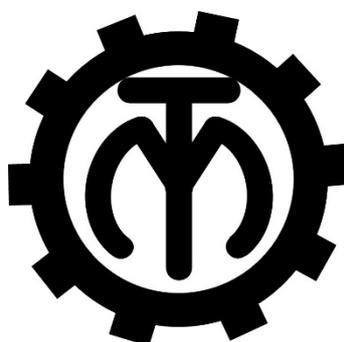


МЕЖГОСУДАРСТВЕННОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ  
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«БЕЛОРУССКО-РОССИЙСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Кафедра «Технология машиностроения»

# СОВРЕМЕННЫЕ ПРОМЫШЛЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

*Методические рекомендации к лабораторным работам  
для студентов направления подготовки 27.03.05 «Инноватика»  
очной формы обучения*



Могилев 2022

УДК 620.01  
ББК 34.6  
С56

Рекомендовано к изданию  
учебно-методическим отделом  
Белорусско-Российского университета

Одобрено кафедрой «Технология машиностроения» «18» апреля 2022 г.,  
протокол № 11

Составители: канд. техн. наук, доц. В. М. Шеменков;  
канд. техн. наук, доц. А. М. Федоренко;  
В. В. Афаневич

Рецензент канд. техн. наук О. В. Благодарная

Приведены методические рекомендации к проведению лабораторных работ  
по дисциплине «Современные промышленные технологии» для студентов  
направления подготовки 27.03.05 «Инноватика» очной формы обучения.

Учебно-методическое издание

## СОВРЕМЕННЫЕ ПРОМЫШЛЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

Ответственный за выпуск	В. М. Шеменков
Корректор	А. А. Подошевка
Компьютерная верстка	Н. П. Полевничая

Подписано в печать . Формат 60×84/16. Бумага офсетная. Гарнитура Таймс.  
Печать трафаретная. Усл. печ. л. . Уч. -изд. л. . Тираж 36 экз. Заказ №

Издатель и полиграфическое исполнение:  
Межгосударственное образовательное учреждение высшего образования  
«Белорусско-Российский университет».  
Свидетельство о государственной регистрации издателя,  
изготовителя, распространителя печатных изданий  
№ 1/156 от 07.03.2019.  
Пр-т Мира, 43, 212022, г. Могилев.

© Белорусско-Российский  
университет, 2022

## Содержание

Инструкция по охране труда при проведении лабораторных работ .....	4
1 Лабораторная работа № 1. Электроэрозионный проволочно-вырезной станок с ЧПУ модели DK7725. Программирование обработки.....	5
2 Лабораторная работа № 2. Электроэрозионный копировально-прошивной станок с ЧПУ модели D7135ZNC. Программирование обработки.....	16
3 Лабораторная работа № 3. Полуавтомат зубошлифовальный с ЧПУ модели Stanexim SMG405GF3-09. Программирование обработки.....	24
4 Лабораторная работа № 4. Токарный станок с ЧПУ модели СК6140А с системой Fanuc series 0i-TF. Программирование обработки .....	33
5 Лабораторная работа № 5. Изготовление металлических деталей методом SLM-печати и основы работы на 3D-принтере модели EP-M250 .....	39
Список литературы .....	47

## **Инструкция по охране труда при проведении лабораторных работ**

### ***Общие требования безопасности***

Допуск студентов к лабораторным занятиям производится только после инструктажа по технике безопасности, о чем делается соответствующая запись в специальном журнале (бланке).

### ***Требования безопасности перед началом работы***

1 Внимательно изучить содержание и порядок проведения лабораторной работы, а также безопасные приемы его выполнения.

2 Перед каждым включением оборудования предварительно убедиться, что его пуск безопасен.

### ***Требования безопасности во время работы***

1 Точно выполнять все указания преподавателя.

2 Не прикасаться к находящимся под напряжением элементам электрических цепей, к корпусам стационарного электрооборудования, не производить переключения в цепях до отключения источника питания.

3 Запрещается во время работы оборудования снимать ограждения и предохранительные устройства, а также держать их открытыми.

4 Во время работы запрещается касаться руками вращающихся и перемещающихся частей, вводить руки в зону движения.

### ***Требования безопасности по окончании работы***

1 Полностью выключить оборудование.

2 Привести в порядок рабочее место.

3 Предупредить преподавателя обо всех, даже малейших и незначительных, неисправностях оборудования.

### ***Требования безопасности в аварийных ситуациях***

1 В случае травмирования кого-либо немедленно доложить преподавателю.

2 При выходе оборудования из строя (нет освещения, возгорание токопроводов, поломка механических деталей) необходимо:

– отключить оборудование (обесточить);

– доложить преподавателю о случившемся, а в случае возгорания приступить к немедленной его ликвидации первичными средствами пожаротушения.

# **1 Лабораторная работа № 1. Электроэрозионный проволочно-вырезной станок с ЧПУ модели DK7725. Программирование обработки**

*Цель работы:* ознакомление с работой системы подготовки программ для электроэрозионных проволочно-вырезных станков, с основными правилами описания деталей и составления программ для их изготовления.

## ***1.1 Программное обеспечение***

Система программируемого управления AutoCut WEDM.

## ***1.2 Описание и характеристики станка***

Станок модели DK7725 предназначен для точной обработки всех типов металлических изделий малых и средних размеров, а также изделий сложной формы, изготовленные из проводящих и твердых материалов (закаленная сталь, высокопрочные сплавы), например различные пресс-формы, испытательные пластины и т. д. Станок управляется в цифровом режиме и обеспечивает автоматическую и точную обработку изделия с широкими возможностями настройки. Таким образом, он может применяться для обработки оборудования, счетчиков, двигателей, тракторов, мотоциклов, бытовой техники, эксплуатироваться в испытательных мастерских и инструментальных цехах в таких отраслях, как производство предметов первой необходимости.

### **Конструкция станка.**

Электроэрозионный станок с ЧПУ серии DK77 состоит из корпуса станка (основания), координатного рабочего стола, системы нитепротяжки, стойки электродной нити, системы циркуляции рабочей жидкости, системы электроуправления и цифровой системы управления. Контроль перемещения координатного стола осуществляется цифровой системой контроля, которая обеспечивает точный ход заготовки и её продольное перемещение по направляющей и обеспечивает возвратно-поступательное передвижение нити по прямой с высокой скоростью. При обработке импульс электроразряда проходит между электродной нитью, рабочей жидкостью и заготовкой (обрабатываемой деталью). В центре электроразрядного канала создается высокая температура, что приводит к плавлению металла и формированию эрозии, которая применяется для обработки заготовки.

Установленное на подвижной консоли стойки катушки конусное устройство (адаптированное для нужд клиентов) при необходимости отклоняет электродную нить в направлении U и V. Благодаря взаимодействию четырех (X, Y и U, V) осей в вертикальном и горизонтальном направлении существует возможность создавать профили с различными типами верхних и нижних поверхностей или же с конической поверхностью.

### *Корпус станка.*

Корпус станка представляет собой железный закрытый корпус, по двум сторонам которого размещены электрический блок и блок рабочей жидкости, также они могут находиться внутри станка, а рабочий стол, системы протяжки нити, освещения и другие компоненты – на внешней части станка.

### *Координатный рабочий стол.*

Рабочий стол состоит в основном из движущейся платформы, на которой расположен рабочий стол средней тяговой платформы, винты точной настройки и редуктор (коробка передач). Вертикальный и горизонтальный ход тяговой платформы осуществляется по роликовой направляющей конструкции (или прямой рельсовой направляющей). Движение рабочего стола (подача заготовки) осуществляется посредством шагового двигателя через передаточный редуктор на шариковый винт точной настройки.

Зазоры винтовой гайки шарикового винта точной настройки установлены заводом перед отправкой, демонтаж не рекомендуется.

На станке DK7720 применяется нарезной винт точной настройки.

Винтовая передача обладает такими преимуществами, как высокая точность, высокая эффективность и длительный срок эксплуатации.

### *Движение нити.*

Устройство протяжки нити выполняет прямолинейное возвратно-поступательное движение электродной нити. Катушка хранения нити состоит из полого цилиндра, который отделен от основной оси. Двигатель протяжки нити соединен с катушкой хранения нити посредством муфты (втулки). Вращение катушки хранения нити передает электродной нити скорость 11 м/с, которая передается на винтовую передачу точной настройки через шкив синхронной ленточной передачи, осуществляя ровное возвратно-поступательное движение нити. В винтовой передаче точной настройки применяются главные или вспомогательные винтовые гайки для регулировки зазоров и присутствует защитный механизм на случай превышения хода или падения гайки. Частое изменение направления хода катушки нити контролируется рядом путевых переключателей, которые характеризуются простотой конструкции, чувствительностью, сниженной шумностью и долговечностью. В случае сбоя в работе переключателя изменения направления, путевой переключатель отключает питание и работа станка останавливается.

### *Стойка нитедержателя.*

Стойка нитедержателя состоит из колонны, неподвижной консоли, подвижной консоли и направляющих колес достаточной жесткости. Фронтальная часть стойки нитедержателя оборудована блоком подачи питания из высокопрочного сплава, направляющего колеса с подачей питания от консоли стойки нитедержателя. В конструкции реализован метод полностью открытой протяжки нити. Электродная нить выходит из катушки хранения проводной нити, направляется в главное направляющее колесо в голове стойки нитедержателя через верхние и нижние распыляющие форсунки. Перед началом эксплуатации следует проверить

вертикальность расположения электродной нити.

Внизу колонны также находится клапан подачи воды с двумя кранами для регулирования объема подачи воды верхней и нижней форсунки.

При вращении винтов вверх или вниз колонна перемещается. Для регулирования зазора между верхним и нижним главным направляющим колесом при обработке заготовки подвижная консоль может двигаться вверх или вниз.

#### **Технические характеристики.**

Технические характеристики станка представлены в таблице 1.1.

Таблица 1.1 – Технические характеристики станка DK7725

Наименование параметра	Значение параметра
Размер рабочего стола	525 × 380 мм
Вертикальный / горизонтальный ход рабочего стола	320 / 250 мм
Максимальная грузоподъемность рабочего стола	300 кг
Максимальная толщина резки (без учета точности резки и исключая закаленные сплавы, прямая линия)	500 мм
Максимальная обработка конической части заготовки	22 × 22 мм
Максимальная оптимальная шероховатость процесса (производительность > 20 мм <sup>2</sup> /мин)	Ra ≤ 1,2 мкм
Максимальная скорость резки (без учета точности и шероховатости)	150 мм <sup>2</sup> / мин
Ход рабочего стола при одном обороте маховика	4 мм
Ход рабочего стола при вращении на одно значение шкалы маховика	0,02 мм (200 делений) или 0,01 мм (400 делений)
Максимальный ход катушки хранения нити	160 мм
Диаметр катушки электродной нити	160 мм
Диаметр электродной нити	0,13...0,22 мм
Максимальная длина нити	250 м
Скорость протяжки электродной нити	11 м/с
Импульс хода рабочего стола	0,001 мм
Потребляемая мощность	3 фазы 50 Гц 380 В
Общая мощность	2 кВт
Двигатель протяжки нити	YS7124 370W 1400 мин <sup>-1</sup> (AC)
Габаритные размеры	1450 × 1100 × 1600 мм
Масса	1600 кг

### **1.3 Система программируемого управления AutoCut WEDM**

Система программируемого управления AutoCut WEDM (далее по тексту – система AutoCut) на базе операционной системы Windows XP состоит из программного обеспечения системы (CAD и CAM), которое работает под ОС Windows, карты управления движением по четырем осям, предназначенной

для вставки в слот PCI персонального компьютера (на шине PCI), платы драйвера шагового мотора высокой надежности и экономичности (без вентиляторов), платы высокой частоты с 0,5 мкс.

Пользователь использует CAD для построения графики обработки в соответствии с чертежом и задает WEDM-методы для графики CAD, создает данные двухмерной или трехмерной обработки и выполняет изготовление детали. Во время обработки система может интеллектуально управлять скоростью мотора, параметрами импульсного тока и т. д. Метод обработки на базе графического процессора представляет собой динамическую интеграцию CAD и CAM в поле WEDM.

В число функций системы входит автоматическое управление скоростью резания, отображение в режиме реального времени во время резания, предварительный просмотр обработки и др. При этом она способна обеспечить защиту от любых типов непредвиденных ситуаций (обрыв питания, остановка системы и т. п.) во избежание отбраковки изготавливаемой детали.

### 1.4 Использование AutoCut для AutoCAD

Главный интерфейс представлен на рисунке 1.1.

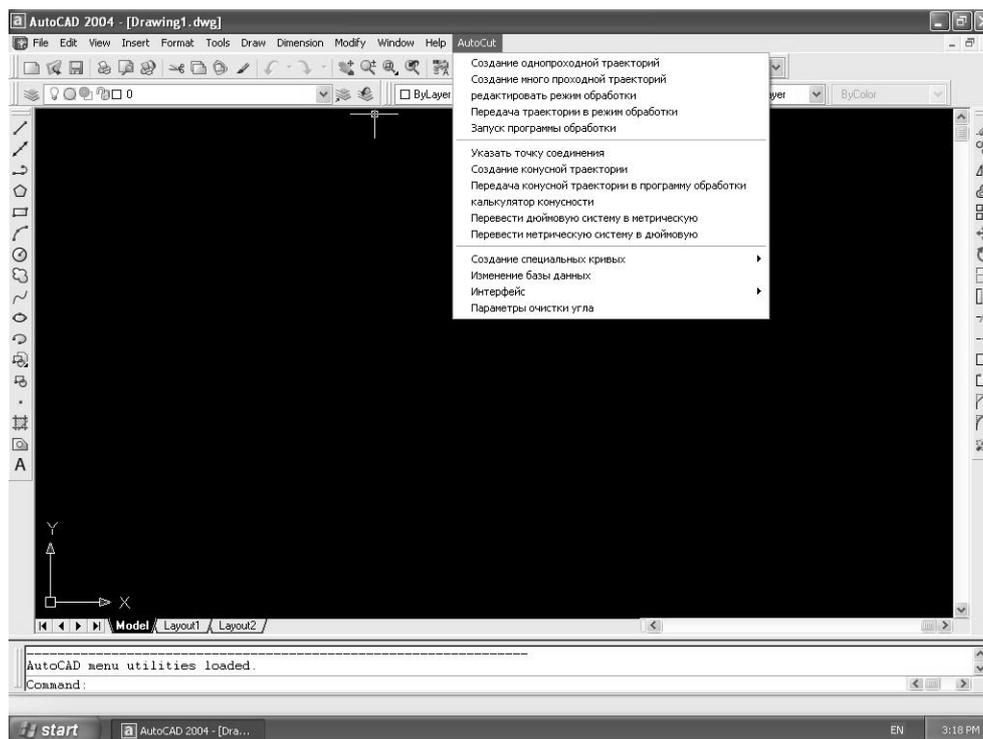


Рисунок 1.1 – Главный интерфейс AutoCAD с модулем AutoCut WEDM

#### Построение кривой WEDM.

Функция «Построение кривой WEDM» в AutoCut для AutoCAD включает в себя построение архимедовой спирали, циклоиды, гиперболы, эвольвенты, параболы, шестерни и т. д.

*Архимедова спираль.*

Щелкните команду «Построение архимедовой спирали» в подменю «Построение кривой» в меню «AutoCut», появится диалоговое окно построения архимедовой спирали. После ввода параметров архимедовой спирали нажмите кнопку «ОК» для завершения построения архимедовой спирали.

Параметрическое уравнение архимедовой спирали:

$$\begin{cases} x = rt \cos t; \\ y = rt \sin t. \end{cases}$$

Параметры включают в себя параметр  $t$ , значение параметра  $r$ , угол вращения и координату базовой точки архимедовой спирали в пространстве чертежа.

*Парабола.*

Щелкните команду «Построение параболы» в подменю «Построение кривой» в меню «AutoCut», появится диалоговое окно построения параболы. После ввода параметров параболы нажмите кнопку «ОК» для завершения построения параболы. Параметрическое уравнение параболы:  $y = k \cdot x^2$ , параметры включают в себя диапазон координаты  $x$  и значение коэффициента  $k$ . Кроме того, пользователь может задать вращение и параллельное перемещение параболы в пространстве чертежа.

*Эвольвента.*

Щелкните команду «Построение эвольвенты» в подменю «Построение кривой» в меню «AutoCut», появится диалоговое окно построения эвольвенты. После ввода параметров эвольвенты нажмите кнопку «ОК» для завершения построения эвольвенты.

Параметрическое уравнение эвольвенты:

$$\begin{cases} x = r(\cos t + t \sin t); \\ y = r(\sin t - t \cos t). \end{cases}$$

Параметры включают в себя радиус базовой окружности, угол развертки и угол вращения эвольвенты в пространстве чертежа, положение центра базовой окружности.

*Гипербола.*

Щелкните команду «Построение гиперболы» в подменю «Построение кривой» в меню «AutoCut», появится диалоговое окно построения гиперболы. После ввода параметров нажмите кнопку «ОК» для завершения построения гиперболы. Параметрическое уравнение гиперболы:

$$\begin{cases} x = a / \cos(t); \\ y = b \cdot \tan(t). \end{cases}$$

Параметры включают в себя:  $a$ ,  $b$ , диапазон параметра  $t - t_1 \sim t_2$  ( $t_1 < t < t_2$ ). Кроме того, пользователь может задать угол вращения гиперболы в пространстве чертежа и положение базовой точки.

### *Циклоида.*

Щелкните команду «Построение циклоиды» в подменю «Построение кривой» в меню «AutoCut», появится диалоговое окно построения циклоиды. После ввода параметров циклоиды нажмите кнопку «ОК» для завершения построения циклоиды. Параметрическое уравнение циклоиды:

$$\begin{cases} x = r(t - \sin t); \\ y = r(1 - \cos t). \end{cases}$$

Параметры включают в себя: коэффициент  $r$ , угол отклонения  $t$ , а также угол вращения циклоиды в пространстве чертежа и положение базовой точки.

### *Шестерня.*

Щелкните команду «Построение зубчатого колеса» в подменю «Построение специальной кривой» в меню «AutoCut», появится диалоговое окно построения зубчатого колеса (рисунок 1.2). После ввода параметров и просмотра зубчатого колеса нажмите кнопку «ОК» для завершения построения зубчатого колеса.

The screenshot shows a dialog box titled "Шестерня" (Gear) with the following fields and controls:

- Параметры (Parameters):**
  - Модуль: 0.5 (dropdown)
  - Число зуб.: 80 (text input)
  - Коэффициент изменения: 0.5 (text input)
  - Эффективное число зубьев: 80 (text input)
  - Угол профиля на делительной окружности: 20 (dropdown)
  - Радиус начальной окружности впадин: 0 mm (text input)
  - Радиус начальной окружности вершин: 0 mm (text input)
  - Кoeffициент высоты вершин: 1.0 (dropdown)
  - Кoeffициент шага вершин: 0.25 (dropdown)
  - Диаметр окружности вершин: 0 (text input)
  - Диаметр окружности впадин: 0 (text input)
- Тип шестерни (Gear Type):**
  - Внутренняя шестерня (Internal gear)
  - Внешняя шестерня (External gear)
- Параметры 1 и 2 (Parameters 1 and 2):**
  - Параметр 1
  - Параметр 2
- Additional fields:**
  - Trans-number of teeth: 3 (text input)
  - Длина нормали: 4.421396 (text input)
  - Выправка по длине нормали (Correction by normal length)
- Buttons:**
  - Готово (OK)
  - Отмена (Cancel)

Рисунок 1.2 – Шестерня

### *Фигурный текст.*

Щелкните команду «Фигурный текст» в подменю «Построение специальной кривой» в меню «AutoCut», появится диалоговое окно построения векторного текста (рисунок 1.3).

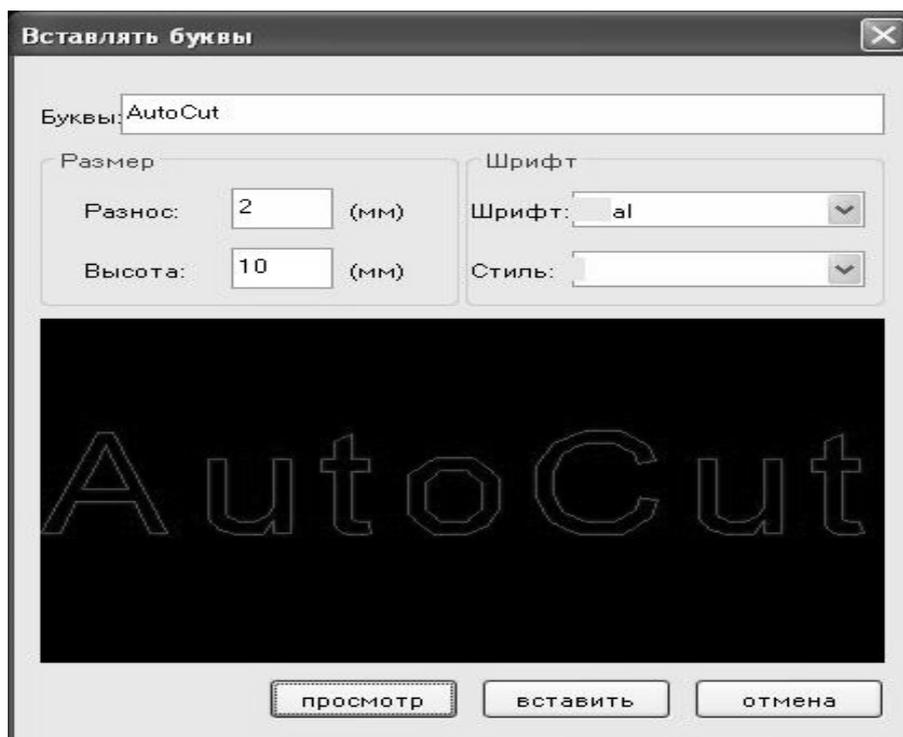


Рисунок 1.3 – Векторный текст

Наберите текст в текстовом редакторе «Текст», нажмите кнопку «Предварительный просмотр» рисунок появится на черном поле диалогового окна, нажмите кнопку «Вставить» для полной вставки векторного текста в главный интерфейс.

#### *Построение траектории.*

Есть три способа построения траектории в модуле AutoCAD WEDM: создание траектории обработки, создание траектории многократной обработки и создание траектории конуса.

#### *Создание траектории обработки.*

Щелкните пункт «Создание траектории обработки» в меню «AutoCut», появится диалоговое окно (рисунок 1.4) с параметрами для создания траектории высокоскоростной вырезки.

После выбора направления коррекции задайте значение коррекции и параметр, нажмите кнопку «ОК». В командной строке появится «Введите точку старта». Пользователь может ввести координаты точки старта с помощью ручного ввода относительных или абсолютных координат, либо может с помощью щелчка левой кнопкой мыши выбрать точку на экране в качестве точки старта. После подтверждения заправки в командной строке появится «Введите точку резания».

**Внимание!!!** Точка резания должна находиться в пределах чертежа, в противном случае она будет не действительной.

Пользователь может ввести координаты точки резания с помощью ручного ввода или с помощью мыши выбрать одну точку на чертеже в качестве точки

резания. После подтверждения точки резания в командной строке появится «Выберите направление резания, нажмите «Enter» (рисунок 1.5).

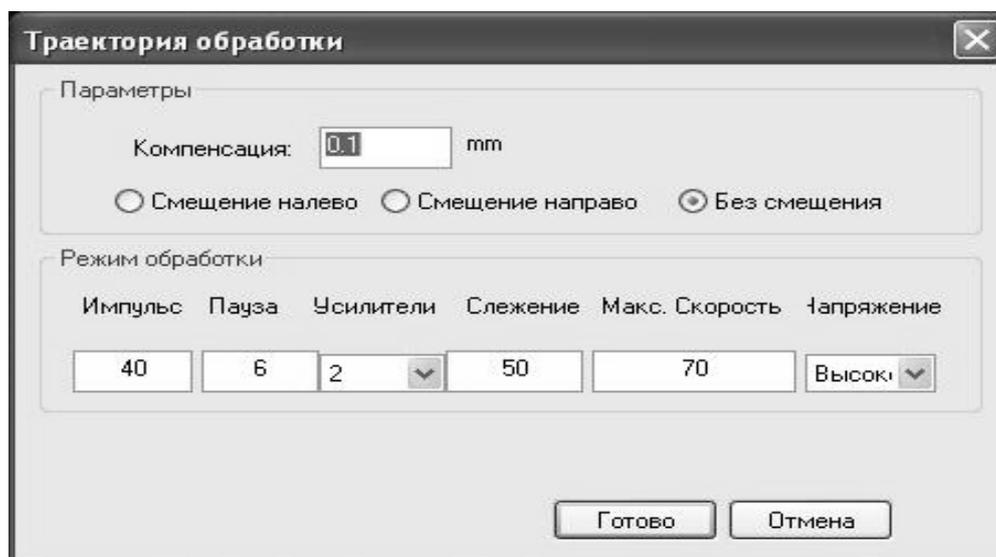


Рисунок 1.4 – Траектория высокоскоростной обработки: задание параметров процесса

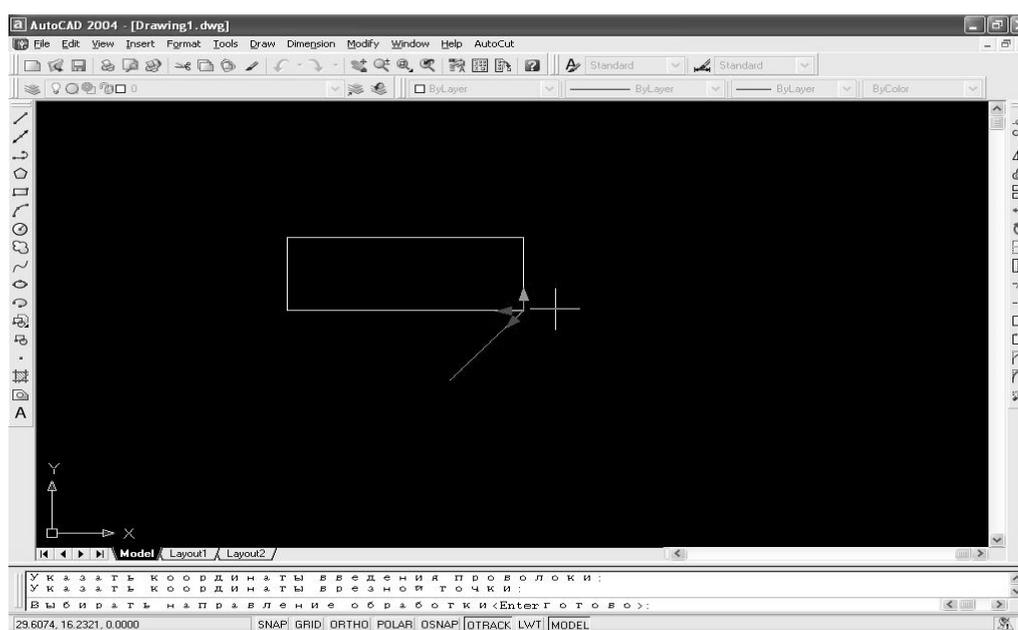


Рисунок 1.5 – Создание траектории обработки

Пользователь может видеть альтернативные преобразования, обозначенные красной и зеленой стрелками на траектории обработки при перемещении мыши. Щелкните левой клавишей мыши на зеленой стрелке для подтверждения направления резания или нажмите клавишу «Enter» для завершения выбора направления траектории обработки. Направлением траектории будет направление зеленой стрелки.

**Внимание!!!** В случае замкнутой фигуры описанной выше процедурой пользователь может завершить создание траектории.

Но в случае незамкнутой фигуры после описанной выше процедуры в командной строке появится «Введите конечную точку, нажмите «Enter» (рисунок 1.6).

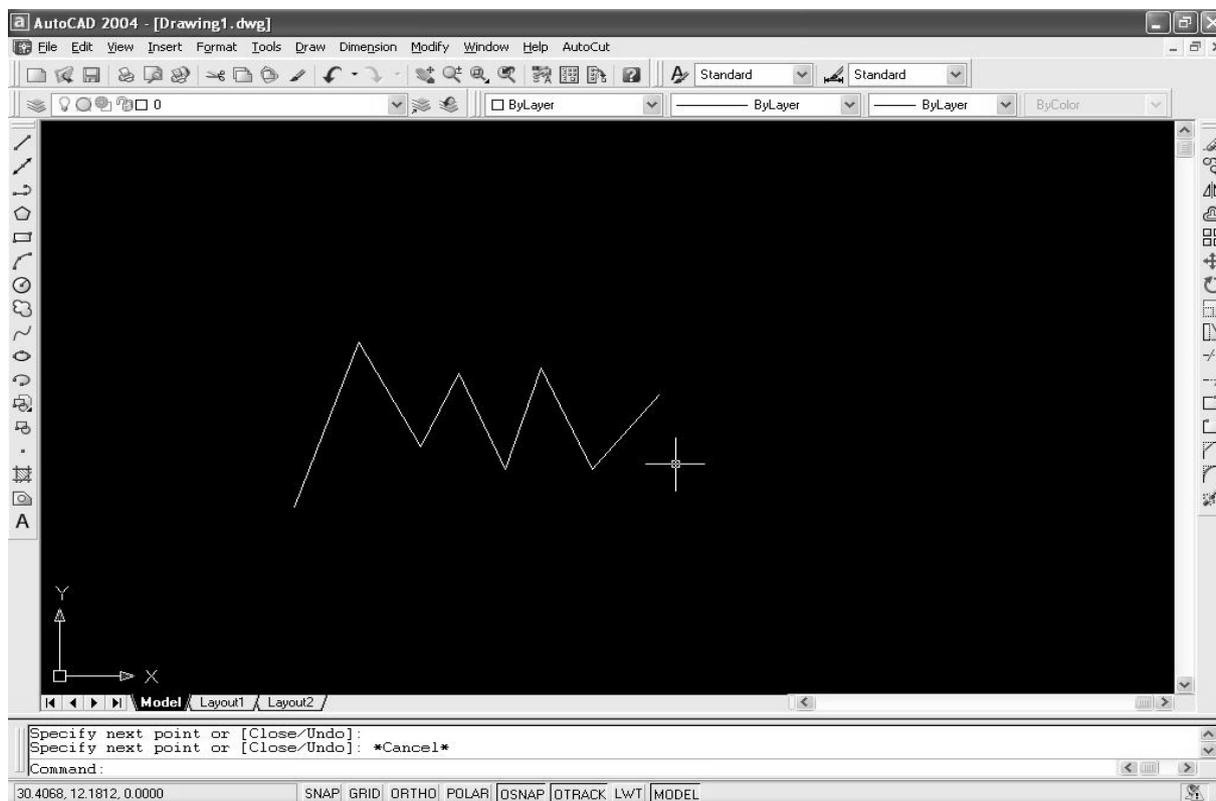


Рисунок 1.6 – Незамкнутая фигура: создание траектории обработки

Введите вручную или выберите мышью одну точку в качестве координат точки выхода, либо нажмите клавишу «Enter» для завершения выбора точки выхода (по умолчанию точка выхода и точка заправки являются одной и той же точкой). Создание траектории обработки незамкнутой фигуры завершено.

#### *Траектория обработки.*

В модуле AutoCAD WEDM предусмотрены три метода обработки траектории: отправить траекторию обработки непосредственно в управляющую программу AutoCut через программу AutoCAD, отправить задание обработки конуса в управляющую программу AutoCut, запустить управляющую программу AutoCut непосредственно и загрузить файл выполнения детали в управляющую программу.

#### *Отправка задания обработки.*

Щелкните пункт «Отправить задание обработки» в меню «AutoCut», появится диалоговое окно «Выберите карту» (рисунок 1.7).

Нажмите кнопку «Карта 1» (в отсутствие карт управления пользователь может выбрать «Демонстрационная карта» для демонстрации), в командной строке программы AutoCAD появится «Выберите объект», выберите розовую

траекторию левой кнопкой мыши (рисунок 1.8).

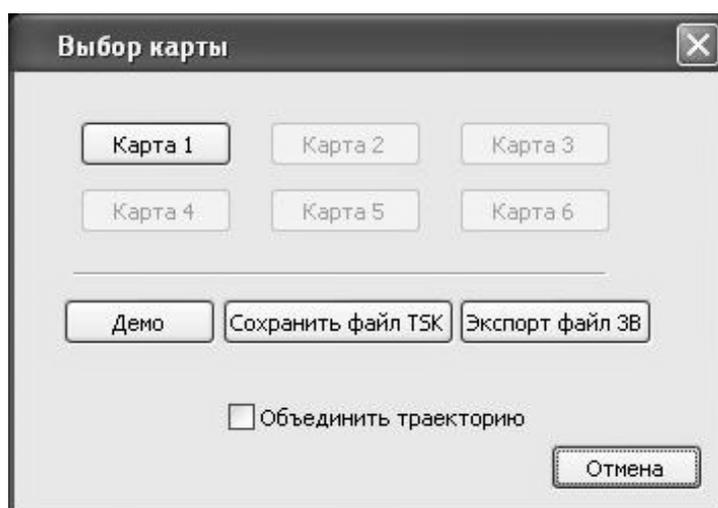


Рисунок 1.7 – Выбор карты



Рисунок 1.8 – Траектория обработки

Щелкните правой клавишей мыши, откроется следующий интерфейс управления (рисунок 1.9).

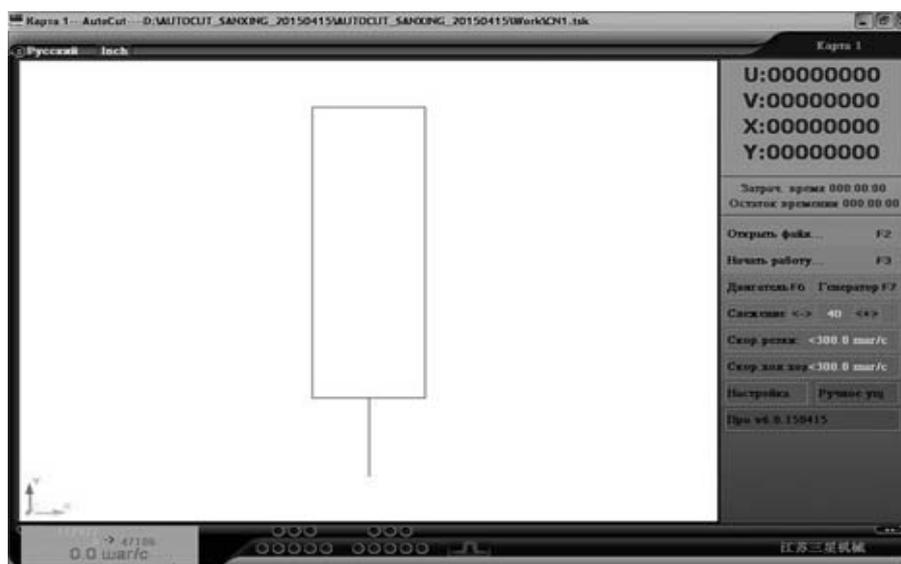


Рисунок 1.9 – Главный интерфейс управляющей программы

## Порядок выполнения лабораторной работы

Описать деталь, изображенную на рисунке 1.10.

- 1 Описать все вертикальные прямые, образующие контур.
- 2 Описать все горизонтальные прямые.
- 3 Описать все необходимые точки (начала обработки) как пересечения соответствующих прямых.
- 4 Описать контур, перечислив описанные элементы в порядке обхода.
- 5 Записать программу.
- 6 Прорисовать полученный контур на экране дисплея, занести рисунок в отчет, проставить направления элементов.

Исходные данные к заданию представлены в таблице 1.2.

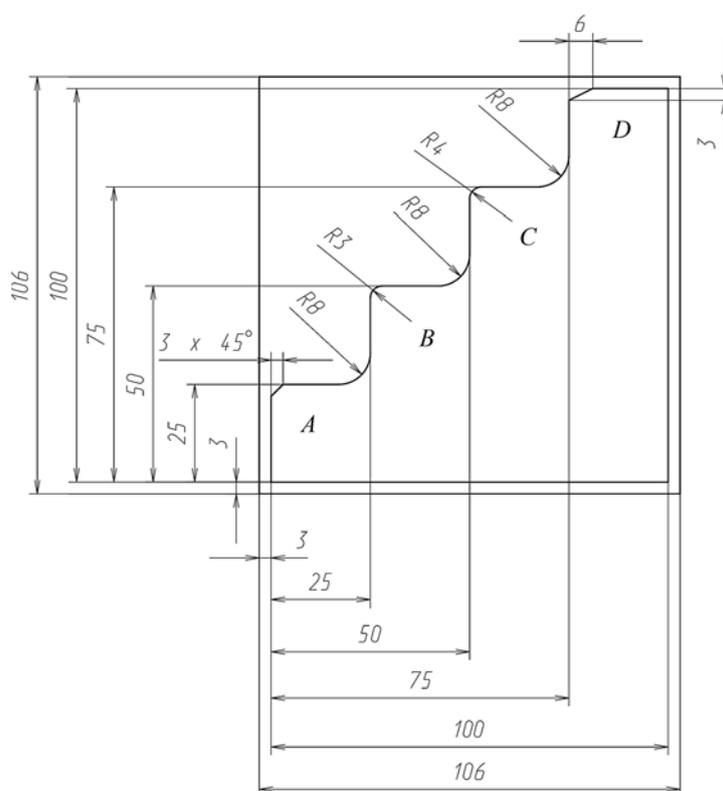


Рисунок 1.10 – Чертеж к заданию

Таблица 1.2 – Исходные данные к заданию

Номер варианта	Элемент А	Элемент В	Элемент С	Элемент D
1	$3 \times 45^\circ$	R3	R4	$6 \times 3$
2	R3	$3 \times 45^\circ$	$6 \times 3$	R4
3	R4	$6 \times 3$	$3 \times 45^\circ$	R3
4	$6 \times 3$	R4	R3	$3 \times 45^\circ$
5	$7 \times 4$	R5	$4 \times 45^\circ$	R2
6	$4 \times 45^\circ$	$7 \times 4$	R5	R6
7	R5	R6	$7 \times 4$	$4 \times 45^\circ$

### **Контрольные вопросы**

- 1 Какими способами можно определить спираль?
- 2 Какими способами можно определить параболу?
- 3 Какими способами можно определить эвольвенту?
- 4 Какими способами можно определить гиперболу?
- 5 Какими способами можно определить циклоиду?
- 6 Какими способами можно определить шестерню?
- 7 Какими способами можно определить фигурный текст?

## **2 Лабораторная работа № 2. Электроэрозионный копировально-прошивной станок с ЧПУ модели D7135ZNC. Программирование обработки**

*Цель работы:* ознакомление с работой системы подготовки программ для электроэрозионных копировально-прошивных станков, с основными правилами описания деталей и составления программ для их изготовления.

### **2.1 Описание и характеристики станка**

Электроэрозионный копировально-прошивной станок с ЧПУ модели D7135ZNC (рисунок 2.1) предназначен для изготовления вырубных, ковочных, обрезных штампов, а также пресс-форм, различных инструментов из токопроводящих материалов разной твердости. Система ЧПУ станка отвечает за выполнение рабочего цикла и ход операций по обработки материала, который происходит автоматически в режиме реального времени. Система управляет режимом работы и по необходимости вносит изменения, чтобы износ электрод-инструмента был минимальным, а производительность – максимальной без ущерба для качества обрабатываемой поверхности.

Технические характеристики станка представлены в таблице 2.1.

Таблица 2.1 – Технические характеристики станка D7135ZNC

Наименование параметра	Единица измерения	Значение параметра
Размер стола	мм	640 × 350
Перемещение по осям	мм	350 × 230
Расстояние от электрода до стола	мм	150...400
Максимальный вес заготовки	кг	500
Максимальный вес электрода	кг	50
Точность позиционирования	мм	0,005
Размер ванны	мм	900 × 550 × 390
Наилучшая шероховатость Ra	мкм	0,2
Габаритные размеры	мм	1750 × 1350 × 2150
Масса	кг	1550



Рисунок 2.1 – Общий вид станка D7135ZNC

## **2.2 Функциональная клавиатура**

1 Функциональные клавиши F1...F9, в соответствии с меню имеют разные значения, смотрите руководство по экранной визуализации.

2 Цифровые клавиши 0...9, при редактировании данных координат их можно использовать для ввода данных.

3 Десятичный разряд «.» стоит в качестве десятичной точки при вводе данных координат.

4 Клавиша символа «+» стоит для замены направления координат.

5 Клавиша направления необходима для управления направлением перемещения курсора и изменения номеров при редактировании данных.

6 Клавиша ввода: по окончании ввода данных координат необходимо нажать клавишу ввода для подтверждения сохранения таких данных в память компьютера.

7 Клавиша управления: всего их восемь, но они изменятся на другие восемь функциональных клавиш после перехода в другую функцию с помощью F9 (следующая страница), поэтому фактически есть 24 функции. Они могут изменяться пользователем, значение клавиш отображается внизу экрана. При настройке знаки отображаются с высокой контрастностью. При повторном нажатии знаки возвращаются в нормальное состояние и действие также отменяется.

Предупреждение: переход между функциями необходимо осуществлять в режиме разряда.

Таблица 2.2 – Функциональная клавиатура

Номер страницы	Аббревиатура	Расшифровка
Первая страница	A: FAST JMP:	Управление скоростью разряда по оси Z, а именно ускорение или замедление скачивания
Вторая страница	A: TIME ZERO:	Установка начала отсчёта нуля оси времени для обработки
Третья страница	A: ZERO X:	При разряде координаты оси X можно установить на нуль
Первая страница	B: BUZZER:	Управление звуком при вводе с клавиатуры и аварийными сигналами
Вторая страница	B: OSC-HV:	С помощью данной функции можно повысить обработку. Без нее скорость обработки будет понижена, а при окончательной отделке поверхности – повышена
Третья страница	B: ZERO Y:	При разряде координаты оси Y можно установить на нуль
Первая страница	C:SLEEP:	По завершении автоматической работы все питание будет отключено в соответствии с насадкой, при скачивании – только питание цепи разряда будет отключено, без включения компьютера
Вторая страница	C: JMP-UP1:	При скачивании расстояние низкой скорости (регулируется 0...0,9 мм) для снижения давления вакуума
Третья страница	C : ZERO Z:	Координаты оси Z можно установить на нуль
Первая страница	G:OIL LEVEL:	В соответствии с уровнем масла в станке выполняется добавление масла
Вторая страница	G: Z DOWN INC :	Верхнюю и нижнюю скорость оси Z (без быстрого скачка) обработки можно повысить
Третья страница	G:1/2 X:	При выпуске модели со сложным контуром текущие координаты оси X можно изменить наполовину, нажав эту кнопку
Первая страница	M: EQU:	Разряд с равной энергией на выходе. Когда TON < 15 мкс, функция управления мощностью энергии автоматически отключается (в соответствии с параметрами системы), однако на экране изменения не отображаются. Данную функцию необходимо отменить при отделочной обработке и обработке графитовым электродом площадей более 1000 мм <sup>2</sup> . Высокое напряжение можно установить на «0»: 100 В, но более «1»: 150 В при отключенной функции мощности энергии
Вторая страница	M: Z DOWN DEC:	Верхнюю и нижнюю скорость оси Z (без быстрого скачка) обработки можно понизить
Третья страница	M : 1/2 Y:	При выпуске модели со сложным контуром текущие координаты оси Y можно изменить наполовину, нажав эту кнопку
Первая страница	N : SYNC FLUID:	Управление способом подачи масла. При выборе данной функции подается масло, в то время как подача масла продолжается и без выбора данной функции при разряде или заряде

## Окончание таблицы 2.2

Номер страницы	Аббревиатура	Расшифровка
Вторая страница	N :ARC DET:	Запуск аппаратной цепи определения дуги. Данную функцию следует активировать при обработке больших площадей или глубоких отверстий
Третья страница	N :HUNT-FLG:	В процессе остановки и запуска разряда, в случае короткого замыкания или условий образования дуги, скорость подъема инструмента станка умножается
Первая страница	T : PULSE FLUSH:	Разбрызгивание при разряде. С помощью данной функции, функция скачивания вверх и вниз позволяет электромагнитному клапану разбрызгивать масло, а при обработке данное действие останавливается. Без выбора данной функции электромагнитный клапан всегда находится в состоянии запуска, т. е. делает еще один впрыск масла
Вторая страница	T : ARC SEN:	Регулировка чувствительности смещения угольного стержня, как правило, между 5 и 7
Третья страница	T : PUMP:	Элемент управления двигателем насоса
Первая страница	U : ARC_ADJ:	С помощью данной функции уменьшается время обработки и значение эффективности, высота скачка устанавливается как минимум на 1,5 мм компьютером, если разряд скачивания находится в плохом состоянии. После улучшения заданное значение возвращается. В случае постоянного статуса регулировки смещения угольного стержня запустится предупреждение действия смещения угольного стержня для остановки станка в соответствии со значением чувствительности
Вторая страница	U :JMP-CTL	Настройка способа скачивания. Значение ноль – нормальный способ, выше 1 – обработка осуществляется скачками, ниже 1 – инструмент поднимается до безопасной высоты, потом продолжает обработку конического глубокого отверстия
Третья страница	U :	Не задано

### 2.3 Схематическое отображение процесса обработки

На рисунке 2.2 представлено схематическое отображение процесса обработки.

Первая группа – схематическое отображение обработки по оси Z, когда активирована <быстрая работа>; <двухсегментный скачок> равен 0. Данная линейная часть означает быстрое перемещение оси Z, а кривая часть означает буфер скорости для достижения точки обработки.

Вторая группа – схематическое отображение обработки по оси Z, когда активирована <быстрая работа>; <двухсегментный скачок> равен 1. Расстояние верхней, медленной части буфера (кривая часть) равно значению <двухсегментного скачка>  $(1...9) \cdot 0,1$  мм. Метод используется для снижения

всасывания и предупреждает деформацию электрода при обработке вверх на больших площадях обработки.



Рисунок 2.2 – Схематическое отображение процесса обработки

Третья группа – схематическое отображение обработки по оси Z, когда отключена <быстрая работа>. Чем больше площадь электрода, тем он тяжелее и его инерция больше. Для предупреждения инерции электрода к разрушению, функцию быстрого скачка необходимо отключить.

Скорость кривой части второй и третьей группы можно изменить, изменив <Скорость оси Z>, после разряда нажмите F9, чтобы найти в функциональном меню <Z · медленно> или <Z · быстро>, потом, для изменения скорости, выберите M или G.

## 2.4 Главное меню

Система состоит из двух главных меню и просмотра в трехосной системе координат XYZ (включая абсолютные и исходные координаты), поэтому пользователь может легко определить положение стола станка. С помощью меню, мы можем интерактивным способом осуществить все настройки. Главное меню состоит из следующих элементов (рисунки 2.3 и 2.4, таблица 2.3).

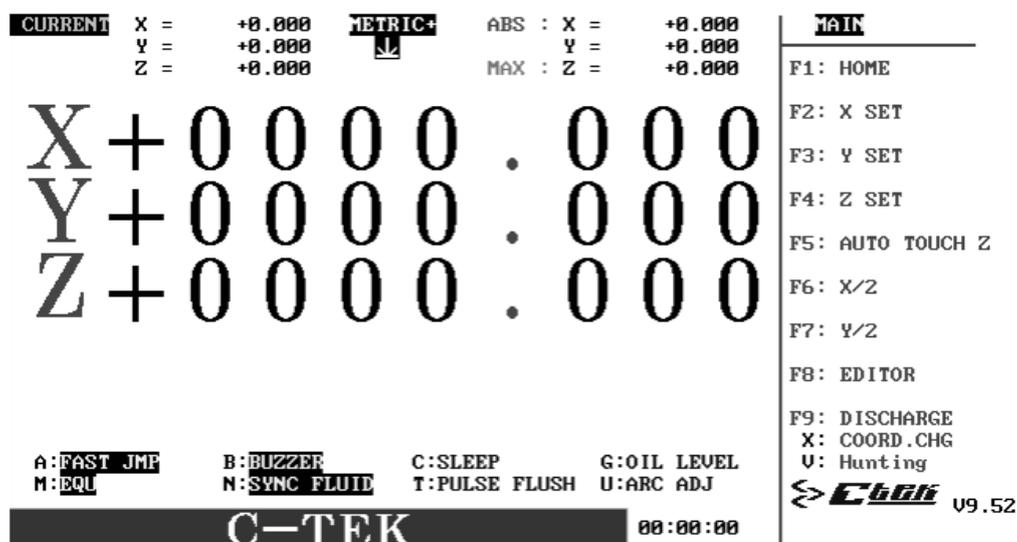


Рисунок 2.3 – Вид главного меню

<b>CURRENT</b>	X =	+0.000	<b>METRIC</b>	ABS : X =	+0.000	<b>HOME</b>
	Y =	+0.000		Y =	+0.000	F1: X HOME
	Z =	+0.000		MAX : Z =	+0.000	F2: Y HOME
<b>X</b>	+	0 0 0 0	.	0 0 0		F3: Z HOME
<b>Y</b>	+	0 0 0 0	.	0 0 0		F4: ZERO REF.XYZ
<b>Z</b>	+	0 0 0 0	.	0 0 0		
<b>A:FAST JMP</b>	<b>B:BUZZER</b>	<b>C:SLEEP</b>	<b>G:OIL LEVEL</b>			
<b>M:EQ</b>	<b>N:SYNC FLUID</b>	<b>T:PULSE FLUSH</b>	<b>U:ARC ADJ</b>			
<b>C-TEK</b>				<b>00:00:00</b>	<b>Q: QUIT</b>	

Рисунок 2.4 – Вид возврата обработки к нулю

Таблица 2.3 – Главное меню

F1	=>	ВОЗВРАТ К НУЛЮ:	Настройка на нуль трехосного стола станка и возврат к нулю трехосной системы абсолютных координат (ABS)
F2	=>	НАСТРОЙКА X:	Настройка на нуль исходных координат по оси X. Настройка оси X в качестве первой исходной точки штампа
F3	=>	НАСТРОЙКА Y:	Настройка на нуль исходных координат по оси Y. Настройка оси Y в качестве первой исходной точки штампа
F4	=>	НАСТРОЙКА Z:	Настройка на нуль исходных координат по оси Z. Настройка оси Z в качестве первой исходной точки штампа
F5	=>	АВТОМАТИЧЕСКИЙ ВЫБОР Z:	Компьютер поможет закончить создание модели со сложным контуром после того, как он выполнит настройку на нуль для исходных координат оси Z
F6	=>	X/2:	Плюсует первую исходную точку штампа по оси X и текущее значение просмотра, и делит результат на 2. Потом на дисплее отображается рабочее значение
F7	=>	Y/2:	Плюсует первую исходную точку штампа по оси Y и текущее значение просмотра, и делит результат на 2. Потом на дисплее отображается рабочее значение
F8	=>	РЕДАКТОР:	Настройка глубины оси Z и условий обработки, управление файлами
F9	=>	РАЗРЯД:	Выполняет действие разряда в соответствии с глубиной оси Z и условиями обработки
X	=>	ИЗМЕНЕНИЕ КООРДИНАТ:	Переключение между относительными и исходными координатами. Относительные координаты используются в качестве координат обработки, а исходные координаты – для измерения и обработки
V	=>	ПЕРЕРЕГУЛИРОВАНИЕ:	Нажмите V и станок запустит функцию разряда с наименьшим током и без скачивания для упрощения создания модели со сложным контуром

**X ВОЗВРАТ К НУЛЮ.** Нажмите F1, точка настройки оси X на нуль станет белой, потом перемещайте ось X, пока не услышите звуковой сигнал, который означает, что абсолютные координаты настроены на нуль.

**Y ВОЗВРАТ К НУЛЮ.** Нажмите F2, точка настройки оси Y на нуль станет белой, потом перемещайте ось Y, пока не услышите звуковой сигнал, который означает, что абсолютные координаты настроены на нуль.

**Z ВОЗВРАТ К НУЛЮ.** Нажмите F3, точка настройки оси Z на нуль станет белой, потом перемещайте ось Z, пока не услышите звуковой сигнал, который означает, что абсолютные координаты настроены на нуль.

Поскольку существует механическая исходная точка для каждых 50 мм оси X и Y, мы должны сначала сделать отметку на столе станка, повернуть стол в отмеченное положение, потом выполнить настройку на нуль и вернуть в то же положение. Таким образом, он не будет доходить до неверной механической исходной точки.

Только обнаруженные и отредактированные исходные точки X, Y, Z сохраняются в условиях обработки, данные координат в перезагруженном файле могут быть безошибочными. Соответственно, первым, что нужно сделать после перезагрузки станка, это настроить стол на нуль. Как минимум, необходимо настроить на нуль Z, чтобы смещенный стол мог вернуться в изначальное положение в случае отключения питания.

Настройка на нуль исходной точки координат. Нажмите F4, выполнится настройка на нуль исходной точки координат, теперь все три оси настроены на нуль.

## 2.5 Редактор

Функция редактирования в основном предназначена для ввода данных обработки по оси Z и сохранения таких данных. С помощью меню пользователь может вводить и сохранять данные обработки. Меню состоит из элементов, представленных в таблице 2.4 и на рисунке 2.5.

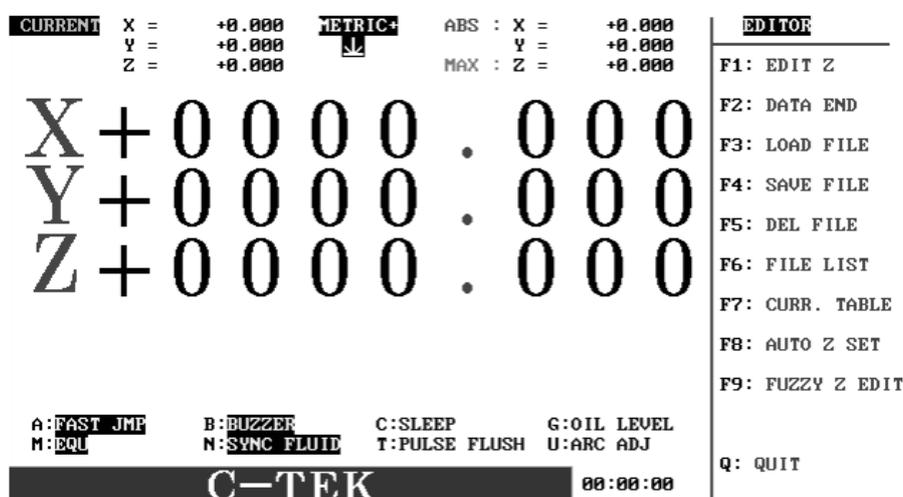


Рисунок 2.5 – Окно редактора

Таблица 2.4 – Редактор

F1	=>	РЕДАКТИРОВАТЬ Z:	Глубина обработки, ток, высота цикла скачивания (рисунок 3)
F2	=>	КОНЕЦ ДАННЫХ:	Редактирование Z, необходимо задать конечную точку последнего сегмента. Переместите курсор на последний сегмент и нажмите «F2», потом перед последним сегментом должны быть буква «E». завершение настройки
F3	=>	ЗАГРУЗИТЬ ФАЙЛ:	Загрузка предыдущих файлов во избежание повторного ввода
F4	=>	СОХРАНИТЬ ФАЙЛ:	Завершить редактирование, данные можно сохранить на жесткий диск DOM для загрузки в следующий раз
F5	=>	УДАЛИТЬ ФАЙЛ	Нажмите кнопку и введите номер файла, чтобы удалить ненужный файл
F6	=>	СПИСОК ФАЙЛОВ	Нажмите кнопку для отображения всех введенных номеров файлов на экране
F7	=>	ТАБЛИЦА ТОКА	Таблица сравнения тока и цикла (T-ON). Значение цикла для каждого сегмента тока можно задать тут, потом не нужно будет вводить значение цикла при дальнейшем редактировании
F8	=>	АВТОМАТИЧЕСКАЯ НАСТРОЙКА	Нажмите кнопку, введите значение глубины, тока, точности и площади. Параметры разряда от грубой до отделочной обработки будут установлены сегментами автоматически для экономии времени
F9	=>	НЕЧЕТКОЕ РЕДАКТИРОВАНИЕ Z	Нажмите кнопку, выберите форму электрода, материал, площадь, точность и глубину. Параметры разряда от грубой до отделочной обработки будут установлены сегментами автоматически для экономии времени
Q	=>	ВЫХОД	Выход из меню Редактирование, возврат в главное меню

### ***Порядок выполнения лабораторной работы***

- 1 Произвести настройку станка и контроллера.
- 2 Выполнить индивидуальное задание, выданное преподавателем.

### ***Контрольные вопросы***

- 1 Состав и назначение клавиш функциональной клавиатуры.
- 2 Схематическое отображение процесса обработки.
- 3 Описание главного меню.
- 4 Редактор.

### 3 Лабораторная работа № 3. Полуавтомат зубошлифовальный с ЧПУ модели Stanexim SMG405GF3-09. Программирование обработки

*Цель работы:* ознакомление с работой системы подготовки программ для зубошлифовального станка, с основными правилами описания деталей и составления программ для их изготовления.

#### 3.1 Описание и характеристики станка

Полуавтомат зубошлифовальный с ЧПУ модели SMG405GF3-09 (далее станок) предназначен для профильного шлифования боковых поверхностей прямозубых и косозубых зубчатых колес внешнего зацепления с возможностью шлифования пазов делительных дисков, шлицев и прочих профилей шлифовальными кругами с применением смазочно-охлаждающей жидкости (СОЖ).

Технические характеристики станка представлены в таблице 3.1.

Таблица 3.1 – Технические характеристики станка SMG405GF3-09

Наименование параметра	Значение параметра
Характеристики обрабатываемой детали:	
максимальный диаметр зубчатого колеса	360 мм
пределы модулей зубчатого колеса	1...10 мм
максимальная ширина зубчатого венца	120 мм
максимальный угол наклона зубьев	30 град
максимальная длина детали, устанавливаемой в центрах	270 мм
Характеристики инструмента:	
наибольший/наименьший (изношенный) диаметр шлифовального круга	360/250 мм
посадочный диаметр шлифовального круга	127 мм
диаметр правящего алмазного ролика	150 мм
Характеристики рабочих перемещений:	
продольный ход (ось X)	450 мм
поперечный ход (ось Y)	340 мм
вертикальный ход (ось Z)	190 мм
поворот в бабке изделия (ось A)	Не ограничено
поворота бабки шлифовальной (ось B)	±300
Динамические и точностные характеристики станка:	
максимальная скорость продольного перемещения (ось X)	10 м/мин
максимальная скорость перемещения по остальным осям	5 м/мин
дискретность задания перемещений по линейным осям	0,001 мм
дискретность задания перемещений по круговым осям	0,001 град

Окончание таблицы 3.1

Наименование параметра	Значение параметра
диапазон частоты вращения шлифовального круга (бесступенчатая регулировка в заданном диапазоне)	1425...2850 об/мин
Система управления ЧПУ SIEMENS	SINUMERIK 840 Dsl
Количество управляемых осей	6
Количество одновременно управляемых осей	3
Силовые характеристики станка:	
мощность главного привода в режиме S1	8,2 кВт
род тока привода главного движения	Переменный 3-фазный
напряжение	220 / 380 ± 10 % В
частота тока	(50 ± 1) Гц
Характеристики точности и шероховатости обработки образца изделия:	
точность обработки образца-изделия по ГОСТ 1643–81	6
шероховатость обработанной поверхности образца-изделия	Ra ≤ 0,63 мкм
Габариты станка:	
длина	4330 мм
ширина	2400 мм
высота	2460 мм
Масса станка	7500 кг
Электрошпиндель шлифовального круга с синхронным электродвигателем	Да
Централизованная система смазки шарико-винтовой передачи (ШВП) и направляющих	Да
Модем для удаленной диагностики оборудования	Да
Механизм правки шлифовального круга на станке	Да
Устройство автоматической балансировки шлифовального круга на станке	Да
Возможность шлифования пазов делительных дисков, шлицев и произвольных профилей	Да
Импорт специальных профилей с чертежа в программном обеспечении	Да

### 3.2 Описание компоновки

Станок выполнен как модульная конструкция из унифицированных (базовых) и оригинальных узлов (рисунки 3.1 и 3.2).

Базой станка является прямоугольная станина, на которой монтируются основные узлы станка.

Деталь на станке установлена горизонтально в центрах на подвижном в продольном направлении столе (ось X) между бабкой изделия (ось A) и задней бабкой. Поджим заднего центра осуществляется пневматически.

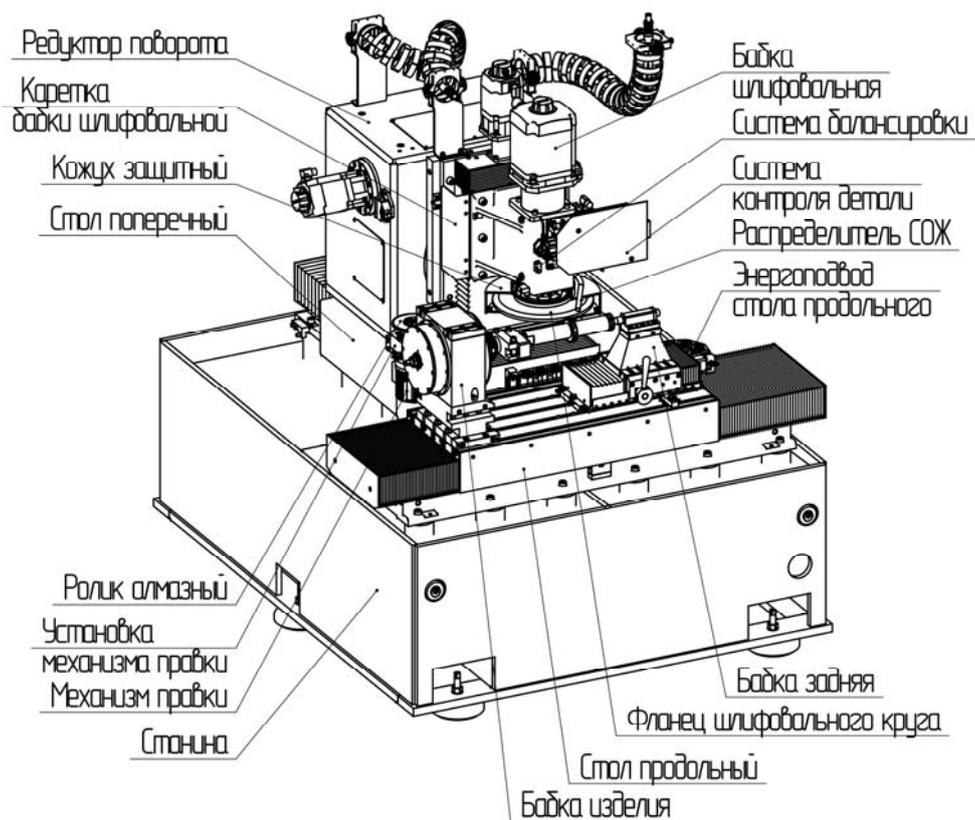


Рисунок 3.1 – Компоновка станка

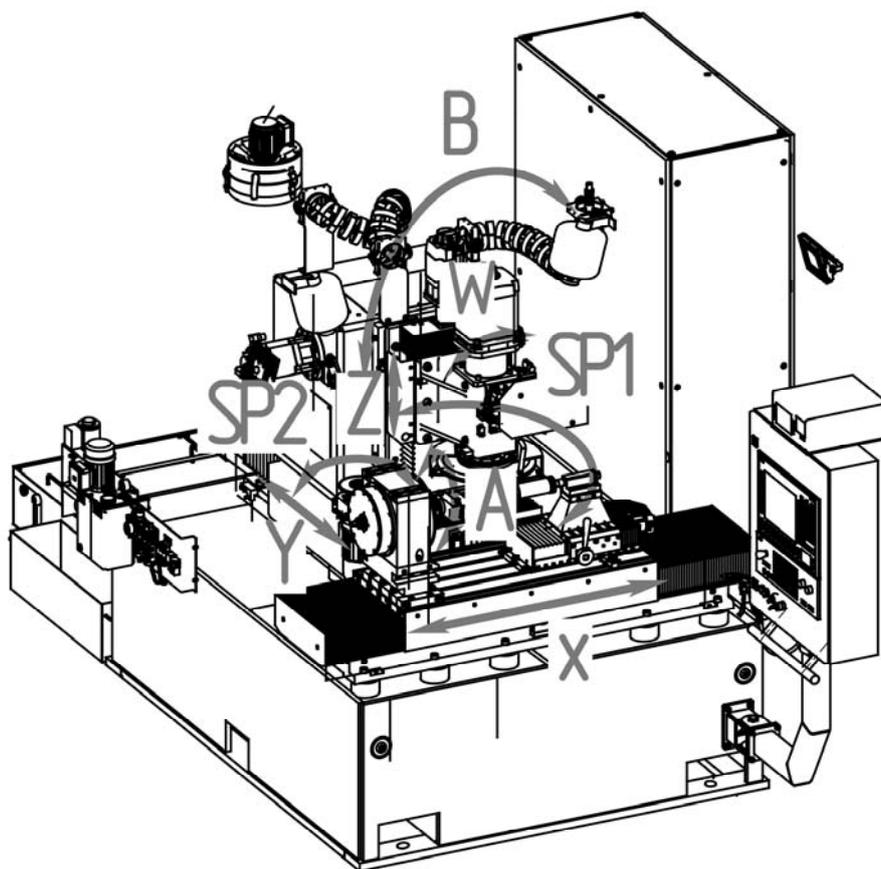


Рисунок 3.2 – Оси станка

В задней части станины перпендикулярно продольному столу установлен поперечный стол (ось Y), на котором смонтирован редуктор поворота (ось B), платформа которого поворачивается на  $\pm 30^\circ$  относительно вертикальной оси и является основанием для каретки бабки вертикальной. На подвижной каретке бабки шлифовальной (ось Z) установлена бабка шлифовальная и система контроля детали. Каретка бабки шлифовальной перемещает бабку шлифовальную в процессе правки шлифовального круга согласованно с перемещением продольного стола.

Станок имеет ограждение кабинетного типа, предназначенного для предотвращения разбрызгивания СОЖ. Доступ в рабочую зону обеспечивают передние раздвижные двери, которые снабжены электрическими выключателями, блокирующими рабочий цикл при их открытии.

Сверху слева на ограждении установлен фильтр масляного тумана, предназначенный для отсоса аэрозолей из рабочей зоны. С правой стороны станины на кронштейнах установлен электрошкаф.

Пульт управления расположен спереди станка и имеет возможность перемещаться в удобное для оператора положение. Сзади станка установлены система очистки и подачи СОЖ. Станок оснащен централизованной автоматической системой смазки направляющих качения и ШВП.

Станок имеет шесть управляемых координат (осей) и два шпинделя. Расположение осей на станке приведено на рисунке 3.2.

На станке обеспечены следующие управляемые перемещения рабочих органов:

- перемещение платформы стола продольного – ось X;
- перемещение платформы стола поперечного – ось Y;
- перемещение каретки бабки шлифовальной – ось Z;
- вращение шпинделя бабки изделия – ось A;
- поворот бабки шлифовальной – ось B;
- поворот датчика измерения – ось W;
- вращение шпинделя бабки шлифовальной (главное движение) – SP1;
- вращение шпинделя механизма правки – SP2;
- перемещение центра бабки задней (пневмоцилиндр).

### ***3.3 Балансировка шлифовального круга***

#### **Выбор процедуры ручного балансирования.**

После установки нового шлифовального круга необходимо провести процедуру динамической балансировки. Для этого необходимо на панели блока управления системы балансировки перейти в ручной режим, нажав клавишу «AUTO/MANUAL». Нажмите клавишу «ENTER», теперь выберите папку «Установка единицы измерения» и нажмите клавишу «ENTER». Вы перешли во вкладку, с которой в дальнейшем и необходимо работать.

#### **Процедура ручного балансирования нового шлифовального круга.**

Для нового шлифовального круга необходимо выполнить процедуру балансирования согласно алгоритму.

1 Установите балансировочные грузики на углы  $60^\circ$  и  $300^\circ$ . Перейдите на станке в режим «MDI» и введите следующие кадры:

G97 S1800 M3

M00

M30

2 Запустите цикл обработки.

3 Дождитесь пока на экране системы балансировки значение дисбаланса стабилизируются.

4 Нажмите функциональную кнопку «F4».

5 Остановите вращение шпинделя кнопкой «RESET».

6 Дождавшись полной остановки шпинделя, переставьте балансировочные грузики на углы  $60^\circ$  и  $240^\circ$ .

7 Запустите повторно цикл в «MDI».

8 Дождитесь пока на экране системы балансировки значения дисбаланса стабилизируются.

9 Нажмите функциональную кнопку «F5».

10 Остановите вращение шпинделя кнопкой «RESET».

11 Дождавшись полной остановки шпинделя, переставьте балансировочные грузики на углы  $\beta_1$  и  $\beta_2$ .

12 Запустите повторно цикл в «MDI».

13 Дождитесь пока на экране системы балансировки значения дисбаланса стабилизируются. Если значения дисбаланса превышает допустимое значение, нажмите функциональную кнопку «F5».

14 Остановите вращение шпинделя кнопкой «RESET».

15 Дождавшись полной остановки шпинделя, переставьте балансировочные грузики на углы  $\beta_1$  и  $\beta_2$ .

16 Повторите пв. 12–15, пока дисбаланс не уменьшится ниже допустимого уровня.

### **3.4 Привязка шлифовального круга**

Если на станке меняли шлифовальный круг, необходимо выполнить его привязку. Для этого необходимо установить в центра цилиндрическую оправку SMG1000-590.342. Ось «В» повернуть до угла  $0^\circ$ .

#### **Привязка шлифовального круга по оси «Z».**

Привязка шлифовального круга по оси «Z» осуществляется по следующему алгоритму.

1 Переместите шлифовальный круг в координату по оси «Y», чтобы он находился над оправкой (рисунок 3.3).

2 Аккуратно опустите шлифовальный круг по оси «Z» до касания с оправкой и запишите координаты «Z1» и «Y».

3 Выведите круг на безопасное расстояние по осям «Z» и «Y».

4 Опустите шлифовальный круг под оправку, аккуратно выйдите в ту же самую координату по оси «Y», повторить те же действия до касания кругом

оправки снизу. Запишите координату «Z2».

5 Выведите круг на безопасное расстояние по осям «Z» и «Y».

6 Рассчитайте координату «Z0» по формуле  $Z0 = (Z1 + Z2) / 2$ .

7 Перейдите в режим «AUT0», откройте программу «KONST\_Z». Внесите рассчитанное значение Z0 в первый кадр программы. Закройте программу и выберите ее на выполнение.

8 Запустите выполнение программы кнопкой «CYCLE START». Появится сообщение с координатой привязки.

По оси «Z» круг успешно привязан.

*Примечание* – Если профиль на шлифовальном круге не симметричный или круг имеет П-образный профиль, оправку необходимо касаться боковыми поверхностями.

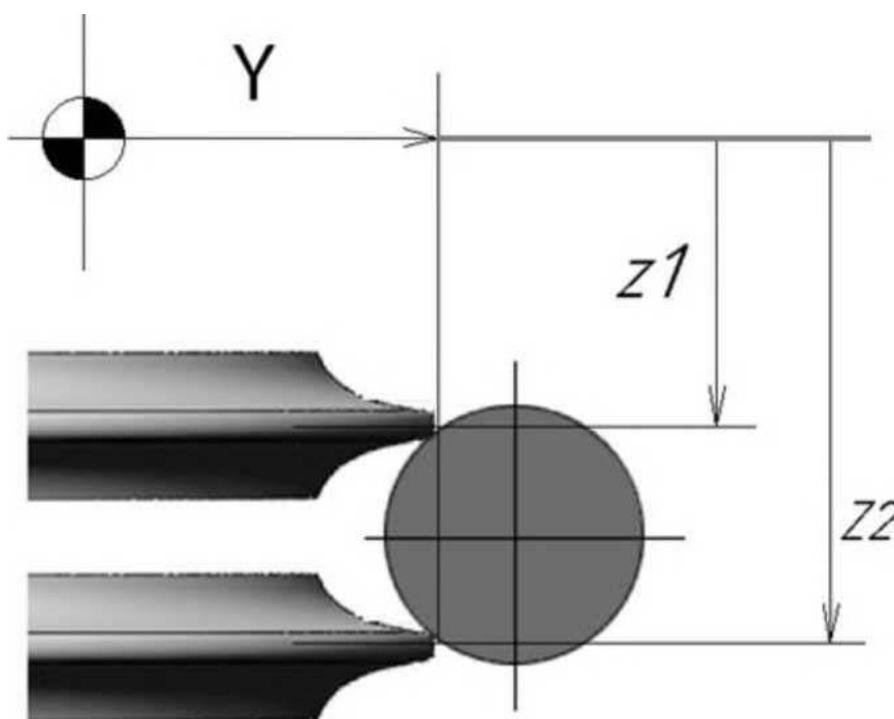


Рисунок 3.3 – Привязка круга по оси «Z»

### **3.5 Описание программного продукта и циклов обработки**

Программное обеспечение предназначено для подготовки управляющих программ шлифования зубчатого колеса, правки шлифовального круга, измерения и обработки результатов замеров параметров зубчатого колеса (шаговых погрешностей, направления зуба, отклонения от профиля), наладки и выставки констант станка.

Программное обеспечение состоит из следующих основных модулей: правка, шлифование, наладка станка, измерение, документация в электронном виде.

Внешняя оболочка программы написана с помощью специальных библиотек компании Stanexim.

Данные библиотеки позволяют быстро создавать удобные и масштабируемые интерфейсы программ с динамической справочной информацией.

Модуль шлифования позволяет оператору настроить параметры технологии шлифования и создать управляющую программу.

Программный продукт представляет собой панель управления оператора, которая позволяет максимально упростить и автоматизировать процесс наладки и обработки зубчатых колес. Для загрузки программного продукта необходимо нажать на кнопку «СПУП» («MENU SELECT» >> «ПРОГРАММЫ» >> «СПУП»). Отобразится окно, изображенное на рисунке 3.4.

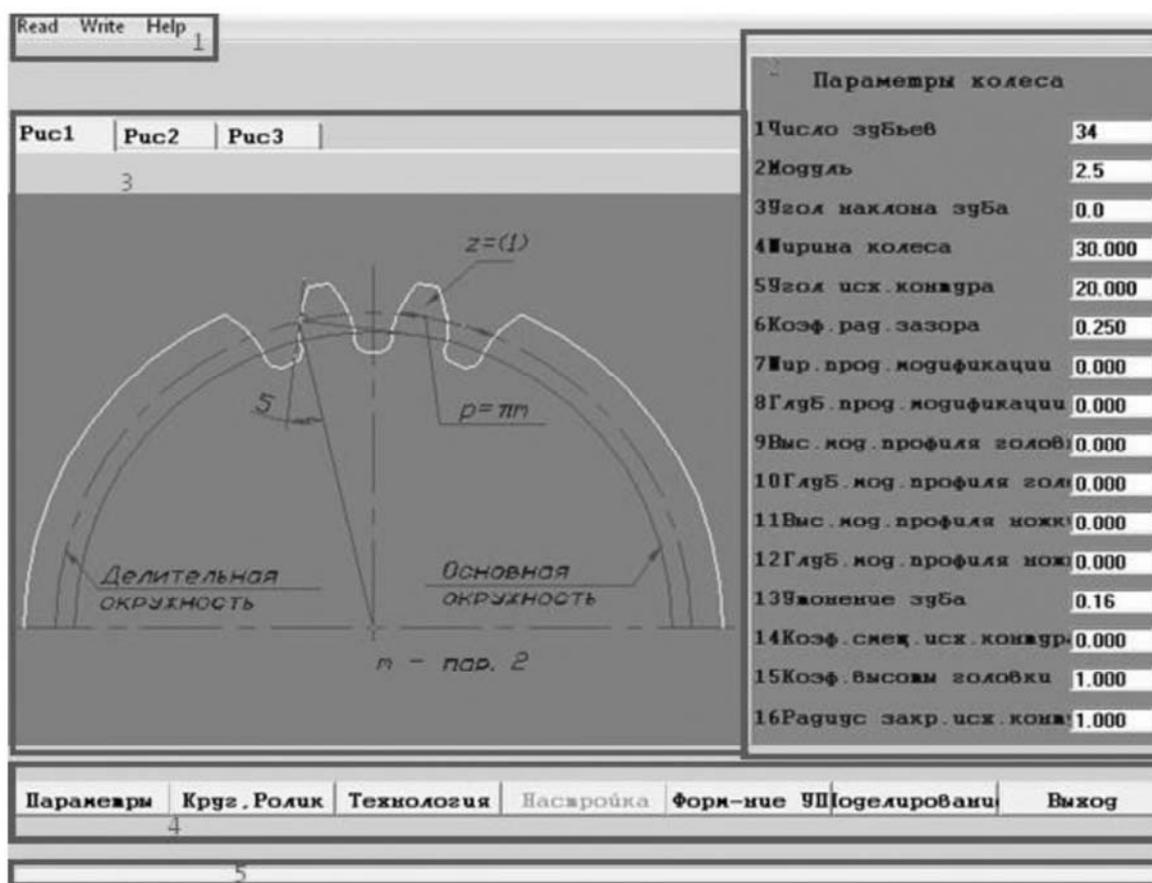


Рисунок 3.4 – Параметры

### 3.6 Окно «Технология»

При нажатии на функциональную клавишу «Технология» откроется окно, изображенное на рисунке 3.4.

В окне «Технология» имеется три группы параметров: общие параметры, правка круга, шлифовка колеса.

Общие параметры отвечают за включение/отключение блоков обработки. Всего пять блоков.

1 Ориентация впадины и торца колеса. Данный блок отвечает за ориентацию колеса с предварительно нарезанными зубьями. При выборе данного блока вначале программы обработки автоматически выполнится процедура

ориентации детали.

2 Правка перед черновой шлифовкой. Данный блок запускает черновую правку круга перед черновой обработкой зубчатого венца. При выборе данного блока обязательно должны быть введены параметры, отвечающие за черновую правку шлифовального круга.

3 Черновая шлифовка. Блок, вызывающий программу черного шлифования зубчатого венца. При выборе данного блока обязательно должны быть введены параметры, отвечающие за черновое шлифование.

4 Правка перед чистовой шлифовкой. Данный блок запускает чистовую правку круга перед чистовой обработкой зубчатого венца. При выборе данного блока обязательно должны быть введены параметры, отвечающие за чистовую правку шлифовального круга.

5 Чистовая шлифовка. Блок, вызывающий программу чистового шлифования зубчатого венца. При выборе данного блока обязательно должны быть введены параметры, отвечающие за чистовое шлифование.

*Параметры правки круга отвечают за процесс правки шлифовального круга.*

Имеются следующие параметры.

1 <Безопасное расстояние> – величина зазора между шлифовальным кругом и алмазным роликом в момент перехода на новый рабочий ход правки.

2 <Припуск для начальной правки> – припуск для предварительной правки шлифовального круга. Данный припуск определяется экспериментально, зависит от профиля, нанесенного на шлифовальный круг. Припуск для начальной правки круга не влияет на изменение диаметра шлифовального круга.

*Внимание!!!* Если пренебречь данным припуском, возможен съем значительного слоя абразивного материала, что, в свою очередь, может привести к аварийной ситуации.

3 <Глубина для начальной правки> – глубина резания для рабочего хода начальной правки шлифовального круга.

4 <F для начальной> – значение подачи для рабочего хода начальной правки шлифовального круга.

5 <Припуск для черновой> – величина припуска для черновой правки круга.

6 <Глубина для черновой> – глубина резания для рабочего хода черновой правки круга.

7 <F для черновой> – величина подачи для рабочего хода черновой правки шлифовального круга.

8 <Припуск для чистовой> – величина припуска для чистовой правки круга.

9 <Глубина для чистовой> – глубина резания для рабочего хода чистовой правки круга.

10 <F для чистовой> – величина подачи для рабочего хода чистовой правки шлифовального круга.

*Параметры шлифовки колеса отвечают за процесс шлифования зубчатого колеса.*

1 <Безопасное расстояние> – расстояние между зубчатым колесом и шлифовальным кругом, на которое осуществляется отвод последнего в момент смены обрабатываемой впадины.

2 <Черновой припуск> – величина припуска для черновой обработки.

3 <Черновая глубина> – снимаемый припуск за двойной ход черновой обработки.

4 <F черновая> – продольная подача (подача по оси «X»),  
 $F_{\max} = 10000$  мм/мин.

5 <Чистовой припуск> – величина припуска для чистовой обработки.

6 <Чистовая глубина> – снимаемый припуск за двойной ход чистовой обработки.

7 <F чистовая> – продольная подача (подача по оси «X»),  
 $F_{\max} = 10000$  мм/мин.

8 <Корректор по Y> – дополнительное смещение, применяется для достижения необходимого размера.

9 <Черновой припуск до правки> – величина снимаемого припуска между правками шлифовального круга. Работает в цикле черновой обработки колеса. Определяется экспериментально. Если значение равно «нулю» – цикл не работает.

10 <Чистовой припуск до правки> – величина снимаемого припуска между правками шлифовального круга. Работает в цикле чистовой обработки колеса. Определяется экспериментально. Если значение равно «нулю» – цикл не работает.

11 <Скорость резания, м/с> – скорость резания шлифовального круга является исходным значением для определения частоты вращения круга.

### **3.7 Окно «Формирование УП»**

При нажатии на кнопку «Формирование УП» откроется окно.

В области «Замена директории в ЧПУ» можно прописать новый путь сохранения управляющей программы, в конце изменения необходимо нажать на кнопку «Заменить».

Кнопка «Расчет и формирование УП» отвечает за формирование программы с параметрами обработки. После нажатия на данную кнопку с левой стороны появится текст программы.

Кнопка «Запись УП в ЧПУ» осуществляет передачу в ЧПУ программы с параметрами обработки и активирует головную программу «KOLESO». После появления в строке состояния записи «Программа успешно записана» можно запускать программу на выполнение. Для этого необходимо в режиме «AUTO» нажать на кнопку на пульте управления «CYCLE START».

*Внимание!!!* Включение подачи СОТС осуществляет вручную.

Кнопка «Запись УП на диск» осуществляет запись сформированной программы в директорию, указанную при сохранении.

### ***3.8 Система измерения***

Станок оснащен встроенной системой измерения, которая позволяет оперативно производить замеры обрабатываемых изделий. Система измерения контролирует направление и шаговую погрешность. Измеренные значения сохраняются в файлы в директории («Menu Select» / «Программы» / «Детали» / «RESULT»). Для обработки данных их необходимо перенести на персональный компьютер (далее ПК) и обработать в программном продукте «EXCEL». Для автоматической обработки необходимо данные перенести на ПК в директорию «D:\RESULT» и открыть прилагаемый файл «Расчеты».

#### ***Порядок выполнения лабораторной работы***

- 1 Произвести настройку станка и контроллера.
- 2 Выполнить индивидуальное задание, выданное преподавателем.

#### ***Контрольные вопросы***

- 1 Как производится динамическая балансировка шлифовального круга?
- 2 Как производится привязка шлифовального круга?
- 3 Описание программного продукта и циклов обработки.
- 4 Окно «Технология».
- 5 Окно «Формирование УП».
- 6 Система измерения.

## **4 Лабораторная работа № 4. Токарный станок с ЧПУ модели СК6140А с системой Fanuc series 0i-TF. Программирование обработки**

*Цель работы:* ознакомление с работой системы подготовки программ для токарного станка с устройством ЧПУ Fanuc series 0i-TF, с основными правилами описания деталей и составления программ для их изготовления.

### ***4.1 Описание и характеристики станка***

Станок модели СК6140А является полнофункциональным токарным станком нормальной точности с числовым программным управлением, разработанным и спроектированным с использованием современных технологий.

**Ключевые технические характеристики станка.**

Максимальный диаметр обработки над станиной – 400 мм.

Максимальный диаметр обработки над суппортом – 200 мм.

Максимальная длина заготовки – 1000 мм.

Количество инструментов в револьверной головке – 6 шт.

Частота вращения шпинделя – 20...1620 об/мин.

Мощность главного привода – 7,5 кВт.

Габаритные размеры – 2600 × 1352 × 1672 мм.

**4.2 Программирование****Интерполяция фигуры движения инструмента.**

Функция перемещения инструмента вдоль прямых линий и дуг называется интерполяцией (рисунки 4.1 и 4.2).

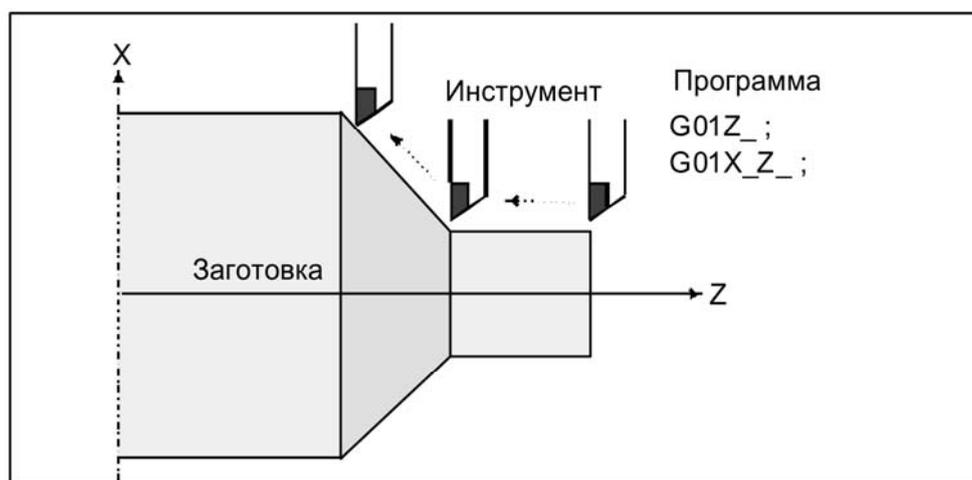


Рисунок 4.1 – Перемещение инструмента вдоль прямой линии

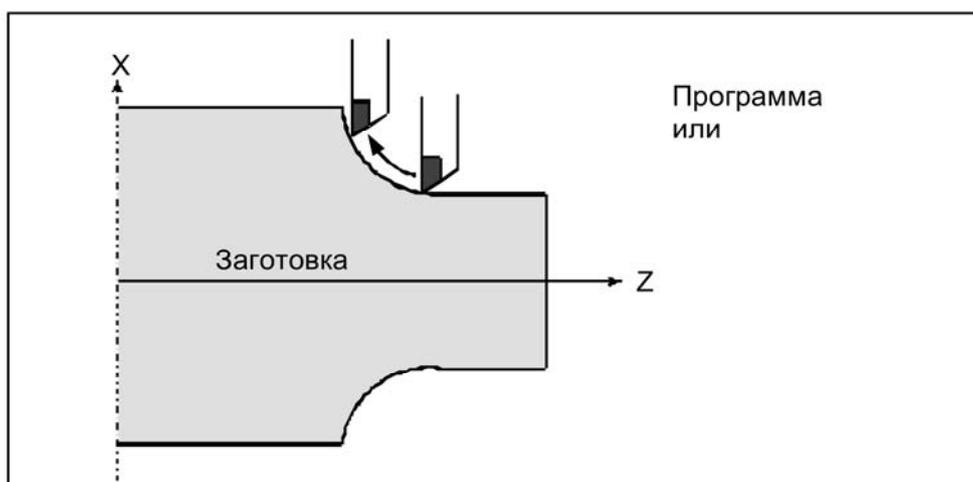


Рисунок 4.2 – Движение инструмента вдоль дуги

Термин интерполяция относится к операции, при которой инструмент движется вдоль прямой линии или дуги описанным выше образом.

Символы запрограммированных команд G01, G02, ... называются подготовительной функцией и обозначают тип интерполяции, выполняемой в блоке управления (рисунок 4.3).

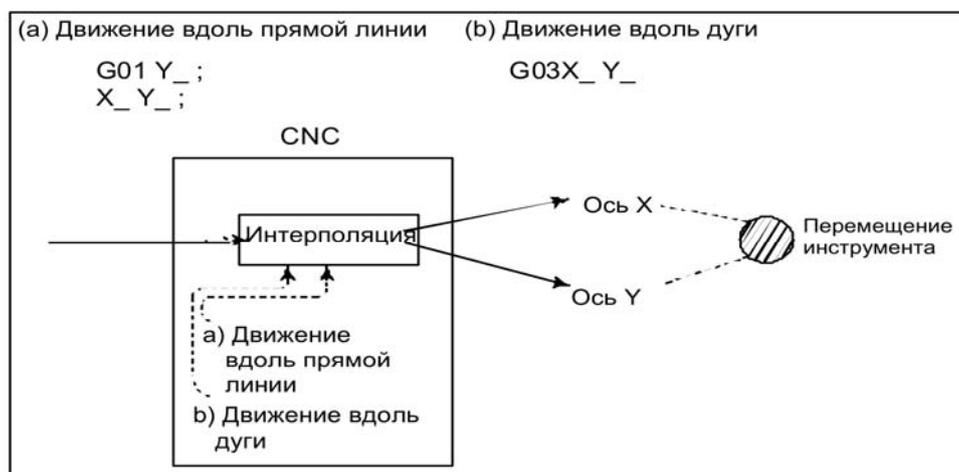


Рисунок 4.3 – Подготовительные функции

### Функция подачи.

Перемещение инструмента с заданной скоростью для резки заготовки называется подачей.

Например, для подачи инструмента со скоростью 150 мм/мин (подача в минуту) (рисунок 4.4) или 150 мм/об (подача за оборот) указать в программе следующее:

F150.0

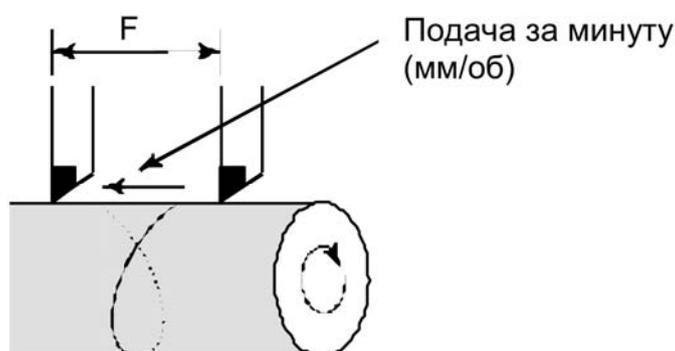


Рисунок 4.4 – Функция подачи

### Референтная позиция.

В станке с ЧПУ предусматривается фиксированное положение. Как правило, в данном положении выполняется замена инструмента и программирование точки абсолютного нуля, что будет описано ниже. Это положение называется референтной позицией (рисунок 4.5).

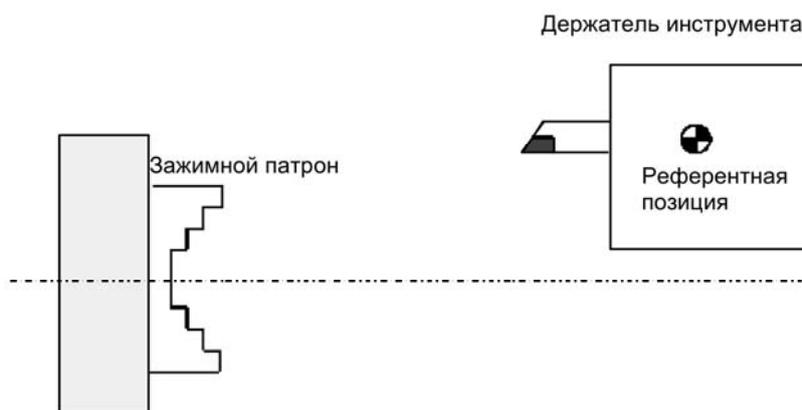


Рисунок 4.5 – Референтная позиция

Можно переместить инструмент на референтную позицию двумя способами.

1 Ручной возврат на референтную позицию. Возврат на референтную позицию выполняется при помощи операции нажатия кнопки вручную.

2 Автоматический возврат на референтную позицию. Обычно ручной возврат на референтную позицию выполняется в первый раз после подключения электроэнергии. Для того чтобы переместить инструмент на референтную позицию для последующей смены инструмента, используется функция автоматического возврата на референтную позицию.

### Конфигурация программы.

Группа команд, направляемых в ЧПУ для управления станком, называется программой. Посредством ввода команд инструмент перемещается вдоль прямой линии, или дуги, или происходит включение, или отключение двигателя шпинделя. В программе задайте команды в последовательности, соответствующей фактическим перемещениям инструментов (рисунок 4.6).

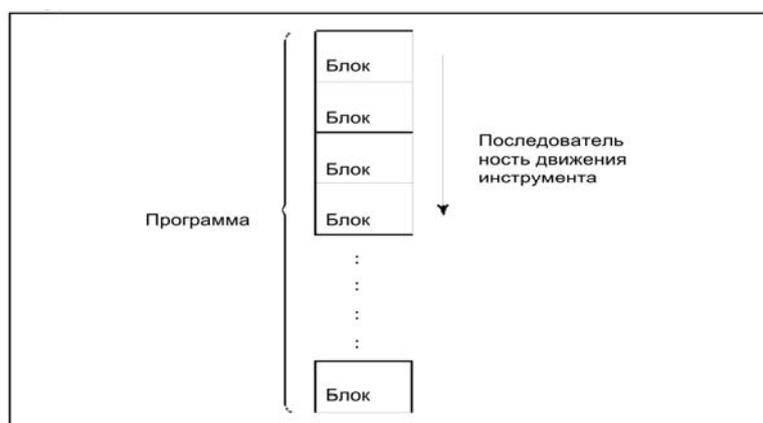


Рисунок 4.6 – Конфигурация программы

Группа команд в каждом шаге последовательности называется блоком. Программа состоит из групп блоков для серии операций обработки. Номер для

обозначения каждого блока называется номером последовательности, а номер для обозначения каждой программы – номером программы. Блок и программа имеют следующие конфигурации (рисунок 4.7).

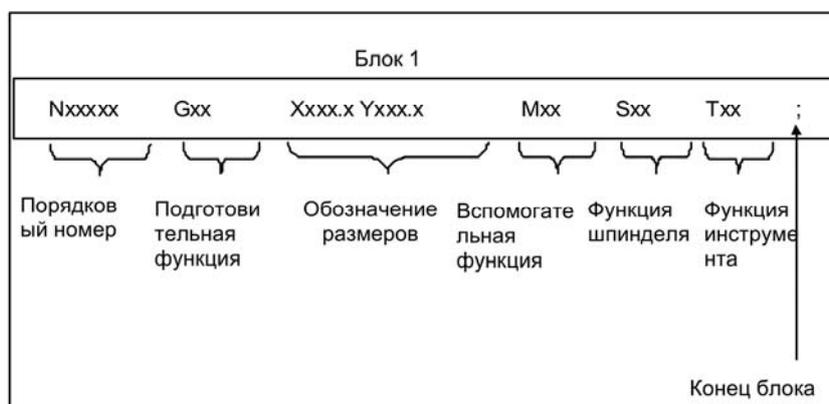


Рисунок 4.7 – Конфигурация блока

### Абсолютное и инкрементное программирование.

Существует два способа программирования перемещения инструмента: абсолютное и инкрементное. При абсолютном программировании задается значение координат конечной позиции. Инкрементное программирование используется для программирования величины перемещения инструмента.

G90 и G91 используются для абсолютного или для инкрементного программирования, соответственно.

### Программирование диаметра и радиуса.

Так как при программировании управления токарного станка с ЧПУ поперечное сечение заготовки обычно круглое, то ее размеры можно задавать двумя путями: диаметр и радиус (рисунок 4.8).

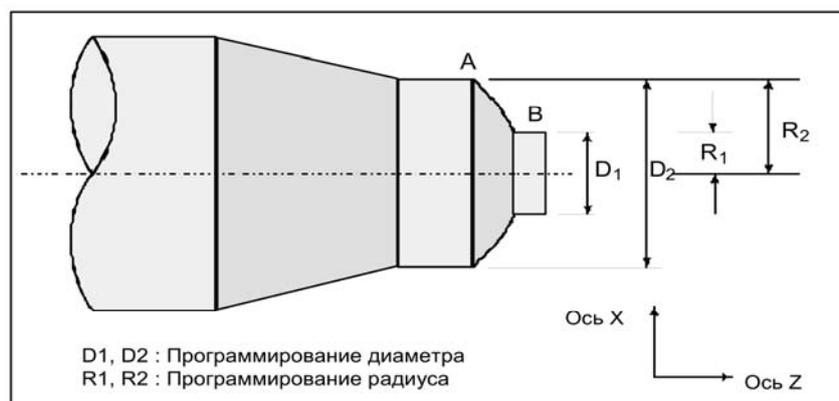


Рисунок 4.8 – Программирование диаметра и радиуса

Если указан диаметр, то используется программирование диаметра, а при задании радиуса – программирование радиуса.

### **Функция выбора инструмента.**

Путем указания числового значения до восьми цифр после адреса Т-кодовый сигнал и стробирующий сигнал передаются в станок. Они используются для выбора инструментов в станке.

В блоке может быть запрограммирован один Т-код. Значение после Т-кода обозначает требуемый инструмент. Часть значения также используется как номер коррекции на инструмент, который определяет величину коррекции на инструмент или т. п.

#### ***Пример***

N1G00X1000Z1400;

N2T0313; (Выбор инструмента ном. 3 и коррекции на инструмент ном. 13)

N3X400Z1050;

### **Функция управления инструментом.**

Функция управления инструментом полностью контролирует данные инструмента, включая информацию о коррекции на инструмент и данные о ресурсе инструмента.

Номер типа инструмента задается Т-кодом. Номер типа инструмента – любой номер, который пользователь может определить свободно. С помощью номеров типа инструменты могут быть сгруппированы по различным условиям, например, ресурс, значение коррекции и условия резки.

Если каждый тип считается имеющим один инструмент, то номера типов инструмента эквивалентны уникальным номерам инструмента.

Для каждого инструмента зона хранения информации хранится в ЧПУ (статическое ОЗУ). Эта зона содержит информацию, например, номер типа инструмента, ресурс инструмента, статус инструмента (например, условие разрыва), номер коррекции на инструмент (H, D, G или W), скорость шпинделя (S), скорость рабочей подачи (F) и свободно определяемые пользовательские данные. Такие данные называются данными управления инструментом.

### ***Порядок выполнения лабораторной работы***

- 1 Произвести настройку станка на обработку детали.
- 2 Выполнить индивидуальное задание, выданное преподавателем.

### ***Контрольные вопросы***

- 1 Что такое интерполяция?
- 2 Что такое подача, и какие способы задания подачи вам известны?
- 3 Что такое референтная позиция?
- 4 Какие составные части входят в конфигурацию программы и блока?
- 5 Функция выбора и управления инструментом.

## 5 Лабораторная работа № 5. Изготовление металлических деталей методом SLM-печати и основы работы на 3D-принтере модели EP-M250

*Цель работы:* освоение методики 3D-печати на основе технологии SLM с использованием 3D-принтера модели EP-M250.

### 5.1 Оборудование, инструменты и приборы

- 1 Объекты исследования: детали из металлического порошка.
- 2 3D-принтер технологии SLM модели EP-M250, металлический порошок (316L и др.).
- 3 Рабочая станция или ноутбук.
- 4 Программное обеспечение для слайсинга (EPHatch и др.).
- 5 Программное обеспечение для 3D-моделирования (SolidWorks, Компас-3D и др.).

### 5.2 SLM-печать: процесс и оборудование

Селективное лазерное плавление (SLM) – это процесс аддитивного производства металлов, который относится к семейству 3D-печати методом сплавления в порошковом слое. Технология использует лазер для сканирования и выборочного плавления частиц металлического порошка, связывая их вместе и создавая деталь слой за слоем. Материалы, используемые в процессе, представляют собой металлы в гранулированной форме, как показано на рисунке 5.1. SLM использует металлические порошки с одной температурой плавления и полностью расплавляет частицы. SLM-печать используется в промышленности для создания конечных инженерных продуктов.

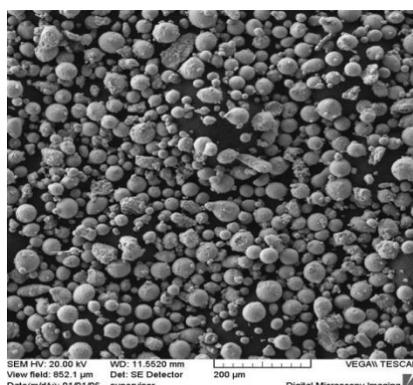
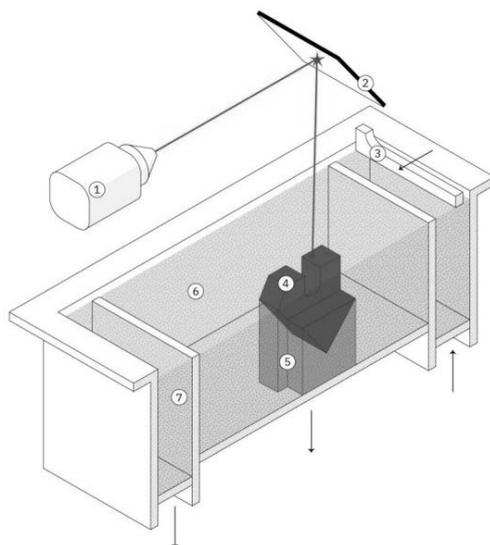


Рисунок 5.1 – Частицы металлического порошка для SLM-печати

В начале процесса подготовки печати на SLM-принтере (рисунок 5.2) камера сборки заполняется инертным газом (аргон, азот), чтобы свести к

минимуму окисление металлического порошка, а затем нагревается до оптимальной температуры. Нагреву подлежит и платформа построения.



1 – лазер; 2 – система сканирующих зеркал; 3 – ракель (рекоутер); 4 – деталь; 5 – поддержки; 6 – металлический порошок; 7 – пересыпной бункер

Рисунок 5.2 – Принцип работы и конструкция SLM-принтера

Тонкий слой металлического порошка распределяется по платформе построения, и мощный лазер сканирует поперечное сечение компонента, расплавляя металлические частицы вместе и создавая следующий слой.

Когда процесс сканирования завершен, платформа построения перемещается вниз на один слой толщины, а ракель (рекоутер) наносит ещё один тонкий слой металлического порошка. Процесс повторяется до тех пор, пока печать не будет завершена.

Когда процесс печати закончен, детали полностью инкапсулируются в металлический порошок. В отличие от процесса сплавления полимерного порошкового слоя (например, SLS), детали прикрепляются к платформе сборки через опорные конструкции. Опора в 3D-печати металлом изготавливается из того же материала, что и деталь, и всегда необходима для уменьшения воздействия деформаций, которые могут возникнуть из-за высоких температур обработки.

### 5.3 SLM-печать: материалы

SLM-печать позволяет производить детали из широкого спектра металлов и металлических сплавов, включая алюминий, нержавеющей сталь, титан, кобальт-хром и инконель. Эти материалы удовлетворяют потребности большинства промышленных применений, от аэрокосмической до медицины. Драгоценные металлы, такие как золото, платина, палладий и серебро, также могут быть обработаны, но их применение ограничено и в основном

ограничивается изготовлением ювелирных изделий. Стоимость металлического порошка очень высока. По этой причине минимизация объема деталей и потребности в поддержках являются ключом к максимально возможному снижению стоимости. Ключевым преимуществом 3D-печати металлом является его совместимость с высокопрочными материалами, такими как никелевые или кобальт-хромовые суперсплавы, которые очень трудно обрабатывать традиционными методами производства.

*Преимущества и недостатки материалов SLM-печати.*

Алюминиевые сплавы:

- + хорошие механические и термические свойства;
- + низкая плотность;
- + хорошая электропроводность;
- низкая твёрдость.

Нержавеющая сталь и инструментальная сталь:

- + высокая износостойкость и твёрдость;
- + хорошая пластичность и свариваемость.

Титановые сплавы:

- + устойчивость к коррозии;
- + отличное соотношение прочности и веса;
- + низкое тепловое расширение;
- + биосовместимость.

Кобальт-хромовые суперсплавы:

- + отличная износостойкость и коррозионная стойкость;
- + отличные свойства при повышенных температурах;
- + очень высокая твердость;
- + биосовместимость.

Никелевые суперсплавы (инконель):

- + отличные механические свойства;
- + высокая коррозионная стойкость;
- + термостойкость до 1200 °С и применение в экстремальных условиях.

Драгоценные металлы:

- + использование в ювелирном деле.

#### **5.4 SLM-печать: постобработка**

Этап 3D-печати – это только начало производственного процесса изготовления деталей по технологии SLM. После завершения печати требуется несколько (обязательных или необязательных) этапов постобработки, прежде чем детали будут готовы к использованию. К обязательным этапам постобработки относятся:

- снятие внутренних напряжений: из-за очень высоких температур обработки во время печати возникают внутренние напряжения. Перед любой другой операцией их необходимо снять с помощью термической обработки;
- удаление деталей: при SLM-печати детали по существу привариваются к

платформе построения. Здесь применяется резка на проволочном электроэрозионном станке, резка на ленточнопильном станке, резка на дисково-отрезном станке;

– удаление поддержки: поддержки в SLM всегда требуются для уменьшения коробления и деформаций, возникающих во время печати. Поддержки удаляются вручную или обрабатываются на станках с ЧПУ.

Для соответствия технической документацией часто требуются дополнительные этапы постобработки.

К ним могут относиться:

– обработка на станках с ЧПУ: обработка используется в качестве чистового этапа, когда требуются более жесткие допуски, чем стандарт  $\pm 0,1$  мм. Для данного типа постобработки применяются минимальные припуски;

– термическая обработка: для улучшения свойств материала детали можно использовать термическую обработку или горячее изостатическое прессование (HIP);

– сглаживание (полировка): для некоторых применений требуется более гладкая поверхность, чем стандартная шероховатость  $Ra = 10$  мкм при SLM-печати. Обработку можно производить на универсальных станках и станках с ЧПУ, вибро- или химической полировкой, галтованием, пескоструйной обработкой и др.

### ***5.5 3D-принтер технологии SLM модели EP-M250: конструкция***

EP-M250 – это промышленная установка для селективного лазерного плавления, выпущенная компанией E-Plus 3D (входит в концерн SHINING 3D). Машина плавит порошок слой за слоем с помощью высокоэнергетического лазера и формирует его в твердое металлическое тело на основе принципов послойного производства.

3D-принтер может использоваться для обработки промышленных изделий в таких областях, как аэрокосмическая промышленность, медицинские имплантаты, зубные протезы, пресс-формы, инструменты, детали специальной формы, ювелирные изделия и т. д. Комплекс EP-M250 также может использоваться в научных исследованиях и разработках, в образовании и в других отраслях.

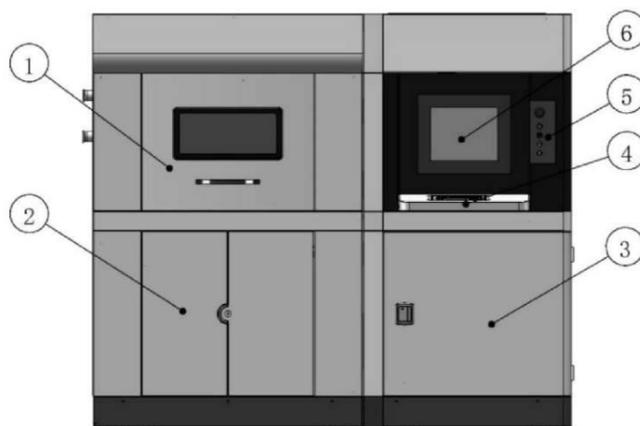
Внешний вид 3D-принтера модели EP-M250 (установка подготовки газа не показана) представлен на рисунках 5.3–5.5.

Основная внутренняя структура 3D-принтера показана на рисунках 5.6–5.8. Функции каждого компонента структуры 3D-принтера следующие.

Гальванометр: основная функциональная часть лазерного сканирования, используемая для управления сканированием лазерного луча в эффективном поле зрения.

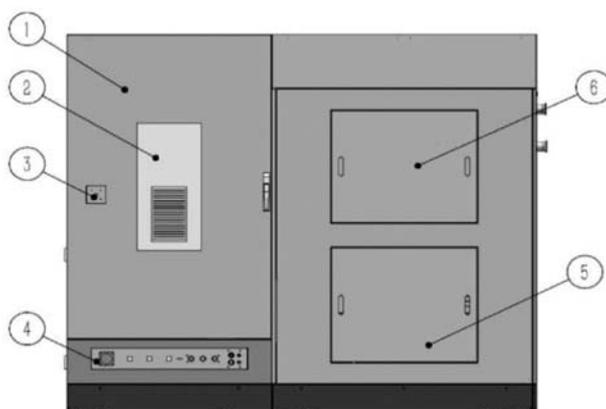
Коллимационный расширитель луча: изменение диаметра и угла расходимости луча, излучаемого лазером.

Полевое зеркало: фокусировка лазерного луча.



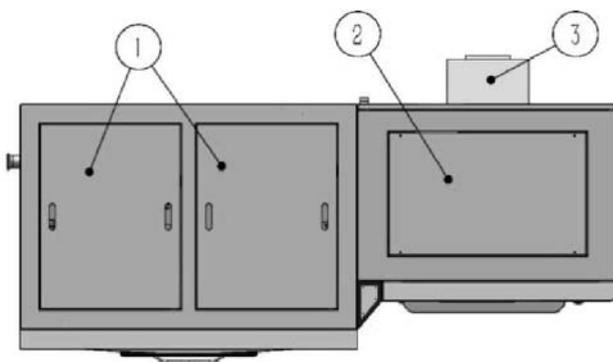
1 – передняя дверь верхней камеры; 2 – передняя дверь нижней камеры; 3 – передняя дверь электрического шкафа управления; 4 – операционная клавиатура; 5 – панель подключения управления; 6 – главный экран управления

Рисунок 5.3 – Внешний вид 3D-принтера модели EP-M250 (фронтальный вид)



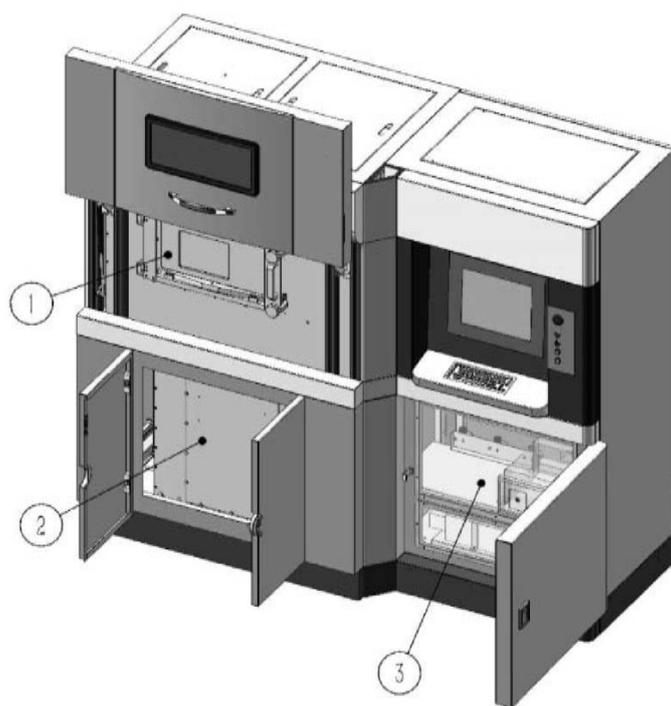
1 – главная дверь электрического шкафа управления; 2 – кондиционер; 3 – главный выключатель питания; 4 – модуль электрического соединения; 5 – нижняя дверь главной машины; 6 – верхняя дверь главной машины

Рисунок 5.4 – Внешний вид 3D-принтера модели EP-M250 (задний вид)



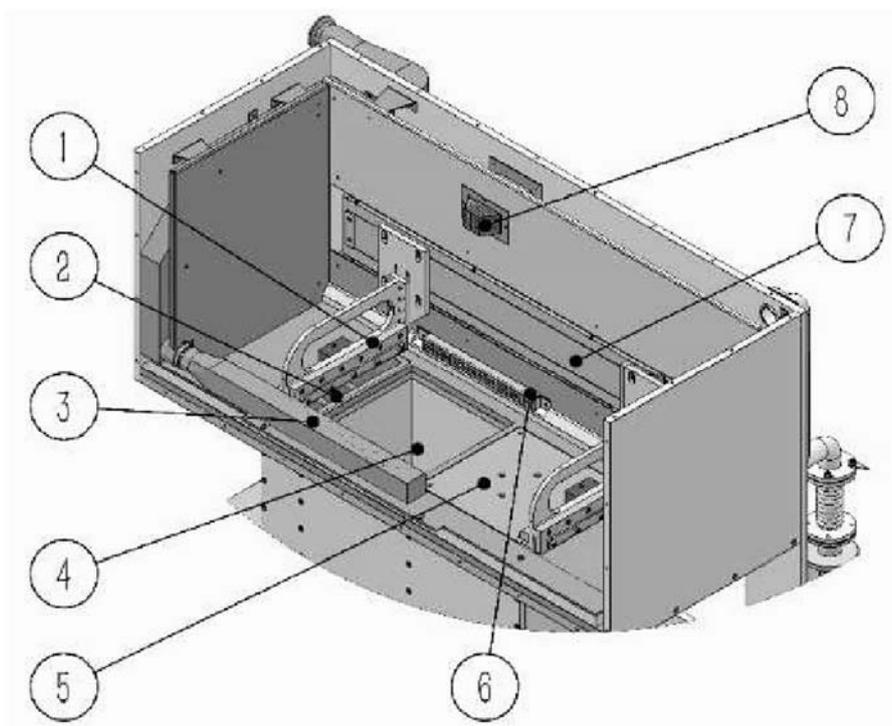
1 – верхняя крышка; 2 – верхняя крышка электрического шкафа; 3 – кондиционер

Рисунок 5.5 – Внешний вид 3D-принтера модели EP-M250 (вид сверху)



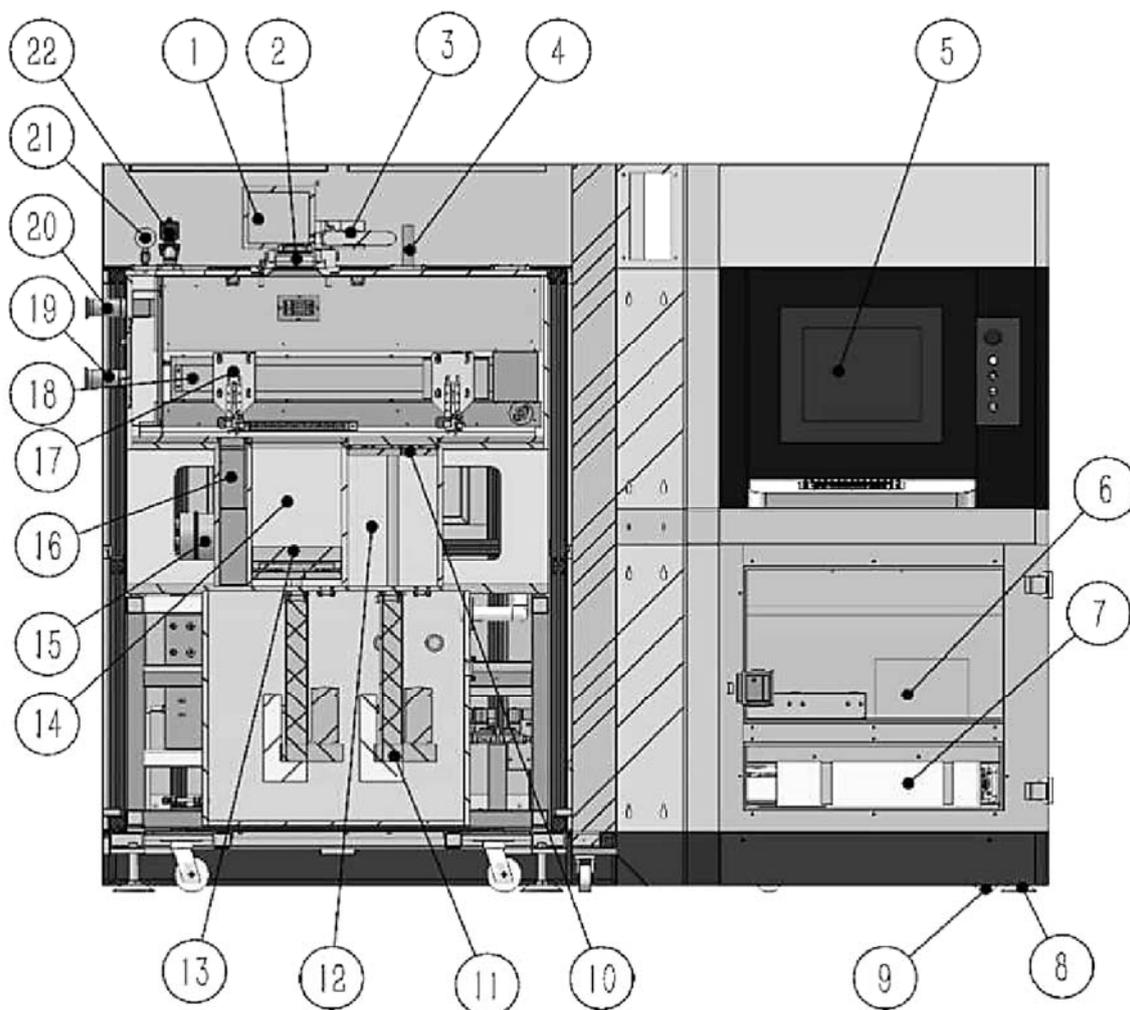
1 – внутренняя защитная дверь верхней камеры; 2 – внутренняя защитная дверь нижней камеры; 3 – промышленный компьютер и порт доступа к лазеру

Рисунок 5.6 – Внутренняя структура 3D-принтера модели EP-M250 (фронтальный вид)



1 – рапель; 2 – пересыпной канал бункера; 3 – всасывающий патрубок; 4 – платформа построения; 5 – подающая платформа (фидер); 6 – нижний выход инертного газа; 7 – линейный привод раделя; 8 – верхний выход инертного газа

Рисунок 5.7 – Принципиальная схема формовочной камеры



1 – гальванометр; 2 – полевое зеркало; 3 – коллиматор (расширитель луча); 4 – датчик давления; 5 – экран; 6 – промышленный компьютер; 7 – оптоволоконный лазер; 8 – опора; 9 – ролик; 10 – поршень привода подачи материала; 11 – линейный привод подачи материала; 12 – цилиндр привода подачи; 13 – поршень платформы построения; 14 – формовочный цилиндр; 15 – блок фильтрации отработавших газов; 16 – бункер для порошка; 17 – ракель; 18 – линейный привод ракеля; 19 – воздухозаборный канал; 20 – возвратный воздуховод; 21 – манометр; 22 – электромагнитный клапан выпускной камеры

Рисунок 5.8 – Внутренняя структура 3D-принтера модели EP-M250 (задний вид)

Датчик давления (манометр): определение давления в камере в режиме реального времени во время работы.

Блок фильтрации отработавших газов: фильтрация газов, выходящих из машины.

Линейный привод ракеля: приводит в движение систему для повторного нанесения покрытия от подающей платформы к платформе построения. Металлический порошок в подающей платформе равномерно распределяется по платформе построения вместе с движением ракеля.

Поршень привода подачи и платформы построения: носитель порошка и деталей.

Воздухозаборный канал и возвратный воздуховод: перенос пыли и пепла,

образовавшегося в результате лазерного плавления порошка, в пылеуловитель и возврат отфильтрованного газа в технологическую камеру.

Электромагнитный клапан выпускной камеры: снижение избыточного давления, обеспечивающее поддержание давления в камере в определенном диапазоне.

### ***5.6 Порядок выполнения лабораторной работы***

1 Получить чертеж или САД-модель детали у преподавателя.

2 Проанализировать информацию о детали: размеры и допуски, геометрию, материал, функциональное назначение, качество поверхности.

3 Выполнить оптимизацию конструкции детали – задать параметры печати и произвести операцию слайсинга – загрузить управляющую программу в 3D-принтер – проверить управляющую программу в эмуляторе – при необходимости внести корректировки – запустить печать – по окончании печати произвести анализ и дать рекомендации по постобработке детали.

4 Оформить отчёт.

### ***5.7 Содержание отчета***

Отчёт по лабораторной работе выполняется на отдельных листах бумаги или в тетради. Он должен содержать следующее:

- название и цель лабораторной работы;
- анализ конструкции и порядок подготовки детали к 3D-печати;
- порядок SLM-печати детали;
- рекомендации по постобработке детали после 3D-печати;
- ответы на контрольные вопросы;
- анализ полученных результатов и выводы.

### ***Контрольные вопросы***

1 Как работает принтер для SLM-печати?

2 Какие материалы применяются для SLM-печати?

3 Какие технические газы применяются для SLM-печати?

4 Какие существуют методы постобработки деталей после SLM-печати?

5 Какие ограничения присущи 3D-печати по технологии SLM?

6 Какие основные элементы внешней конструкции 3D-принтера модели EP-M250 вы знаете?

7 Какие основные элементы внутренней структуры 3D-принтера модели EP-M250 вы знаете?

8 Какое функциональное назначение каждого из основных элементов структуры 3D-принтера модели EP-M250?

9 Что такое рапель, материал и назначение?

10 Какой тип лазерного источника установлен в 3D-принтере модели EP-M250?

## Список литературы

1 **Жолобов, А. А.** Программирование процессов обработки поверхностей на станках с ЧПУ : учебное пособие / А. А. Жолобов, Ж. А. Мрочек, А. М. Федоренко. – Могилев : Белорус.-Рос. ун-т, 2009. – 339 с.

2 Технология изготовления деталей на станках с ЧПУ : учебное пособие / Ю. А. Бондаренко [и др.]. – Старый Оскол : ТНТ, 2011. – 292 с.

3 FANUC Series 0i-MODEL F: Руководство по эксплуатации. Общее для системы токарного станка и системы многоцелевого станка. – В-64604RU/01.

4 **Calderaro, D. R.** Selection of additive manufacturing technologies in productive systems : a decision support model / D. R. Calderaro, D. P. Lacerda, D. R. Veit // Gestao & Producao. – 2020. – № 3. – P. 1–45.

5 Knowledge base. Design guidelines. Hubs [Electronic resource]. – Made of access: <https://www.hubs.com/knowledge-base/design-guidelines/>. – Date of access: 10.04.2022.

6 **Зленко, М. А.** Аддитивные технологии в машиностроении : учебное пособие / М. А. Зленко, А. А. Попович, И. Н. Мутьлина. – Санкт-Петербург: Политехн. ун-т, 2013. – 200 с.