72 G172 G272 G94 G97 G49 G40 G00 G80 G98
G53 G153 G193 G64 BRISK CUT2DF ORIAXES // Строка безопасности
```

```
N1 T1 M06
```

```

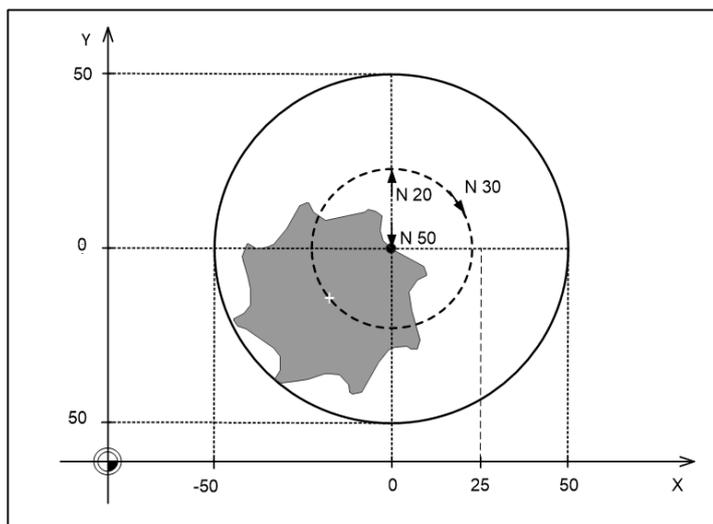
N2 G01 X-20 F1000
N3 G143 X0
N4 G144 Y50
N5 X50
N6 Y0
N7 X0
N8 Y0 G40
N9 X-20
M30

```

**Пояснения:**

N1 Смена инструмента  
N2 Движение по оси X  
N3 Коррекция при подводе до касания снаружи, выход в точки (0, 0) квадрата  
N4-N7 Коррекция при подводе до касания изнутри, обход квадрата  
N8 Отмена коррекции, движение по оси Y в Y=0  
N9 Возврат в начальную точку  
Конец программы

**Пример 9.11:**



**Рисунок 9.18 – Обход полной окружности по внутреннему контуру с включенной компенсацией радиуса инструмента G143**

```

G17 G90 G15 G191 G71 G72 G172 G272 G94 G97 G49 G40 G00 G80 G98
G53 G153 G193 G64 BRISK CUT2DF ORIAXES // Строка безопасности

```

```

N1 T1 M06 G00 X0 Y0
N20 G01 Y50 F1500 G143
N30 G02 X0 Y50 I0 J-50 G42
N40 G143
N50 G00 X0 Y0 G40
M30

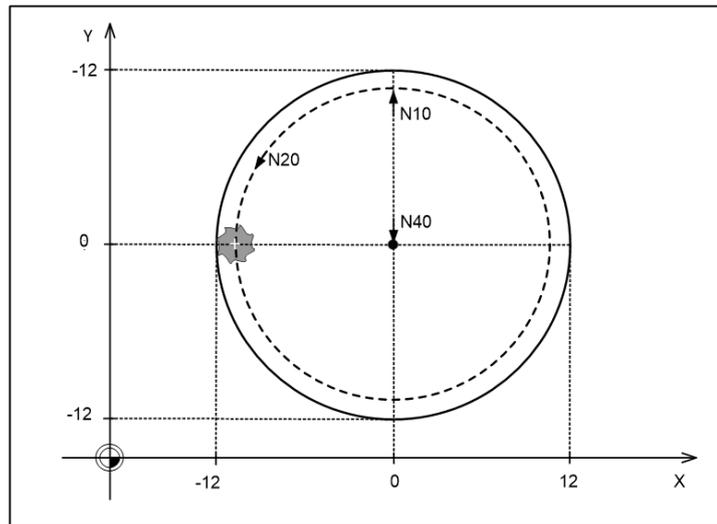
```

**Пояснения:**

Условие – диаметр инструмента должен быть меньше диаметра отверстия.  
N1 Смена инструмента, быстрое перемещение в начало координатной системы  
N20 Коррекция при подводе до касания снаружи, выход в точку (0, 50) окружности  
N30 Полная окружность по часовой стрелке, коррекция справа по контуру

- N40 Смена активной G-функции эквидистантной коррекции (без движения).
- N50 Отмена коррекции, движение по оси Y в Y=0
- Конец программы

**Пример 9.12:**



**Рисунок 9.19 – Расфрезерование отверстия в относительных координатах**

```
G17 G90 G15 G191 G71 G72 G172 G272 G94 G97 G49 G40 G00 G80 G98
G53 G153 G193 G64 BRISK CUT2DF ORIAXES // Строка безопасности
```

```
T1 M6
G0 G90 X0.Y0.
G1Z0.F1500
G91
```

```
N10 G1G143Y15
N20 G3J-15G41
N30 G143
N40 G1G40Y-15
N50 Z-2.
```

```
N110 G1G143Y15
N120 G3J-15G41
N130 G143
N140 G1G40Y-15
N150 Z-2.
```

```
N210 G1G143Y15
N220 G3J-15G41
N230 G143
N240 G1G40Y-15
N250 Z-2.
```

```
N260 M30
```

### Пояснения:

- N10 Коррекция при подводе до касания снаружи, выход в точки (0, 50) окружности
- N20 Полная окружность против часовой стрелки, коррекция слева по контуру
- N30 Смена активной G-функции эквидистантной коррекции (без движения)
- N40 Отмена коррекции, движение по оси Y в центр окружности
- N50 Сдвиг на -2 мм по оси Z
- N110 – N150 и N210 – N250 повторяют кадры N10 – N50 в относительных координатах
- N260 Конец программы

### Пример 9.13:

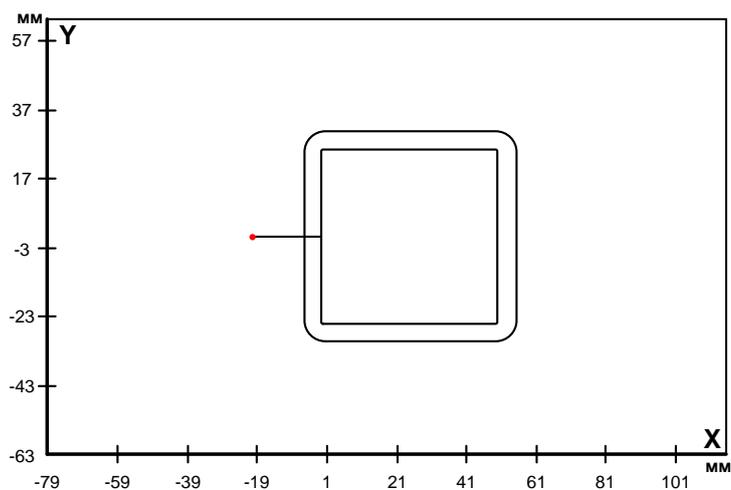


Рисунок 9.20

```
G17 G90 G15 G191 G71 G72 G172 G272 G94 G97 G49 G40 G00 G80 G98  
G53 G153 G193 G64 BRISK CUT2DF ORIAxes // Строка безопасности
```

```
N1 T2 M06 G00 X0 Y0 // T2 - фреза диаметром 10 мм  
N2 G01 X-20 F2000 G91  
N3 X20  
N4 Y25  
N5 X50  
N6 Y-50  
N7 X-50  
N8 Y25  
N9 X-20
```

```
N20 G143 X20  
N21 G41 Y25  
N22 X50  
N23 Y-50  
N24 X-50  
N25 Y25  
N26 G143  
N27 G40 X-20  
M30
```



```
G17 G90 G15 G191 G71 G72 G172 G272 G94 G97 G49 G40 G00 G80 G98  
G53 G153 G193 G64 BRISK CUT2DF ORIAXES // Строка безопасности
```

```
N1 G17 T3 M06  
N2 G00 X40 Y12  
N3 G01 Z-10 F1000  
N4 G143 X52  
N5 G42  
N6 G02 R12 X40 Y0 // Y=0 - необходимо для G02  
N7 G01 X0  
N8 Y60  
N9 X100  
N10 Y0  
N11 X40  
N12 G02 R12 X28 Y12  
N13 G40  
N14 G00 Z50  
M30
```

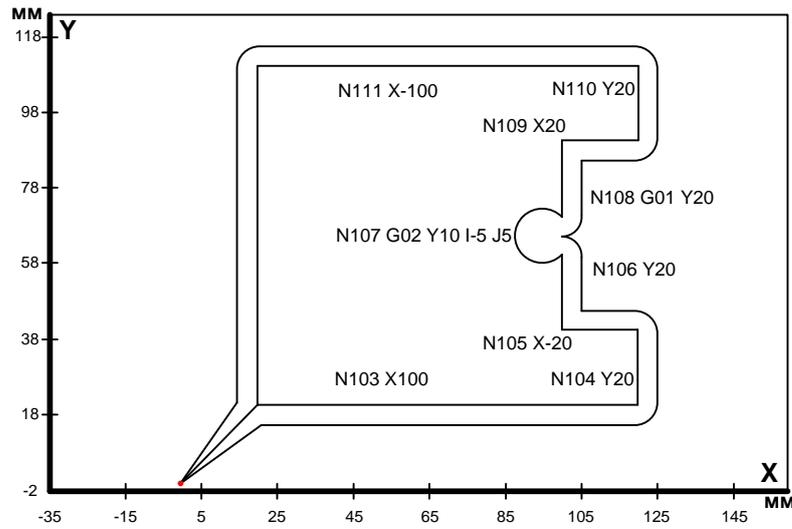
### **Пояснения:**

- N1 Предварительный выбор плоскости X, Y
- N2 Ускоренное перемещение к начальной точке
- N3 Выход инструмента в рабочую плоскость.
- N4 Включение коррекции на радиус инструмента при движении вдоль X
- N5 Подтверждение коррекции при подводе
- N6 Движение инструмента к контуру справа
- N7 Линейная интерполяция по оси X
- N8 Линейная интерполяция по оси Y
- N9 Линейная интерполяция по оси X
- N10 Линейная интерполяция по оси Y
- N11 Линейная интерполяция по оси X
- N12 Круговая интерполяция по часовой стрелке
- N13 Отмена коррекции на радиус
- N14 Выход в безопасную плоскость

### **9.2.2 Примеры обработки «бутылочного горлышка»**

Все примеры обработки «бутылочного горлышка» ориентированы на предельный диаметр инструмента 10 мм.

**Пример 9.16 – Обработка «бутылочного горлышка» при глубине эквидистантной коррекции, равной 3 кадрам:**



**Рисунок 9.23 – Обработка «бутылочного горлышка» при глубине эквидистантной коррекции, равной 3 кадрам, и диаметре фрезы 12 мм**

```
G17 G90 G15 G191 G71 G72 G172 G272 G94 G97 G49 G40 G00 G80 G98
G53 G153 G193 G64 BRISK CUT2DF ORIAXES // Строка безопасности
```

```
N100 M905 N1=3 // установка глубины эквидистантной коррекции,
равной 3 кадрам
```

```
N101 T3 M06 G00 X0 Y0 // T3 – фреза диаметром 12 мм
```

```
N102 G91 G42 G01 X20 Y20 F2000
```

```
N103 X100
```

```
N104 Y20
```

```
N105 X-20
```

```
N106 Y20
```

```
N107 G02 Y10 I-5 J5
```

```
N108 G01 Y20
```

```
N109 X20
```

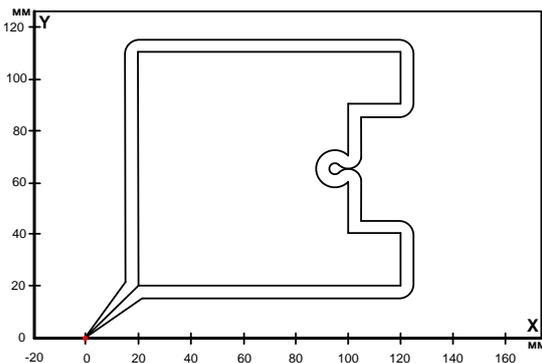
```
N110 Y20
```

```
N111 X-100
```

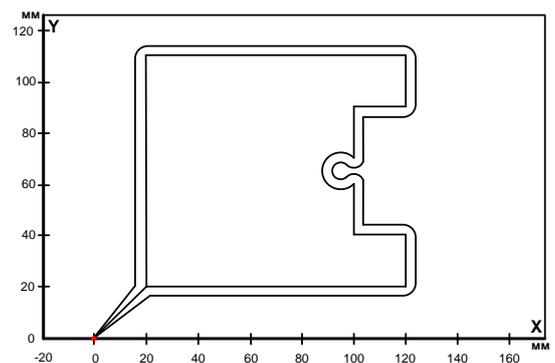
```
N112 Y-90
```

```
N113 G40 X-20 Y-20
```

```
N114 M905 // восстановление значения глубины эквидистантной
коррекции, заданного в машинных параметрах
M30
```



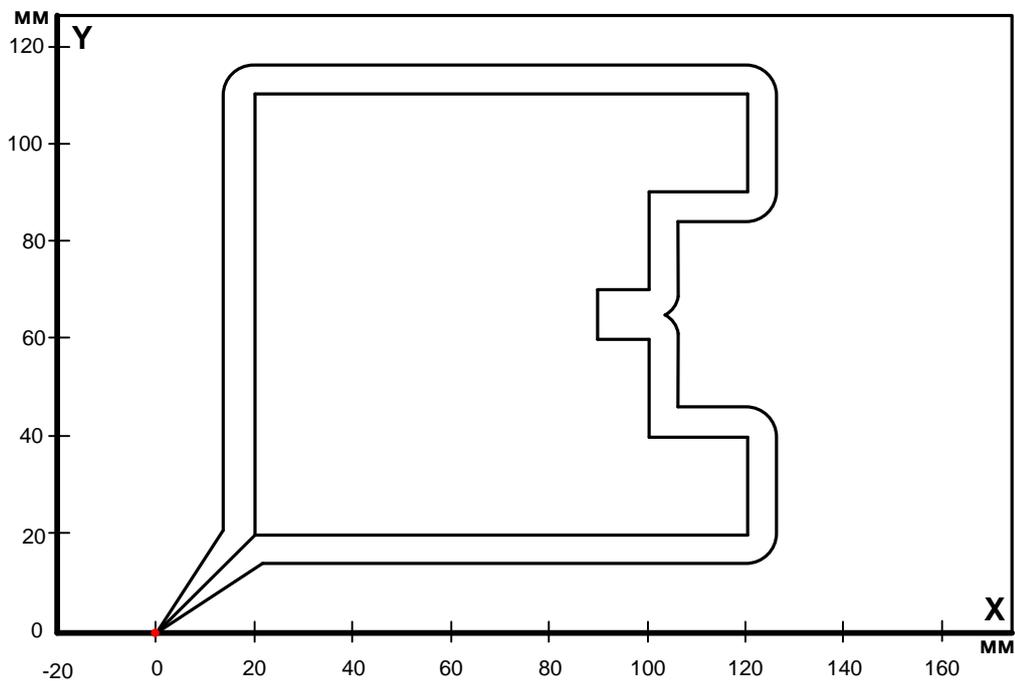
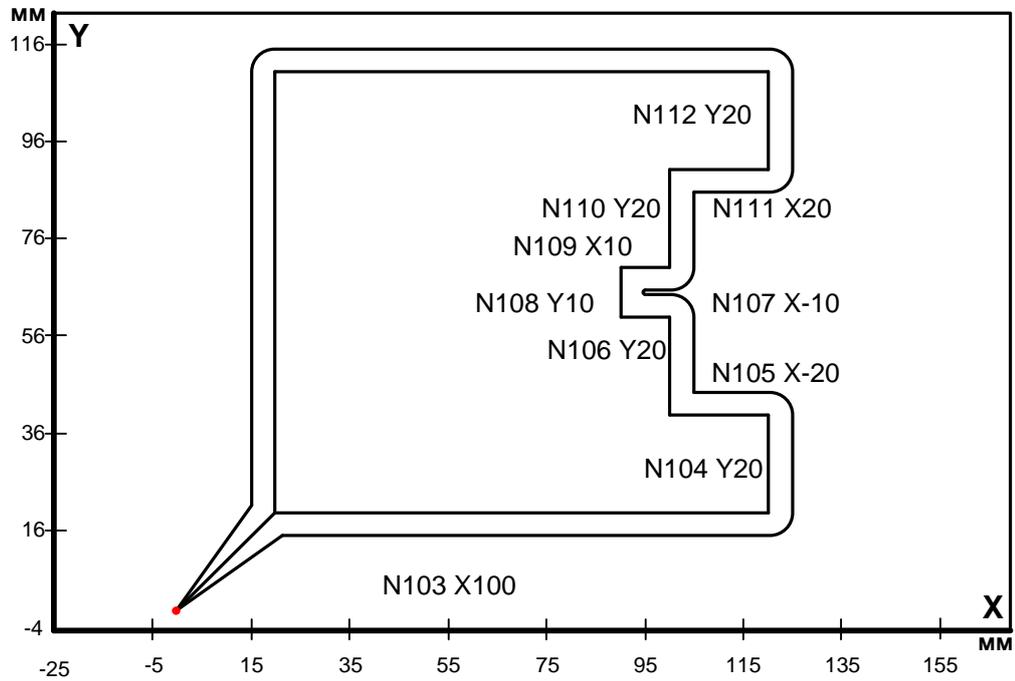
**а) диаметр фрезы 10 мм (Т4)**



**б) диаметр фрезы 8 мм (Т5)**

**Рисунок 9.24 – Обработка «бутылочного горлышка» при глубине эквидистантной коррекции, равной 3 кадрам, и диаметре фрезы, не превышающем 10 мм**

**Пример 9.17 – Обработка «бутылочного горлышка» при глубине эквидистантной коррекции, равной 5 кадрам:**



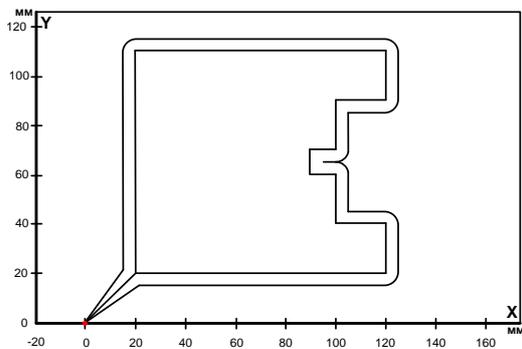
**Рисунок 9.25 – Обработка «бутылочного горлышка» при глубине эквидистантной коррекции, равной 5 кадрам, и диаметре фрезы 12 мм**

G17 G90 G15 G191 G71 G72 G172 G272 G94 G97 G49 G40 G00 G80 G98  
G53 G153 G193 G64 BRISK CUT2DF ORIAxes // Строка безопасности

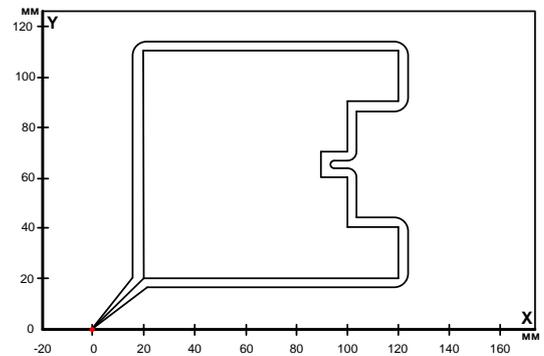
```

N100 M905 H1=5 // установка глубины эквидистантной коррекции,
равной 5 кадрам
N101 T3 M06 G00 X0 Y0 // T3 - фреза диаметром 12 мм
N102 G91 G42 G01 X20 Y20 F2000
N103 X100
N104 Y20
N105 X-20
N106 Y20
N107 X-10
N108 Y10
N109 X10
N110 Y20
N111 X20
N112 Y20
N113 X-100
N114 Y-90
N115 G40 X-20 Y-20
N116 M905 // восстановление значения глубины эквидистантной
коррекции, заданного в машинных параметрах
M30

```



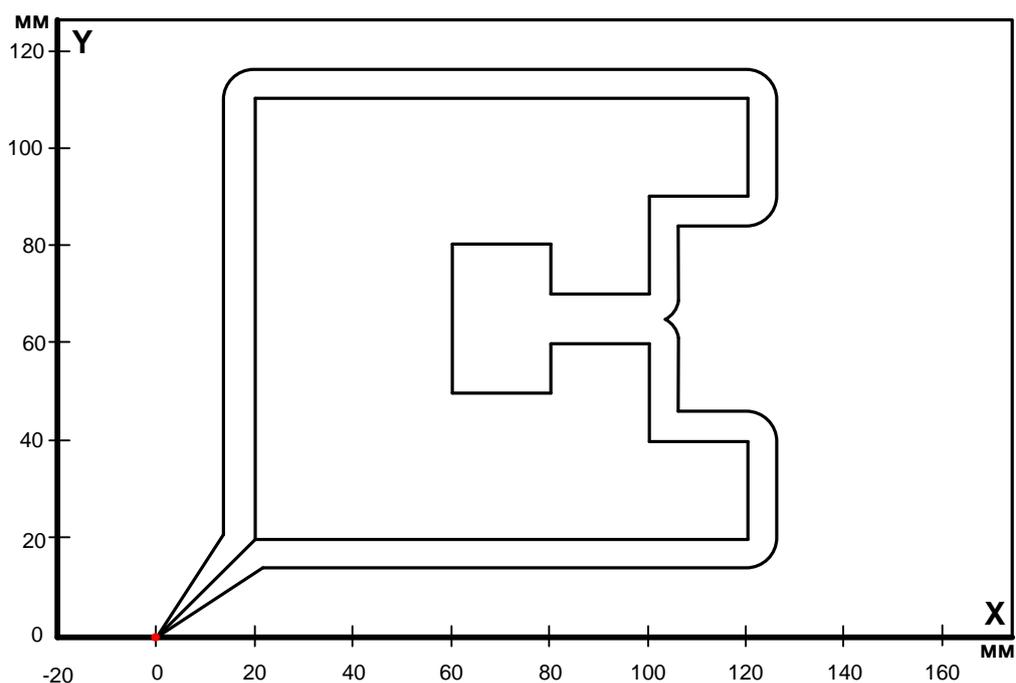
а) диаметр фрезы 10 мм (Т4)



б) диаметр фрезы 8 мм (Т5)

**Рисунок 9.26 – Обработка «бутылочного горлышка» при глубине эквидистантной коррекции, равной 5 кадрам, и диаметре фрезы, не превышающем 10 мм**

**Пример 9.18 – Обработка «бутылочного горлышка» при глубине эквидистантной коррекции, равной 9 кадрам:**



**Рисунок 9.27 – Обработка «бутылочного горлышка» при глубине эквидистантной коррекции, равной 9 кадрам, и диаметре фрезы 12 мм**

```
G17 G90 G15 G191 G71 G72 G172 G272 G94 G97 G49 G40 G00 G80 G98
G53 G153 G193 G64 BRISK CUT2DF ORIAXES // Строка безопасности
```

```
N100 M905 H1=9 // установка глубины эквидистантной коррекции,
равной 9 кадрам
```

```
N101 T3 M06 G00 X0 Y0 // T3 - фреза диаметром 12 мм
```

```
N102 G91 G42 G01 X20 Y20 F2000
```

```
N103 X100
```

```
N104 Y20
```

```
N105 X-20
```

```
N106 Y20
```

```
N107 X-20
```

```
N108 Y-10
```

```
N109 X-20
```

```
N110 Y30
```

```
N111 X20
```

```
N112 Y-10
```

```
N113 X20
```

```
N114 Y20
```

```
N115 X20
```

```
N116 Y20
```

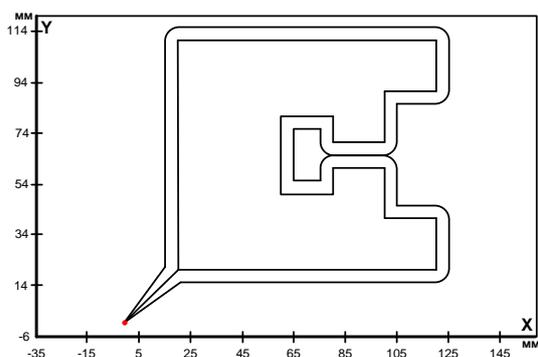
```
N117 X-100
```

```
N118 Y-90
```

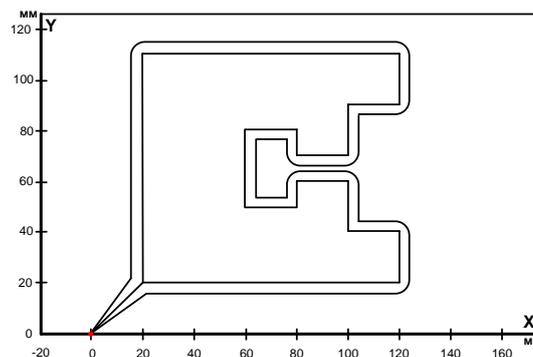
```
N119 G40 X-20 Y-20
```

```
N120 M905 // восстановление значения глубины эквидистантной
коррекции, заданного в машинных параметрах
```

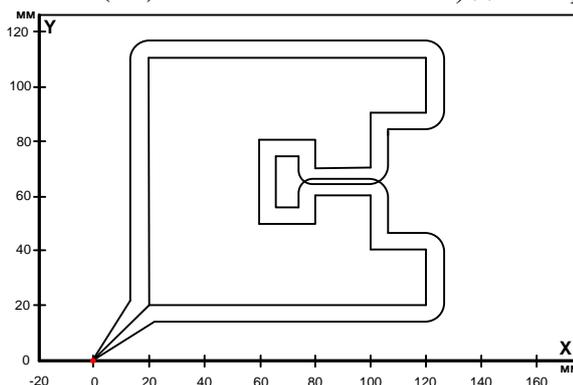
```
M30
```



а) диаметр фрезы 10 мм (Т2)



б) диаметр фрезы 8 мм (Т5)



в) диаметр фрезы 12 мм (Т3)

**Рисунок 9.28 – Зависимость траектории от диаметра фрезы при глубине эквидистантной коррекции 9 кадров**

На Рисунок 9.28 видно, что при диаметре фрезы 12 мм возникает коллизия.

### 9.2.3 Положение (ориентация) резца при токарной обработке

Положение резца описывает положение острия инструмента Р относительно центра резца S. Оно вносится в параметр инструмента «Положение кромки» (er).

Положение резца (параметр инструмента «Положение кромки, er») вместе с радиусом резца необходимо для расчета коррекции на радиус для токарных инструментов.


Авто Готов Канал 1 ПЛК

09.06.2021  
 19:44:07  
 000:00:00

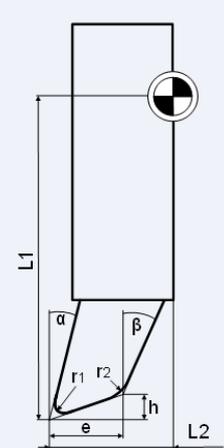
**Редактирование инструмента**

| Имя      | Группа   | T-Номер | Кол-во позиций | Текущая кромка |
|----------|----------|---------|----------------|----------------|
| Резец 04 | Токарная | 10      | 1              | 1              |

| Наименование параметра | Параметр | Значение | Единица измерения | Коррекция |
|------------------------|----------|----------|-------------------|-----------|
| Длина 1                | L1       | 250      | мм                | 0         |
| Длина 2                | L2       | 40       | мм                | 0         |
| Длина 3                | L3       | 0        | мм                | 0         |
| Радиус 1               | r1       | 0.8      | мм                | 0.3       |
| Радиус 2               | r2       | 0        | мм                | 0         |
| Угол $\alpha$          | $\alpha$ | 0        | град              | 0         |
| Угол $\beta$           | $\beta$  | 0        | град              | 0         |
| Параметр h             | h        | 0        | мм                | 0         |
| Параметр e             | e        | 0        | мм                | 0         |
| Положение кромки       | ep       | 0        |                   | 0         |
| Ресурс кромки          | t        | 100      | мин               | 0         |
| Остаток ресурса        | tr       | 90       | мин               | 0         |

G17 G18 G19  
 Длины (L1, L2, L3): Y, X, Z    Длины (L1, L2, L3): X, Z, Y    Длины (L1, L2, L3): Z, Y, X

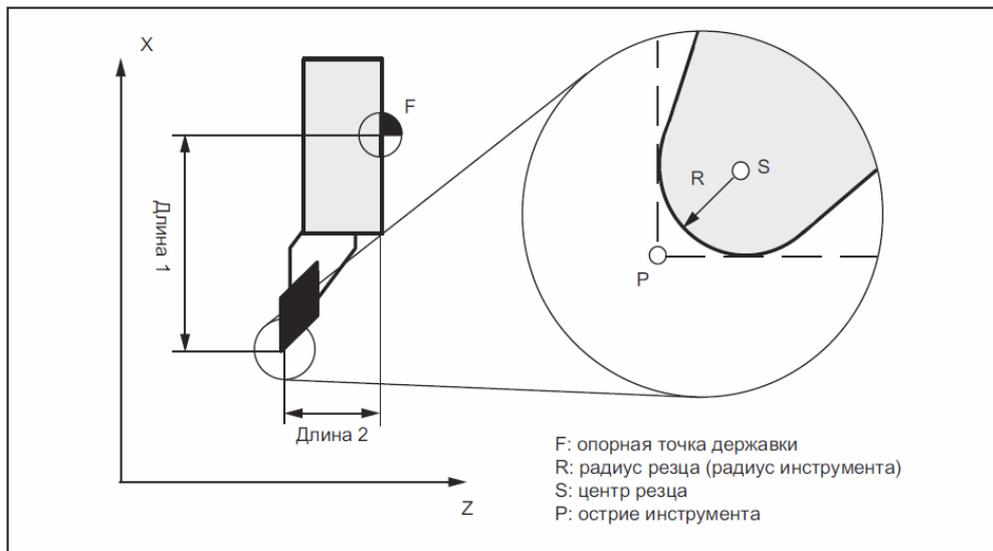
**Схема инструмента**

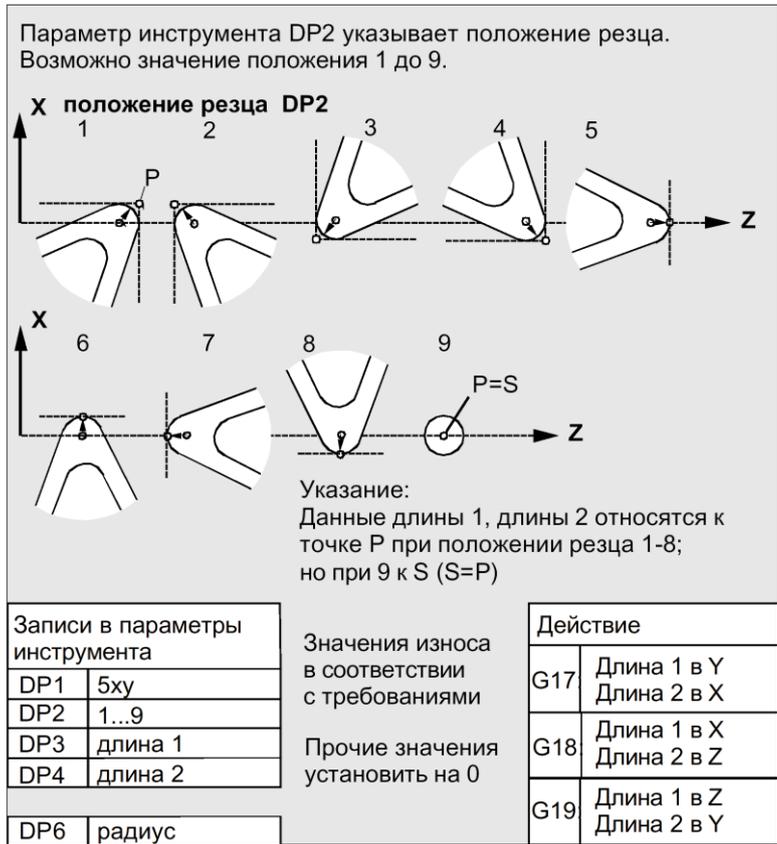


S1 Сменить группу  
 S2 ↑  
 S3 ←  
 S4 →  
 S5 ↓  
 S6  
 S7 Ввод  
 S8 Таб

F2 Применить    F3 Удалить режущую кромку    F4 Добавить режущую кромку    F5 Предыдущая режущая кромка    F6 Следующая режущая кромка    F7 Предыдущий инструмент    F8 Следующий инструмент    F9 Возврат

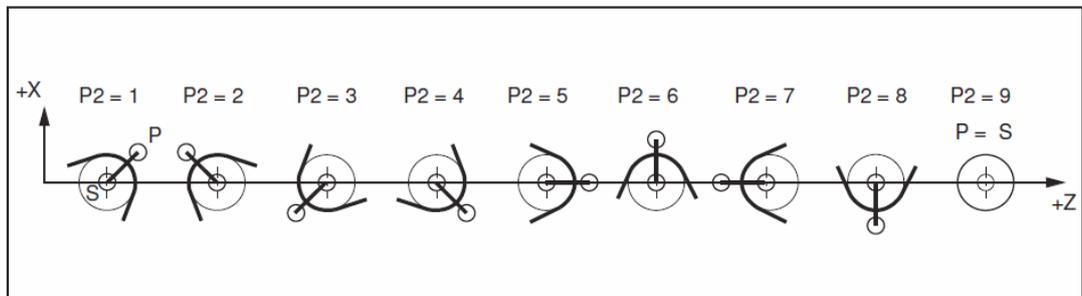
Положение резца (параметр инструмента «Положение кромки, ep») вместе с радиусом резца необходимо для расчета коррекции на радиус для токарных инструментов.



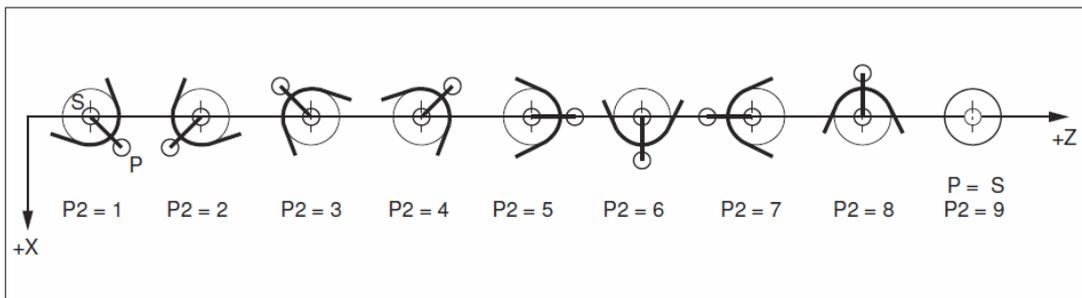


**Рисунок 9.29 – Размеры токарного резца**

Положение резца (параметр инструмента «Положение кромки, ер») вместе с радиусом резца необходимо для расчета коррекции на радиус для токарных инструментов.



**Рисунок 9.30 – Параметр инструмента 2 (P2): при обработке за центром вращения**



**Рисунок 9.31 – Параметр инструмента 2 (P2): при обработке перед центром вращения**

## 10 Установка-сброс сигналов к контроллеру электроавтоматики (G110/G111)

В зависимости от конфигурации система ЧПУ имеет некоторое количество доступных аппаратных дискретных выходов ПЛК, к которым можно напрямую обращаться из управляющей программы ЧПУ.

Также возможно передавать выходные сигналы из программы ЧПУ в управляющую программу ПЛК.

Запись на аппаратные дискретные выходы и передача сигналов в управляющую программу ПЛК реализуется на основе механизма общей памяти ПЛК (Common PLC Memory – СРМ).

Структура разделов общей памяти ПЛК представлена на Рисунок 10.1:

|                                    |                          |                     |                     |                     |                     |                         |
|------------------------------------|--------------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|-------------------------|
| 0<br>(0x0000)                      | 102400<br>(0x19000)      | 204800<br>(0x32000) | 256000<br>(0x3E800) | 307200<br>(0x4B000) | 409600<br>(0x64000) | 512000<br>(0x7D000)     |
| Системная<br>память ПЛК            | Внутренняя<br>память ПЛК | Входы<br>ПЛК        | Выходы<br>ПЛК       | Команды ПЛК         | Переменные<br>ПЛК   | Управление<br>приводами |
| <b>Общая память подсистемы ПЛК</b> |                          |                     |                     |                     |                     |                         |

*Рисунок 10.1 – Структура разделов общей памяти ПЛК (СРМ)*

Если необходимо, чтобы выходные сигналы поступали от программы ЧПУ в программу ПЛК, нужно задать смещение в машинных параметрах до нужного раздела СРМ, где сигналы будут представлены в определенных маркированных полях как входные сигналы (доступные только для чтения) в программе ПЛК. Другие системные сигналы обмена данными между ЧПУ и ПЛК (как фиксированный набор сигналов) представлены в интерфейсе ЧПУ–ПЛК. Описание интерфейса между ПЛК и ЧПУ можно найти в документе «Интерфейс ЧПУ–ПЛК для Soft ПЛК “АксиОМА Контрол”».

В силу того, что выходные сигналы действуют только в направлении к ПЛК, предполагается, что ассоциированные с ними части ПЛК-программы выполняют все необходимые действия с лампочками, индикаторами, переключателями, реле и др.

Если необходимо, чтобы выходные сигналы от программы ЧПУ напрямую (без участия ПЛК) задавали значения аппаратных дискретных выходов ПЛК, нужно задать смещение в машинных параметрах до раздела выходов ПЛК (например, по умолчанию 0x3E800, как показано выше на Рисунок 10.1, или в соответствии с настройками адресов модулей выходов в конфигурации устройств ПЛК) в СРМ.

Задание смещения выходов в машинных параметрах каналов и в редакторе программ ПЛК описано в разделе «Задание смещения аппаратных дискретных выходов ПЛК для функций G110/111» документа «Система ЧПУ “АксиОМА Контрол”. Руководство по вводу в эксплуатацию».

Важным отличием от обычных M-функций является то, что выходные сигналы от программы ЧПУ могут быть выведены без прерывания движения координатных приводов (например, для включения/выключения лазерного излучения или дополнительной подачи СОЖ).

### 10.1 Установка-сброс сигналов к ПЛК. Функции G110/111

**Обозначение функций:** G110 (установка сигналов); G111 (сброс сигналов)

**Характеристика функций:** немодальные

## Синтаксис:

**G110** [Н<смещение выходов>] Q<i>=<выходной адрес> [Q<j>=<выходной адрес> ...]

**G111** [Н<смещение выходов>] Q<i>=<выходной адрес> [Q<j>=<выходной адрес> ...]

Q<i>, где <i> или <j> (при этом <i> не равно <j>, т.к. при их равенстве будет неоднократно установлен (сброшен) один и тот же выходной сигнал) – номер параметра в текущем вызове G-функции, это целые числа в интервале от 1 до 32.

### <Смещение выходов>:

Параметр Н необязательный, если этот параметр не задан при вызове функции G110 (G111), то смещение нулевое (т.е. используется значение, определенное в машинных параметрах).

Если параметр Н больше 0, то смещение выхода при вызове функции равно сумме смещения, заданного в машинных параметрах, и значения параметра Н.

### <Выходной адрес>:

«Выходной адрес» указывает на управляемый ПЛК выход. Адресация выходов осуществляется в битах, адрес первого выхода 0, адрес последнего выхода N-1, где N – число выходов, которые будет включать/выключать управляющая программа ЧПУ. Интерпретатор ожидает целые неотрицательные числа в качестве адресов выходов.

После включения системы ЧПУ все выходы устанавливаются в состояние 0 (неактивные или OFF). После выхода из автоматического режима (конец программы, прерывание программы, сбой) состояния остаются теми же, какими они были установлены в программе. Для создания определенности рекомендуется, чтобы выходы сбрасывались либо в конце программы, либо в ее начале.

Выходные инструкции могут использоваться в кадре вместе с любыми другими.

Не более 32 выходных адресов могут присутствовать в одном кадре.

В одном кадре может быть только одна из подготовительных функций G110 или G111.

## 10.1.1 Установка выходов ПЛК (G110)

**G110** [Н<смещение выходов>] Q<i>=<выходной адрес> [Q<j>=<выходной адрес> ...]

В соответствии с этой инструкцией выходной сигнал с указанным выходным адресом устанавливается в состояние ON или 1.

### *Пример (фрагмент управляющей программы):*

```
//N120 MSG("Включение аэрозольного потока и лазера.")  
msg("Switch on the aerosol flow and laser.")  
N130 G110 N256000 Q1=6 Q2=7
```

## 10.1.2 Сброс выходов ПЛК (G111)

**G111** [Н<смещение выходов>] Q<i>=<выходной адрес> [Q<j>=<выходной адрес> ...]

В соответствии с этой инструкцией выходной сигнал с указанным выходным адресом устанавливается в состояние OFF или 0.

### 10.1.3 Примеры использования функций G110/111

#### Пример 10.1:

\* Пример инструкций для включения/выключения выходов ПЛК  
 G17 G90 G15 G191 G71 G72 G172 G272 G94 G97 G49 G40 G00 G80 G98  
 G53 G153 G193 G64 BRISK CUT2DF ORIAxes // Строка безопасности

G110 Q1=0 Q3=33  
 G111 Q1=22  
 // G111 Q1=33 //закомментировано отключение  
 M30

В результате работы Примера 9.1 будут включены (будут иметь значение 1) соответствующие биты в памяти СРМ. Если эти биты соответствуют дискретным выходам устройств ввода-вывода, то будут включены дискретные выходы (Рисунок 10.2). Нумерация битов в байтах и нумерация дискретных выходов в модулях ввода-вывода начинается с 0.

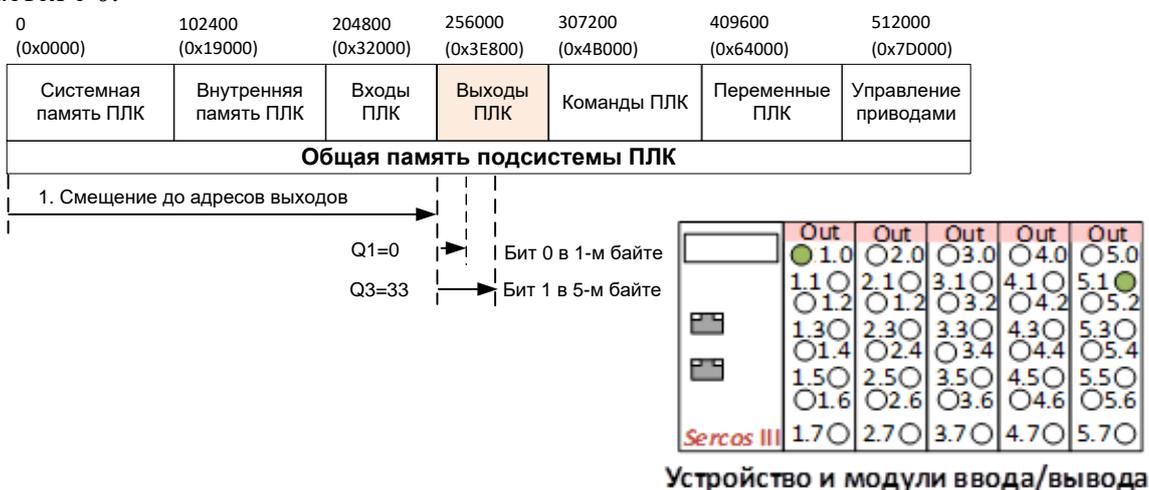


Рисунок 10.2 – Результат выполнения Примера 9.1 – включение выходов устройства удаленного ввода-вывода

#### Пример 10.2:

\* Выходные инструкции, присутствующие вместе с инструкциями ускоренных перемещений.  
 \* Перед функцией G00 осуществляется выход из интерполяции.

G17 G90 G15 G191 G71 G72 G172 G272 G94 G97 G49 G40 G00 G80 G98  
 G53 G153 G193 G64 BRISK CUT2DF ORIAxes // Строка безопасности

N10 G00 X130 Y200 G110 Q1=21  
 N20 G00 X160 G111 Q2=26  
 N30 G00 Y155 G110 Q2=13  
 N40 M30

#### Пример 10.3:

\* Выходные инструкции, присутствующие вместе с G01, G02, G03,  
 \* не иницируют выход из интерполяции.

```

G17 G90 G15 G191 G71 G72 G172 G272 G94 G97 G49 G40 G00 G80 G98
G53 G153 G193 G64 BRISK CUT2DF ORIAxes // Строка безопасности

N10 G01 X130 Y200 F1500      G110 Q1=21
N20 G01 X160                  G111 Q1=26
N30 G01 Y160                  G110 Q1=13 Q2=22
N40 G02 X0 Y0 I-80 J-80      G110 Q1=5
N50 G03 X-50 Y-50 I-25 J-25 G111 Q1=5
N60 G01 X0 Y0                 G111 Q1=21
N70 M30

```

Ниже показано управление выходными сигналами, при этом поочередно используются обе функции G110 и G111. Обратите внимание, что максимально допустимые номера адресов выходов не превышаются (сконфигурировано 40 выходов, что соответствует 5 байтам в адресном пространстве СРМ, см. Рисунок 10.2).

**Пример 10.4:**

```

G17 G90 G15 G191 G71 G72 G172 G272 G94 G97 G49 G40 G00 G80 G98
G53 G153 G193 G64 BRISK CUT2DF ORIAxes // Строка безопасности

N10 G01 X130 Y200 F500      G110 Q1=21 Q2=22
N20 G01 X160                  G111 Q1=26
N30 G01 Y160                  G110 Q1=13
N40 G02 X0 Y0 I-80 J-80      G110 Q1=23 Q2=35
N50 G03 X-50 Y-50 I-25 J-25 G110 Q1=4 Q2=5
N60 G01 X0 Y0                 G111 Q1=11
N70 G01 X5                     G110 Q1=3 Q2=4
                               G111 Q1=7 Q2=8 Q3=7
N80 M30

```

## 11 Встроенные циклы

### 11.1 Общие сведения

Встроенные циклы представляют собой параметризованные G-команды, которые выполняют сложную последовательность действий по выполнению законченных технологических переходов обработки типовых геометрических элементов детали. Использование циклов во многих случаях позволяет упростить написание управляющей программы для обработки детали, имеющей стандартные геометрические элементы (выточки, отверстия и последовательности отверстий, карманы и др.).

Команды выбора единиц измерения (мм/дюймы) влияют только на величины заданных позиций по осям (X, Y, Z и т.д.). Геометрические параметры циклов (Q1, Q2 и т.д.) всегда указываются в миллиметрах для линейных величин, градусах для углов и секундах для параметров задержки. Выбор абсолютного/относительного задания координат (G90/G91) также влияет только на оси. Q-параметрам всегда задаются абсолютные значения.

Все движения, описанные в спецификации циклов, относятся к текущей системе координат детали, которая может быть повернута в пространстве относительно системы координат станка произвольным образом. В этом случае программист должен обеспечить ориентацию инструмента строго вдоль направления, определяемого логикой цикла (например, вдоль оси Z системы координат детали). При этом нужно убедиться в том, что компенсация на длину инструмента (G43–G45) включена, а текущий инструмент и кромка выбраны и имеют адекватные геометрические параметры. Кроме того, если производится обработка на наклонной плоскости с использованием ориентируемого инструмента (это актуально для 4-5 координатных станков), наладчиками станка должна быть правильно настроена кинематическая схема, а в программе вызвана функция трансформации ориентации (TRAORI).

За исключением явно указанных случаев, инструмент перед вызовом цикла должен располагаться как минимум на безопасном расстоянии (Q1) от заданного уровня поверхности заготовки с той стороны, которая подвергается обработке. Возможность столкновения с деталью не отслеживается системой ЧПУ, так как заготовка может иметь произвольную форму.

Встроенные циклы реализуют лишь несколько базовых технологических операций. В то же время, средства языка высокого уровня системы «АксиОМА Контрол» позволяют программисту реализовывать сколь угодно сложные циклы обработки в виде параметризованных подпрограмм. Поэтому при необходимости построения часто повторяющихся операций, не охваченных встроенными циклами, рекомендуется обратиться к средствам языка высокого уровня.

### 11.2 Активация и вызов цикла

Команда определения цикла в общем виде представляет собой G-функцию с набором параметров диапазона Q1...Q32:

**G81 Q1 Q2 Q3 ... Q32**

Активация цикла – это вызов его G-функции с любым количеством параметров (в том числе и без параметров).

### **Пример 11.1:**

```
G17 G90 G15 G191 G71 G72 G172 G272 G94 G97 G49 G40 G00 G80 G98
G53 G153 G193 G64 BRISK CUT2DF ORIAXES // Строка безопасности

N10 Z20
N20 G81 Q3=500 Q5=-30 Q6=0.5 //активация цикла
M30
```

Конкретный набор параметров каждого цикла зависит от спецификации (см. описания циклов в следующих разделах). При активации цикла (вызове его G-функции) всем параметрам устанавливаются значения по умолчанию перед тем, как им будут присвоены заданные в кадре значения. Значение параметров по умолчанию равно нулю за исключением случаев, описанных далее. Параметры цикла можно изменять в других кадрах, следующих после определения цикла.

Сама по себе активация G-функции цикла еще не приводит к его вызову. Цикл вызывается только при указании в кадре позиции любой интерполируемой оси. При этом вызов может быть совмещен с активацией. Цикл является модальной G-командой и вызывается в каждом кадре, где задана хотя бы одна ось. Пока активен любой цикл, функции интерполяции (G00, G01, G02, G03, ASPLINE, BSPLINE, CSPLINE) подавляются, а значения осей в кадре определяют точку вызова цикла.

Если один из параметров на момент вызова цикла имеет недопустимое значение, выполнение программы останавливается с ошибкой № 603.

### **Пример 11.2:**

```
G17 G90 G15 G191 G71 G72 G172 G272 G94 G97 G49 G40 G00 G80 G98
G53 G153 G193 G64 BRISK CUT2DF ORIAXES // Строка безопасности

N10 Z20
N20 G83 Q3=500 Q5=-30
N30 Q7=5
N40 X30 Y0 Z0
N50 G81 X50 Y0 Z0 Q3=500 Q5=-30 Q6=0.5
N60 Q5=-35 X70 Z0
M30
```

### **Пояснения:**

- N20 – активируется цикл G83. Вызов не производится, так как отсутствует задание позиции какой-либо оси. Отсутствующие параметры устанавливаются по умолчанию
- N30 – устанавливается параметр Q7. N40 – вызов активного цикла (G83) в заданной точке. N50 – вызов цикла G81 одновременно с его активацией
- N60 – вызов активного цикла (G81), параметру Q5 присвоено новое значение

## **11.3 Отмена цикла**

Отмена цикла производится явным вызовом любой G-команды интерполяции или команды отмены цикла G80.

### **Пример 11.3 – Отмена цикла вызовом G-команды интерполяции:**

```
G17 G90 G15 G191 G71 G72 G172 G272 G94 G97 G49 G40 G00 G80 G98
G53 G153 G193 G64 BRISK CUT2DF ORIAXES // Строка безопасности

N10 G01 Z20 F1800
```

```

N20 G81 X10 Y0 Z0 Q3=500 Q5=-30 Q6=0.5
N30 X30 Z0
N40 G01
N50 X-20
M30

```

**Пояснения:**

- N20 – активируется и вызывается цикл G81
- N30 – цикл вызывается в новой точке
- N40 – вызывается функция линейной интерполяции G01, цикл отменяется
- N50 – производится линейная интерполяция (так как цикл отменен вызовом G01 в кадре N40)

Функция G80 отменяет цикл и разблокирует активную функцию интерполяции.

**Пример 11.4 – Отмена цикла вызовом функции G80:**

```

G17 G90 G15 G191 G71 G72 G172 G272 G94 G97 G49 G40 G00 G80 G98
G53 G153 G193 G64 BRISK CUT2DF ORIAXES // Строка безопасности

N10 X0 Y0 Z20
N20 G02 X0 Y0 I20 J0 F1200
N30 G81 X10 Y0 Z0 Q3=500 Q5=-30 Q6=0.5
N40 X30 Z0
N50 G80
N60 X30 Y0 I-20 J0
M30

```

**Пояснения:**

- N30 – активируется и вызывается цикл G81
- N40 – цикл вызывается в новой точке
- N50 – вызывается функция отмены цикла
- N60 – вызывается активная функция интерполяции (в данном случае G02)

### 11.4 Базовые параметры циклов

Параметры Q1–Q4 имеют одинаковое назначение для всех циклов (служат для установки безопасных расстояний и подач).

*Таблица 11.1 – Базовые параметры циклов*

| Параметр | Назначение и диапазон допустимых значений  | Значение по умолчанию  |
|----------|--|------------------------|
| Q1       | Безопасное расстояние 1. Не менее 0.1 мм. Определяет расстояние до уровня поверхности заготовки, на которое инструмент подводится с подачей позиционирования G00.                        | 5 мм                   |
| Q2       | Безопасное расстояние 2. Неотрицательное значение. Определяет расстояние от уровня поверхности заготовки, на которое инструмент отводится по окончании цикла (при активной функции G99). | Равно Q1               |
| Q3       | Рабочая подача при резании. Положительное  | Подача (F), заданная в |

| Параметр | Назначение и диапазон допустимых значений   | Значение по умолчанию  |
|----------|---|--|
|          | значение. Указание Q3 и Q4 не перезаписывает текущее значение подачи F.                                   | программе на момент вызова цикла                                 |
| Q4       | Подача для холостых перемещений и отвода до безопасного расстояния в конце цикла. Положительное значение. | Подача, с которой осуществляется движение позиционирования (G00) |

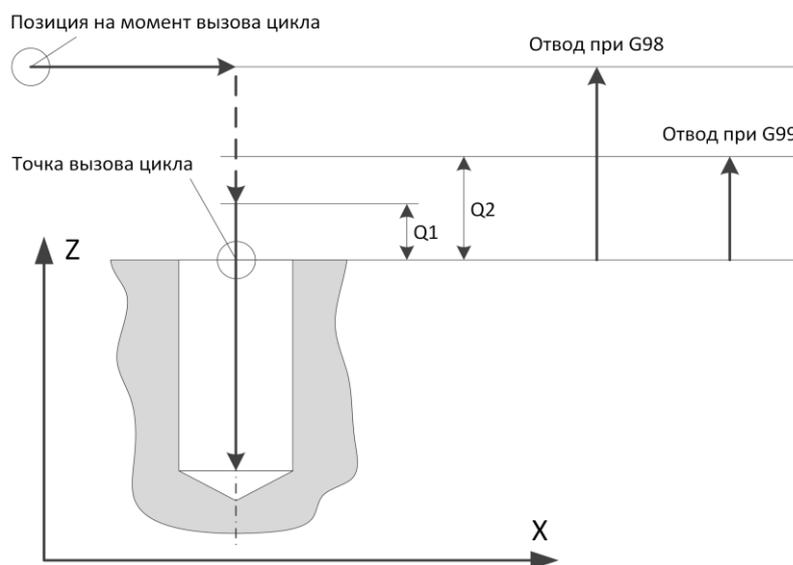
## 11.5 Точка возврата. Функции G98 и G99.

### Подготовительные функции: G98/G99

**Характеристика:** модальные

Если на момент вызова цикла активна функция G98, то после выполнения всех операций цикл производит отвод инструмента в позицию на момент вызова цикла (имеется в виду позиция оси, определяющей расстояние до обрабатываемой стороны заготовки. См. рисунки к описаниям конкретных циклов – ось, вдоль которой отсчитывается расстояние Q1).

Если активна функция G99, отвод инструмента по окончании цикла производится до безопасного расстояния 2 (Q2).



*Рисунок 11.1 – Поведение при отводе для G98 и G99*

Расстояние Q2 всегда отсчитывается в том же направлении, что и Q1. На рисунках к описаниям циклов Q2 для краткости не показано.

## 11.6 Циклы сверления G81, G83

Циклы сверления учитывают выбор текущей рабочей плоскости. Описание циклов дано для плоскости G17, при которой направление обработки соответствует оси Z системы координат детали. Для плоскости G18 ось обработки – Y, для G19 – X. Логика цикла для любой плоскости аналогична. Меняется только направление перемещений.

## 11.6.1 Однопроходное сверление отверстия (цикл G81)

Синтаксис: G81 Q1 Q2 Q3 Q4 Q5 Q6

### Параметры цикла:

Q1...Q4 – базовые параметры цикла. См. разделы 11.4 и 11.5.

Q5 – глубина сверления. Можно задавать как отрицательное, так и положительное значение. Как правило, задается отрицательное значение, которое соответствует направлению сверления вниз. Положительная величина глубины соответствует движению сверления снизу вверх. При этом безопасное расстояние отсчитывается вниз от плоскости детали. Нулевое значение не допускается.

Q6 – время задержки инструмента в нижней точке отверстия. При отсутствии параметра задержка не производится. Отрицательное значение не допускается.

### Ход цикла:

- 1) Инструмент перемещается в точку вызова цикла параллельно рабочей плоскости с подачей ускоренного перемещения G00.
- 2) Инструмент опускается до безопасного расстояния 1 (Q1) над заданным уровнем поверхности детали (перпендикулярно рабочей плоскости) с подачей ускоренного перемещения G00.
- 3) Производится сверление с рабочей подачей Q3 до глубины Q5.
- 4) Производится отвод до безопасного расстояния 1 (Q1) с подачей Q4, затем до безопасного расстояния 2 или исходной точки с подачей позиционирования G00.

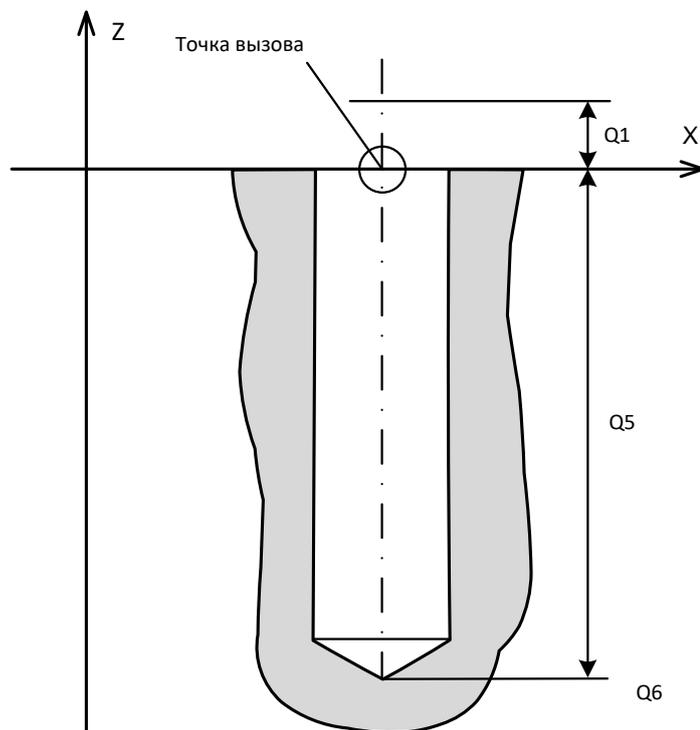


Рисунок 11.2 – Однопроходное сверление отверстия

### Пример 11.5:

```
G17 G90 G15 G191 G71 G72 G172 G272 G94 G97 G49 G40 G00 G80 G98  
G53 G153 G193 G64 BRISK CUT2DF ORIAXES // Строка безопасности
```

N10 Z20  
N20 G81 X30 Y0 Z0 Q3=500 Q5=-30 Q6=0.5  
M30

#### **Пояснение:**

Выполняется сверление на глубину 30 мм с подачей 500 мм/мин в точке X30 Y0. Уровень поверхности заготовки Z=0. Задержка в нижней точке 0.5 сек.

### **11.6.2 Многопроходное сверление отверстия (цикл G83)**

**Синтаксис: G83 Q1 Q2 Q3 Q4 Q5 Q6 Q7 Q8 Q9 Q10 Q11**

#### **Параметры цикла:**

Q1...Q4 – базовые параметры цикла. См. разделы 11.4 и 11.5.

Q5 – глубина сверления. Можно задавать как отрицательное, так и положительное значение. Как правило, задается отрицательное значение, которое соответствует направлению сверления вниз. Положительная глубина задает направление сверления вверх. Нулевое значение не допускается.

Q6 – время задержки инструмента в нижней точке при каждом проходе. При отсутствии параметра задержка не производится. Отрицательное значение не допускается.

Q7 – величина первого прохода. Положительное значение, не превышающее абсолютную величину глубины сверления (Q5).

Q8 – величина прохода (кроме первого прохода). По умолчанию равна Q7. Положительное значение, не превышающее абсолютную величину глубины сверления (Q5).

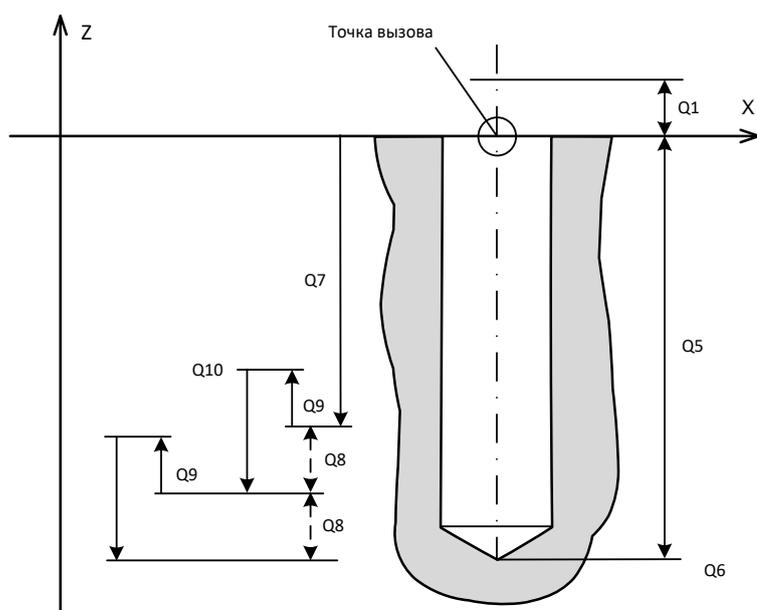
Q9 – величина отвода сверла перед каждым проходом (кроме первого). Неотрицательное значение. При отсутствии или равенстве нулю параметра отвод производится до безопасного расстояния 1 (Q1).

Q10 – время задержки инструмента в верхней точке при отводе инструмента после каждого прохода. При отсутствии параметра задержка не производится. Отрицательное значение не допускается.

Q11 – подача подвода на безопасное расстояние Q1 от материала для второго и последующих проходов. По умолчанию равна Q4.

#### **Ход цикла:**

- 1) Инструмент перемещается в точку вызова цикла параллельно рабочей плоскости с подачей ускоренного перемещения G00.
- 2) Инструмент опускается до безопасного расстояния 1 (Q1) над заданным уровнем поверхности детали (перпендикулярно рабочей плоскости) с подачей ускоренного перемещения G00.
- 3) Производится сверление с рабочей подачей Q3 до глубины Q7.
- 4) Отвод инструмента на Q9 вверх с подачей Q4.
- 5) Задержка Q10.
- 6) Подвод с подачей Q11 на безопасное расстояние 1 (Q1) над предыдущим уровнем сверления.
- 7) Сверление с рабочей подачей Q3 до глубины Q8 относительно предыдущего уровня сверления.
- 8) Повтор шагов 4-7 до достижения глубины сверления Q5.
- 9) Производится отвод до безопасного расстояния 1 (Q1) с подачей Q4, затем до безопасного расстояния 2 или исходной точки с подачей позиционирования G00.



**Рисунок 11.3 – Многопроходное сверление отверстия**

**Пример 11.6:**

```
G17 G90 G15 G191 G71 G72 G172 G272 G94 G97 G49 G40 G00 G80 G98
G53 G153 G193 G64 BRISK CUT2DF ORIAXES // Строка безопасности

N10 Z20
N20 G83 X30 Y0 Z0 Q3=500 Q5=-30 Q7=5
M30
```

**Пояснение:**

Выполняется сверление на глубину 30 мм с подачей 500 мм/мин в точке X30 Y0. Уровень поверхности заготовки Z=0. Величина каждого прохода 5 мм. Отвод до безопасного расстояния 1. Задержки не производятся.

**Внимание!** Положительная величина глубины соответствует движению сверления снизу вверх. При этом безопасное расстояние отсчитывается вниз от плоскости детали (аналогично циклу G81).

**11.7 Циклы токарной обработки G276 – G289**

Циклы токарной обработки не учитывают выбор рабочей плоскости. Выбор осей обработки фиксирован (X и Z).

**11.7.1 Многопроходное нарезание резьбы резцом (цикл G276)**

**Синтаксис: G276 Q1 Q2 Q3 Q4 Q5 Q6 Q7 Q8 Q9 Q10 Q11 Q12 Q13 Q14 Q15 Q16**

Цикл предназначен для многопроходного нарезания резьбы вдоль оси Z. Вращение шпинделя должно быть запущено командами M3/M4 до вызова цикла, а режим постоянной скорости резания G96 для главного шпинделя должен быть отключен.

### Параметры цикла:

Q1...Q4 – базовые параметры цикла. См. разделы 11.4 и 11.5. Безопасное расстояние 1 (Q1) для цикла нарезания резьбы определяет длину участка разгона, поэтому не рекомендуется использовать слишком малое (доли мм) значение параметра Q1.

Q5 – длина участка выхода из резьбы. Неотрицательное значение.

Q6 – длина резьбы. Положительное значение.

Q7 – шаг резьбы. Положительное значение, меньше длины резьбы.

Q8 – глубина резьбы. Положительная глубина соответствует внутренней резьбе (т.е. направлению резания +X). Нулевое значение не допускается.

Q9 – глубина резания при первом проходе. Положительное значение, не превышающее абсолютное значение Q8.

Q10 – глубина резания при последующих проходах. Положительное значение, не превышающее абсолютное значение Q8. По умолчанию равно Q9.

Q11 – погрешность нарезания. Под погрешностью понимается величина допустимого выхода резца за пределы контура резьбы (см. Рисунок 11.4). Положительное значение, меньше шага резьбы. Реальные возможности по соблюдению заданной погрешности зависят от приводов и датчиков положения станка.

Q12 – величина отвода резца от профиля резьбы по оси X перед возвратом резца для следующего прохода. По умолчанию 2 мм. Положительное значение.

Q13 – количество холостых проходов резца после достижения глубины резьбы. Неотрицательное значение.

Q14 – разница между конечным и начальным диаметрами резьбы. Этот параметр позволяет произвести нарезание конической резьбы. По умолчанию резьба цилиндрическая (Q14=0).

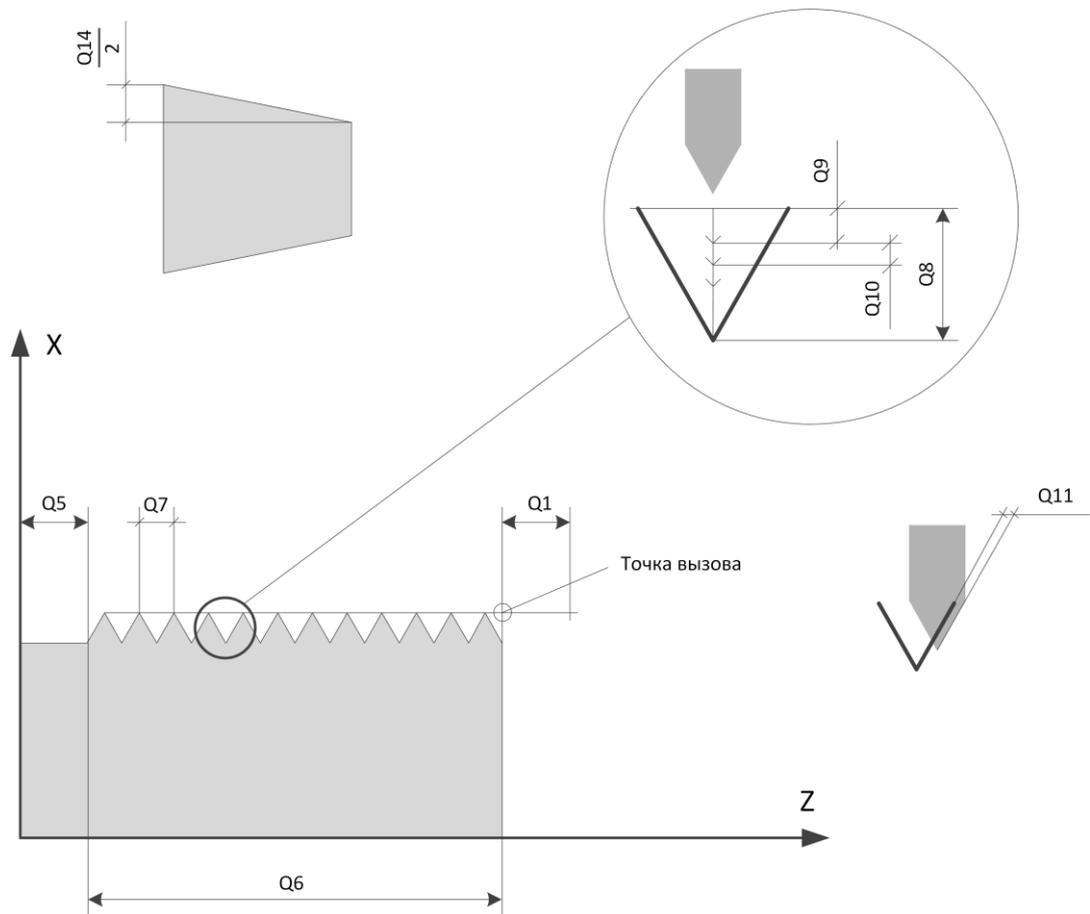
Q15 (0 / 1) – включение режима резания одной режущей кромкой (см. Рисунок 11.5). По умолчанию используется режим двустороннего резания (Q15 = 0).

Q16 – угол инструмента (градусы). Параметр необходим для режима резания одной режущей кромкой. По умолчанию Q16 равно 60 градусам. Положительное значение, меньше 180 градусов.

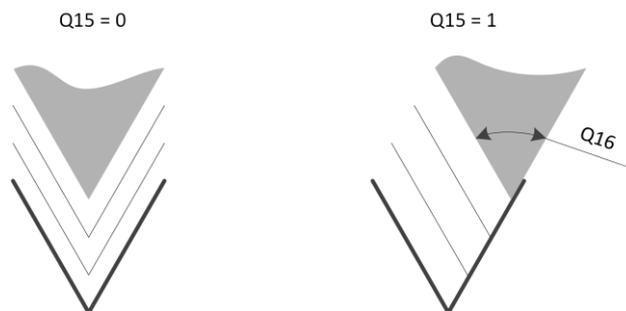
Расстояния Q1 и Q5 задаются с целью выноса интервалов разгона и торможения резца за пределы рабочего участка резьбы. Это необходимо для того, чтобы было сохранено качество резьбы по всей её заданной длине.

### Ход цикла:

- 1) Инструмент перемещается в точку старта цикла вдоль оси X с подачей ускоренного перемещения G00. Следите за тем, чтобы инструмент перед запуском цикла был на безопасном расстоянии относительно заготовки!
- 2) Инструмент перемещается вдоль оси Z до безопасного расстояния 1 (Q1) от точки вызова с подачей ускоренного перемещения G00.
- 3) Производится синхронизация момента старта движения с позицией вращения шпинделя, после чего производится резание на всю длину резьбы + расстояние Q5.
- 4) Возврат в точку на безопасном расстоянии 1 (Q1) от точки вызова с подачей Q4 (сначала отвод по оси X, потом перемещение по Z и подвод по X).
- 5) Повтор шагов 3-4 до достижения глубины Q8 (+ количество холостых проходов Q13).
- 6) Производится отвод до безопасного расстояния 1 (Q1) по Z с подачей Q4, затем до безопасного расстояния 2 или исходной точки по Z с подачей позиционирования G00.



**Рисунок 11.4 – Многопроходное нарезание резьбы**



**Рисунок 11.5 – Режимы резания резьбы резцом**

**Пример 11.7 (Токарная обработка):**

G18 G90 G15 G191 G71 G72 G172 G272 G94 G97 G49 G40 G00 G80 G98  
 G53 G153 G193 G64 BRISK CUT2DF // Строка безопасности (токарная  
 обработка)

N10 M3 S1000 X50 Z80  
 N20 G276 Q5=5 Q6=30 Q7=1  
 N30 Q8=-0.866 Q9=0.5  
 N40 Q10=0.15 Q11=0.05  
 N50 X30 Z60  
 M30

## Пояснение:

Выполняется нарезание резьбы длиной 30 мм в точке X30 Z60. Шаг резьбы 1 мм. Без настроенного датчика положения шпинделя пример не будет выполнен (произойдет останов канала по ошибке 2301).

Многопроходное нарезание резьбы является сложной технологической операцией, требующей точной синхронизации вращения шпинделя и движения резца. Достижимая точность резьбы зависит от скорости вращения шпинделя, быстродействия датчика положения шпинделя и приводов подачи, а также времени цикла управления системы ЧПУ. При задании большой частоты вращения может возникнуть ситуация, в которой система не сможет начать очередной проход, так как нужное положение шпинделя будет невозможно зафиксировать датчиком (за период цикла управления шпиндель будет поворачиваться на слишком большой угол). Поэтому максимальная частота вращения шпинделя, при которой операция многопроходного нарезания резьбы может быть выполнена, оценивается исходя из требуемой точности и заданного времени цикла управления системы ЧПУ.

Рассмотрим пример. Пусть требуется нарезать резьбу с шагом 1 мм и погрешностью 50 мкм на диаметре в 20 мм. Погрешность положения шпинделя в радианах рассчитывается следующим образом:

$$A = \frac{2\pi E}{P} \quad (1)$$

где  $E$  – погрешность резьбы в мм,  $P$  – шаг резьбы в мм. Исходя из погрешности в 50 мкм и шага в 1 мм, получаем  $A = 0.1\pi$ . Рекомендуемая частота вращения шпинделя определяется из соотношения:

$$S = \frac{30A}{\pi T} \quad (2)$$

Здесь  $S$  – частота вращения, об/мин,  $A$  – погрешность углового положения в радианах,  $T$  – период цикла управления приводами в секундах. При периоде цикла, равном 1 мс, получаем, что для рассматриваемого случая  $S = 3000$  об/мин.

Объединяя (1) и (2), можно получить более удобное соотношение для вычисления  $S$ :

$$S = \frac{60E}{PT} \quad (3)$$

Практически возможно использовать значения  $S$ , превышающие рекомендуемое в несколько раз, однако в этом случае может происходить существенная задержка при запуске второго и последующих проходов.

Еще одна особенность цикла нарезания резьбы связана с ограничением максимальной подачи, заданным в машинных параметрах канала. Подача при нарезании резьбы определяется общим соотношением (4):

$$F = \frac{SP}{\cos\left(\frac{a}{2}\right)} \quad (4)$$

Здесь  $a$  – угол раствора конуса резьбы. Если подача при заданных частоте вращения шпинделя и шаге резьбы получается больше максимально допустимой, цикл не выполняется, а обработка управляющей программы останавливается.

Строго говоря, время  $T$  в соотношениях (2) и (3) определяется максимальным временем задержки между получением системой ЧПУ значения датчика положения и откликом привода подачи оси  $Z$ . В идеальном случае это время действительно равно периоду цикла управления приводами, однако некоторые приводы могут иметь медленный интерфейс и большое время отклика, которое и будет определять значение  $T$ .

## 11.7.2 Обработка продольной выточки (цикл G281)

Синтаксис: G281 Q1 Q2 Q3 Q4 Q5 Q6 Q7 Q8 Q9 Q10

Цикл предназначен для точения вдоль оси Z.

### Параметры цикла:

Q1...Q4 – базовые параметры цикла. См. разделы 11.4 и 11.5.

Q5 – глубина выточки. Может быть задана как положительная, так и отрицательная величина. Знак определяет направление резания от точки вызова цикла. При задании положительной глубины производится вытачивание в положительном направлении оси X. Нулевая глубина не допускается.

Q6 – глубина одного прохода. Положительное значение.

Q7 – длина входа в выточку. Неотрицательное значение.

Q8 – длина выхода из выточки. Неотрицательное значение.

Q9 – общая длина выточки. По модулю должна быть не меньше суммы Q7 + Q8. Может быть задана как положительная, так и отрицательная величина. Знак определяет направление резания по оси Z от точки вызова цикла. Нулевое значение не допускается.

Q10 – величина безопасного расстояния по оси X при возврате к началу следующего рабочего прохода. Неотрицательное значение. По умолчанию равно Q1.

### Ход цикла:

- 1) Инструмент перемещается в точку старта цикла вдоль оси Z с подачей ускоренного перемещения G00. Следите за тем, чтобы инструмент перед запуском цикла был на безопасном расстоянии относительно заготовки!
- 2) Инструмент перемещается вдоль оси X до безопасного расстояния 1 (Q1) над заданным уровнем поверхности детали с подачей ускоренного перемещения G00.
- 3) Производится точение на глубину одного шага Q6 с подачей Q3.
- 4) Возврат в точку начала следующего шага, со смещением по оси X на Q10. Подача Q4.
- 5) Повтор шагов 3-4 до достижения глубины Q5.
- 6) Производится отвод до безопасного расстояния 1 (Q1) с подачей Q4, затем до безопасного расстояния 2 или исходной точки по X с подачей позиционирования G00.

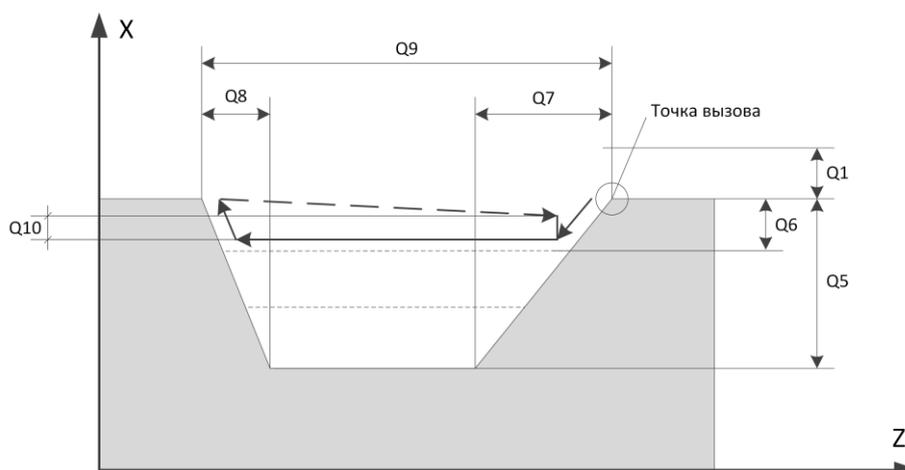


Рисунок 11.6 – Черновая обработка продольной выточки

### Пример 11.8:

```
G17 G90 G15 G191 G71 G72 G172 G272 G94 G97 G49 G40 G00 G80 G98
G53 G153 G193 G64 BRISK CUT2DF ORIAxes // Строка безопасности

N10 X50
N20 G281 X30 Y0 Z80 Q3=500 Q5=-10 Q6=2 Q7=10 Q8=5 Q9=-60
M30
```

### Пояснение:

Выполняется точение выточки длиной 60 мм и глубиной 10 мм с подачей 500 мм/мин в точке X30 Z80. Вход 10 мм, выход 5 мм, шаг 2 мм.

## 11.7.3 Обработка торцевой выточки (цикл G282)

**Синтаксис: G282 Q1 Q2 Q3 Q4 Q5 Q6 Q7 Q8 Q9 Q10**

Цикл предназначен для точения вдоль оси X.

### Параметры цикла:

Q1...Q4 – базовые параметры цикла. См. разделы 11.4 и 11.5.

Q5 – глубина выточки. Может быть задана как положительная, так и отрицательная величина. Знак определяет направление резания от точки вызова цикла. При задании положительной глубины производится вытачивание в положительном направлении оси Z. Нулевая глубина не допускается.

Q6 – глубина одного прохода. Положительное значение.

Q7 – длина входа в выточку. Неотрицательное значение.

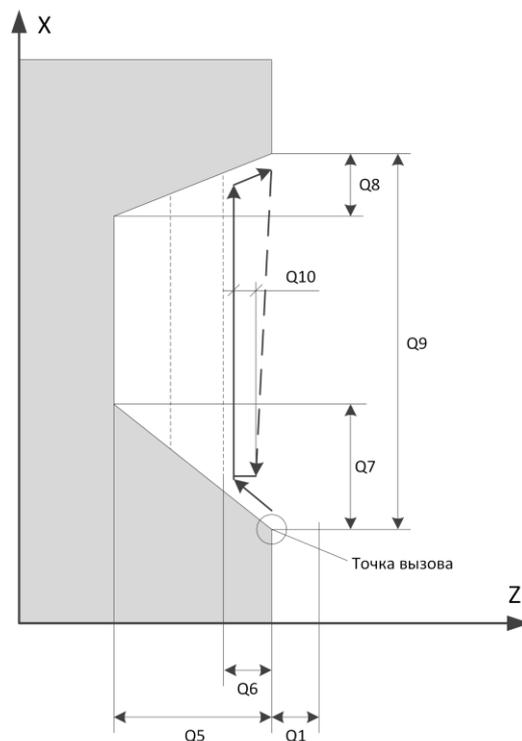
Q8 – длина выхода из выточки. Неотрицательное значение.

Q9 – общая длина выточки. По модулю должна быть не меньше суммы Q7 + Q8. Может быть задана как положительная, так и отрицательная величина. Знак определяет направление резания по оси X от точки вызова цикла. Нулевое значение не допускается.

Q10 – величина безопасного расстояния по оси Z при возврате к началу следующего рабочего прохода. Неотрицательное значение. По умолчанию равно Q1.

### Ход цикла:

- 1) Инструмент перемещается в точку старта цикла вдоль оси X с подачей ускоренного перемещения G00. Следите за тем, чтобы инструмент перед запуском цикла был на безопасном расстоянии относительно заготовки!
- 2) Инструмент перемещается вдоль оси Z до безопасного расстояния 1 (Q1) над заданным уровнем поверхности детали с подачей ускоренного перемещения G00.
- 3) Производится точение на глубину одного шага Q6 с подачей Q3.
- 4) Возврат в точку начала следующего шага, со смещением по оси Z на Q10. Подача Q4.
- 5) Повтор шагов 3-4 до достижения глубины Q5.
- 6) Производится отвод до безопасного расстояния 1 (Q1) с подачей Q4, затем до безопасного расстояния 2 или исходной точки по Z с подачей позиционирования G00.



**Рисунок 11.7 – Черновая обработка торцевой выточки**

**Пример 11.9:**

```
G17 G90 G15 G191 G71 G72 G172 G272 G94 G97 G49 G40 G00 G80 G98
G53 G153 G193 G64 BRISK CUT2DF ORIAXES // Строка безопасности

N10 Z50
N20 G282 Z30 Y0 X10 Q3=500 Q5=-10 Q6=2 Q7=10 Q8=5 Q9=60
M30
```

**Пояснение:**

Выполняется точение выточки длиной 60 мм и глубиной 10 мм с подачей 500 мм/мин в точке X10 Z30. Вход 10 мм, выход 5 мм, шаг 2 мм.

**11.7.4 Обработка продольной канавки (цикл G288)**

**Синтаксис: G288 Q1 Q2 Q3 Q4 Q5 Q6 Q7 Q8 Q9**

Цикл предназначен для обработки цилиндрических канавок последовательными радиальными движениями инструмента.

**Параметры цикла:**

Q1...Q4 – базовые параметры цикла. См. разделы 11.4 и 11.5.

Q5 – глубина канавки. Может быть задана как положительная, так и отрицательная величина. Знак определяет направление резания от точки вызова цикла. При задании положительной глубины производится вытачивание в положительном направлении оси X. Нулевая глубина не допускается.

Q6 – общая длина канавки. Может быть задана как положительная, так и отрицательная величина. Знак определяет направление резания по оси Z от точки вызова цикла. Нулевое значение не допускается.

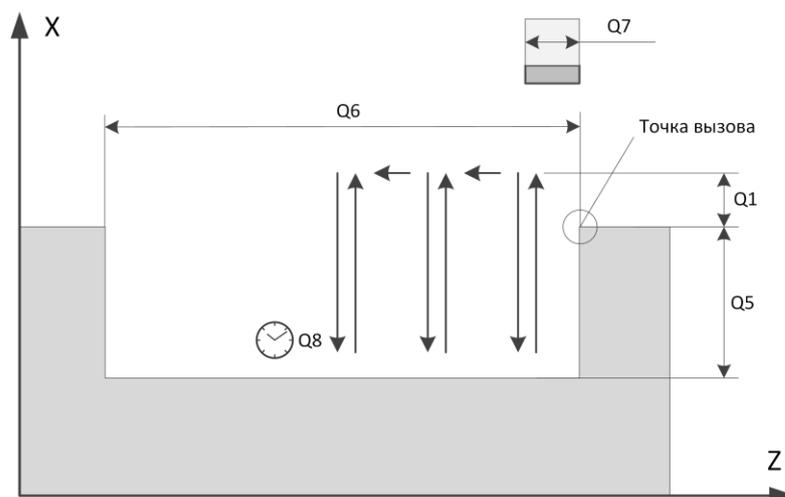
Q7 – ширина инструмента (ширина резца). Положительное значение, не больше абсолютной величины Q6. Значение по умолчанию не берется из таблицы инструментов, поэтому ширина должна быть задана явно!

Q8 – время задержки инструмента в нижней точке контура. Неотрицательное значение. При отсутствии параметра задержка не производится.

Q9 – перекрытие двух соседних врезаний инструмента. Положительное значение. Должно быть меньше Q7.

#### Ход цикла:

- 1) Инструмент перемещается в точку старта цикла вдоль оси Z с подачей ускоренного перемещения G00. Следите за тем, чтобы инструмент перед запуском цикла был на безопасном расстоянии относительно заготовки!
- 2) Инструмент перемещается вдоль оси X до безопасного расстояния 1 (Q1) над заданным уровнем поверхности детали с подачей ускоренного перемещения G00.
- 3) Производится точение на полную глубину Q5 с подачей Q3.
- 4) Возврат на безопасное расстояние 1. Подача Q4.
- 5) Перемещение на следующую позицию резания вдоль оси Z (на расстояние, равное разности Q7 – Q9). Подача Q4.
- 6) Повтор шагов 3-5 до достижения длины Q6.
- 7) Производится отвод до безопасного расстояния 1 (Q1) с подачей Q4, затем до безопасного расстояния 2 или исходной точки с подачей позиционирования G00.



**Рисунок 11.8 – Обработка продольной канавки**

#### Пример 11.10:

```
G17 G90 G15 G191 G71 G72 G172 G272 G94 G97 G49 G40 G00 G80 G98
G53 G153 G193 G64 BRISK CUT2DF ORIAXES // Строка безопасности
```

```
N10 X50
N20 G288 X30 Y0 Z80 Q3=500 Q5=-10 Q6=-60 Q7=10 Q8=0.5 Q9=1
M30
```

#### Пояснение:

Выполняется точение канавки длиной 60 мм и глубиной 10 мм с подачей 500 мм/мин в точке X30 Z80. Ширина инструмента 10 мм, перекрытие врезаний 1 мм, задержка 0.5 сек.

## 11.7.5 Обработка торцевой канавки (цикл G289)

Синтаксис: G289 Q1 Q2 Q3 Q4 Q5 Q6 Q7 Q8 Q9

Цикл предназначен для обработки канавок на торцевой поверхности.

### Параметры цикла:

Q1...Q4 – базовые параметры цикла. См. разделы 11.4 и 11.5.

Q5 – глубина канавки. Может быть задана как положительная, так и отрицательная величина. Знак определяет направление резания от точки вызова цикла. При задании положительной глубины производится вытачивание в положительном направлении оси Z. Нулевая глубина не допускается.

Q6 – общая длина канавки. Может быть задана как положительная, так и отрицательная величина. Знак определяет направление резания по оси X от точки вызова цикла. Нулевое значение не допускается.

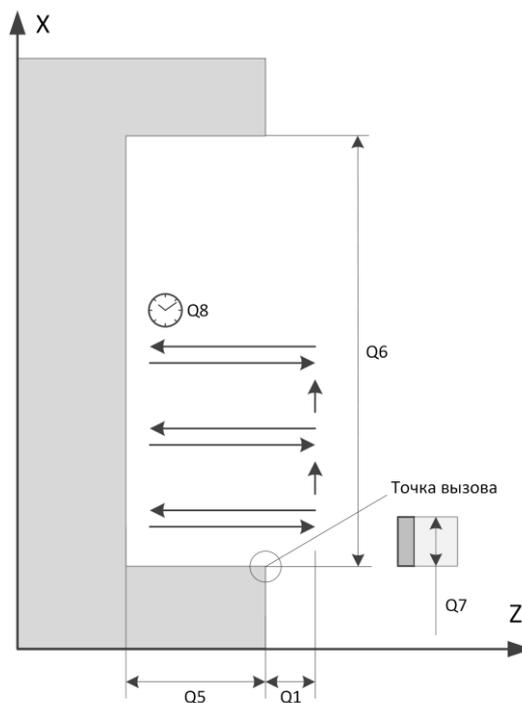
Q7 – ширина инструмента. Положительное значение, не больше Q6. Значение по умолчанию не берется из таблицы инструментов, поэтому ширина должна быть задана явно!

Q8 – время задержки инструмента в нижней точке контура. Неотрицательное значение. При отсутствии параметра задержка не производится.

Q9 – перекрытие двух соседних врезаний инструмента. Положительное значение. Должно быть меньше Q7.

### Ход цикла:

- 1) Инструмент перемещается в точку старта цикла вдоль оси X с подачей ускоренного перемещения G00. Следите за тем, чтобы инструмент перед запуском цикла был на безопасном расстоянии относительно заготовки!
- 2) Инструмент перемещается вдоль оси Z до безопасного расстояния 1 (Q1) над заданным уровнем поверхности детали с подачей ускоренного перемещения G00.
- 3) Производится точение на полную глубину Q5 с подачей Q3.
- 4) Возврат на безопасное расстояние 1. Подача Q4.
- 5) Перемещение на следующую позицию резания вдоль оси X (на расстояние, равное разности Q7 – Q9). Подача Q4.
- 6) Повтор шагов 3-5 до достижения длины Q6.
- 7) Производится отвод до безопасного расстояния 1 (Q1) с подачей Q4, затем до безопасного расстояния 2 или исходной точки с подачей позиционирования G00.



**Рисунок 11.9 – Обработка торцевой канавки**

**Пример 11.11:**

```
G17 G90 G15 G191 G71 G72 G172 G272 G94 G97 G49 G40 G00 G80 G98
G53 G153 G193 G64 BRISK CUT2DF ORIAXES // Строка безопасности

N10 Z50
N20 G289 X10 Y0 Z30 Q3=500 Q5=-10 Q6=60 Q7=10 Q8=0.5 Q9=1
M30
```

**Пояснение:**

Выполняется точение канавки длиной 60 мм и глубиной 10 мм с подачей 500 мм/мин в точке X10 Z30. Ширина инструмента 10 мм, перекрытие врезаний 1 мм, задержка 0.5 сек.

**11.8 Циклы фрезерной обработки G387, G388, G389**

Циклы фрезерования учитывают выбор текущей рабочей плоскости. Описание циклов дано для плоскости G17. Логика цикла для любой плоскости аналогична. Меняется только направление перемещений.

**11.8.1 Фрезерование прямоугольного кармана (цикл G387)**

**Синтаксис: G387 Q1 Q2 Q3 Q4 Q5 Q6 Q7 Q8 Q9 Q10 Q11 Q12 Q13**

Цикл предназначен для многопроходного фрезерования прямоугольного кармана с закругленными углами. Обработка производится от центра к периферии, послойно (карман фрезеруется целиком в несколько проходов, пока не будет достигнута заданная глубина).

## Параметры цикла:

Q1...Q4 – базовые параметры цикла. См. разделы 11.4 и 11.5.

Q5 – глубина кармана. Может быть задана как положительная, так и отрицательная величина. Знак определяет направление резания по оси, перпендикулярной рабочей плоскости. Нулевое значение не допускается.

Q6 – глубина одного прохода. Положительное значение, не превышающее абсолютной величины Q5.

Q7 – размер кармана по оси X (первой оси рабочей плоскости). Положительное значение. Не может быть меньше диаметра инструмента (инструмент должен быть выбран, иначе произойдет останов цикла по ошибке 603).

Q8 – размер кармана по оси Y (второй оси рабочей плоскости). Положительное значение. Не может быть меньше диаметра инструмента (инструмент должен быть выбран, иначе произойдет останов цикла по ошибке 603).

Q9 (1, -1) – направление последовательности режущих движений при обработке кармана (1 – против часовой стрелки, -1 – по часовой стрелке, если смотреть на рабочую плоскость сверху). По умолчанию – против часовой стрелки.

Q10 – радиус закругления углов. Не может быть меньше радиуса инструмента.

Q11 – угол поворота кармана вокруг оси, перпендикулярной рабочей плоскости. По умолчанию – 0.

Q12 – явное задание радиуса инструмента. При отсутствии параметра радиус определяется исходя из параметров ранее выбранного в программе инструмента. Заданный явным образом радиус не должен быть меньше радиуса выбранного в программе инструмента (задание радиуса, большего фактического, дает возможность сделать припуск, например при черновой обработке).

Q13 – перекрытие врезаний инструмента. Положительное значение, меньшее диаметра инструмента.

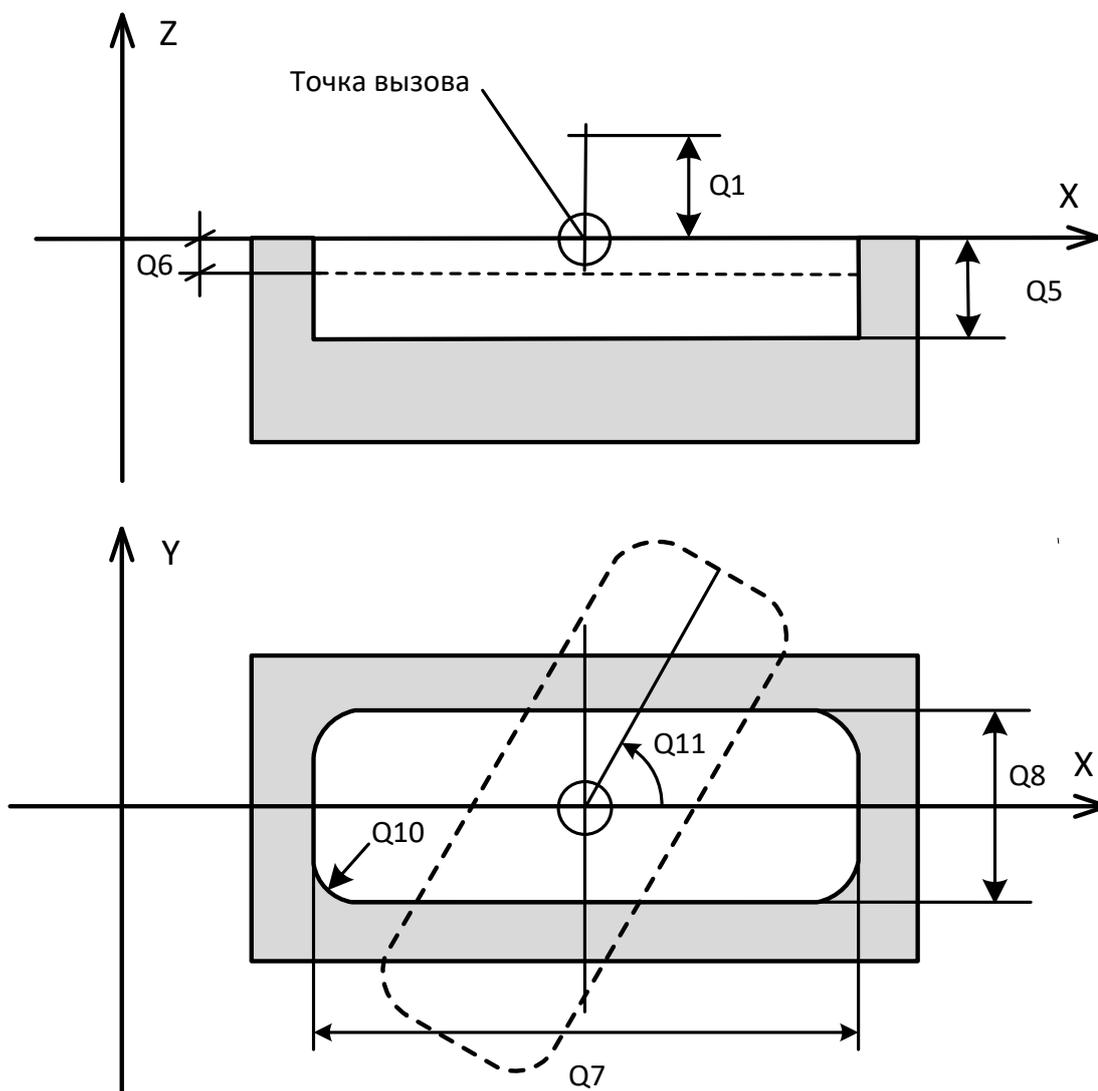
## Параметры цикла, изменяемые при преобразовании системы координат:

|                            | Изменяемые параметры цикла | Примечание  |
|----------------------------|----------------------------|---|
| Зеркальное отображение G73 | Q9                         | Меняется направление обхода                             |
|                            | Q11                        | Угол поворота кармана                                   |
| Масштабирование G173       | Q5                         | Глубина кармана   |
|                            | Q7 / Q8                    | Размер кармана по первой / второй оси рабочей плоскости |
|                            | Q10                        | Радиус закругления углов                                |
| Поворот G273               | Q11                        | Угол поворота кармана                                   |

## Ход цикла:

- 1) Инструмент перемещается в точку старта цикла (центр кармана) параллельно рабочей плоскости с подачей ускоренного перемещения G00.
- 2) Инструмент опускается до безопасного расстояния 1 (Q1) над заданным уровнем поверхности детали (перпендикулярно рабочей плоскости) с подачей ускоренного перемещения G00.
- 3) Производится погружение в материал на величину шага врезания Q6 с подачей Q3.
- 4) Фрезеруется вся площадь кармана последовательными движениями с пошаговым удалением от центра. Подача Q3.
- 5) Производится отвод до безопасного расстояния 1 (Q1), затем – в центр кармана параллельно рабочей плоскости. Подача Q4.
- 6) Шаги 3-5 повторяются до достижения заданной глубины кармана.

- 7) Производится отвод до безопасного расстояния 2 или исходной точки вызова цикла с подачей позиционирования G00.



**Рисунок 11.10 – Фрезерование прямоугольного кармана**

**Пример 11.12:**

```
G17 G90 G15 G191 G71 G72 G172 G272 G94 G97 G49 G40 G00 G80 G98
G53 G153 G193 G64 BRISK CUT2DF ORIAXES // Строка безопасности

N10 M6 T1 // фреза, радиус <= 4 мм
N20 Z60
N30 G387 Q3=500 Q5=-10 Q6=2 Q7=40 Q8=30 Q10=10 Q11=30 Q12=4 Q13=1
N40 X30 Y0 Z0
M30
```

**Пояснение:**

Выполняется фрезерование кармана 40x30 мм, с радиусом углов 10 мм и глубиной 10 мм, с подачей 500 мм/мин в точке X30 Y0. Уровень поверхности Z0. Угол поворота кармана 30 градусов. Если явно заданный параметром Q12 радиус инструмента

(4 мм) больше радиуса установленного в шпинделе инструмента, то этим обеспечивается припуск при обработке. Перекрытие врезаний 1 мм.

## 11.8.2 Фрезерование паза (цикл G388)

**Синтаксис: G388 Q1 Q2 Q3 Q4 Q5 Q6 Q7 Q8 Q9 Q11 Q12 Q13**

Цикл предназначен для многопроходного фрезерования паза. Точка вызова цикла находится над центром скругления паза. Геометрически паз схож с карманом, но алгоритм цикла обработки паза другой – инструмент фрезерует основную часть паза за несколько проходов от одного конца к другому до требуемой глубины, после чего обрабатывает контур паза периферийной поверхностью фрезы.

В целях унификации синтаксиса назначение параметров сделано по возможности аналогично циклу обработки прямоугольного кармана G387.

### Параметры цикла:

Q1...Q4 – базовые параметры цикла. См. разделы 11.4 и 11.5.

Q5 – глубина паза. Может быть задана как положительная, так и отрицательная величина. Знак определяет направление резания по оси, перпендикулярной рабочей плоскости. Нулевое значение не допускается.

Q6 – глубина одного прохода. Положительное значение, не превышающее абсолютной величины Q5.

Q7 – длина паза вдоль оси X (первой оси рабочей плоскости). Положительное значение. Не может быть меньше диаметра инструмента (инструмент должен быть выбран, иначе произойдет останов цикла по ошибке 603) и меньше ширины паза (Q8).

Q8 – ширина паза. Положительное значение. Не может быть меньше диаметра инструмента (инструмент должен быть выбран, иначе произойдет останов цикла по ошибке 603).

Q9 (1,-1) – направление последовательности режущих движений при обработке паза (1 – против часовой стрелки, -1 – по часовой стрелке, если смотреть на рабочую плоскость сверху). По умолчанию – против часовой стрелки.

Q11 – угол поворота паза вокруг оси, перпендикулярной рабочей плоскости. По умолчанию – 0.

Q12 – явное задание радиуса инструмента. При отсутствии параметра радиус определяется исходя из параметров ранее выбранного в программе инструмента. Заданный явным образом радиус не должен быть меньше радиуса выбранного в программе инструмента (задание радиуса, большего фактического, дает возможность сделать припуск, например при черновой обработке).

Q13 – величина шага периферийного фрезерования. Положительное значение, меньшее диаметра инструмента.

### Параметры цикла, изменяемые при преобразовании системы координат:

|                            | Изменяемые параметры цикла | Примечание  |
|----------------------------|----------------------------|---|
| Зеркальное отображение G73 | Q9                         | Меняется направление обхода                                 |
|                            | Q11                        | Угол поворота кармана                                       |
| Масштабирование G173       | Q5                         | Глубина кармана   |
|                            | Q7 / Q8                    | Длина паза вдоль первой оси рабочей плоскости / ширина паза |
| Поворот G273               | Q11                        | Угол поворота кармана                                       |

### Ход цикла:

- 1) Инструмент перемещается в точку старта цикла (левый центр скругления паза) параллельно рабочей плоскости с подачей ускоренного перемещения G00.
- 2) Инструмент опускается до безопасного расстояния 1 (Q1) над заданным уровнем поверхности детали (перпендикулярно рабочей плоскости) с подачей ускоренного перемещения G00.
- 3) Производится погружение в материал на величину шага врезания Q6 с подачей Q3.
- 4) Производится движение резания ко второму центру скругления паза параллельно рабочей плоскости. Подача Q3.
- 5) Шаги 3-4 повторяются до достижения заданной глубины паза.
- 6) Производится периферийное фрезерование стенок паза последовательными движениями. Подача Q3.
- 7) Производится отвод до безопасного расстояния 1 (Q1) с подачей Q4, затем до безопасного расстояния 2 или исходной точки с подачей позиционирования G00.

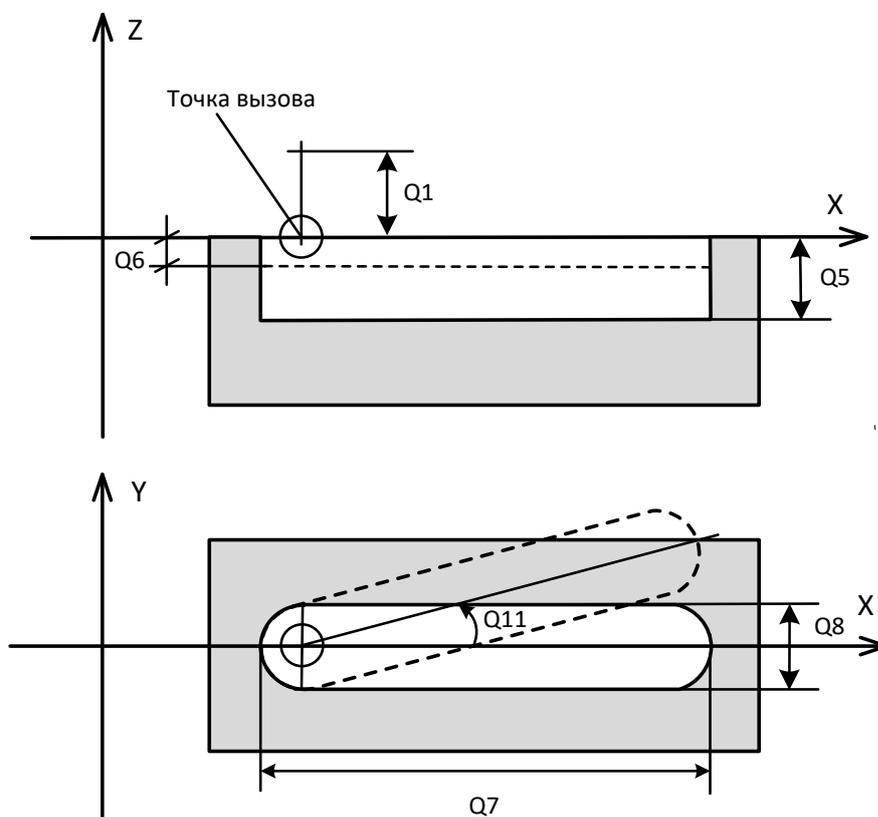


Рисунок 11.11 – Фрезерование паза

### Пример 11.13:

```
G17 G90 G15 G191 G71 G72 G172 G272 G94 G97 G49 G40 G00 G80 G98  
G53 G153 G193 G64 BRISK CUT2DF ORIAXES // Строка безопасности
```

```
N10 Z60  
N20 G388 Q3=500 Q5=-10 Q6=2 Q7=50 Q8=15 Q11=45 Q12=4 Q13=1  
N30 X30 Y0 Z0  
M30
```

### Пояснение:

Выполняется фрезерование паза 50x15 мм, глубиной 10 мм, с подачей 500 мм/мин в точке X30 Y0. Уровень поверхности Z0. Угол поворота кармана – 45 градусов. Если явно заданный параметром Q12 радиус инструмента (4 мм) больше радиуса установленного в шпинделе инструмента, то этим обеспечивается припуск при обработке. Шаг периферийного фрезерования 1 мм.

### 11.8.3 Фрезерование круглого кармана (цикл G389)

**Синтаксис: G389 Q1 Q2 Q3 Q4 Q5 Q6 Q7 Q9 Q12 Q13**

Цикл предназначен для многопроходного фрезерования круглого кармана. Точка вызова находится над центром кармана. Обработка производится от центра к периферии, послойно (карман фрезеруется целиком несколько раз, пока не будет достигнута заданная глубина).

В целях унификации синтаксиса назначение параметров сделано по возможности аналогично циклу обработки прямоугольного кармана G387.

#### Параметры цикла:

Q1...Q4 – базовые параметры цикла. См. разделы 11.4 и 11.5.

Q5 – глубина кармана. Может быть задана как положительная, так и отрицательная величина. Знак определяет направление резания по оси, перпендикулярной рабочей плоскости. Нулевое значение не допускается.

Q6 – глубина одного прохода. Положительное значение, не превышающее абсолютной величины Q5.

Q7 – диаметр кармана. Положительное значение. Не может быть меньше диаметра инструмента (инструмент должен быть выбран, иначе произойдет останов цикла по ошибке 603).

Q9 (1,-1) – направление последовательности режущих движений при обработке кармана (1 – против часовой стрелки, -1 – по часовой стрелке, если смотреть на рабочую плоскость сверху). По умолчанию – против часовой стрелки.

Q12 – явное задание радиуса инструмента. При отсутствии параметра радиус определяется исходя из параметров ранее выбранного в программе инструмента. Заданный явным образом радиус не должен быть меньше радиуса выбранного в программе инструмента (задание радиуса, большего фактического, дает возможность сделать припуск, например при черновой обработке).

Q13 – перекрытие врезаний инструмента. Положительное значение, меньшее диаметра инструмента.

#### Параметры цикла, изменяемые при преобразовании системы координат:

|                            | Изменяемые параметры цикла | Примечание                  |
|----------------------------|----------------------------|-----------------------------|
| Зеркальное отображение G73 | Q9                         | Меняется направление обхода |
| Масштабирование G173       | Q5                         | Глубина кармана             |
|                            | Q7                         | Диаметр кармана             |

### Ход цикла:

- 1) Инструмент перемещается в точку старта цикла (центр кармана) параллельно рабочей плоскости с подачей ускоренного перемещения G00.
- 2) Инструмент опускается до безопасного расстояния 1 (Q1) над заданным уровнем поверхности детали (перпендикулярно рабочей плоскости) с подачей ускоренного перемещения G00.
- 3) Производится погружение в материал на величину шага врезания Q6 с подачей Q3.
- 4) Фрезеруется вся площадь кармана последовательными движениями с пошаговым удалением от центра. Подача Q3.
- 5) Производится отвод до безопасного расстояния 1 (Q1), затем – в центр кармана параллельно рабочей плоскости. Подача Q4.
- 6) Шаги 3-5 повторяются до достижения заданной глубины кармана.
- 7) Производится отвод до безопасного расстояния 2 или исходной точки вызова цикла с подачей позиционирования G00.

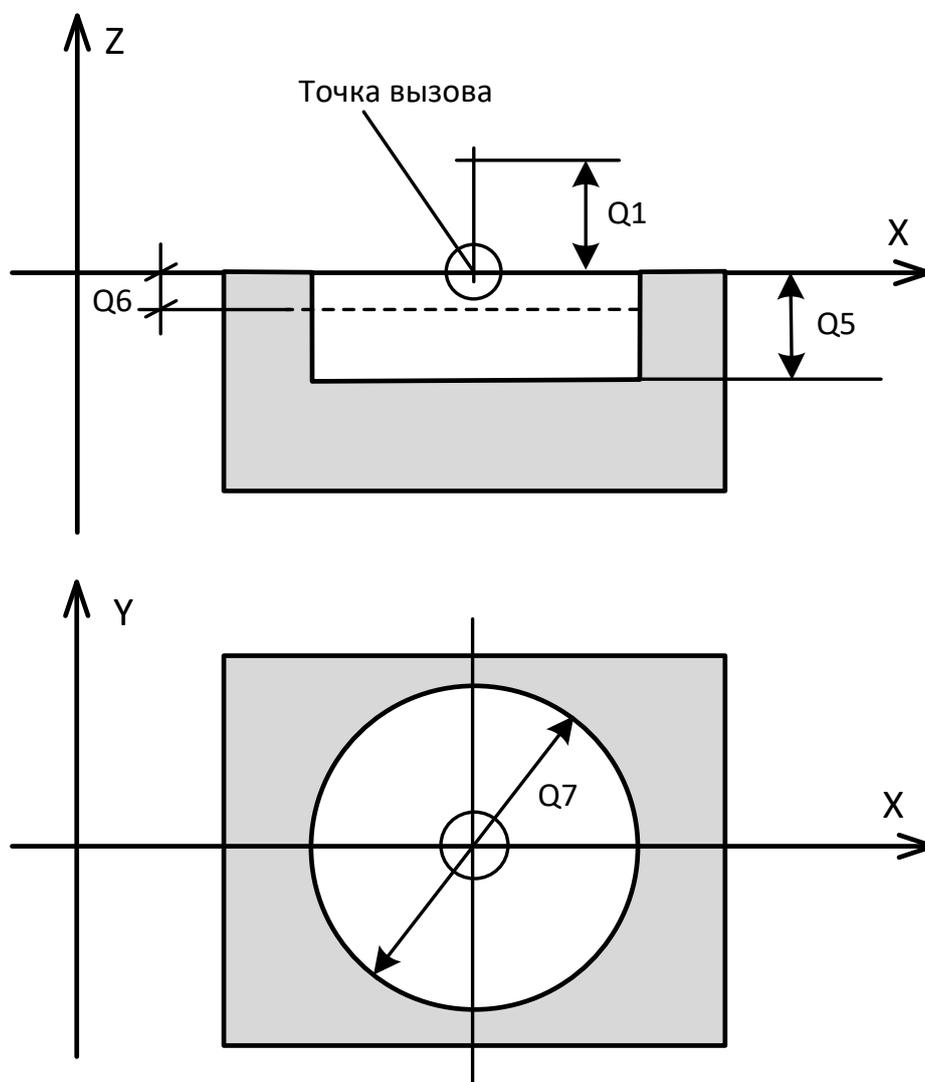


Рисунок 11.12 – Фрезерование круглого кармана

### Пример 11.14:

```
G17 G90 G15 G191 G71 G72 G172 G272 G94 G97 G49 G40 G00 G80 G98  
G53 G153 G193 G64 BRISK CUT2DF ORIAxes // Строка безопасности
```

```
N10 Z60  
N20 G389 Q3=500 Q5=-10 Q6=2 Q7=40 Q12=4 Q13=1  
N30 X30 Y0 Z0  
M30
```

**Пояснение:**

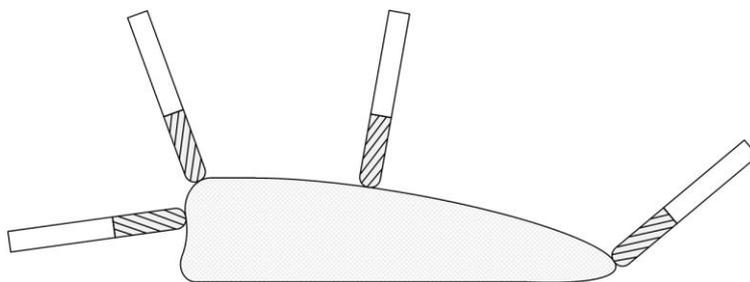
Выполняется фрезерование кармана диаметром 40 мм и глубиной 10 мм с подачей 500 мм/мин в точке X30 Y0. Уровень поверхности Z0. Если явно заданный параметром Q12 радиус инструмента (4 мм) больше радиуса установленного в шпинделе инструмента, то этим обеспечивается припуск при обработке. Перекрытие врезаний 1 мм.

## 12 Функции поддержки многокоординатной обработки

### 12.1 Понятие многокоординатной обработки

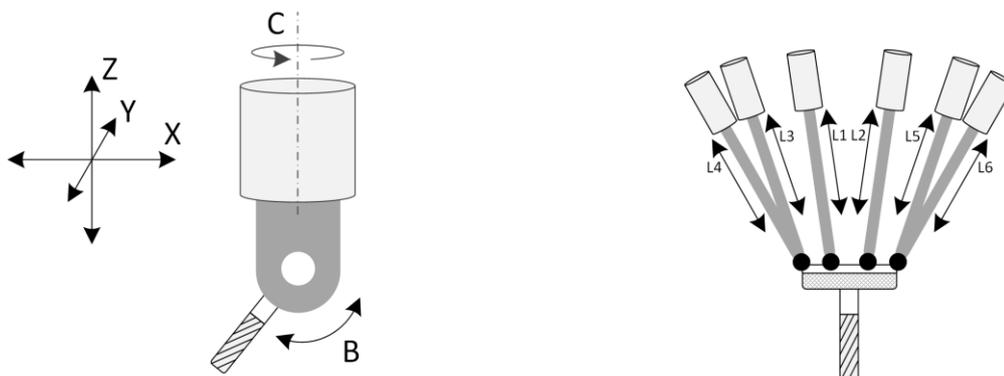
Под многокоординатной обработкой в общем смысле понимается технологическая задача, решение которой требует задания в управляющей программе системы ЧПУ нескольких дополнительных координат помимо декартовых. Чаще всего это относится к тем случаям, когда инструменту необходимо задавать не только положение, но и ориентацию в пространстве. Именно в таком узком смысле (обработка заготовки инструментом с переменной ориентацией) мы будем далее понимать предмет настоящего раздела.

Под ориентацией инструмента подразумевается направление его вектора в пространстве и (в ряде случаев) угла его поворота вокруг собственной оси. Изменение ориентации инструмента необходимо для обширного класса технологических задач. Среди них можно выделить обработку наклонных поверхностей, сверление и фрезерование наклонных отверстий, фрезерование поверхностей свободной формы. Обработка свободно-ориентированных поверхностей чаще всего упоминается как наиболее ответственная и сложная задача для многокоординатного станка с ЧПУ. Действительно, при обработке детали свободной формы для обеспечения оптимальных условий резания, высокой точности и качества поверхности, а иногда и самой возможности подвода к контуру без коллизий требуется в реальном времени изменять наклон инструмента относительно детали одновременно с перемещением его режущей кромки (Рисунок 12.1).



*Рисунок 12.1 – Обработка поверхности сложной формы*

Наклон инструмента может осуществляться существенно отличными друг от друга способами на станках с разным конструктивным исполнением. Наиболее распространенные варианты пятикоординатных машин базируются на классических схемах с поворотными осями (поворотная голова, глобусный стол) или на схемах с параллельной кинематикой (гексаподы и др.).



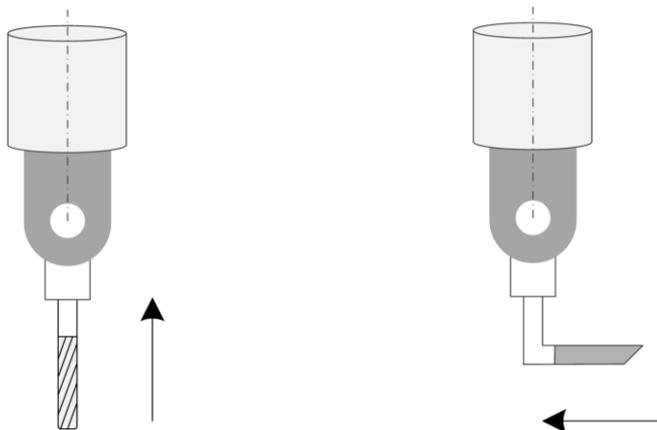
*Рисунок 12.2 – Виды конструктивного исполнения пятикоординатных станков*

## 12.1 Базовая ориентация инструмента

Под базовой ориентацией понимается направление инструмента в пространстве при “нулевом” положении осей кинематической схемы, т.е. когда нулевой инструмент должен быть направлен вдоль определенной настройками кинематики оси. Базовая ориентация зависит от:

- выбранной плоскости (в случае выбора G43–G44);
- выбранной функции G43–G49;
- типа текущего инструмента и самого наличия выбранного инструмента.

Рисунок 12.3 иллюстрирует тот факт, что инструменты при базовом положении кинематической схемы могут иметь разную ориентацию.



**Рисунок 12.3 – Различная ориентация инструментов разных типов при базовом положении кинематической схемы**

Базовая ориентация определяет логическую ориентацию инструмента для определенного положения физических осей станка и, таким образом, влияет на работу большинства функций поддержки многокоординатной обработки. Правила определения системой ЧПУ базовой ориентации следующие:

- Если текущий инструмент не выбран (не известен) или выбрана нулевая кромка D0, а также если активна функция G49 (коррекция длины инструмента отключена), ориентация инструмента считается нулевой. Значение нулевой ориентации зависит от кинематической схемы, но, как правило, соответствует направлению вдоль оси Z СКС (т.е. вектор инструмента равен  $\{0, 0, 1\}$ ).
- При активных функциях G43 и G44 базовая ориентация определяется исходя из типа инструмента в соответствии со следующими таблицами:

**Таблица 12.1 – Фрезерный, сверлильный и специальный инструмент**

| Выбранная плоскость | Вектор инструм. при активной G43 | Вектор инструм. при активной G44 |
|---------------------|----------------------------------|----------------------------------|
| G17                 | $\{0, 0, 1\}$                    | $\{0, 0, -1\}$                   |
| G18                 | $\{0, 1, 0\}$                    | $\{0, -1, 0\}$                   |
| G19                 | $\{1, 0, 0\}$                    | $\{-1, 0, 0\}$                   |

**Таблица 12.2 – Токарный и шлифовальный инструмент**

| <b>Выбранная плоскость</b> | <b>Вектор инструм. при активной G43</b> | <b>Вектор инструм. при активной G44</b> |
|----------------------------|---|---|
| G17                        | {0, 1, 0}                               | {0, -1, 0}                              |
| G18                        | {1, 0, 0}                               | {-1, 0, 0}                              |
| G19                        | {0, 0, 1}                               | {0, 0, -1}                              |

- При активной функции G45 базовая ориентация также соответствует указанным выше таблицам в соответствии с выбором параметра L (например, при вызове G45 L-18 ориентация соответствует выбору G18 + G44).

Следует иметь в виду, что (если не указано иное в описании кинематической схемы) базовая ориентация инструмента с ненулевыми эйлеровыми углами (например, вдоль оси X) не позволяет программировать ориентацию в обобщенных координатах (углами или компонентами вектора). В этом случае доступно только прямое задание перемещений круговым и иным осям, влияющим на ориентацию инструмента.

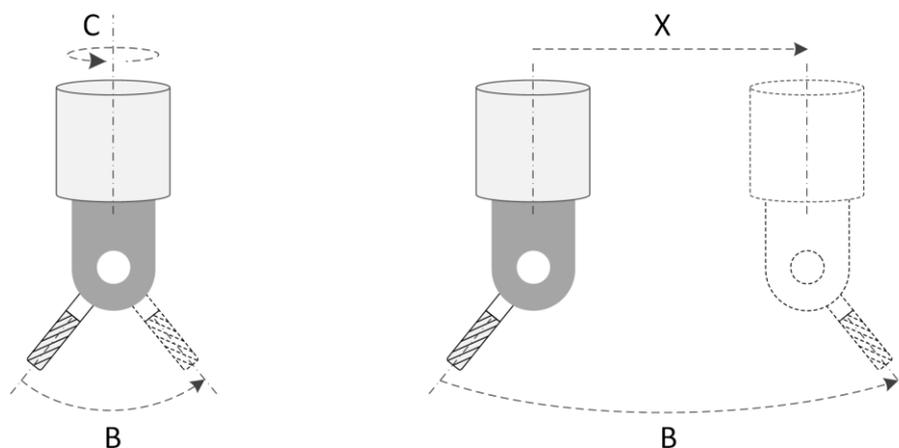
## **12.2 Трансформация ориентации инструмента. Функции TRAORI и TRAFFOFF**

**Подготовительные функции: TRAORI, TRAFFOFF**

**Характеристика:                    модальные**

### **12.2.1 Задача компенсации смещения при изменении ориентации**

Положение режущей кромки инструмента и его ориентация являются взаимозависимыми величинами. Поворот вектора инструмента в большинстве случаев приводит к изменению координат его конца. Рассмотрим Рисунок 12.4. Слева показано вращение инструмента при неподвижных осях X, Y, Z. Конец инструмента при этом описывает дугу, радиус которой зависит от длины инструмента (независимо от того, какая из двух круговых осей вращается. В данном случае будем иметь в виду ось B). Справа изображено комбинированное движение – синхронное перемещение по оси X с вращением по оси B (пример: G91 G01 X50 B-75 F600). Видим, что и в этом случае конец инструмента движется в пространстве по кривой. То же самое происходит и на станках, где ориентация меняется путем поворота стола (глобусный стол), так как при этом положение конца инструмента отсчитывается относительно детали на столе, а не системы координат станка.



**Рисунок 12.4 – Движение конца инструмента при изменении ориентации в кадре**

Ошибка смещения конца инструмента неизбежно возникает из-за самой постановки задачи многокоординатной обработки. В общем случае нельзя обеспечить движение режущей кромки инструмента с изменяемой ориентацией по заданному контуру без компенсации смещения координат. Можно найти решение этой проблемы вне рамок системы управления – путем учета параметров кинематической схемы в САМ-системе и последующей генерации программы, состоящей из огромного количества коротких кадров (в этом случае ошибка из-за смещения в пределах одного кадра будет находиться в допустимых пределах). Однако такой подход имеет ряд недостатков: ухудшение динамики движения, локальные нарушения заданных режимов резания (подачи режущей кромки относительно детали), большой объем программы, необходимость заново генерировать программу при изменении длин используемых инструментов (даже при износе на несколько микрон). В современных системах ЧПУ стандартом для решения проблемы смещения конца ориентируемого инструмента является функция трансформации ориентации.

### 12.2.2 Функция включения трансформации TRAORI

Функция TRAORI предназначена для компенсации смещения конца инструмента при изменении его ориентации относительно детали. Компенсация производится в реальном времени. Система ЧПУ перемещает оси станка таким образом, чтобы положение конца инструмента в каждой точке контура соответствовало запрограммированным в кадре координатам X, Y, Z и выбранной в программе функции интерполяции. В некотором смысле можно сказать, что функция TRAORI представляет собой расширение функции компенсации длины инструмента на случай переменной ориентации.

Рассмотрим два примера, характеризующие поведение системы ЧПУ при активной функции трансформации.

**Пример 12.1 – Изменение ориентации без изменения положения (Рисунок 12.5, слева):**

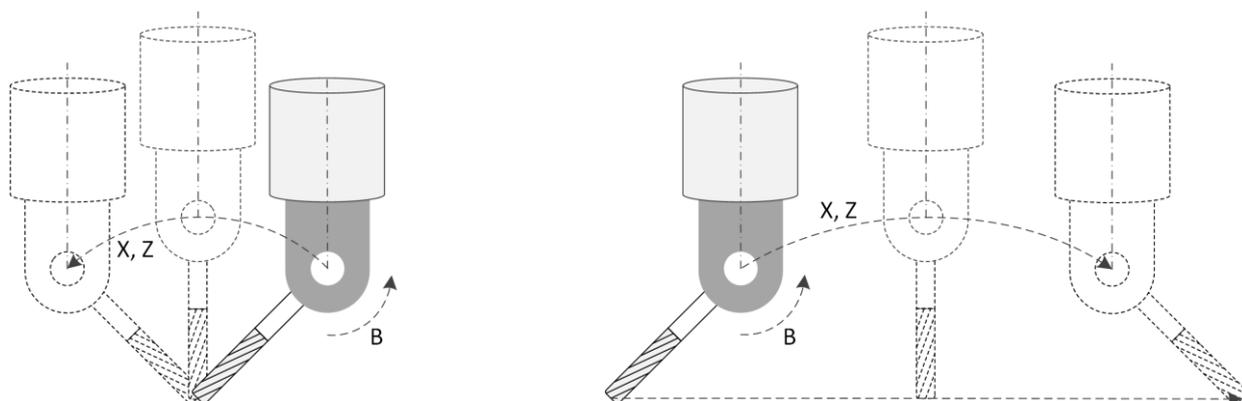
```
G17 G90 G15 G191 G71 G72 G172 G272 G94 G97 G49 G40 G00 G80 G98
G53 G153 G193 G64 BRISK CUT2DF ORIAXES // Строка безопасности

N10 T2 M6 //Выбор инструмента
N20 G43 //Включение компенсации длины
N30 TRAORI //Включение трансформации
N40 G01 G91 B-75 F600 //Движение оси B на -75 градусов
N50 M30 //Конец программы
```

**Пример 12.2 – Изменение ориентации с изменением положения (Рисунок 12.5, справа):**

```
G17 G90 G15 G191 G71 G72 G172 G272 G94 G97 G49 G40 G00 G80 G98  
G53 G153 G193 G64 BRISK CUT2DF ORIAxes // Строка безопасности
```

```
N10 T2 M6 //Выбор инструмента  
N20 G43 //Включение компенсации длины  
N30 TRAORI //Включение трансформации  
N40 G01 G91 X100 B-75 F600 //Комбинированное движение осей X и B  
N50 M30 //Конец программы
```



**Рисунок 12.5 – Движение конца инструмента при активной функции TRAORI**

В первом примере в кадре N40 задается поворот оси B, в результате которого изменяется наклон инструмента. При этом никакого смещения по координатам X, Y, Z не задано. В ходе реализации движения оси B система ЧПУ управляет осями X и Z синхронно с поворотом оси B, обеспечивая постоянство позиции конца инструмента.

Во втором примере задано комбинированное движение: смещение координаты X и поворот оси B. Система управления реализует совместное движение осей X, Z и B таким образом, чтобы конец инструмента перемещался в системе координат детали по прямой (как и должно быть при активной функции линейной интерполяции G01). При активной круговой и сплайновой интерполяции все будет происходить таким же образом: если функция TRAORI включена, запрограммированное движение в кадре будет относиться к концу инструмента (т.е. каким бы ни было движение осей ориентации, конец инструмента будет перемещаться по кругу или сплайну).

Если трансформацию в приведенных примерах не использовать, картина движений будет напоминать Рисунок 12.4 (т.е. при расчете движения в пространстве не будет учитываться поворот инструмента).

**Внимание:** для корректного расчета трансформации должен быть выбран инструмент с известной (т.е. прописанной в таблице) длиной, а функция компенсации длины инструмента (G43–G45) должна быть активна. В противном случае координаты X, Y, Z будут относиться к базовой поверхности крепления инструментов станка (т.е. кинематическая трансформация будет производиться исходя из нулевой длины инструмента).

### 12.2.3 Функция отключения трансформации TRAFFOFF

Отключение трансформации ориентации производится функцией TRAFFOFF. Эта функция активна по умолчанию в G-векторе (другими словами, сразу после старта и инициализации системы ЧПУ трансформация выключена).

### Пример 12.3:

```
G17 G90 G15 G191 G71 G72 G172 G272 G94 G97 G49 G40 G00 G80 G98  
G53 G153 G193 G64 BRISK CUT2DF ORIAXES // Строка безопасности
```

```
N10 T2 M6 //Выбор инструмента  
N20 G43 //Включение компенсации длины  
N30 TRAORI //Включение трансформации  
N40 G01 B45 F600 //Вращение инструмента  
N50 TRAF0FF //Выключение трансформации  
N60 B0 //Движение оси B в ноль  
N70 M30 //Конец программы
```

Здесь в кадре N40 производится смена ориентации при неподвижном конце инструмента, затем трансформация отключается (N50) и производится вращение инструмента к вертикальному положению без контроля положения режущей кромки (N60).

## 12.2.4 Особенности работы

Ниже перечислены важные замечания о работе с функцией трансформации (некоторые из них были упомянуты ранее, но еще раз приводятся здесь ввиду их существенного влияния на ожидаемый характер движения осей станка).

- 1) Использование функции TRAORI может быть запрещено назначенной каналу кинематической схемой. В этом случае выполнение кадра прерывается с ошибкой 654. Дополнительные условия применения функции трансформации указываются в описании кинематических схем (см. документ «Конфигурирование кинематической схемы станка»).
- 2) Для некоторых кинематических схем явное включение функции трансформации не требуется, так как они всегда работают в режиме совместного управления ориентацией и положением инструмента (это характерно для схем с параллельной кинематикой. Для справки также см. документ «Конфигурирование кинематической схемы станка»).
- 3) К моменту вызова функции TRAORI или любого кадра движения, выполняемого в режиме кинематической трансформации, должен быть выбран активный инструмент с известной (т.е. прописанной в таблице) длиной, а функция компенсации длины инструмента (G43–G45) должна быть включена. В противном случае, компенсационные движения не будут выполняться правильно.
- 4) Сразу после старта и инициализации системы ЧПУ трансформация выключена (в G-векторе системы активна функция TRAF0FF).
- 5) В режиме трансформации запрограммированная подача определяет скорость перемещения конца инструмента, если ему задано смещение в пространстве. Если же конец неподвижен, а меняется только ориентация, то подача определяет угловую скорость вращения инструмента. Не рекомендуется указывать в кадре координаты X, Y, Z, если предполагается изменить только ориентацию инструмента. Дело в том, что привод станка практически никогда не находится точно в заданной позиции (из-за нагрузок, характера алгоритмов автоматического регулирования и других факторов его положение, как правило, отличается на несколько дискрет от командного). Ввиду этого, указание линейных координат в кадре даже без предполагаемого смещения может приводить к тому, что система будет относить подачу к линейному перемещению конца инструмента, а поворот по круговым осям при этом будет производиться с большей скоростью, чем планировалось оператором.

### **Пример 12.4:**

```
G17 G90 G15 G191 G71 G72 G172 G272 G94 G97 G49 G40 G00 G80 G98
G53 G153 G193 G64 BRISK CUT2DF ORIAXES // Строка безопасности

N10 T2 M6 //Выбор инструмента
N20 G43 //Включение компенсации длины
N30 TRAORI //Включение трансформации
N40 G01 Z10 F600 //Перемещение конца инструмента
N50 M1 //Условный останов программы
N60 G01 Z10 B45 //Вращение инструмента, координата Z указана
N70 G01 B90 //Вращение инструмента без указания координаты Z
N80 M30 //Конец программы
```

### **Пояснения:**

В кадре N50 производится останов программы. После такой операции система ЧПУ всегда пересчитывает текущие программные координаты исходя из позиций приводов. При этом в момент пуска после M0 позиция по оси Z может отличаться от точного значения 10 мм (на доли микрон). Вследствие этого при обработке кадра N60 система ЧПУ будет планировать движение, исходя из заданного линейного перемещения. Так как угол поворота оси B на несколько порядков больше величины линейного перемещения, скорость поворота будет значительно отличаться от планируемой (как правило, в большую сторону). При обработке кадра N70 такой опасности нет, так как в нем указан только поворот по оси B, что явно говорит системе о намерении программиста повернуть инструмент без смещения в пространстве.

## **12.3 Средства программирования ориентации инструмента**

Внимание: любое изменение ориентации (как с помощью обобщенных координат, так и путем прямого программирования позиций осей) запрещено при активной эквидистантной коррекции (ошибка 656).

### **12.3.1 Прямое задание позиций осей ориентации**

Для задания инструменту требуемой ориентации можно напрямую запрограммировать позиции осей станка (т.е. задать в кадре адреса координат, связанных с осями ориентации – например, B и C для поворотной головы). В этом случае перемещения по осям ориентации будут происходить синхронно с движением инструмента в пространстве.

### **Пример 12.5:**

```
G17 G90 G15 G191 G71 G72 G172 G272 G94 G97 G49 G40 G00 G80 G98
G53 G153 G193 G64 BRISK CUT2DF ORIAXES // Строка безопасности

N10 T2 M6 //Выбор инструмента
N20 G43 //Включение компенсации длины
N30 TRAORI //Включение трансформации
N40 G01 X100 Y50 B45 C30 F600 //Поворот осей B и C одновременно с
движением по координатам X и Y
N50 M30 //Конец программы
```

## Пояснения:

В ходе перемещения в конечную точку кадра N40 оси В и С будут поворачиваться по линейному закону, достигая в конце кадра позиций 45 и 30.

Однако вспомним, что многокоординатные станки могут строиться на основе разных кинематических схем. Оси на одном станке расположены не так, как на другом и могут иметь иной геометрический смысл. Из этого следует, что управляющая программа, в которой ориентация задается путем прямого программирования осей ориентации, является кинематически-зависимой, т.е. может корректно выполняться только на станке одного типа и одной серии. Для другого станка программу необходимо генерировать заново, вводя в САМ-систему актуальные кинематические параметры. Более того, для станков с параллельной кинематикой, как правило, вообще нельзя выделить отдельные оси ориентации и напрямую задать им положение, так как все оси одновременно участвуют в реализации движений ориентации и пространственного перемещения инструмента. Следовательно, программировать ориентацию лучше с помощью кинематически-независимых параметров (см. следующие разделы). Исключением могут быть случаи, когда технологу необходимо быть точно уверенным в том, куда будут двигаться круговые оси станка. Только прямое задание позиций может гарантировать, что оси повернутся в заданные положения, так как кинематически-независимые координаты могут быть реализованы разными совокупностями поворотов.

## 12.3.2 Углы ориентации. Функции **ORIEULER** и **ORIRPY**

### Подготовительные функции: **ORIEULER**, **ORIRPY**

**Характеристика:**                    **модальные**

Задать требуемую ориентацию в конце кадра можно с помощью трех углов поворота твердого тела, геометрический смысл которых не зависит от кинематики станка и определяется активной функцией режима программирования углов (**ORIEULER** или **ORIRPY**). Углы ориентации задаются тремя расширенными адресами: A2, B2, C2.

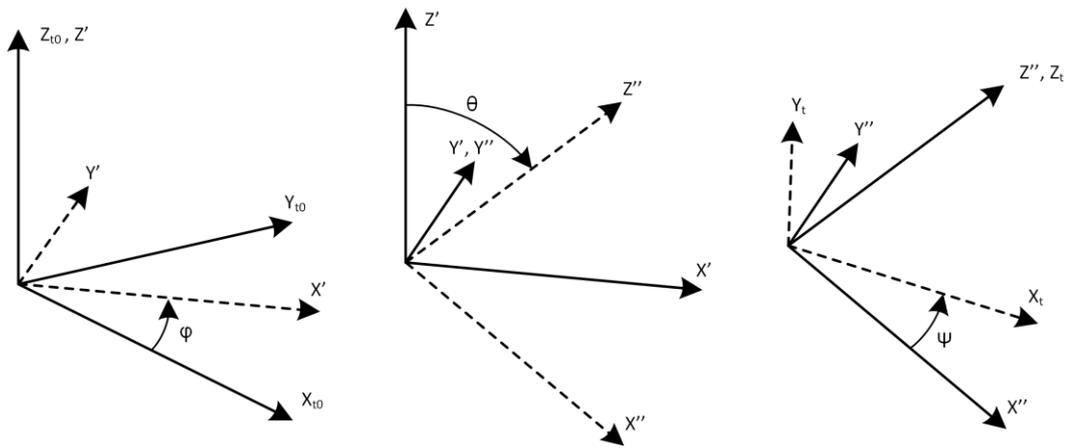
### Углы ориентации в режиме **ORIEULER**

По умолчанию (при старте системы ЧПУ) в G-векторе включена функция **ORIEULER**, которая определяет величины A2, B2, C2 как углы Эйлера, соответствующие последовательности вращений вида ZY'Z''.

Другими словами, ориентация определяется углами трех последовательных поворотов системы координат инструмента (считаем, что до поворотов система координат инструмента совпадает с базой ориентации, которая может являться как системой координат станка, так и текущей системой координат детали. Это зависит от активной функции выбора базы ориентации, см. раздел 12.3.4):

- 1) A2: угол прецессии  $\varphi$  (поворот вокруг оси Z);
- 2) B2: угол нутации  $\theta$  (поворот вокруг новой оси Y);
- 3) C2: угол собственного вращения  $\psi$  (поворот вокруг новой оси Z).

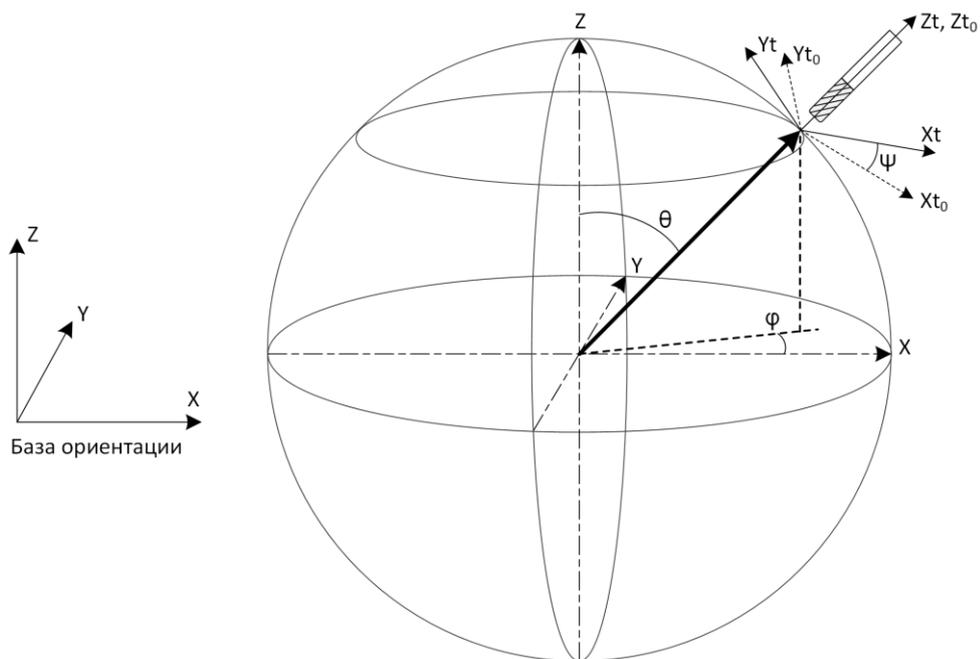
Получение ориентации системы координат инструмента путем трех последовательных поворотов базы ориентации на углы  $\varphi$ ,  $\theta$ ,  $\psi$  показано на следующем рисунке (сплошными линиями обозначены оси до поворота, штриховыми – после поворота):



**Рисунок 12.6 – Получение ориентации СКИ в режиме ORIEULER**

Выбор такой последовательности поворотов позволяет наглядным образом представить геометрический смысл углов ориентации: A2 ( $\phi$ ) задает азимутальный угол вектора инструмента, B2 ( $\theta$ ) определяет угол между вектором инструмента и осью Z (полярный угол). C2 ( $\psi$ ) задает угол вращения системы координат, полученной после двух предыдущих поворотов, вокруг собственной оси Z.

Рисунок 12.7 иллюстрирует сказанное с помощью координатной сферы.



**Рисунок 12.7 – Углы ориентации инструмента в режиме ORIEULER**

**Пример 12.6:**

```
G17 G90 G15 G191 G71 G72 G172 G272 G94 G97 G49 G40 G00 G80 G98
G53 G153 G193 G64 BRISK CUT2DF ORIAxes // Строка безопасности

N10 T2 M6 //Выбор инструмента
N20 G43 //Включение компенсации длины
N30 TRAORI //Включение трансформации
N40 ORIEULER //Включение нужного типа углов
N50 G01 A2=90 B2=45 F600 //Поворот в положение 90/45
N60 A2=30 B2=45 //Поворот в положение 30/45
```

N70 A2=0 B2=0  
N80 M30

//Поворот в базовое положение  
//Конец программы

### Пояснения:

В кадре N50 задан поворот до положения, в котором проекция инструмента на плоскость XY совпадает с осью Y, а угол отклонения от Z составляет 45 градусов. В последующих кадрах ориентация меняется.

Указание угла C2 в режиме ORIEULER применимо только для станков с 6-координатной кинематической схемой. Если станок не поддерживает задание угла собственного вращения инструмента, значение C2 будет проигнорировано системой ЧПУ.

### Углы ориентации в режиме ORIRPY

Если в G-векторе активна функция ORIRPY, величины A2, B2, C2 понимаются как углы системы вращений «крен-тангаж-рысканье» (Roll-Pitch-Yaw), широко применяемой в робототехнике, а также при описании движения транспортных средств и летательных аппаратов. Эти углы определяют три последовательных поворота вида ZY'X'':

- 1) C2: рысканье  $\gamma$  (поворот вокруг оси Z);
- 2) B2: тангаж  $\beta$  (поворот вокруг новой оси Y);
- 3) A2: крен  $\alpha$  (поворот вокруг новой оси X).

Получение ориентации системы координат инструмента путем трех последовательных поворотов базы ориентации на углы  $\gamma$ ,  $\beta$ ,  $\alpha$  показано на следующем рисунке (сплошными линиями обозначены оси до поворота, штриховыми – после поворота):

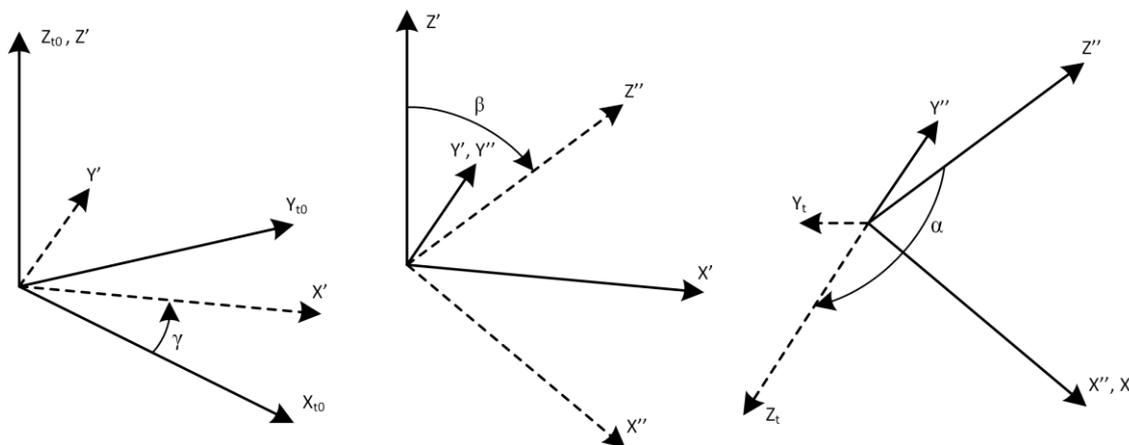


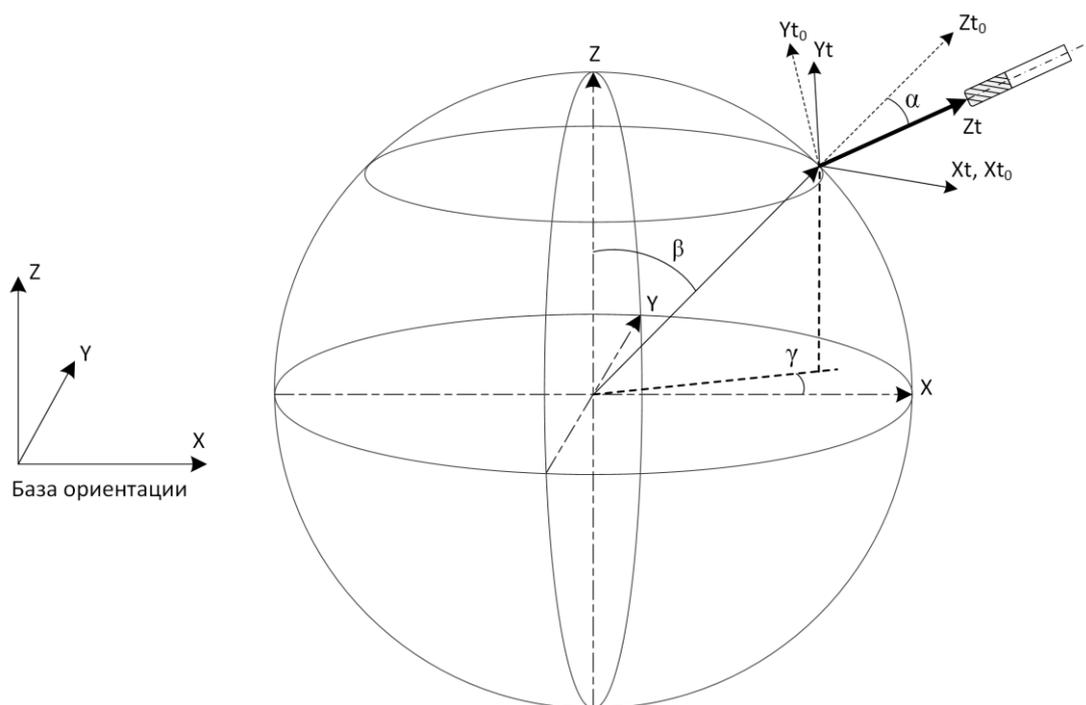
Рисунок 12.8 – Получение ориентации SKI в режиме ORIRPY

Заметим, что согласно свойствам процедуры построения композиции вращений, указанная тройка поворотов эквивалентна тройке поворотов обратного порядка, произведенных вокруг осей неподвижной системы координат:

- 1) поворот вокруг оси X базы на угол  $\alpha$ ;
- 2) поворот вокруг оси Y базы на угол  $\beta$ ;
- 3) поворот вокруг оси Z базы на угол  $\gamma$ .

Следующий рисунок показывает геометрический смысл углов  $\gamma$ ,  $\beta$ ,  $\alpha$ . По сравнению с режимом ORIEULER, здесь сложнее напрямую сопоставить углы с направлением

инструмента, так как последний поворот на угол крена ( $\alpha$ ) отклоняет вектор ориентации от нормали к поверхности координатной сферы.



**Рисунок 12.9 – Углы ориентации инструмента в режиме ORIRPY**

**Пример 12.7:**

```
G17 G90 G15 G191 G71 G72 G172 G272 G94 G97 G49 G40 G00 G80 G98
G53 G153 G193 G64 BRISK CUT2DF ORIAxes // Строка безопасности

N10 T2 M6 //Выбор инструмента
N20 G43 //Включение компенсации длины
N30 TRAORI //Включение трансформации
N40 ORIRPY //Включение нужного типа углов
N50 G01 A2=45 B2=15 C2=90 F600 //Поворот 1
N60 A2=45 B2=30 C2=45 //Поворот 2
N70 A2=0 B2=0 C2=0 //Поворот в базовое положение
N80 M30 //Конец программы
```

В режиме ORIRPY все три угла влияют на направление вектора инструмента, независимо от того, является ли станок 5- или 6-координатным.

В обоих режимах (ORIEULER и ORIRPY) значения A2, B2 и C2 могут задаваться в диапазоне от -180 до 180 градусов включительно. Заданные в кадре значения, выходящие за этот диапазон, будут автоматически приведены к эквивалентным значениям диапазона. Например, величина -270 будет изменена на 90; 190 на -170 и т.д.

Отсутствующие значения углов считаются нулевыми. Например, если в кадре указан только угол A2, это будет эквивалентно заданию нулей углам B2 и C2. Таким образом, запрограммированные значения углов ориентации не накапливаются по аналогии со значениями осевых координат.

### 12.3.3 Вектор ориентации

С помощью адресов A3, B3, C3 можно задавать вектор инструмента. Это еще один кинематически-независимый способ задания ориентации. Вектор задается относительно базы ориентации (см. раздел 12.3.4).

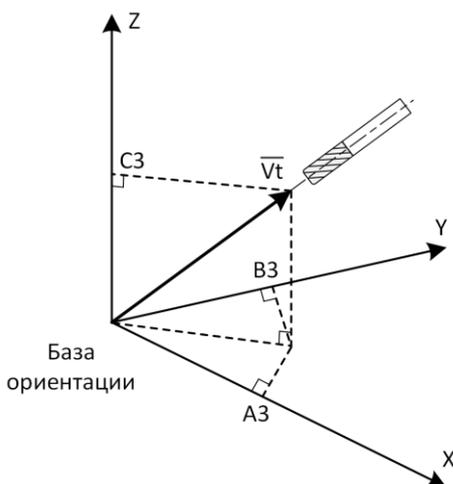


Рисунок 12.10 – Компоненты вектора ориентации

Не заданные в кадре компоненты вектора считаются равными нулю. Вектор предполагается единичным. Если модуль вектора, рассчитанный исходя из заданных компонент, отличается от единицы, вектор принудительно нормализуется. Например, вектор (0,0,5) преобразуется в (0, 0, 1); (2, 2, 2) – в (0.58, 0.58, 0.58) и т.д.

#### Пример 12.8:

```
G17 G90 G15 G191 G71 G72 G172 G272 G94 G97 G49 G40 G00 G80 G98
G53 G153 G193 G64 BRISK CUT2DF ORIAXES // Строка безопасности

N10 T2 M6 //Выбор инструмента
N20 G43 //Включение компенсации длины
N30 TRAORI //Включение трансформации
N40 G01 A3=1 B3=0 C3=1 F600 //Вектор в позиции 45° между X и Z
N50 C3=1 //Вектор вдоль оси Z
N60 M30 //Конец программы
```

#### Пояснения:

В кадре N40 задается направление между осями X и Z. Вектор не единичный, но понятно, что набор компонент (1, 0, 1) предполагает именно такое направление. Таким образом, возможность задавать вектор любой длины может облегчить написание программы, так как нормализация всегда производится системой ЧПУ. В кадре N50 задано только значение для компоненты Z, равное 1. Остальные компоненты не заданы, следовательно, считаются равными нулю.

Вместе с вектором в кадре допускается указывать угол собственного вращения C2. Это применимо только для 6-координатных станков. Если станок не поддерживает задание угла собственного вращения, значение C2 будет проигнорировано системой ЧПУ.

### 12.3.4 Выбор базы ориентации. Функции ORIWKS и ORIMKS

Подготовительные функции: ORIWKS, ORIMKS

## Характеристика:

## модальные

База ориентации – это система координат, к которой относятся задаваемые углы и компоненты вектора ориентации. Если в G-векторе активна функция ORIWKS, вектор и углы ориентации относятся к текущей системе координат детали. Если активна функция ORIMKS, то параметры ориентации относятся к системе координат станка (независимо от того, как расположена текущая система координат детали). По умолчанию (т.е. при старте системы ЧПУ) в G-векторе активна функция ORIWKS.

### Пример 12.9:

```
G17 G90 G15 G191 G71 G72 G172 G272 G94 G97 G49 G40 G00 G80 G98
G53 G153 G193 G64 BRISK CUT2DF ORIAXES // Строка безопасности

N10 T2 M6 //Выбор инструмента
N20 G43 //Включение компенсации длины
N30 G155 //Включение текущей СКД
N40 TRAORI //Включение трансформации
N50 ORIWKS //Ориентация в текущей СКД
N60 G01 C3=1 F600 //Вектор вдоль оси Z СКД
N70 ORIMKS //Ориентация в СКС
N80 C3=1 //Вектор вдоль оси Z СКС
N90 M30 //Конец программы
```

### Пояснения:

В кадре N60 задается направление инструмента вдоль оси Z текущей системы координат детали. В кадре N80 тот же самый вектор направляет инструмент уже вдоль оси Z станочной системы, так как база ориентации изменилась вызовом ORIMKS.

## 12.3.5 Смена способов задания ориентации в программе

В управляющей программе можно последовательно использовать несколько способов программирования ориентации, но не в рамках одного кадра. Рассмотрим пример, демонстрирующий некоторые характерные случаи.

### Пример (не для исполнения)

```
G17 G90 G15 G191 G71 G72 G172 G272 G94 G97 G49 G40 G00 G80 G98
G53 G153 G193 G64 BRISK CUT2DF ORIAXES // Строка безопасности

N10 ORIEULER F600 //Режим задания углов, установка подачи
N20 A2=-170 B2=30 //Задание углов
N30 ORIRPY //Режим задания углов
N40 A2=45 C2=45 //Задание углов после смены режима
N50 A3=-1 B3=-1 C3=1 //Задание вектора
N60 A2=60 //Задание углов после вектора
N70 B15 C75 //Прямое задание позиций круговых осей
N80 A2=30 A3=-1 //Ошибка: смешение углов и вектора
N90 B60 C45 A2=45 //Ошибка: смешение осей ориентации и угла
N100 M30 //Конец программы
```

### Пояснения:

Одновременное задание в кадре адресов, относящихся к разным способам программирования ориентации, запрещено (см. кадры N80 и N90 примера). Нельзя указывать в одном кадре углы и компоненты вектора, а также задавать вместе с

углами или компонентами вектора позиции осей станка, реализующих ориентацию. В этом случае выполнение кадра прерывается с ошибкой 653.

## 12.4 Режимы управления движением ориентации инструмента. Функции **ORIAxes** и **ORIVECT**

### Подготовительные функции: **ORIAxes**, **ORIVECT**

#### Характеристика: **модальные**

Задание ориентации инструмента с помощью кинематически-независимых параметров (вектора или углов) лишь указывает, какое направление инструмент должен получить в конце кадра, но не определяет, как будет достигнуто это направление, т.е. каким будет движение инструмента или какой будет воображаемая поверхность, описываемая вектором ориентации в ходе движения. Для выбора способа интерполяции движения, реализующего смену ориентации, предусмотрены функции, описанные в данном разделе. По умолчанию (т.е. при старте системы ЧПУ) в G-векторе активна функция **ORIAxes**.

### 12.4.1 Линейная интерполяция осей **ORIAxes**

**ORIAxes** представляет собой режим линейной интерполяции осей, реализующих ориентацию инструмента. В данном режиме задаваемые углы или компоненты вектора ориентации автоматически пересчитываются в позиции осей, которые должны быть достигнуты к концу кадра. Затем система ЧПУ производит синхронное движение осей ориентации точно так же, как было бы в случае прямого задания позиций осей.

#### *Пример 12.10:*

```
G17 G90 G15 G191 G71 G72 G172 G272 G94 G97 G49 G40 G00 G80 G98
G53 G153 G193 G64 BRISK CUT2DF ORIAxes // Строка безопасности

N10 T2 M6 //Выбор инструмента
N20 G43 //Включение компенсации длины
N30 TRAORI ORIEULER ORIAxes //Включение режимов
N40 G01 A2=0 B2=45 F600 //Ориентация вектора V1
N50 A2=-60 B2=90 //Ориентация вектора V2
N60 M30 //Конец программы
```

Для поворотной головы с осями C и B (направленными вдоль осей Z и Y) кадры N40 и N50 будут фактически эквивалентны следующим:

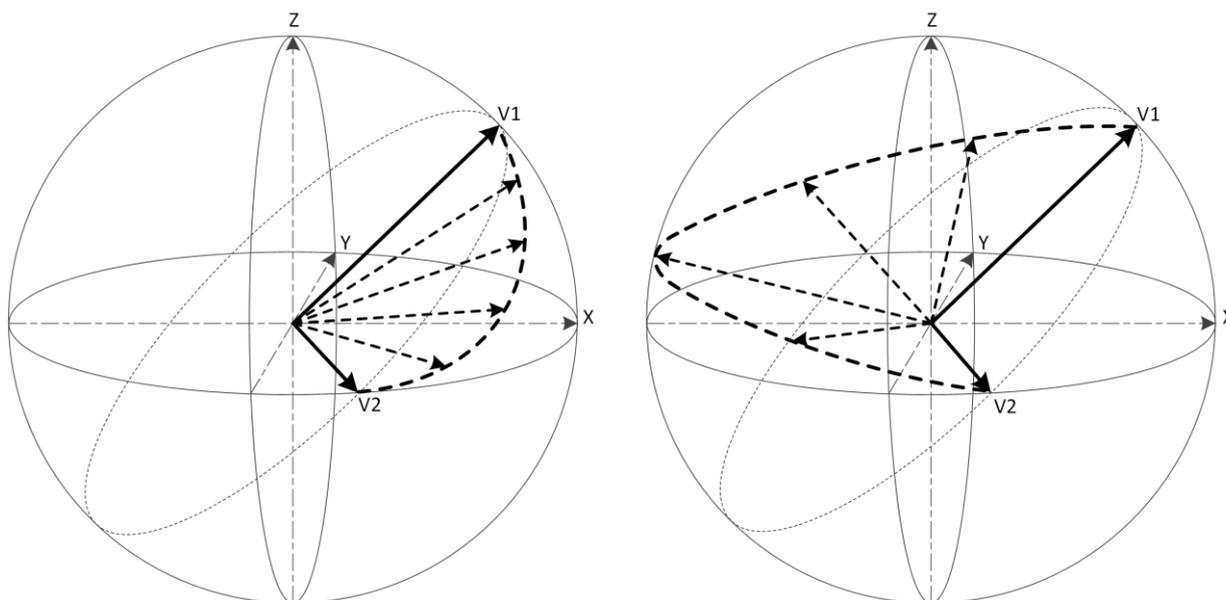
```
N40 G01 C0 B45 F600 //Ориентация вектора V1
N50 C-60 B90 //Ориентация вектора V2
```

или (если производить поворот оси C в «длинную» сторону):

```
N40 G01 C0 B45 F600 //Ориентация вектора V1
N50 C300 B90 //Ориентация вектора V2
```

Могут быть и другие эквивалентные пары позиций, в частности, с заданием отрицательного угла оси B (выбор варианта системой ЧПУ в том или ином случае зависит от лимитов осей, соображений относительно наименьших затрат времени на поворот и других факторов).

Два варианта движения вектора ориентации от положения V1 до V2 в режиме ORIAxes показаны на следующем рисунке:



**Рисунок 12.11 – Движение вектора при осевой интерполяции в режиме ORIAxes**

В рассматриваемом варианте (поворотная голова) вектор инструмента опишет некую коническую поверхность, но при других кинематических схемах траектория может оказаться более сложной. Таким образом, в режиме ORIAxes движение инструмента при смене ориентации зависит от кинематики станка, хотя сама ориентация запрограммирована с помощью кинематически-независимых величин. Тем не менее, режим ORIAxes используется довольно часто, так как интерполяция осей является «естественной» для станка: движение осей при смене ориентации обладает мягкой и предсказуемой динамикой (отсутствуют критические положения, вблизи которых ускорение может резко возрастать). Но надо помнить, что далеко не всегда программа, написанная для одного станка с применением режима ORIAxes, будет ожидаемо выполняться на другом станке. Дело может закончиться столкновениями, поломкой инструмента и повреждением изделия, так как инструмент при одной и той же смене ориентации будет описывать в пространстве разные траектории на станках с разными кинематическими схемами.

## 12.4.2 Поворот вектора в пределах плоскости ORIVECT

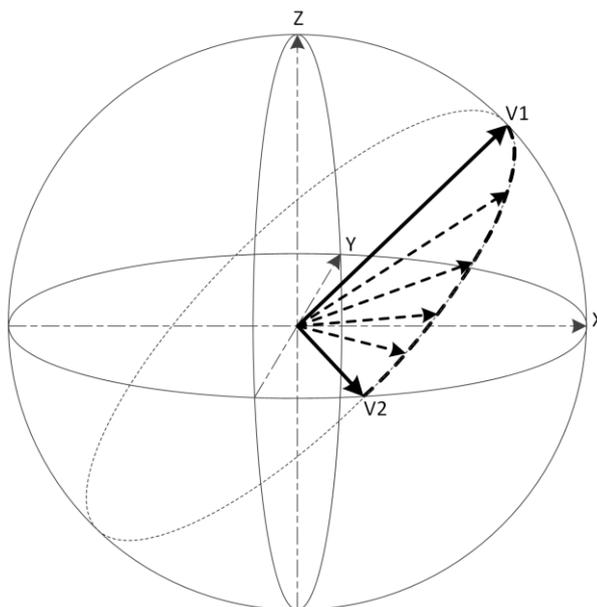
В режиме ORIVECT вектор инструмента при смене ориентации движется в пределах плоскости. Рассмотрим пример с теми же векторами ориентации, что и в разделе 12.4.1.

### Пример 12.11:

```
G17 G90 G15 G191 G71 G72 G172 G272 G94 G97 G49 G40 G00 G80 G98
G53 G153 G193 G64 BRISK CUT2DF ORIAxes // Строка безопасности

N10 T2 M6 //Выбор инструмента
N20 G43 //Включение компенсации длины
N30 TRAORI ORIEULER ORIVECT //Включение режимов
N40 G01 A2=0 B2=45 F600 //Ориентация вектора V1
N50 A2=-60 B2=90 //Ориентация вектора V2
N60 M30 //Конец программы
```

Движение вектора ориентации от положения V1 до V2 в режиме ORIVECT показано на следующем рисунке:



**Рисунок 12.12 – Движение вектора при интерполяции в режиме ORIVECT**

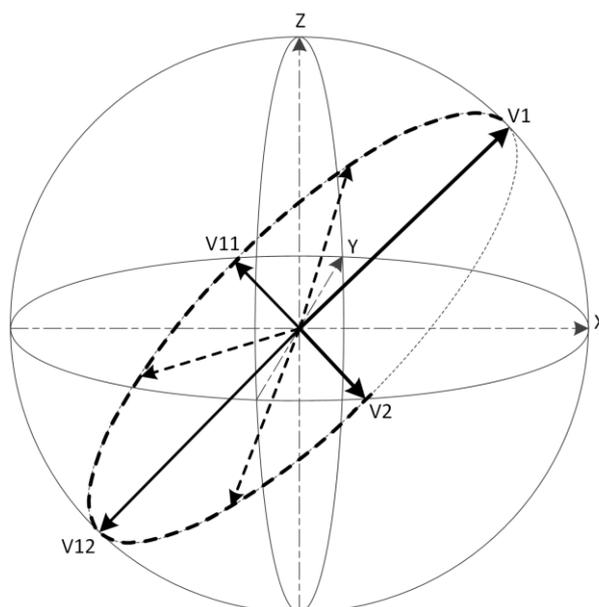
При описании движения на координатной сфере, в центре которой закреплено начало вектора ориентации, становится очевидно (с учетом условия движения в пределах плоскости), что конец вектора перемещается по геодезической линии или так называемому большому кругу. В связи с этим, в ряде источников такой режим управления движением называют «интерполяцией большого круга» или «большой круговой интерполяцией».

Движение при смене ориентации всегда производится по кратчайшему пути вдоль геодезической, т.е. не может быть такого движения, при котором вектор ориентации вращается более чем на 180 градусов. Это надо учитывать при написании программы. Если нужно достичь заданной ориентации по «длинному» пути вдоль большого круга (такое случается редко), нужно описывать движение двумя или тремя кадрами программы. Например, если угол между начальным и конечным векторами ориентации составляет 300 градусов, то для вращения вектора по длинному пути необходимо программировать два кадра, каждый из которых соответствует повороту величиной менее 180 градусов (именно **менее** 180. Если угол точно равен 180 градусам, поворот вектора может быть произведен в любую сторону, разрешенную пределами осей). Приведем вариант «длинного» вращения для предыдущего примера.

**Пример 12.12:**

```
G17 G90 G15 G191 G71 G72 G172 G272 G94 G97 G49 G40 G00 G80 G98
G53 G153 G193 G64 BRISK CUT2DF ORIAXES // Строка безопасности

N10 T2 M6 //Выбор инструмента
N20 G43 //Включение компенсации длины
N30 TRAORI ORIEULER ORIVECT //Включение режимов
N40 G01 A2=0 B2=45 F600 //Ориентация вектора V1
N50 A2=120 B2=90 //Ориентация вектора V11
N60 A2=210 B2=135 //Ориентация вектора V12
N70 A2=-60 B2=90 //Ориентация вектора V2
N60 M30 //Конец программы
```



**Рисунок 12.13 – Движение вектора по длинному пути (три кадра)**

Режим ORIVECT реализует кинематически-независимое движение ориентации. Каким бы ни был станок, вектор инструмента всегда будет вращаться по одному и тому же пути, заданному программой. Помимо предсказуемой траектории, это позволяет достичь высокого уровня переносимости управляющей программы, т.е. обеспечивает возможность ее выполнения (с минимальными правками вспомогательных и технологических команд) на станках различной конструкции.

Для 6-координатных станков заданное движение собственного вращения в режиме ORIVECT реализуется линейной интерполяцией оси собственного вращения и производится синхронно с вращением вектора ориентации от начального до конечного положения.

### **12.4.3 Общие замечания по разделу**

- 1) Кинематическая схема станка может накладывать ограничения на работу тех или иных функций поддержки многокоординатной обработки. Для полного представления о работе описанных средств программирования на вашем станке настоятельно рекомендуется изучить документ «Конфигурирование кинематической схемы станка».
- 2) Многие функции, описанные в настоящем разделе, имеют имена, сходные с именами аналогичных функций системы ЧПУ серии Siemens Sinumerik. Это сделано для повышения совместимости системы ЧПУ «АксиОМА Контрол» с широким спектром инструментов генерации управляющих программ, а также для облегчения адаптации персонала. Тем не менее, нельзя экстраполировать информацию, взятую из документации по системе ЧПУ серии Sinumerik, на функции системы «АксиОМА Контрол». В ряде нюансов функции в двух системах работают по-разному.
- 3) Описание движений с помощью независимых от кинематики параметров во многих случаях означает, что вы не можете заранее знать, как система будет реализовывать запрограммированные движения (это в основном относится к режиму ORIAxes). Поэтому программы, нацеленные на многокоординатную обработку, рекомендуется тестировать путем холостого прогона на станке (обработка «по воздуху») перед физической обработкой изделия.

## 13 Функции 3D компенсации радиуса инструмента

### 13.1 Краткая информация.

Функции 3D компенсации радиуса инструмента используются для обработки деталей с учетом параметров геометрии инструмента и его ориентации относительно поверхности изделия. Трехмерная компенсация радиуса в реальном времени позволяет автоматически учитывать форму и размеры используемого инструмента для контура обработки, подготовленного без учета какого-либо инструмента или для стандартного инструмента с заданным допуском перешлифовки. Таким образом, трехмерная компенсация повышает гибкость системы управления и станка в целом благодаря обеспечению частичной или полной взаимозаменяемости инструментов при выполнении управляющей программы. Кроме того, использование функций 3D компенсации дает возможность во многих случаях писать программы без использования САМ-систем благодаря устранению необходимости внедрения в программу расчетов смещения точки резания и связанного с этим дробления контура на мелкие кадры. Или, во всяком случае, позволяет генерировать программы без линеаризации контура и привязки к инструменту строго определенной формы и размера, позволив системе ЧПУ в процессе обработки вводить коррекции автоматически в зависимости от направления инструмента, что может положительно влиять на производительность и качество обработанной поверхности.

Выделяют два режима обработки, для которых компенсация инструмента производится существенно разными методами: периферийное фрезерование (обработка боковой поверхностью фрезы) и лицевое фрезерование (обработка торцевой частью, а фактически, всей поверхностью инструмента, когда положение точки касания зависит от ориентации инструмента относительно заготовки). Несмотря на то, что традиционно эти режимы связывают с фрезерованием, метод снятия материала может быть любой. Важен только характер взаимодействия инструмента с заготовкой. В дальнейшем особенности двух режимов будут рассмотрены подробно.

Все примеры в данном разделе подготовлены для системы, сконфигурированной под пятикоординатную кинематическую схему с поддержкой трансформации ориентации.

### 13.2 Общие правила использования функций 3D компенсации

#### 13.2.1 Активация и деактивация режимов. Кадры входа и выхода

Активация любого из режимов 3D компенсации производится в два этапа:

- 1) Вызов одной из функций активации режима (CUT3DC, CUT3DCC, CUT3DCCD, CUT3DF, CUT3DFS, CUT3DFF).
- 2) Вызов команды G41 или G42 (как и в случае классической эквидистантной коррекции).

Обе команды (функция активации режима и G41/G42) могут быть вызваны в одном кадре или в разных. Функция активации режима не меняет эффективный текущий режим компенсации (хотя в G-векторе команда меняется). Включение режима фактически происходит только при вызове G41 или G42, а применяется компенсация, начиная с первого кадра перемещения, следующего за вызовом G41 или G42.

Выключение компенсации производится функцией G40. Первый кадр перемещения, следующий после вызова G41 или G42, называется кадром входа в контур. Первый кадр, следующий после G40 – кадр выхода из контура. Кадры входа и выхода должны быть линейными (G00 / G01). В случае использования любых других видов перемещений выдается ошибка и выполнение программы прерывается (однако в самом корректируемом контуре, в отличие от обычной эквидистантной коррекции, при 3D компенсациях могут применяться любые виды перемещений, включая сплайны).

### Пример 13.1:

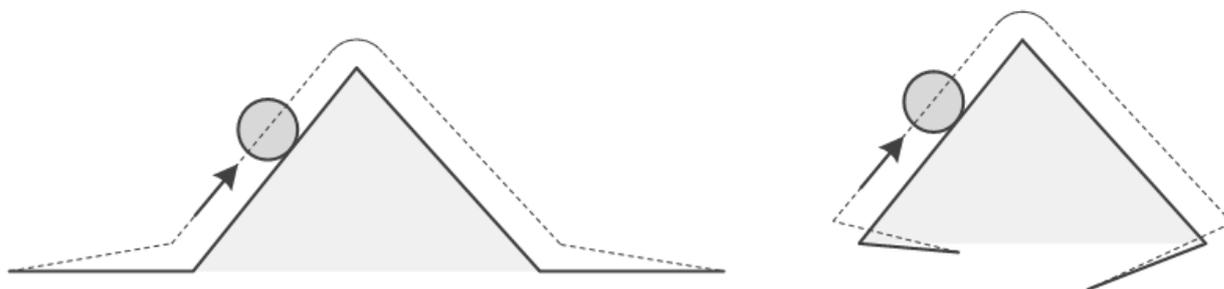
```
G17 G90 G15 G191 G71 G72 G172 G272 G94 G97 G49 G40 G00 G80 G98
G53 G153 G193 G64 BRISK CUT2DF ORIAxes // Строка безопасности

N10 M6 T1
N20 TRAORI
N30 G01 X-20 Y0 Z0 f1800
N40 G01 X0 Y0 Z0 f1800
N50 CSPLINE X20 Y0
N60 X40 Y0
N70 X80 Y80
N80 X100 Y0
N90 X120 Y0
N100 G01 X140 Y0
N110 G01 X-20 Y0
N120 X0 Y0 CUT3DC G41 //Активация компенсации и кадр входа
N130 CSPLINE X20 Y0
N140 X40 Y0
N150 X80 Y80
N160 X100 Y0
N170 X120 Y0
N180 G01 X140 G40 //Выключение компенсации и кадр выхода
N190 M30
```

### Пояснения:

В кадрах N40-N100 задается исходный контур без компенсации для сравнения. В кадре N120 включается режим периферийной компенсации радиуса. Этот же кадр является кадром входа (так как в нем указано перемещение X0 Y0). Кадры N130-N170 формируют скорректированный на величину радиуса контур. В кадре N180 компенсация отключается и производится выход из контура.

Перемещения входа и выхода не обязательно указывать вместе с вызовами G40–G42, их можно прописывать в последующих кадрах. С осторожностью следует подходить к выбору точек, из которых и в которые производится вход и выход, так как при 3D компенсации вход и выход производится всегда по кратчайшей линии (Рисунок 13.1).



*Рисунок 13.1 – Вход и выход из контура. В варианте справа происходит повреждение заготовки из-за ошибочного выбора точек входа и выхода*

### 13.2.2 Смена режимов. Возврат к режиму эквидистантной коррекции (CUT2DF)

Эквидистантная коррекция и разные виды 3D компенсаций – взаимоисключающие режимы, которые активируются командами одной группы. Возврат к режиму

эквидистантной коррекции подготавливается функцией CUT2DF (фактическая активация происходит после вызова G41 или G42). При активной 3D компенсации (то есть до выхода из контура после вызова G40) переключение в режим эквидистантной коррекции или другой режим 3D компенсации запрещено. Точно так же, при активной эквидистантной коррекции нельзя активировать какой-либо режим 3D компенсации.

**Пример (фрагмент):**

```
...
N30 CUT3DC G41 //Активация компенсации
N40 G01 X20 Y50
...
N80 G40 X0 Y0 //Выключение компенсации и кадр выхода
N90 CUT2DF G41 //Активация эквидистантной коррекции
...
M30
```

**Пример (фрагмент):**

```
...
N30 CUT3DC G41 //Активация компенсации
N40 G01 X20 Y50
N50 X60
N60 Y0
N70 CUT2DF G41 //Ошибка: переключение при активной компенсации
...
M30
```

### 13.2.3 Ограничения на вызовы функций

При активной трехмерной компенсации любого вида (т.е. после входа в контур и до выхода из него) запрещен вызов следующих функций:

- 1) Все M-функции.
- 2) Выбор системы координат детали G153 – G159.
- 3) Выбор плоскости G17 – G19.
- 4) Переключение режима компенсации длины G43, G44, G45, G49.
- 5) Функции поддержки многокоординатной обработки: TRAORI, TRAFFOFF, ORIEULER, ORIRPY, ORIAxes, ORIVECT, ORIWKS, ORIMKS.
- 6) Команда SPLBREAK.

Таким образом, все операции с указанными командами должны быть проведены до входа в контур и не могут производиться до выхода из него. Также внутри контура запрещена смена видов задания ориентации (когда прямое программирование осей ориентации чередуется с заданием вектора или углов Эйлера в разных кадрах). По всей длине компенсируемого контура должно использоваться либо только прямое программирование осей, либо только задание ориентации векторами и углами.

### 13.2.4 Влияние особенностей кинематической схемы

Все режимы трехмерных компенсаций допускается использовать как при управлении обычными трехкоординатными станками (хотя в этом случае ориентация инструмента фиксирована, это не мешает производить компенсацию), так и при работе с пятикоординатными системами. Если система ЧПУ сконфигурирована для кинематической схемы с поддержкой трансформации ориентации, функция

трансформации TRAORI должна быть активирована перед использованием режима 3D компенсации. В противном случае будет выдана ошибка и выполнение программы будет остановлено.

### 13.2.5 Применение компенсации в дифференциальной форме

Если программа уже подготовлена в САМ-системе с рассчитанными компенсациями для инструмента определенной геометрии, но фактически имеется инструмент с большим или меньшим основным радиусом или радиусом закругления кромки, компенсации можно применять в дифференциальной форме. Для этого в таблице инструментов для радиусов задаются нулевые значения, а в поля коррекций вводятся разности между фактическими величинами радиусов инструмента и теми, для которых подготовлена управляющая программа. Таким образом, компенсации будут рассчитываться системой ЧПУ только на величины разностей размеров используемого инструмента и заданного при подготовке программы. В остальном дифференциальная компенсация не отличается от абсолютной, когда контур в программе сформирован без учета какого-либо инструмента (т.е. для инструмента нулевого диаметра), а компенсация рассчитывается на полный радиус.

### 13.3 Компенсация периферийной обработки. Функция CUT3DC

При периферийной обработке инструмент постоянной или переменной ориентации воздействует на материал заготовки своей боковой поверхностью. Периферийная компенсация радиуса представляет собой эквидистантную коррекцию контура, которая производится в плоскости, перпендикулярной оси симметрии инструмента. При этом плоскость коррекции соответственно ориентации может непрерывно меняться как в рамках одного кадра, так и в пределах последовательности кадров. Сечение инструмента считается постоянным (то есть, конусность инструмента при периферийной компенсации не учитывается). Активация режима периферийной компенсации производится вызовом функции CUT3DC.

Помимо компенсации радиуса, может производиться смещение по оси симметрии инструмента (так называемая компенсация глубины врезания). Для этого в управляющей программе адресом ISD задается ненулевое значение глубины врезания, которое определяет расстояние от конца инструмента до точки касания контура вдоль оси ориентации. Таким образом, инструмент смещается относительно контура в двух направлениях (Рисунок 13.2. Здесь заданный контур обработки – в «верхней» плоскости).

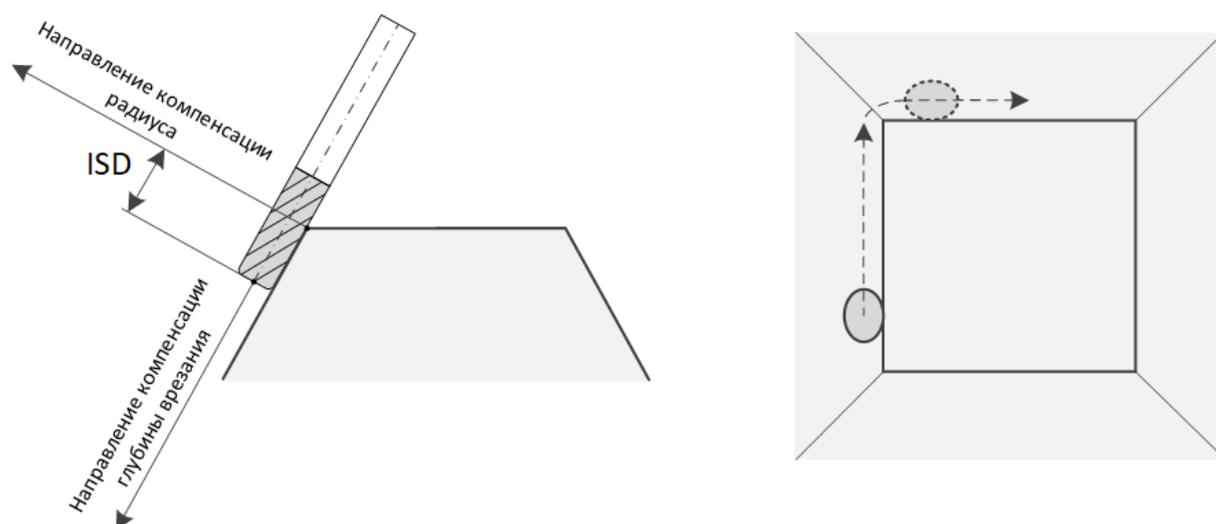
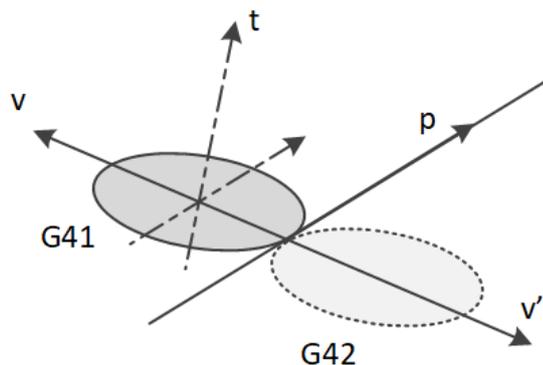


Рисунок 13.2 – Компенсация периферийной обработки

Направление компенсации радиуса при левом обходе (G41) определяется в каждой точке контура как векторное произведение вектора ориентации инструмента и вектора касательной к контуру. При правом обходе (G42) направление обратное (Рисунок 13.3).



**Рисунок 13.3 – Геометрическое определение направления компенсации радиуса**

Здесь  $\mathbf{p}$  – касательная к контуру,  $\mathbf{t}$  – вектор ориентации инструмента,  $\mathbf{v}$  – вектор компенсации радиуса при левом обходе контура (G41),  $\mathbf{v}'$  – при правом (G42). Модуль вектора компенсации всегда равен радиусу инструмента. При расчете компенсаций используется касательная контура, приведенная к системе координат станка.

Глубина врезания ISD игнорируется в управляющей программе, если режим периферийной компенсации не активен. По умолчанию глубина врезания равна нулю. Если значение ISD переопределяется в кадре относительно заданного ранее, то компенсация глубины врезания линейно интерполируется вдоль кадра. В начале кадра применяется старое значение ISD, в конце – новое, а значения в промежуточных точках определяются линейной интерполяцией между начальным и конечным значением.

**Пример 13.2:**

```
G17 G90 G15 G191 G71 G72 G172 G272 G94 G97 G49 G40 G00 G80 G98
G53 G153 G193 G64 BRISK CUT2DF ORIAXES // Строка безопасности

N10 M6 T1
N20 TRAORI
N30 ISD=20 //Значение будет проигнорировано
N40 G01 X-20 Y0 Z0 f1800
N50 CUT3DC G41 X0 Y0 f1800 //По умолчанию ISD=0
N60 X30 Y30 ISD=20
N70 X60 Y0 ISD=40
N80 G40 X90
N90 M30
```

**Пояснения:**

В кадре N30 задано значение глубины врезания ISD=20, однако оно будет проигнорировано системой, так как на момент присвоения значения режим 3D компенсации выключен. В кадре N60 задается первое перемещение после кадра входа. Задано значение ISD=20, которое будет достигнуто к концу кадра (так как по умолчанию глубина врезания равна нулю). В следующем кадре N70 величина глубины установлена равной 40 мм. Глубина врезания для кадра N70 будет интерполирована с 20 до 40 мм. Кадр выхода N80 выводит инструмент в конечную точку, обнулив как глубину врезания, так и величину коррекции на радиус (см.

Рисунок 13.4. Штриховой линией здесь показан кадр обхода внешнего угла, о котором будет сказано в последующих разделах).

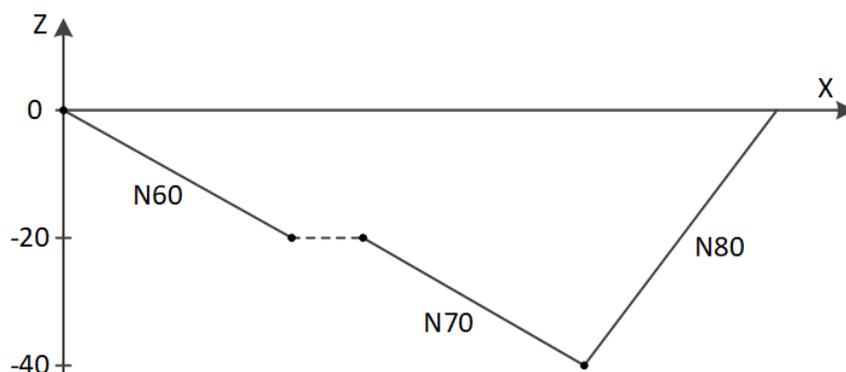


Рисунок 13.4 – Интерполяция значений глубины врезания (проекция XZ)

Глубина врезания может принимать как положительные, так и отрицательные значения. В последнем случае инструмент «поднимается» над контуром, а не врезается в него.

### 13.4 Компенсация периферийной обработки с ограничивающей поверхностью. Функции CUT3DCC, CUT3DCCD

Режимы компенсации с ограничивающей поверхностью расширяют возможности периферийной обработки путем учета ориентации поверхности, которая налагает ограничения на положение конца инструмента. Простой пример – обработка стенки выступа или кармана с обработанным ранее дном. Компенсация рассчитывается таким образом, чтобы инструмент касался ограничивающей поверхности при своем движении по контуру, а не смещался ниже или выше (Рисунок 13.5).

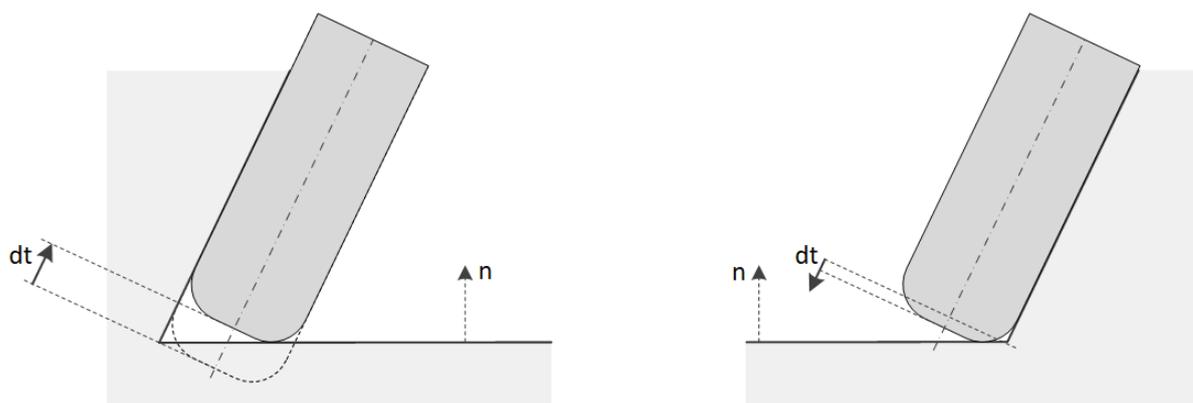


Рисунок 13.5 – Компенсация с ограничивающей поверхностью

Здесь  $dt$  – вектор коррекции вдоль оси ориентации инструмента,  $n$  – нормаль поверхности. Контур в обоих случаях задан для нижней точки стенки, общей с дном. Режим обработки с ограничивающей поверхностью отличается по логике работы от простой периферийной компенсации только реализацией смещения  $dt$ .

Включение режима периферийной компенсации с ограничивающей поверхностью осуществляется вызовом функции CUT3DCC или CUT3DCCD. Функция CUT3DCCD предназначена для явного указания дифференциальной компенсации. Это означает, что в качестве радиусов инструмента (основного и радиуса закругления кромки) в режиме

CUT3DCCD будут использоваться величины коррекций из таблицы, которые будут пониматься как разница между размерами фактически используемого инструмента и того, для которого была сгенерирована управляющая программа (см. 13.2.5). Функция CUT3DCCD добавлена в систему только для удобства, так как фактически та же коррекция в дифференциальной форме может использоваться в режиме CUT3DCC, но для этого надо обнулять радиусы в таблице инструментов.

Нормаль поверхности **n** задается адресами A4, B4, C4 (соответственно, компоненты X, Y, Z вектора нормали в начале кадра) и A5, B5, C5 (компоненты X, Y, Z вектора нормали в конце кадра). По умолчанию при старте программы нормаль направлена вдоль оси Z системы координат станка (0, 0, 1). Нормаль сохраняется с предыдущего кадра, т.е. конечная нормаль предыдущего кадра используется как начальная текущего. Если в кадре задана только начальная нормаль, то конечная считается равной начальной (т.е., нормаль постоянна в кадре). Если заданная конечная нормаль кадра отличается от начальной, промежуточные нормали при движении вдоль кадра рассчитываются интерполяцией путем равномерного вращения начального вектора к конечному в рамках плоскости, образуемой ими обоими (т.е. производится плоский поворот вектора нормали от начального до конечного значения синхронно с движением по пути кадра). Заданные в программе векторы автоматически нормализуются, так что модуль вектора нормали не влияет на ход обработки. Если активна функция ORIWKS, нормали считаются заданными относительно системы координат детали, следовательно, если текущая система координат детали повернута, то и нормали вместе с ней повернуты относительно системы координат станка. При активной ORIMKS нормали не поворачиваются, так как считаются заданными относительно системы координат станка. Отсутствующие компоненты нормали обнуляются (например, если в каком-то кадре задано только значение A4=1, то B4 и C4 становятся равными нулю независимо от того, были ли они заданы ранее).

Вектор ориентации инструмента в каждой точке контура должен находиться под острым углом к вектору нормали (другими словами, инструмент должен быть над поверхностью, а не под ней), в противном случае программа будет прервана с выдачей ошибки.

#### **Пример (фрагмент):**

```

...
N30 CUT3DCCD G41 X0 Y60 Z0 //Активация компенсации и кадр входа
N40 G01 X60 Y0 //По умолчанию нормаль=(0,0,1)
N50 Y0
N60 X20 A4=-0.6 B4=0 C4=0.8 C5=1 //(-0.6,0,0.8) -> (0, 0, 1)
...
N120 G40 X0 Y0 Z40
...
M30

```

#### **Пояснения:**

В кадре N40 начинается задание корректируемого контура. Так как нормаль не была задана ранее, она считается ориентированной вдоль оси Z. В кадре N60 задана начальная нормаль (-0.6, 0, 0.8) и конечная (0, 0, 1). Конечная задана в краткой форме. Таким образом, в кадре N60 ограничивающая поверхность изогнута и при этом скачкообразно повернута относительно поверхности предыдущего кадра N50, так как начальная нормаль N60 отличается от конечной нормали N50. В общем случае такие сложные геометрические соотношения могут привести к ошибке при выполнении программы (из-за невозможности найти точку пересечения кадров) или непредвиденным результатам при обработке изделия, так что в практических примерах применения 3D компенсации ограничивающая поверхность обычно

меняется плавно между кадрами или остается постоянной вдоль всего контура обработки.

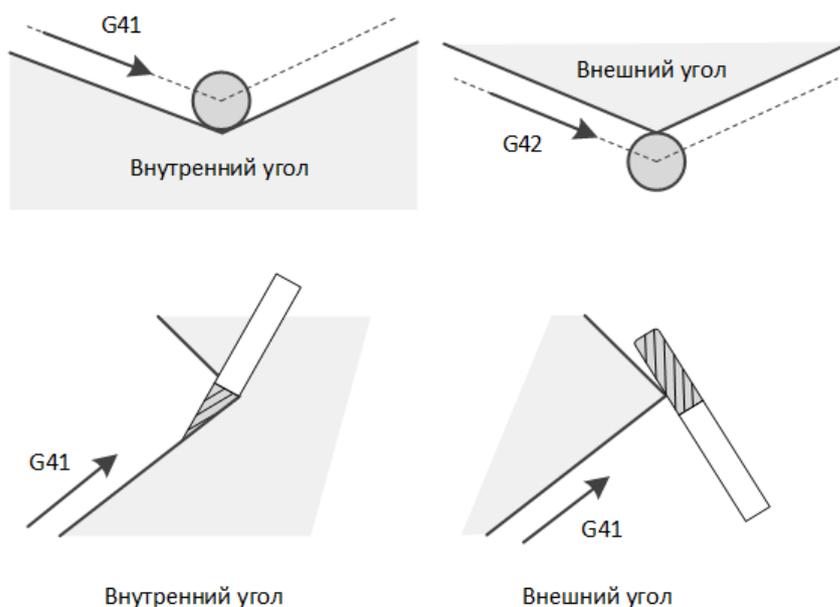
## 13.5 Поведение на углах при компенсациях периферийной обработки

### 13.5.1 Определение типа угла

Обрабатываемый контур в общем случае состоит из последовательности сегментов, которые не стыкуются между собой тангенциально, а образуют углы. При этом углы могут быть внешними и внутренними. Определение типа угла зависит от трех факторов:

- 1) Направления касательных в точке соединения кадров или вблизи нее.
- 2) Ориентации инструмента в точке соединения.
- 3) Активной функции направления обхода (G41 или G42).

Рисунок 13.6 иллюстрирует сказанное. Функция G41 задает обход контура слева, если смотреть на траекторию вдоль инструмента от основания к концу. Соответственно, функция G42 задает обход справа. При этом, так как инструмент может быть ориентирован относительно контура по-разному, одна и та же последовательность команд перемещения может образовывать как внешний, так и внутренний угол.



**Рисунок 13.6 – Влияние функции направления обхода и ориентации инструмента на определение типа угла**

Особый случай возникает, когда инструмент при достижении конечной точки первого кадра ориентирован в плоскости, образуемой углом (т.е. вектор ориентации инструмента, касательная первого кадра и касательная второго лежат в одной плоскости). Определение типа угла в этом случае невозможно и выполнение программы прерывается с выдачей ошибки. Как правило, такие ситуации при правильном написании управляющих программ не встречаются.

## 13.5.2 Обработка внешних углов

Внешний угол образует точку, в которой касательная к контуру скачкообразно меняет направление. Так как касательная определяет вектор компенсации радиуса, для правильного перехода от конечной точки первого кадра к начальной точке второго система ЧПУ вставляет кадр обхода угла. Фактически кадр обхода представляет собой окружность, лежащую в плоскости, перпендикулярной оси ориентации инструмента.

Обратим внимание, что после первого кадра перемещения, образующего угол, может быть вставлено несколько кадров, не меняющих положение конца инструмента, но изменяющих его ориентацию. Логика обработки такой последовательности команд следующая: сначала инструмент достигает конечной точки первого геометрического кадра; затем выполняются кадры переориентации; после этого выполняется кадр перехода и инструмент продолжает перемещаться по второй стороне угла (см. Рисунок 13.7).

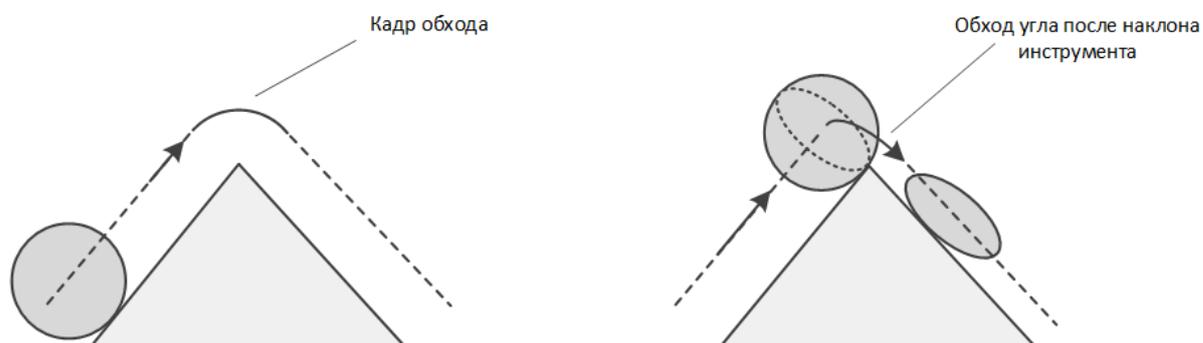


Рисунок 13.7 – Обход внешнего угла при периферийной компенсации

**Пример (фрагмент):**

```
...
N40 G01 X-20 Y0 Z0 C3=1 f1800
N50 TRAORI CUT3DC G41 X0 Y0 f1800
N60 X30 Y30 //Первая сторона угла
N70 A3=0.7 B3=0.7 C3=0.7 //Задание нового вектора ориентации
N80 B60 C45 //Прямое задание позиций круговых осей
N90 X60 Y0 //Вторая сторона угла
...
M30
```

**Пояснения:**

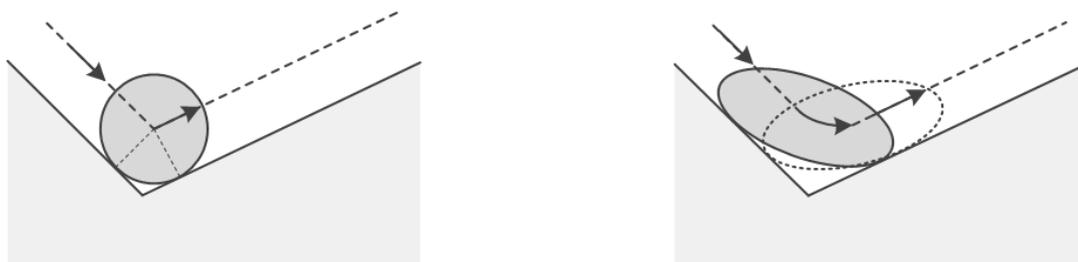
Кадр N60 образует первую сторону внешнего угла. В кадре N70 задается новый вектор ориентации инструмента. В кадре N80 также меняется ориентация, но путем прямого программирования осей. После этого задается пространственное перемещение N90, образующее вторую сторону угла. Только после выполнения кадров N70 и N80 будет вставлен кадр обхода.

В углу (как внешнем, так и внутреннем) не допускается вставка большого количества команд переориентации. Максимальное количество зависит от типа траектории и внутреннего состояния буфера команд ядра системы ЧПУ: от 10 до 14 команд. В практических задачах таких длинных цепочек команд переориентации, как правило, не бывает.

### 13.5.3 Обработка внутренних углов

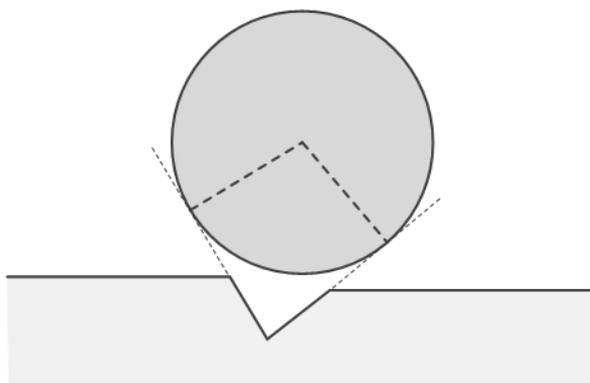
Обработка внутренних углов является более сложной задачей, так как во избежание нарушения контура оба кадра, образующих внутренний угол, должны укорачиваться, для чего система ЧПУ выполняет процедуру поиска пересечения пространственных эквидистант. Точка пересечения эквидистант вычисляется в плоскости, перпендикулярной оси ориентации инструмента.

Как и в случае с внешними углами, после кадра перемещения, образующего первую сторону угла, может быть вставлено некоторое количество команд переориентации. Только после выполнения всех них продолжается движение по второй стороне угла. Для кадров ориентации движение производится таким образом, чтобы в процессе поворота инструмента он касался обеих сторон угла, не отходя от контура и не нарушая его (Рисунок 13.8).



*Рисунок 13.8 – Обработка внутреннего угла*

Если кадры слишком короткие для поиска точки пересечения эквидистант или инструмент не удастся по этой же причине повернуть таким образом, чтобы обе точки касания его с контуром лежали в границах заданных кадров, программа будет прервана с выдачей ошибки (Рисунок 13.9).



*Рисунок 13.9 – Точки касания инструмента лежат за пределами кадров*

Кадры пространственного перемещения, образующие внутренний угол, всегда укорачиваются, если инструмент имеет ненулевой диаметр. Однако любые перемещения по дополнительным осям (отличным от XYZ), как и движения ориентации, производятся полностью. Таким образом, условия синхронизации между осями меняются при обработке внутреннего угла: кадр первой стороны угла укорачивается с конца, второй стороны – с начала, но все остальные (т.е. не XYZ) интерполируемые оси выполняют свои движения от начала до конца. Очевидно, что интерполяционные соотношения между позициями геометрических осей и дополнительных при этом будут несколько отличаться от исходных соотношений, которые были определены без учета сокращений сегментов траектории. Это неизбежный побочный эффект трехмерной компенсации радиуса.

**Пример (фрагмент):**

```
...  
N40 G01 X-20 Y0 Z0 C3=1 f1800  
N50 TRAORI CUT3DC G41 X0 Y0 f1800  
N60 X30 Y-30 B45 C15 //Первая сторона угла  
N70 B60 C45 //Прямое задание позиций круговых осей  
N80 X60 Y0 A2=0 B2=30 C2=0 //Вторая сторона угла  
...  
M30
```

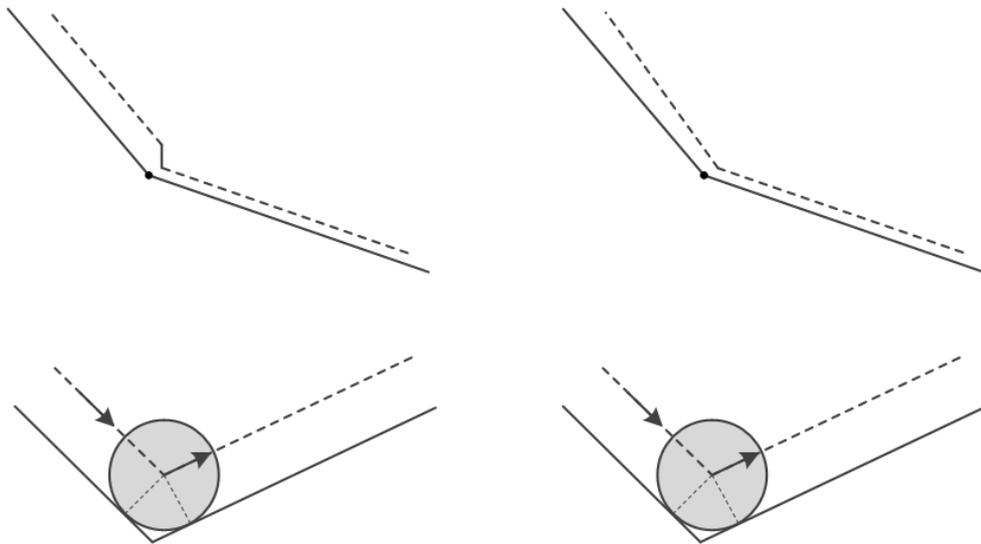
**Пояснения:**

Кадр N60 образует первую сторону внутреннего угла, здесь же указано, что в конце круговые оси (B, C) должны достигнуть позиций (45, 15). В кадре N70 меняется ориентация путем прямого программирования осей. После этого задается пространственное перемещение с изменением ориентации N80, образующее вторую сторону угла. Несмотря на то, что путь конца инструмента в декартовой системе координат будет сокращен относительно исходных кадров, ориентирующие движения будут выполнены полностью (т.е. оси B, C при достижении точки касания инструментом обеих сторон угла достигнут позиций 45, 15).

Как при обработке внутреннего, так и внешнего углов возможно написать такую последовательность кадров ориентации, при которой тип угла фактически меняется с одного на другой перед началом движения по второй стороне (так как определение типа угла зависит от ориентации инструмента). Такая ситуация системой ЧПУ не отслеживается. Ответственность за возможное повреждение заготовки и инструмента в этом случае возлагается на автора управляющей программы.

В отличие от движений по дополнительным осям, нормаль ограничивающей поверхности, также как и пространственное перемещение по осям XYZ, интерполируется по сокращенному пути, т.е. не достигает своего конечного значения в конце первого кадра и начинается с промежуточного значения при начале движения по второй стороне угла.

Так как точка пересечения кривых компенсации определяется в плоскости, перпендикулярной оси ориентации инструмента, вдоль самой этой оси при сокращении кривых может оставаться смещение. Рассмотрим Рисунок 13.10. Здесь оба кадра наклонены относительно торца инструмента. При обработке внутреннего угла и сопутствующем сокращении кривых эффективная глубина врезания в этом случае неизбежно испытывает скачок (вариант слева). Для того, чтобы обеспечить плавное движение по контуру, система ЧПУ распределяет величину скачка по всей длине первого кадра (вариант справа). В проекции на плоскость, перпендикулярную оси инструмента, траектория движения в обоих случаях одинакова.

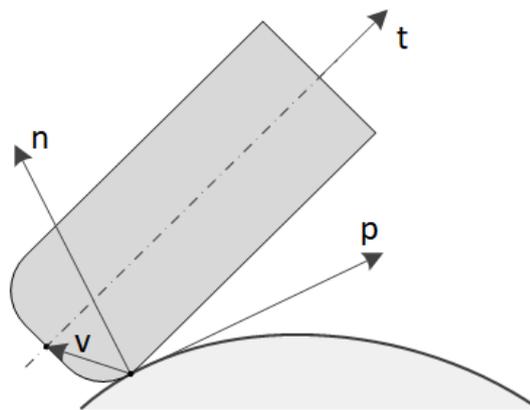


*Рисунок 13.10 – Интерполяция скачка глубины врезания вдоль первого кадра*

### 13.6 Компенсация торцевой обработки. Функции CUT3DF, CUT3DFS, CUT3DFE

При торцевой (или, как ее ещё называют, лицевой) обработке инструмент постоянной или переменной ориентации воздействует на материал заготовки конкретной точкой торцевой поверхности. Форма торцевой поверхности зависит от величины радиуса скругления кромки инструмента. Система ЧПУ учитывает различие в форме инструментов с разным соотношением основного радиуса и радиуса закругления.

Торцевая компенсация представляет собой коррекцию контура, которая производится в плоскости, образуемой нормалью поверхности и касательной в текущей точке контура (Рисунок 13.11).



*Рисунок 13.11 – Компенсация радиуса при торцевом фрезеровании*

Здесь  $\mathbf{p}$  – касательная к контуру,  $\mathbf{t}$  – вектор ориентации инструмента,  $\mathbf{n}$  – вектор нормали в текущей точке,  $\mathbf{v}$  – вектор компенсации, который лежит в одной плоскости с  $\mathbf{p}$  и  $\mathbf{n}$ . Модуль вектора компенсации зависит от формы инструмента и его ориентации относительно касательной и нормали. Вектор компенсации определяет смещение центра режущей кромки относительно точки контура. При расчете компенсаций используется касательная контура, приведенная к системе координат станка.

Активация режима торцевой компенсации производится вызовом одной из трех функций: CUT3DF, CUT3DFS, CUT3DFF. Таким образом, имеются три режима, но отличаются они только способом определения текущей ориентации инструмента:

- 1) Режим CUT3DF: ориентация инструмента определяется кинематической схемой исходя из текущих позиций осей станка. Подходит для пятикоординатной обработки.
- 2) Режим CUT3DFS: ориентация инструмента определяется только выбранной рабочей плоскостью (вдоль оси Z при G17, Y при G18 и X при G19). Текущий выбор системы координат детали не влияет на определение ориентации. То есть, инструмент считается постоянно ориентированным вдоль одной из осей декартовой системы координат станка.
- 3) Режим CUT3DFF: как и в режиме CUT3DFS, текущая ориентация инструмента определяется выбранной рабочей плоскостью, но при этом ось ориентации связана с системой координат детали, а не станка. Поворот текущей системы координат детали приводит к соответствующему повороту эффективной оси ориентации инструмента.

Режимы CUT3DFS и CUT3DFF применяются чаще всего для трехкоординатной обработки и режимов 3+2 (обработка в наклонной плоскости), хотя и для станка с пятикоординатной кинематической схемой использовать их вполне допустимо. Стоит лишь иметь в виду, что в этих двух режимах система игнорирует реальные данные об ориентации инструмента, жестко привязав ее к рабочей плоскости.

Нормаль поверхности  $\mathbf{n}$  задается адресами A4, B4, C4 (соответственно, компоненты X, Y, Z вектора нормали в начале кадра) и A5, B5, C5 (компоненты X, Y, Z вектора нормали в конце кадра). По умолчанию при старте программы нормаль направлена вдоль оси Z системы координат станка (0, 0, 1). Нормаль сохраняется с предыдущего кадра, т.е. конечная нормаль предыдущего кадра используется как начальная текущего. Если в кадре задана только начальная нормаль, то конечная считается равной начальной (т.е., нормаль постоянна в кадре). Если заданная конечная нормаль кадра отличается от начальной, промежуточные нормали при движении вдоль кадра рассчитываются интерполяцией путем равномерного вращения начального вектора к конечному в рамках плоскости, образуемой ими обоими (т.е. производится плоский поворот вектора нормали от начального до конечного значения синхронно с движением по пути кадра). Заданные в программе векторы автоматически нормализуются, так что модуль вектора нормали не влияет на ход обработки. Если активна функция ORIWKS, нормали считаются заданными относительно системы координат детали, следовательно, если текущая система координат детали повернута, то и нормали вместе с ней повернуты относительно системы координат станка. При активной ORIMKS нормали не поворачиваются, так как считаются заданными относительно системы координат станка. Отсутствующие компоненты нормали обнуляются (например, если в каком-то кадре задано только значение A4=1, то B4 и C4 становятся равными нулю независимо от того, были ли они заданы ранее).

Вектор ориентации инструмента в каждой точке контура должен находиться под острым углом к вектору нормали (другими словами, инструмент должен быть над поверхностью, а не под ней), в противном случае программа будет прервана с выдачей ошибки.

Нормаль поверхности не может значительно отклоняться от положения перпендикуляра к касательной (формально никакое отклонение не допустимо с топологической точки зрения, но в системе ЧПУ в целях повышения гибкости конвейера обработки задан небольшой допуск, который в настоящей версии программного обеспечения не настраивается пользователем). Система ЧПУ не исправляет нормали, неправильно заданные в управляющей программе. Если отклонение нормали от касательной достигнет величины, при которой будет невозможно корректное вычисление компенсации, программа будет прервана с выдачей ошибки.

### Пример 13.3:

```
G17 G90 G15 G191 G71 G72 G172 G272 G94 G97 G49 G40 G00 G80 G98
G53 G153 G193 G64 BRISK CUT2DF ORIAxes // Строка безопасности

N10 M6 T1
N20 TRAORI G18
N30 G01 X-10 Y0 Z0 F1800 G53 G153
N40 X0
N50 X30 Z30
N60 X60 Z0
N70 X75 Z15
N80 X90 Z0
N90 G03 X110 Z0 I10 K0
N100 G03 X130 Z0 I10 K0
N110 G01 X140 Z0
N120 X150 Z0
N130 X-10 Z0
N140 CUT3DF G41 X0 A5=-1 B5=0 C5=1 //Включение компенсации
N150 X30 Z30
N160 X60 Z0 A4=1 B4=0 C4=1
N170 X75 Z15 A4=-1 B4=0 C4=1
N180 X90 Z0 A4=1 B4=0 C4=1

N190 G03 X100 Z10 I10 K0 A4=-1 B4=0 C4=0 A5=0 B5=0 C5=1
N200 G03 X110 Z0 I0 K-10 A5=1 B5=0 C5=0
N210 G03 X120 Z10 I10 K0 A4=-1 B4=0 C4=0 A5=0 B5=0 C5=1
N220 G03 X130 Z0 I0 K-10 A5=1 B5=0 C5=0
N230 G01 X140 Z0 A4=0 B4=0 C4=1
N240 X150 Z0 G40 //Выключение компенсации и выход из контура
N250 X-10 Z0
N260 N90 M30
```

### Пояснения:

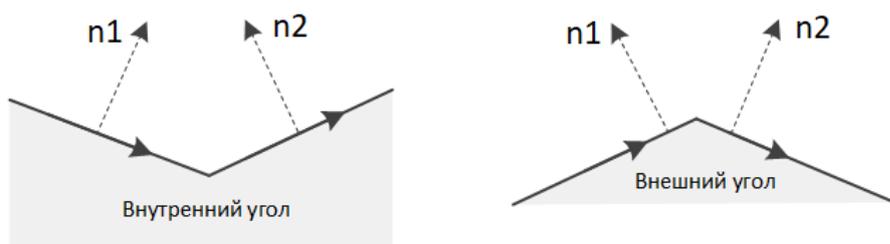
В кадрах N30 – N130 задан исходный контур без компенсации для сравнения. В кадре N140 активируется режим CUT3DF и задается кадр входа. Конечная нормаль кадра входа (т.е. начальная нормаль корректируемого контура) задается как (-1, 0, 1). В кадрах N150 – N230 задается контур с корректно рассчитанными нормальными, перпендикулярными касательным во всех точках контура. В кадре N240 компенсация выключается и задается точка выхода.

Выбор функции направления обхода G41 или G42 не имеет значения для торцевой компенсации. Для активации может применяться любая из двух команд.

## 13.7 Поведение на углах при компенсациях торцевой обработки

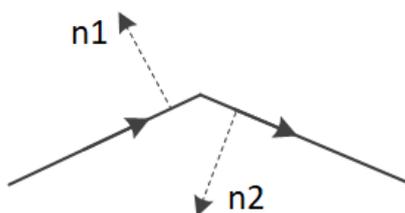
### 13.7.1 Определение типа угла

Обрабатываемый контур в общем случае состоит из последовательности сегментов, которые не стыкуются между собой тангенциально, а образуют углы. При этом углы могут быть внешними и внутренними. Определение типа угла при торцевой обработке зависит от взаимного положения нормалей и касательных в точке стыка кадров или вблизи нее (Рисунок 13.12).



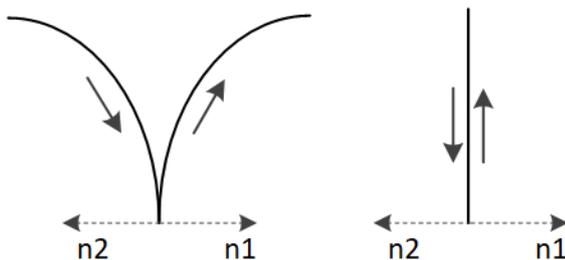
**Рисунок 13.12 – Типы углов при торцевой обработке**

Ошибочное указание нормалей в управляющей программе может привести к топологически невозможной ситуации, когда ориентация поверхности испытывает поворот при переходе угла (Рисунок 13.13). В этом случае выполнение программы будет прервано.



**Рисунок 13.13 – Ошибочное задание нормалей**

Нормали двух смежных кадров могут быть антипараллельны в точке стыка, но должны образовывать угол, меньший 180 градусов, по крайней мере, в окрестности этой точки, в противном случае тип угла определить будет невозможно и выполнение программы будет прервано (Рисунок 13.14).



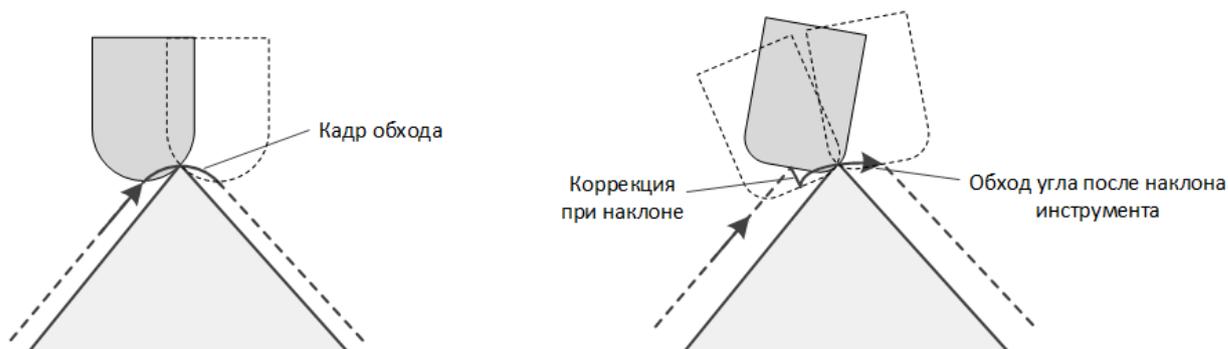
**Рисунок 13.14 – Допустимый (слева) и недопустимый (справа) случаи антипараллельности нормалей в точке стыка кадров**

### 13.7.2 Обработка внешних углов

Внешний угол образует точку, в которой нормаль поверхности скачкообразно меняет направление. Так как нормаль и касательная контура определяют вектор компенсации радиуса, для правильного перехода от конечной точки первого кадра к начальной точке второго система ЧПУ вставляет кадр обхода угла. В случае торцевой компенсации кадр обхода представляет собой сложную кривую, форма которой зависит от геометрии инструмента.

Обратим внимание, что после первого кадра перемещения, образующего угол, может быть вставлено несколько кадров, не меняющих положение конца инструмента, но изменяющих его ориентацию. Логика обработки такой последовательности команд

следующая: сначала инструмент достигает конечной точки первого геометрического кадра; затем выполняются кадры переориентации; после этого выполняется кадр перехода и инструмент продолжает перемещаться по второй стороне угла (Рисунок 13.15).



**Рисунок 13.15 – Обход внешнего угла при торцевой компенсации**

**Пример (фрагмент):**

```

...
N40 G01 X-20 Y0 Z0 C3=1 f1800
N50 TRAORI CUT3DF G41 X0 Y0 Z0 f1800
N60 X30 Z30 A4=-1 B4=0 C4=1 //Первая сторона угла
N70 A3=0.7 B3=0.7 C3=0.7 //Задание нового вектора ориентации
N80 B60 C45 //Прямое задание позиций круговых осей
N90 X60 Z0 A4=1 B4=0 C4=1 //Вторая сторона угла
...
M30

```

**Пояснения:**

Кадр N60 образует первую сторону внешнего угла. В кадре N70 задается новый вектор ориентации инструмента. В кадре N80 также меняется ориентация, но путем прямого программирования осей. После этого задается пространственное перемещение N90, образующее вторую сторону угла. Только после выполнения кадров N70 и N80 будет вставлен кадр обхода.

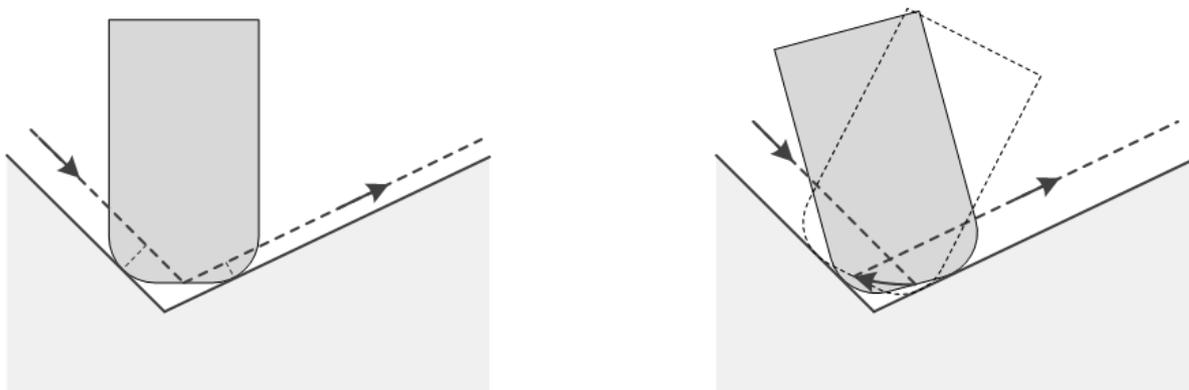
В углу (как внешнем, так и внутреннем) не допускается вставка большого количества команд переориентации. Максимальное количество зависит от типа траектории и внутреннего состояния буфера команд ядра системы ЧПУ: от 10 до 14 команд. В практических задачах таких длинных цепочек команд переориентации, как правило, не бывает.

### 13.7.3 Обработка внутренних углов

Обработка внутренних углов является более сложной задачей, так как во избежание нарушения контура оба кадра, образующих внутренний угол, должны укорачиваться, для чего система ЧПУ выполняет процедуру поиска точки, в которой пересекаются траектории центра режущей кромки при компенсации. Точка пересечения вычисляется в плоскости, образуемой нормалью и касательной первого кадра.

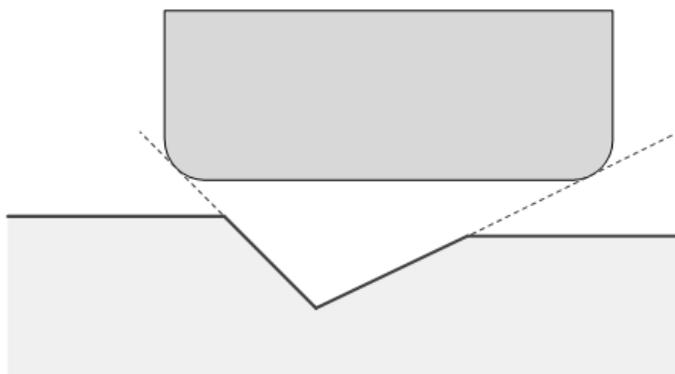
Как и в случае с внешними углами, после кадра перемещения, образующего первую сторону угла, может быть вставлено некоторое количество команд переориентации. Только после выполнения всех них продолжается движение по второй стороне угла. Для кадров ориентации движение производится таким образом, чтобы в процессе поворота

инструмента он касался обеих сторон угла, не отходя от контура и не нарушая его (Рисунок 13.16).



**Рисунок 13.16 – Обработка внутреннего угла при торцевой компенсации**

Если кадры слишком короткие для поиска точки пересечения траекторий или инструмент не удастся по этой же причине повернуть таким образом, чтобы обе точки касания его с контуром лежали в границах заданных кадров, программа будет прервана с выдачей ошибки (Рисунок 13.17).



**Рисунок 13.17 – Точки касания инструмента лежат за пределами кадров**

Кадры пространственного перемещения, образующие внутренний угол, всегда укорачиваются, если инструмент имеет ненулевой диаметр. Однако любые перемещения по дополнительным осям (отличным от XYZ), как и движения ориентации, производятся полностью. Таким образом, условия синхронизации между осями меняются при обработке внутреннего угла: кадр первой стороны угла укорачивается с конца, второй стороны – с начала, но все остальные (т.е. не XYZ) интерполируемые оси выполняют свои движения от начала до конца. Очевидно, что интерполяционные соотношения между позициями геометрических осей и дополнительных при этом будут несколько отличаться от исходных соотношений, которые были определены без учета сокращений сегментов траектории. Это неизбежный побочный эффект трехмерной компенсации радиуса.

**Пример (фрагмент):**

```

...
N40 G01 X-20 Y0 Z0 C3=1 f1800
N50 TRAORI CUT3DF G41 X0 Y0 f1800
N60 X30 Z-30 A4=1 C4=1 B45 C15 //Первая сторона угла
N70 B60 C45 //Прямое задание позиций круговых осей
N80 X60 Z0 A2=0 B2=30 C2=0 A4=-1 C4=1 //Вторая сторона угла
...

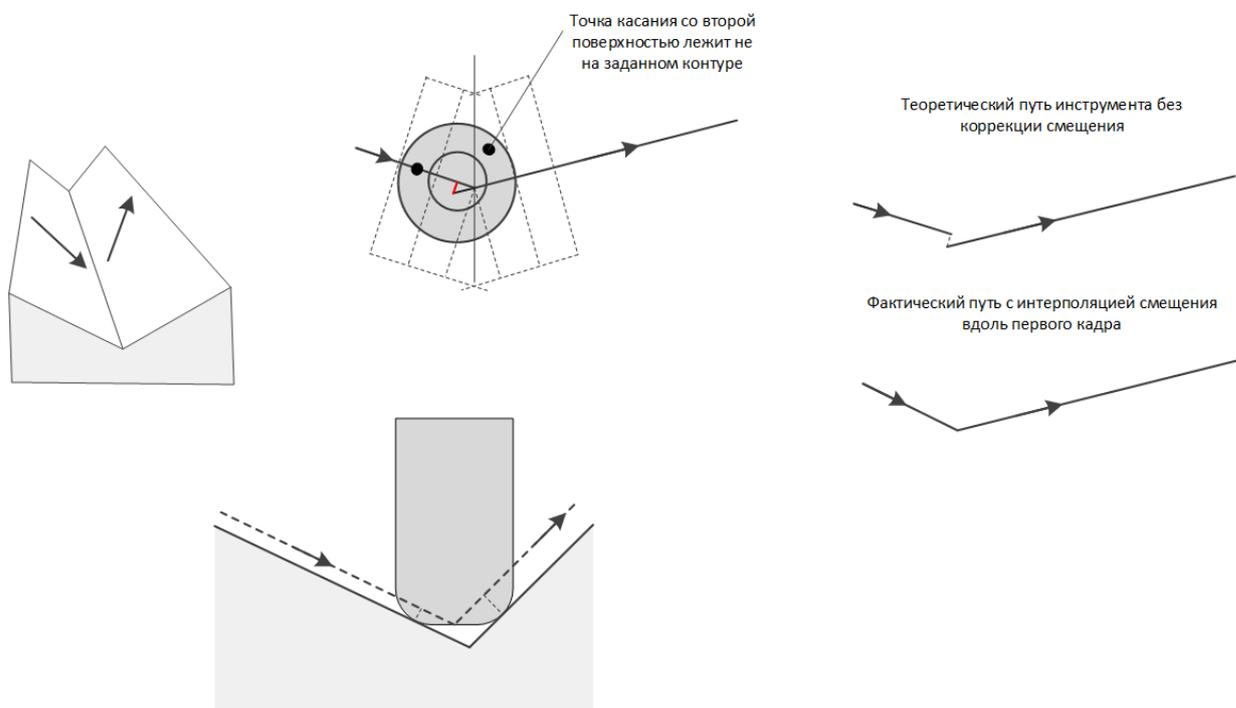
```

**Пояснения:**

Кадр N60 образует первую сторону внутреннего угла, здесь же указано, что в конце круговые оси (В, С) должны достигнуть позиций (45, 15). В кадре N70 меняется ориентация путем прямого программирования осей. После этого задается пространственное перемещение с изменением ориентации N80, образующее вторую сторону угла. Несмотря на то, что путь конца инструмента в декартовой системе координат будет сокращен относительно исходных кадров, ориентирующие движения будут выполнены полностью (т.е. оси В, С при достижении точки касания инструментом обеих сторон угла достигнут позиций 45, 15).

В отличие от движений по дополнительным осям, нормаль кадра, так же, как и пространственное перемещение по осям XYZ, интерполируется по сокращенному пути, т.е. не достигает своего конечного значения в конце первого кадра и начинается с промежуточного значения при начале движения по второй стороне угла.

В общем случае одна из рассчитанных точек касания инструментом двух поверхностей, образующих внутренний угол, может лежать вне заданного контура. Рассмотрим Рисунок 13.18. Здесь оба кадра задают движение вдоль двух различных плоскостей. При таком положении поверхностей фактическая точка касания инструмента со второй плоскостью неизбежно будет смещена относительно контура, а траектория центра режущей кромки будет иметь скачок вдоль перпендикуляра к плоскости компенсации. Для того, чтобы обеспечить плавное движение по контуру, система ЧПУ распределяет величину этого скачка по всей длине первого кадра (вариант справа).

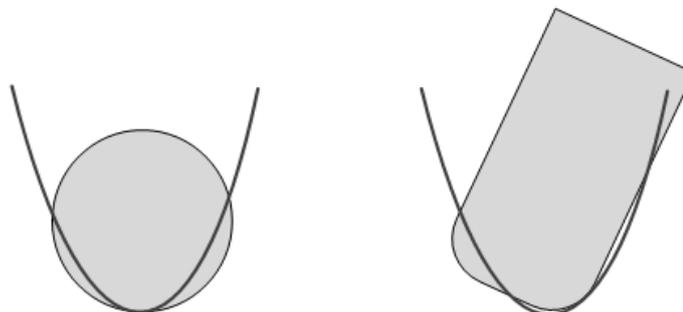


**Рисунок 13.18 – Интерполяция скачка траектории центра инструмента вдоль первого кадра**

### 13.8 Контроль кривизны контура и столкновений

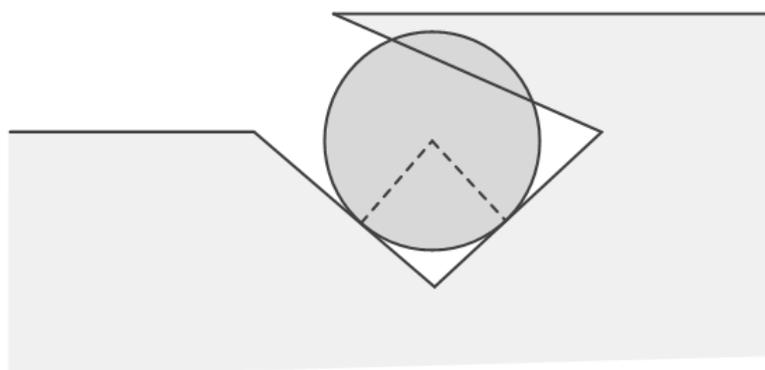
Ни в одном режиме трехмерной компенсации система ЧПУ не отслеживает влияние кривизны контура на возможность обработки участка траектории инструментом. Это

значит, что при достаточно малом радиусе кривизны инструмент определенного размера будет нарушать контур, а система не будет считать такую ситуацию ошибочной (Рисунок 13.19). Таким образом, возможность правильной обработки контура выбранным инструментом должна быть проверена заранее.



**Рисунок 13.19 – Нарушение контура из-за малого радиуса кривизны**

Контроль столкновений за пределами двух кадров, образующих внутренний угол, не производится в режимах трехмерной компенсации. Следовательно, в определенных условиях инструмент может нарушить контур, лежащий за пределами внутреннего угла (Рисунок 13.20).



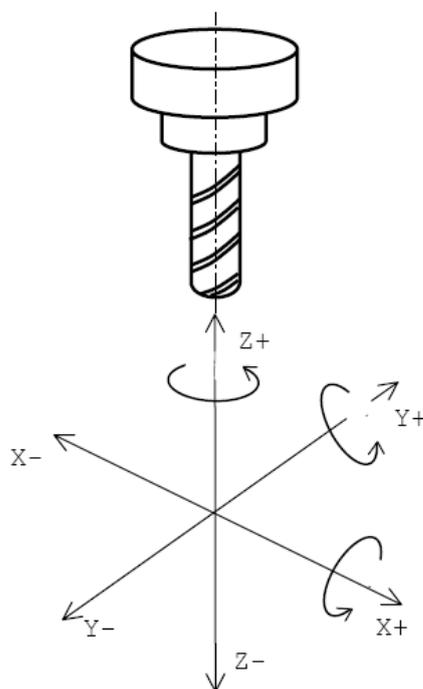
**Рисунок 13.20 – Нарушение контура из-за столкновения с соседними участками**

Из сказанного следует, что использование трехмерной компенсации требует предварительной верификации управляющей программы, моделирования обработки и, возможно, изготовления пробной детали, потому что коррекция контура в реальном времени системой ЧПУ для инструмента, не предусмотренного при генерации программы САМ-системой, может дать неожиданные результаты.

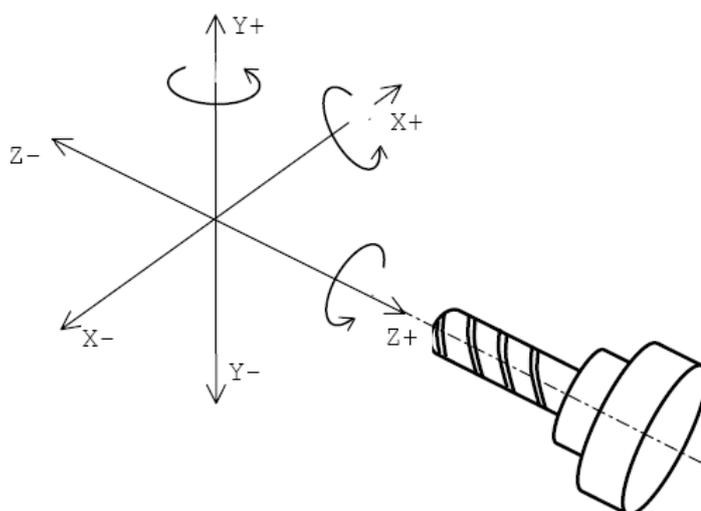
## 14 Приложение. Методика подготовки и запуска управляющей программы

### 14.1 Движение осей станка при задании координат

Для правильной работы большинства функций программирования системы ЧПУ станок должен быть настроен таким образом, чтобы задание положительных перемещений по координатам X, Y, Z в кадре соответствовало движению инструмента относительно детали в положительном направлении. Другими словами, независимо от того, перемещается ли стол с деталью или инструмент, при задании положительного смещения по координате Z инструмент должен смещаться относительно детали в том же направлении в станочной системе координат (совпадающей по направлению осей с базовой системой координат детали), см. Рисунок 14.1.



*а) вертикальный шпиндель*



*б) горизонтальный шпиндель*

*Рисунок 14.1 – Направление движения осей станка*

## 14.2 Подготовительный этап программирования

Подготовка всей необходимой геометрической и технологической информации для осуществления предусмотренного цикла обработки требует от программиста проведения подготовительной работы, которая состоит из следующих операций:

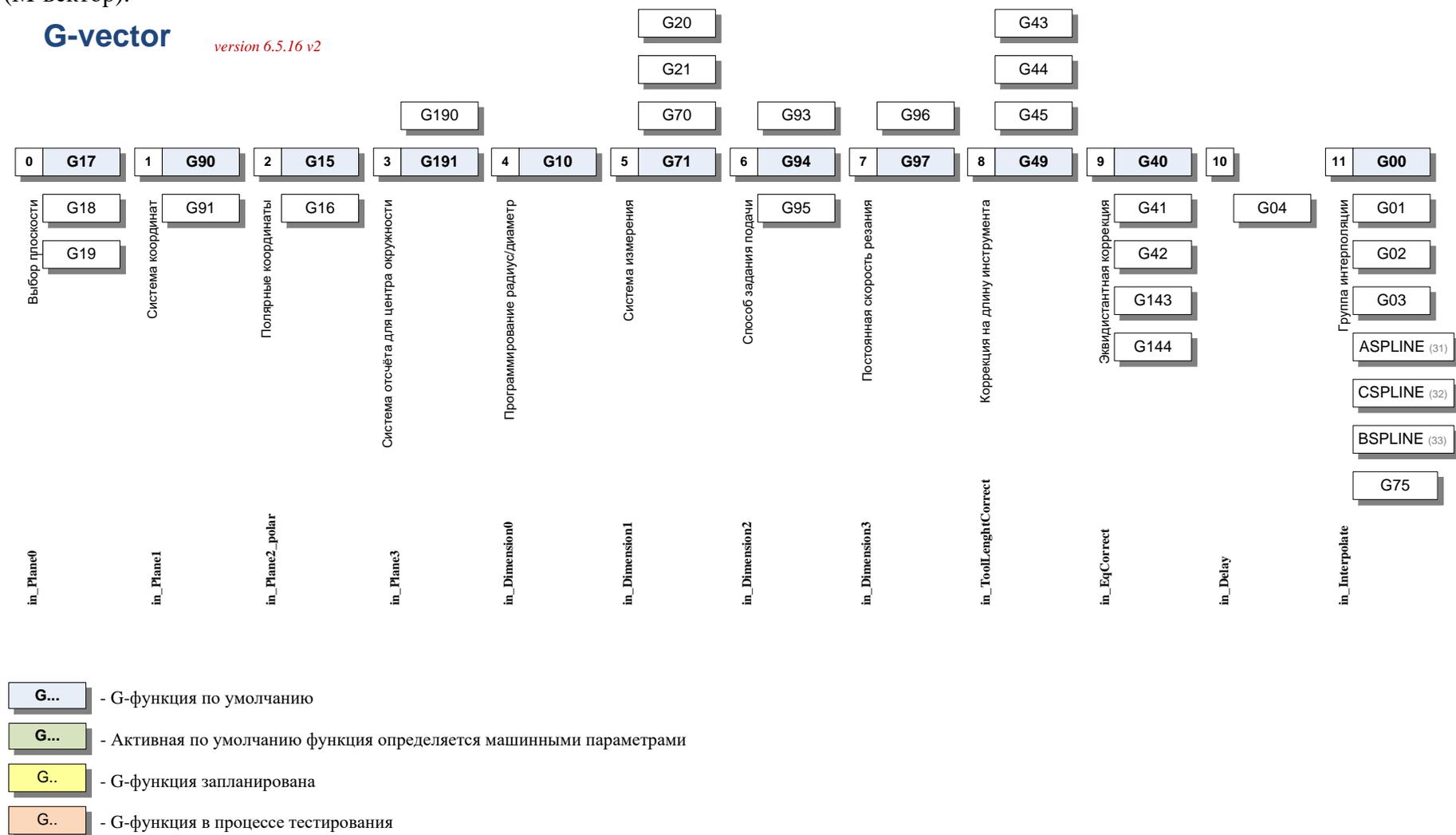
- 1) Определить на чертеже начальную точку осей (ноль детали), относительно которой должны быть измерены все перемещения. Этот выбор должен быть осуществлен в соответствии с фактическими размерами чертежа. Надо иметь в виду, что, если чертеж был выполнен с учетом одной точки, будет возможно выбрать ноль детали, совпадающий с этой точкой. В обратном случае выбирается точка, которая позволяет осуществить наиболее легкий переход от данного измерения к новому измерению.
- 2) Определить на чертеже детали точки отсчета и точки зажима самой детали.
- 3) Убедиться в том, что все операции, которые необходимо выполнить, находятся в пределах рабочего поля станка.
- 4) Составить список требуемых инструментов в строгой последовательности, необходимой для выполнения программы.
- 5) Определить технологические условия резания (скорость вращения шпинделя и скорость подачи) для каждого инструмента; вышеуказанные данные заносятся программистом в карточку инструмента.

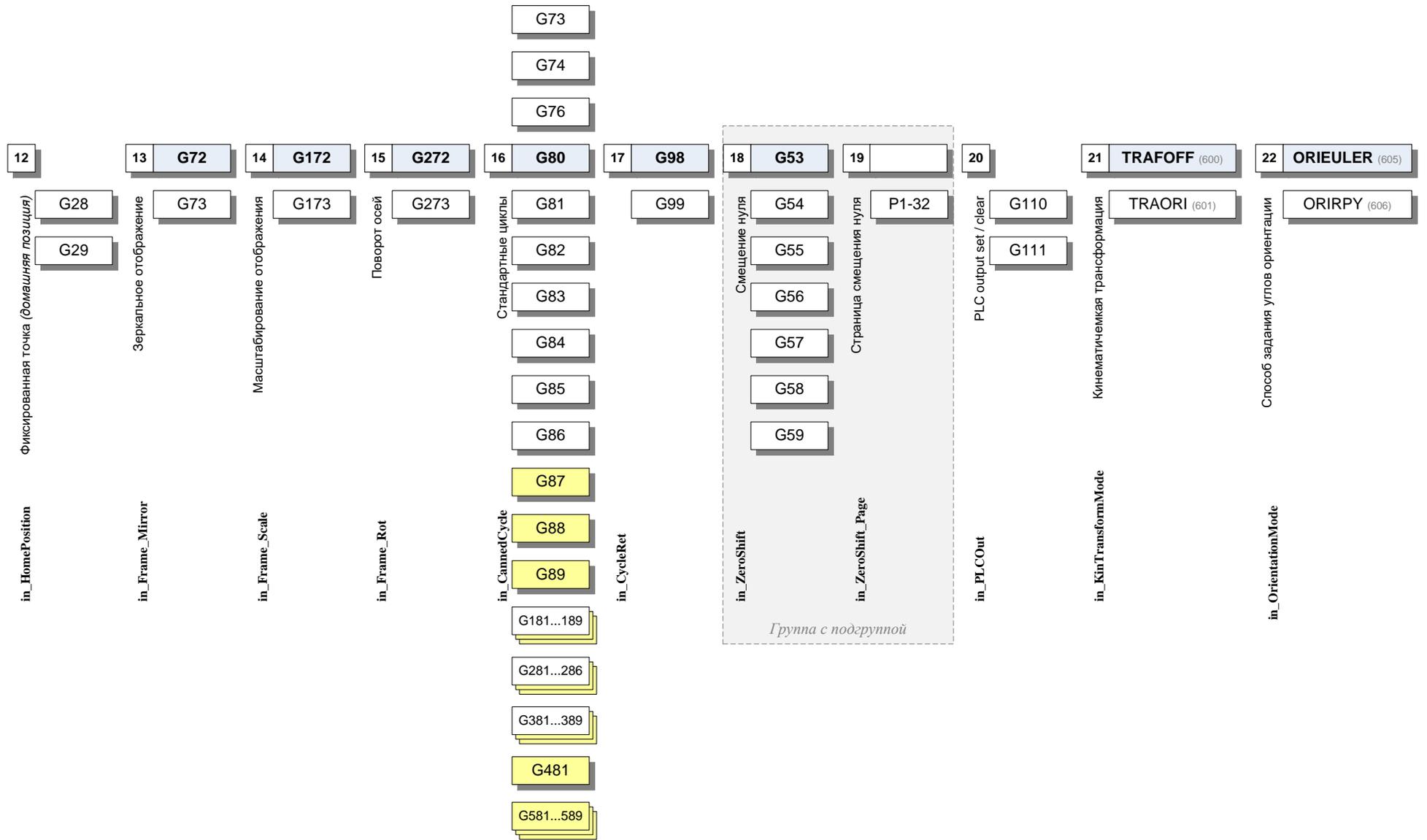
## 14.3 Ввод программ

Программа, которую необходимо выполнить, должна быть занесена в память системы. Ввод программы в память может осуществляться с клавиатуры, с флеш-накопителя или с ПК по последовательному каналу.

## 15 Приложение. G- и M-векторы

Схематически G- и M-функции, используемые в системе ЧПУ «АксиОМА Контрол», показаны на Рисунок 15.1 (G-вектор) и Рисунок 15.2 (M-вектор).





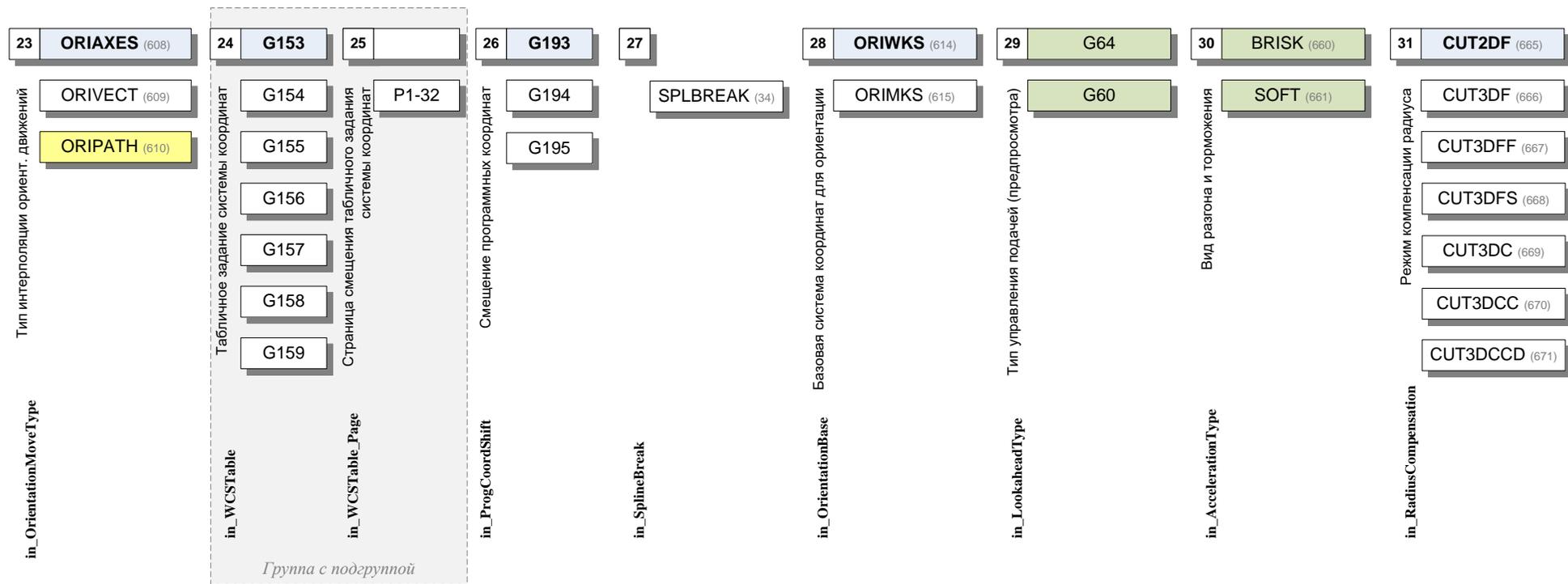
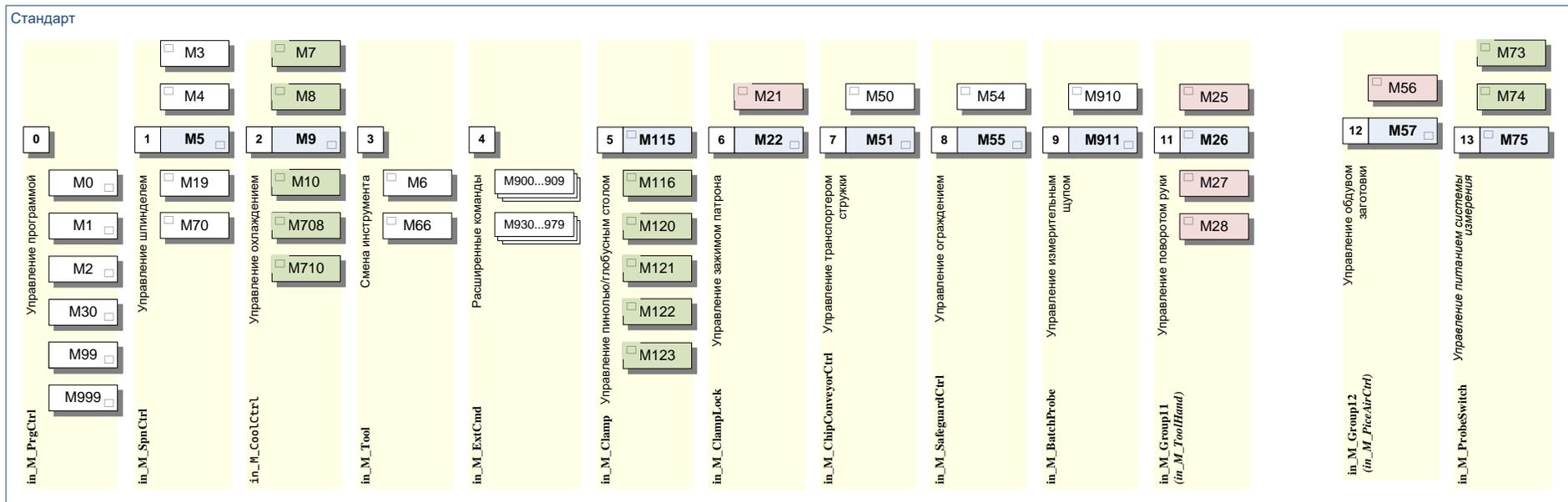


Рисунок 15.1 – G-вектор



- M... - М-функция префиксная
- M..  - М-функция постфиксная
- M...** - М-функция по умолчанию
- M...** - М-функции, специфичные для «Бивертех»
- M...  - Группы М-функций для станкостроителей, нечетные префиксные, четные — постфиксные

Рисунок 15.2 – М-вектор