

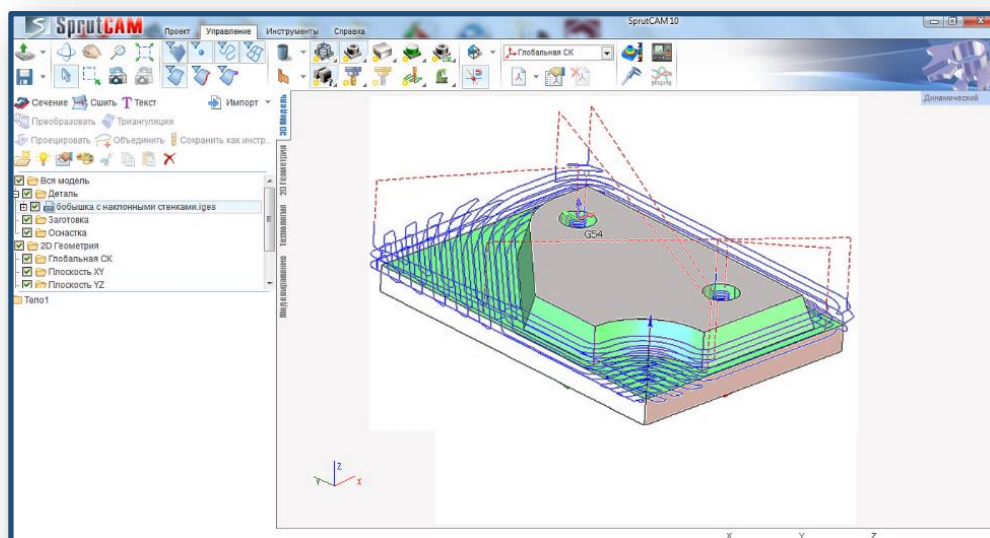
Министерство науки и высшего образования РФ
Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
Ярославский государственный технический университет

Рекомендовано
научно-методическим советом
МСФ



Проектирование обработки на станке ЧПУ в системе SprutCAM

Методические указания



Ярославль 2019

УДК 621.9.014.001.24:631.3

МУ ХХ-19. Проектирование обработки на станке ЧПУ в системе СпрутСАМ / Сост.: О.Н.Калачев – Ярославль: Издат. дом ЯГТУ, 2019. - 40 с.

Содержит описание методики проектирования в САМ-системе СпрутСАМ управляющей программы для фрезерного станка с ЧПУ от создания 3D-модели до наладки станка, загрузки файла в СЧПУ и мехобработки заготовки.

Предназначены для студентов бакалавриата и магистрантов направлений 15.03.05 и 15.04.05 «Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных производств», профиль подготовки «Компьютерно-интегрированное машиностроение» по дисциплинам «Технология машиностроения», «Цифровое прототипирование в машиностроении» и др.

Могут быть использованы при обучении студентов других машиностроительных направлений цифровому прототипированию с использованием CAD/CAM-систем.

Ил. 66. Библиогр. 7.

Рецензенты: Комиссаров А.В., к.т.н., начальник управления ИТ ОАО «АГАТ»; Шапошников А.М., к.т.н., доцент кафедры КИ ТМС

ЦЕЛЬ РАБОТЫ

1.1 Спроектировать управляющую программу (УП) фрезерной обработки детали с наклонными стенками типа «бобышка» (рисунок 1) в SprutCAM.

1.2 Выполнить наладку фрезерного станка и рассмотреть последовательность действий при практической обработке заготовки на настольном вертикально-фрезерном станке (рисунок 2) [1].

1 ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ

2.1 3D-модель детали в системе AutoCAD. Так как SprutCAM не обладает достаточно развитым CAD модулем, 3D-модель «бобышки» предварительно создается в AutoCAD.

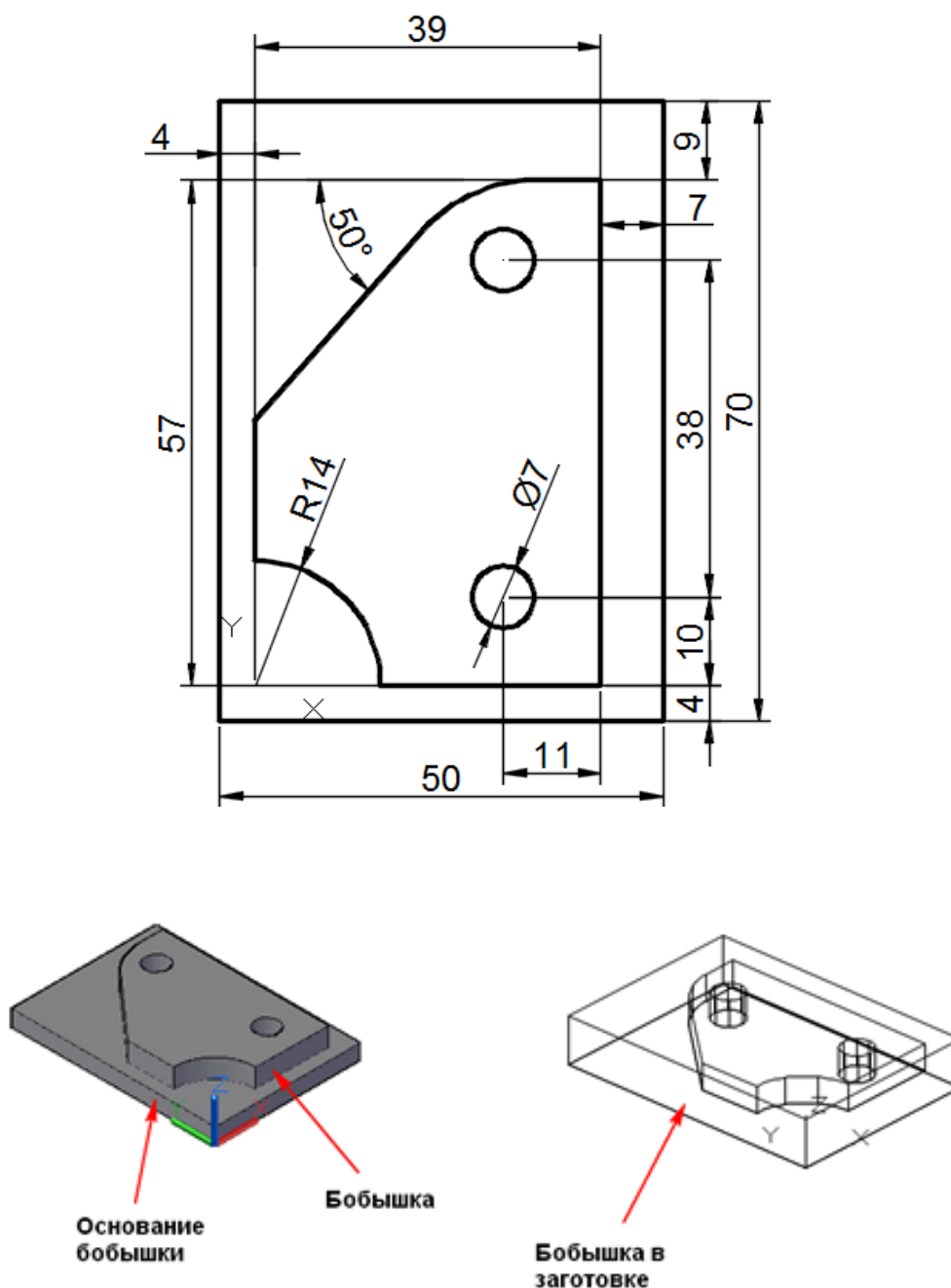


Рисунок 1 – Эскиз и 3D-модель бобышки (Контур.dwg) [5]



Рисунок 2 – Станок и CNC controller

Сначала строим контур основания бобышки по размерам на рисунке 1. Применяем последовательно функцию *Вытягивание*: выделяем криволинейный контур основания и контур бобышки, указываем направление и высоту, получаем 3D-модель (рисунок 3).

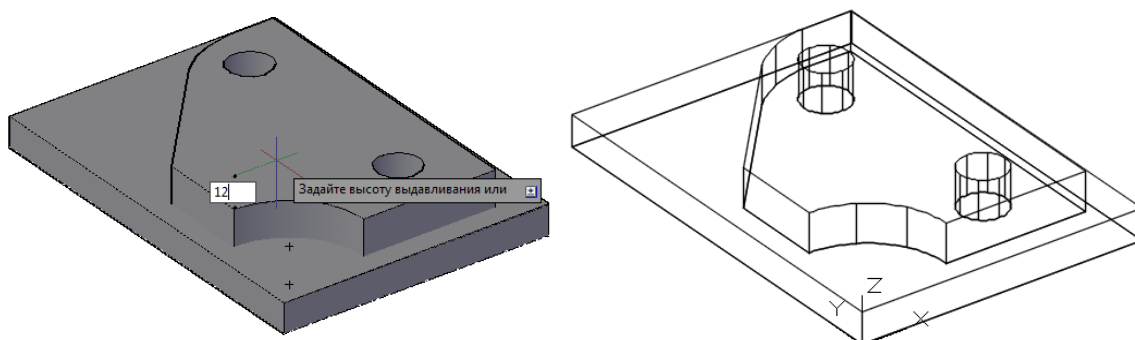


Рисунок 3 – Создание бобышки

Затем выполняем наклон боковых поверхностей бобышки с помощью команды *Наклон граней*, как представлено на рисунке 4.

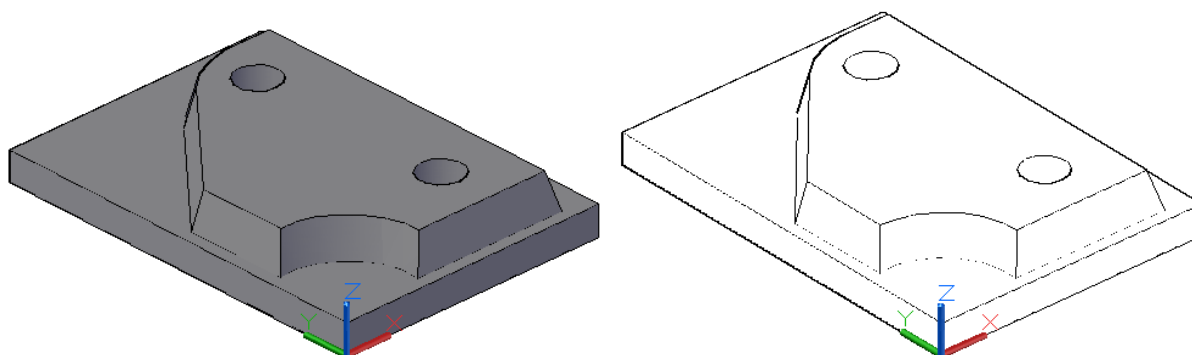


Рисунок 4 – Бобышка с наклонными поверхностями

2.2 Импорт модели из AutoCAD в SprutCAM. Сохраним созданную модель в системе AutoCAD в формате IGES (рисунок 5) и перейдем в систему SprutCAM. В главном меню этой программы во вкладке *3D Модель* выбираем *Импорт*, загружаем ранее созданный файл модели (рисунки 6, 7).

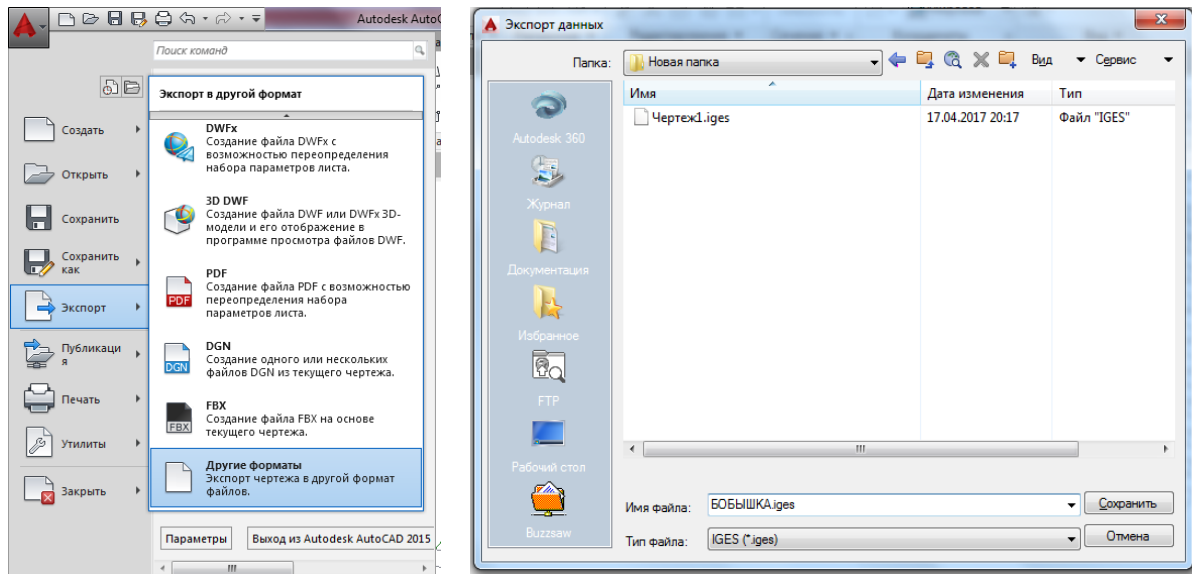


Рисунок 5 – Сохранение (БОБЫШКА.iges)

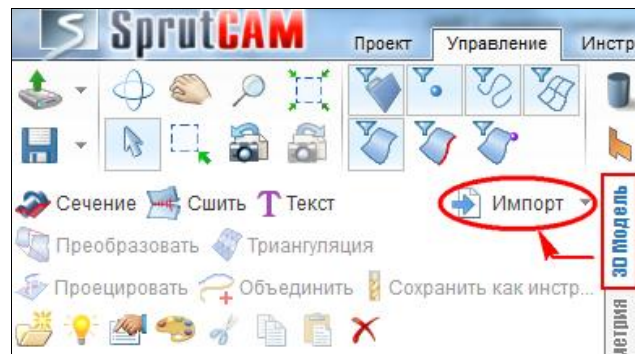


Рисунок 6 – Загрузка модели

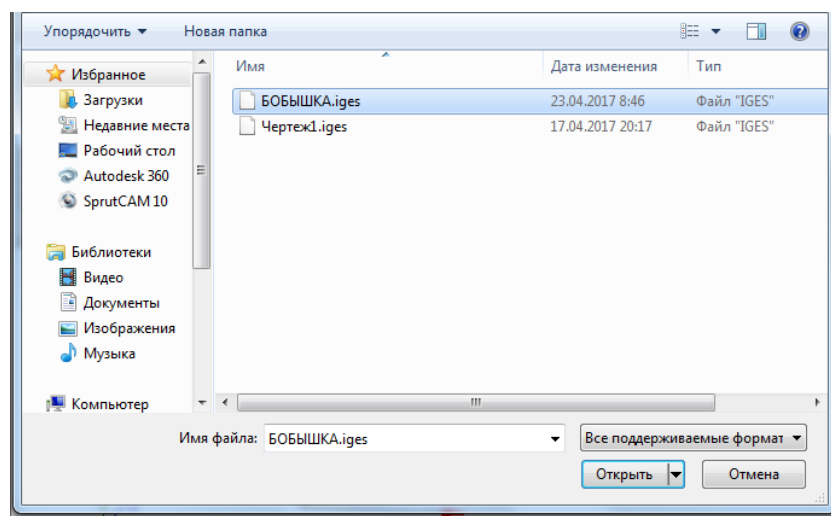


Рисунок 7 – Выбор файла модели

После загрузки появляется окно, которое отображает конвертацию в формат системы SprutCAM (рисунки 8, 9).

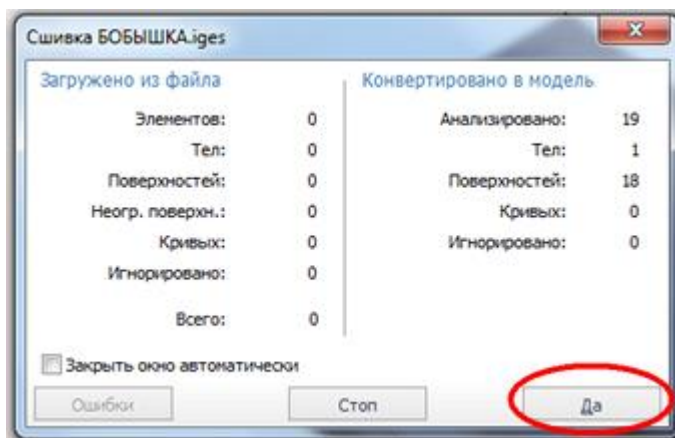


Рисунок 8 – Подтверждение загрузки

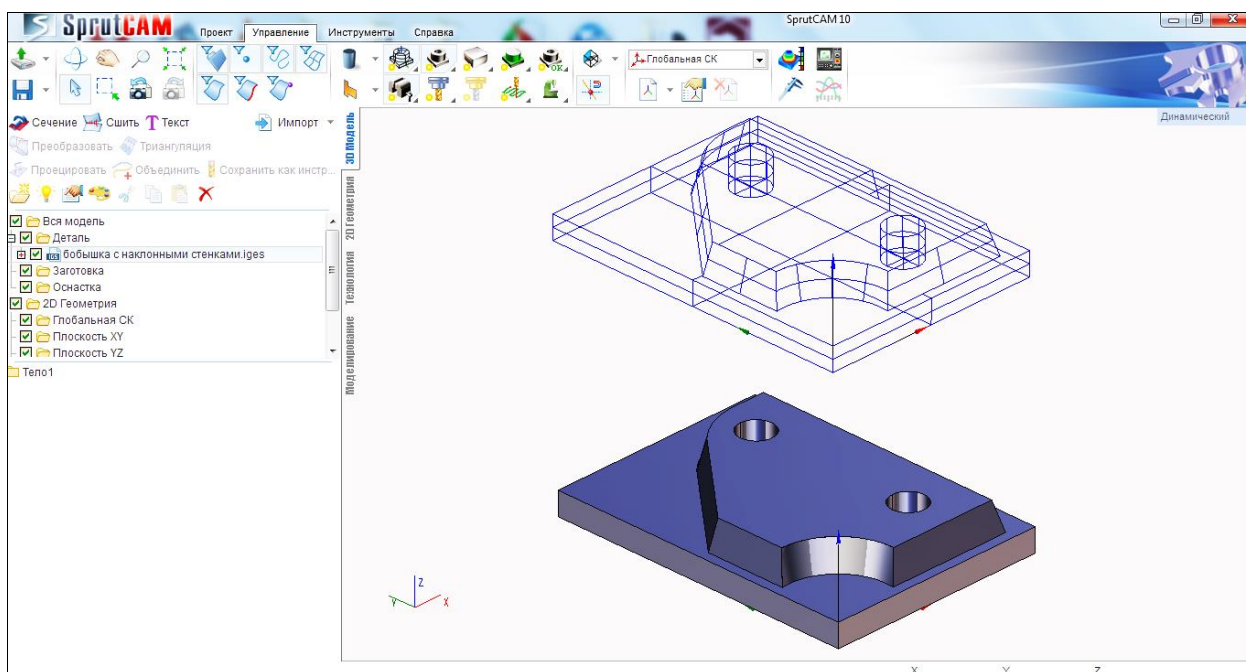


Рисунок 9 – Загруженная модель в SprutCAM (БОБЫШКА.stc)

3 ПРОЕКТИРОВАНИЕ УПРАВЛЯЮЩЕЙ ПРОГРАММЫ

3.1 Выбор станка. Как известно, управляющая программа (УП) – это набор кадров, описывающих траекторию движения режущего инструмента и технологические команды. Перед началом проектирования траектории, определимся со станком, на котором будем выполнять фрезерование ранее созданной модели. В окне SprutCAM встаем курсором мыши на станок, который предлагается по умолчанию, нажимаем на кнопку *Параметры* и выбираем из предложенного списка 3-х координатный фрезерный станок, наиболее близкий по параметрам к кафедральному станку с ЧПУ (рисунки 10, 11).

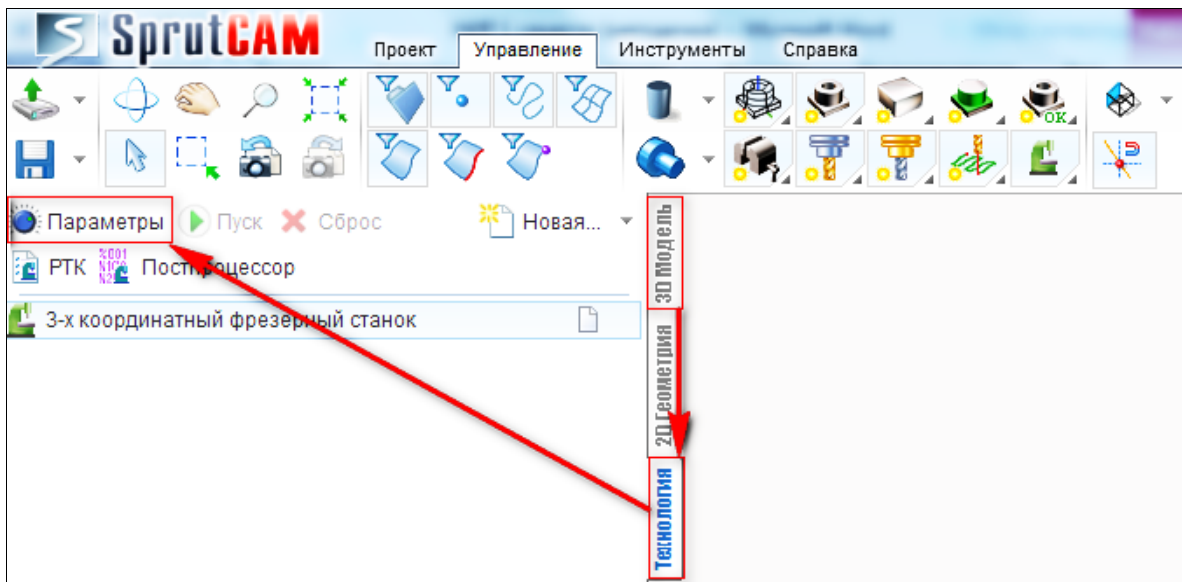


Рисунок 10 – Команда *Параметры*

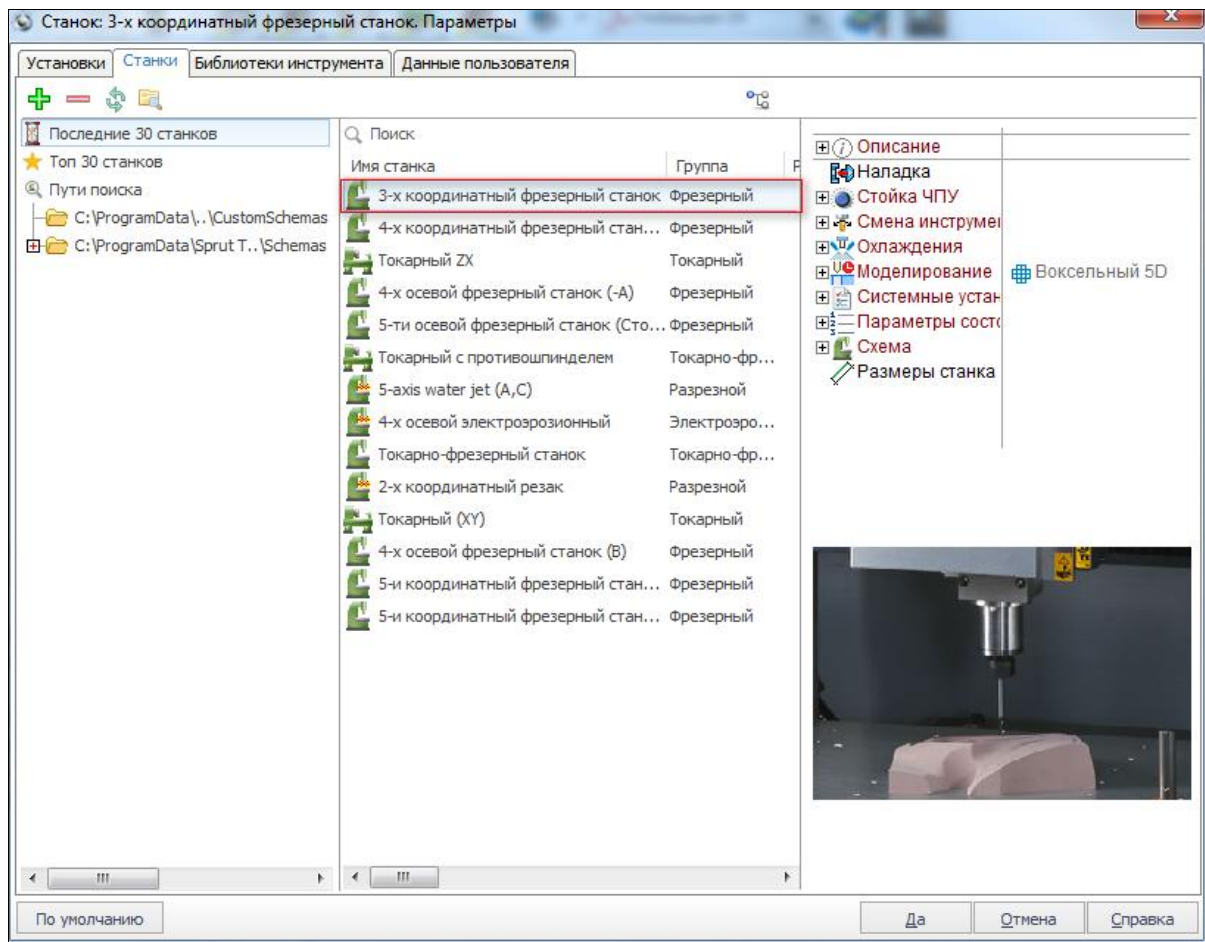


Рисунок 11 – Выбор станка

3.2 Этапы обработки. Заготовка бобышки – параллелепипед. При черновом фрезеровании придется удалить напуск, который окружает контур бобышки,

а затем пустить фрезу вдоль контура и удалить оставленный припуск. Предполагаем, что для изготовления детали достаточно двух этапов: 1) чернового (предварительная выборка напуска) и 2) чистового (удаление оставшегося припуска вдоль контура бобышки). Во вкладке *Технология*, нажав кнопку *Новая операция* на панели инструментов, выбираем *Черновую*, а затем *Чистовую* послойную обработку заготовки (рисунки 12, 13).

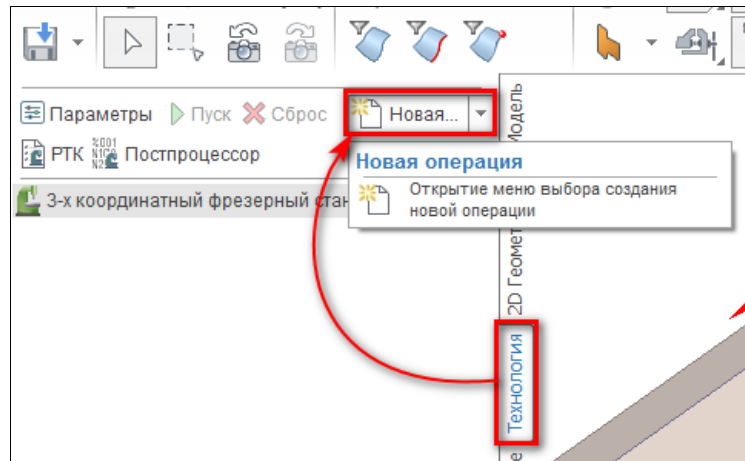


Рисунок 12 – Команда *Новая операция*

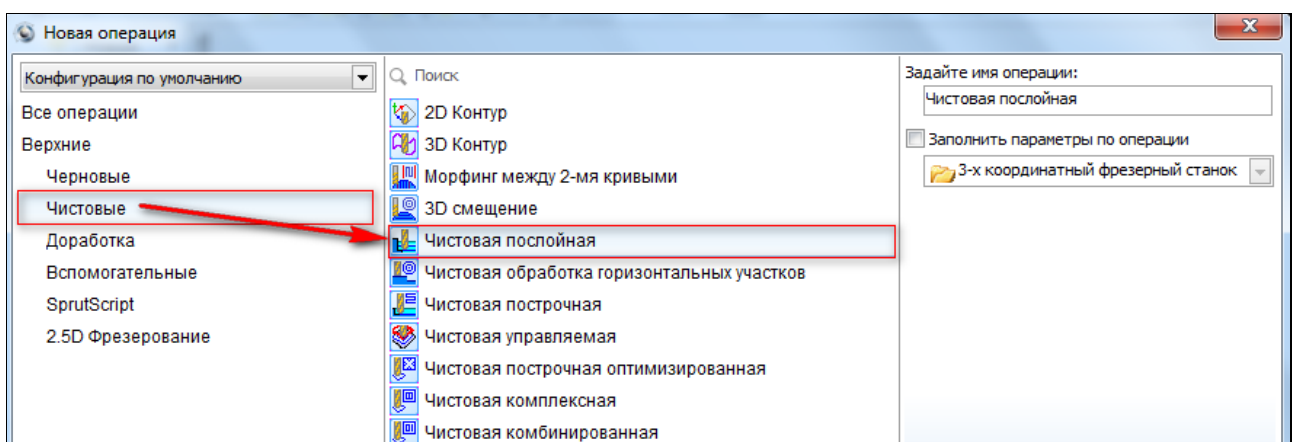
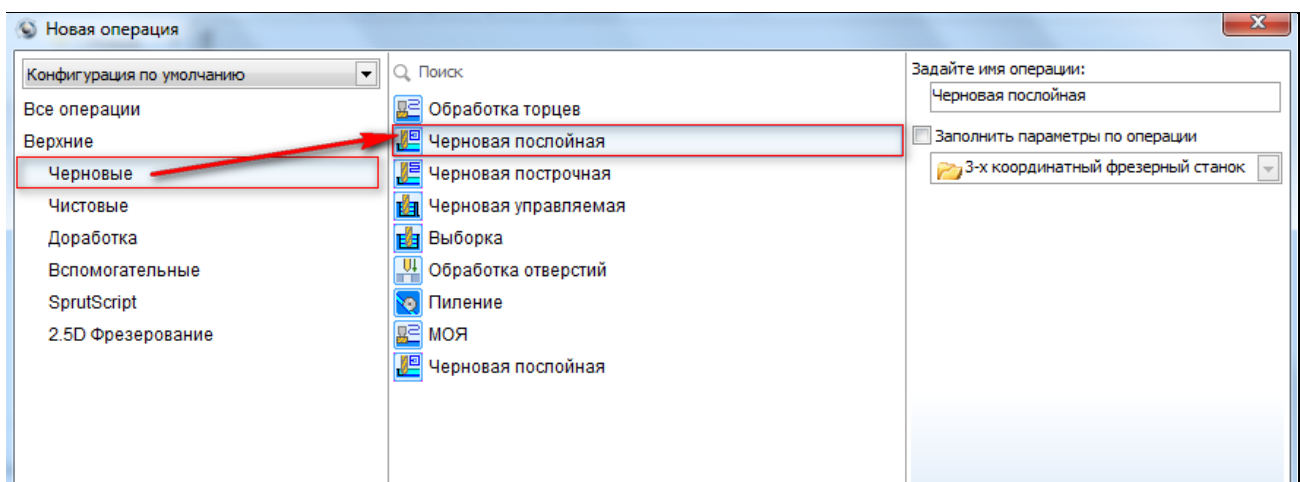


Рисунок 13 – Выбор сначала *черновой*, а потом *чистовой* операции

3.3 Режущий инструмент. В методических целях выберем разный режущий инструмент для каждой операции: для черновой – фрезу $\varnothing 4$ мм, для чистовой – фрезу $\varnothing 2$. Указываем курсором сначала Черновую операцию и ее *Параметры*, в строке *Диаметр* вводим 4. То же самое проделываем с Чистовой операцией, где вводим диаметр 2 (рисунки 14, 15).

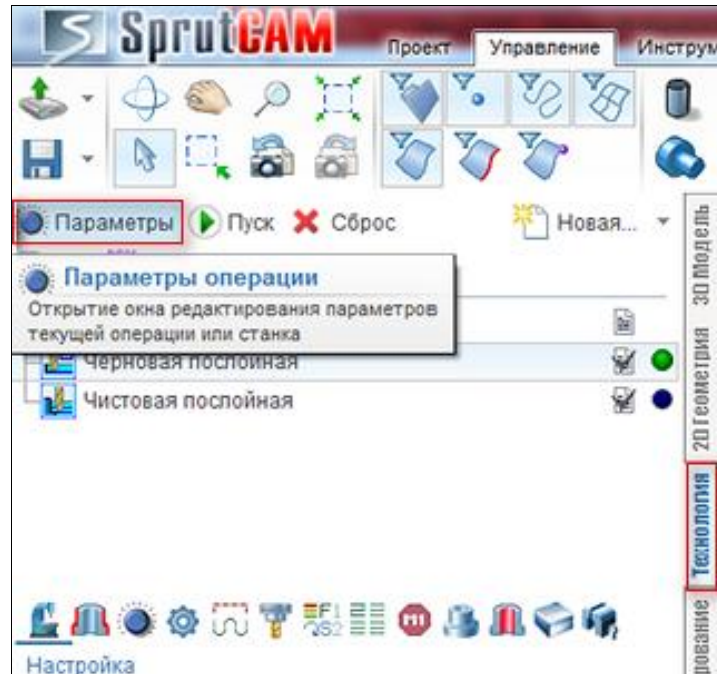


Рисунок 14 – Команда *Параметры*

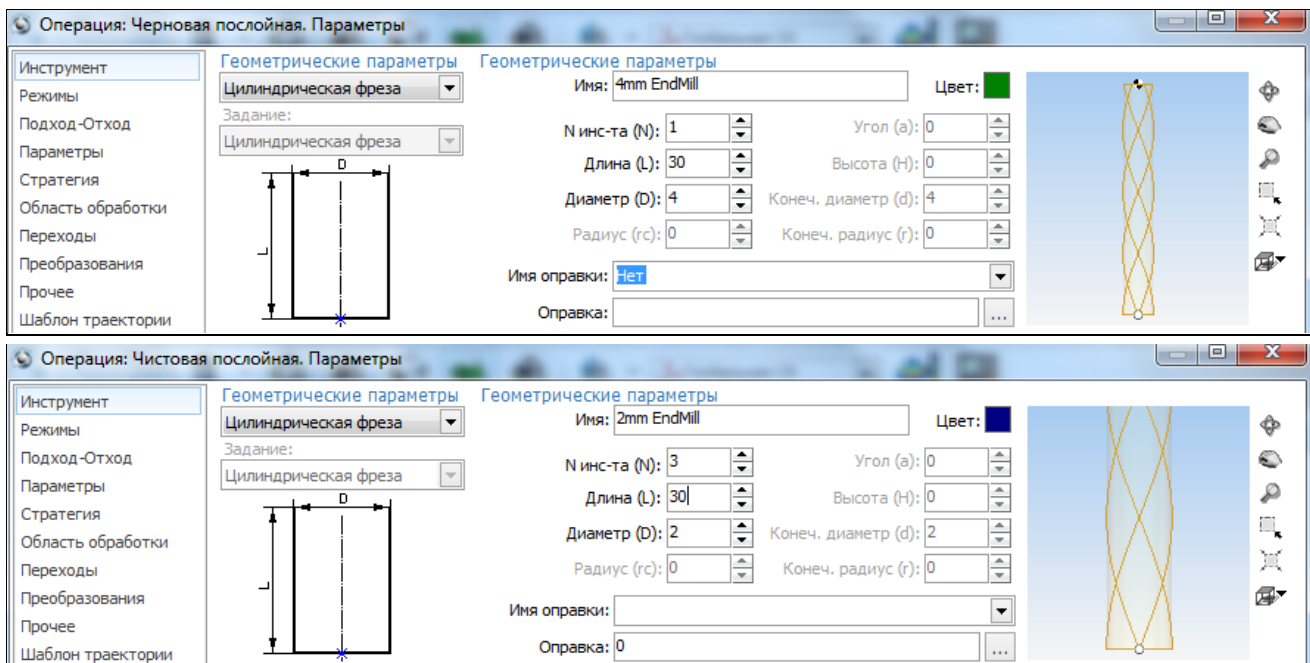


Рисунок 15 – Назначение параметров режущего инструмента

3.4 Геометрия зоны обработки. Для черновой операции необходимо указать зону выборки. Во вкладке *Технология* заходим в *Рабочее задание*, выбираем черновую послойную операцию (рисунок 16) и выделяем курсором поверхности, ограничивающие зону обработки (рисунок 17). То же самое проделываем для Чистовой операции (рисунок 18).

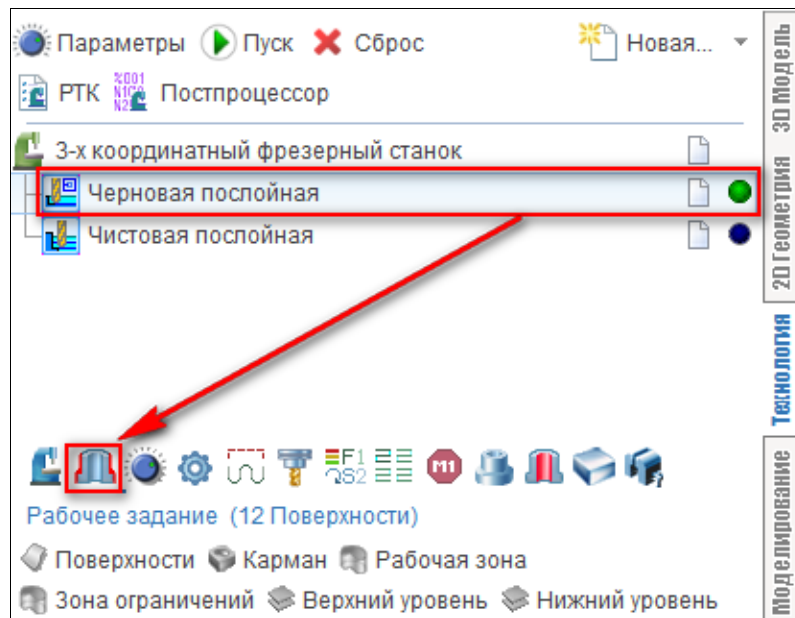


Рисунок 16 – Назначение рабочего задания для черновой обработки

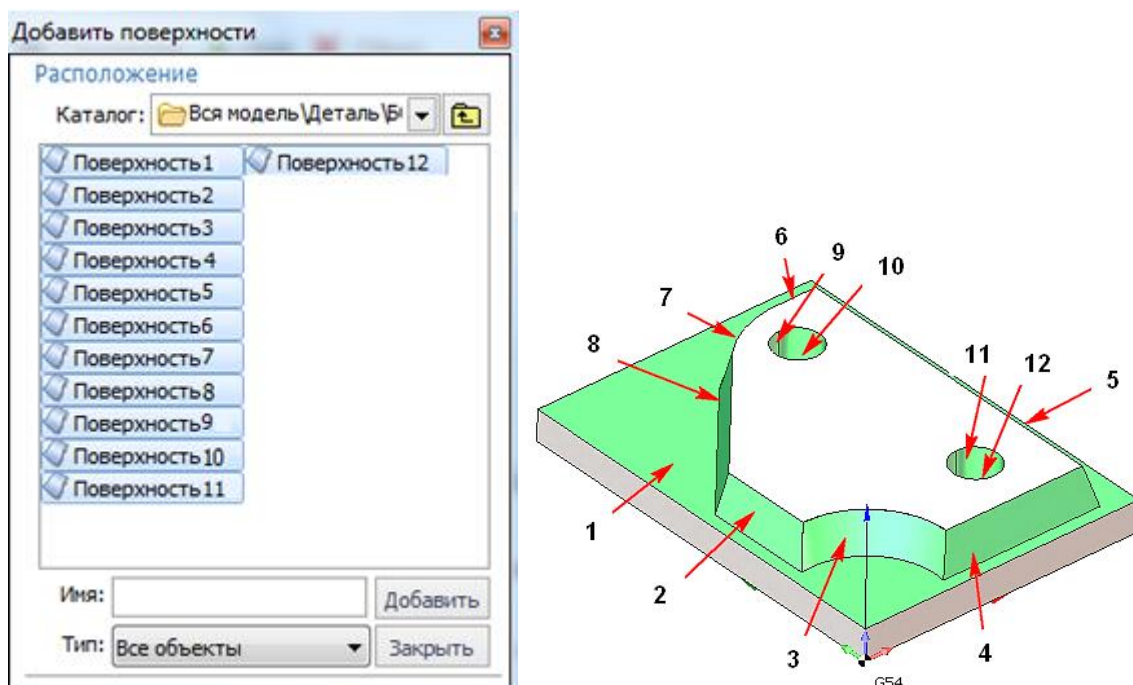


Рисунок 17 – Выбор поверхностей зоны черновой обработки

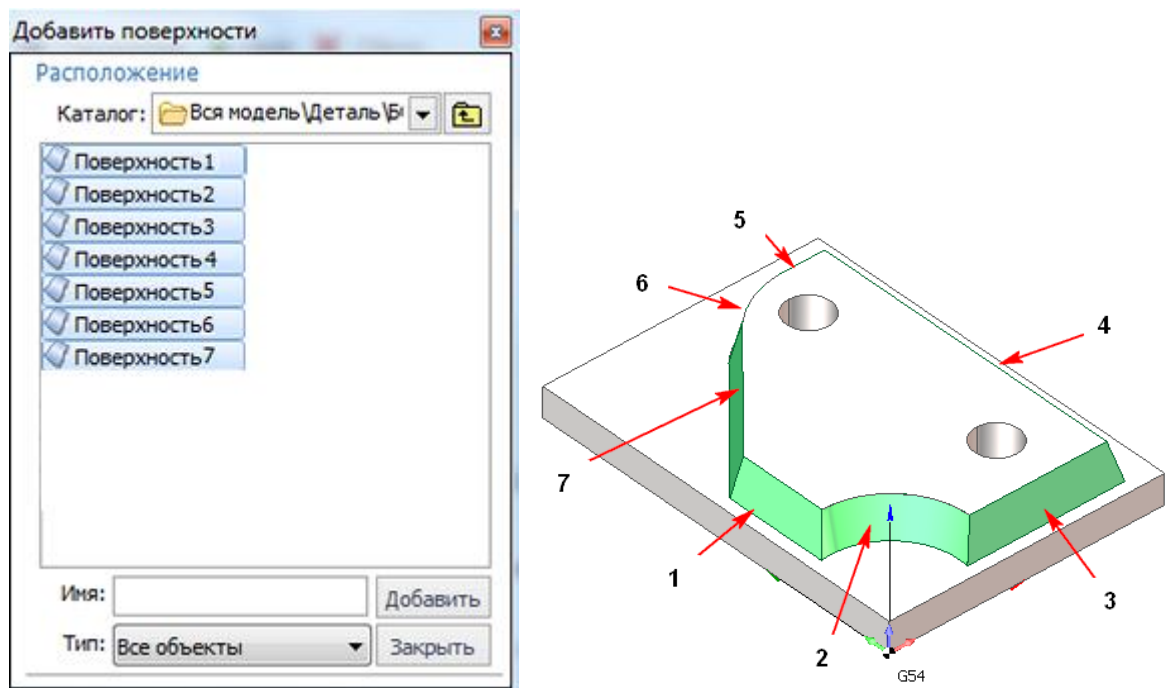


Рисунок 18 – Выбор поверхностей зоны чистовой обработки

3.5 Геометрия заготовки для черновой обработки. В боковой вкладке *Технология*, заходим в меню *Заготовка*, открываем подменю *Примитив* и выбираем пункт *Заготовка предыдущей операции*; в результате получаем заготовку параллелепипед (рисунки 19, 20).

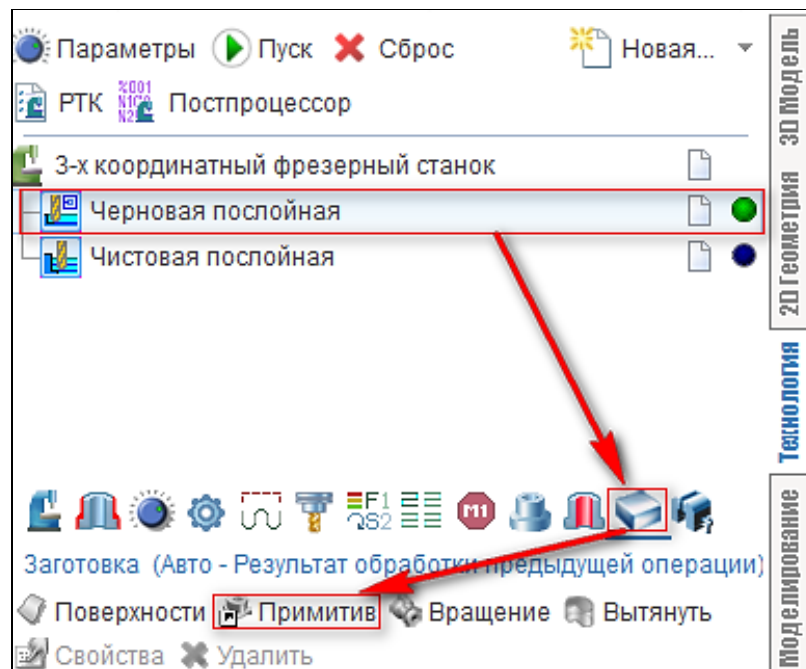


Рисунок 19 – Выбор заготовки для черновой обработки

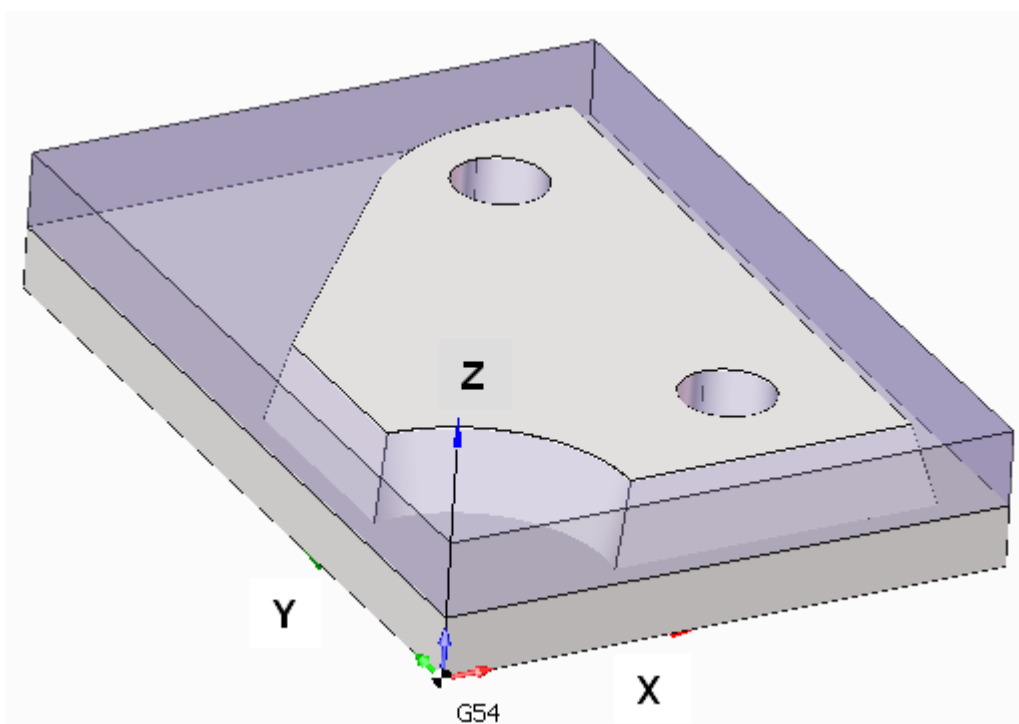
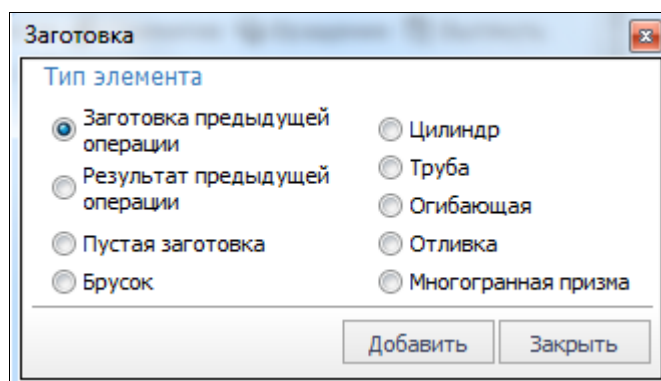


Рисунок 20 – Выбранная геометрия заготовки

3.6 Изменение положения системы координат (СК) заготовки. При проектировании обработки можно заметить, что СК заготовки, т.е. точка начала отсчета обработки (*G54*), изначально находится там же, где была СК 3D-модели (рисунок 21). По этой причине обработка будет начинаться в этой неудобной для наладки станка точке. Переместим СК в точку, с которой нам будет «безопасно» начать обработку. Включаем «Умные привязки» для более выбора нового положения СК заготовки – точки начала отсчета обработки (рисунок 22). Отмечаем курсором название станка. В меню *Настройка* выбираем команду *СК заготовки* (рисунок 23), в появившемся окне выбираем способ задания нового положения СК заготовки «Выбрать (глобальные координаты)» (рисунок 24) и указываем точку начала отсчета обработки над отверстием (рисунки 25, 26).

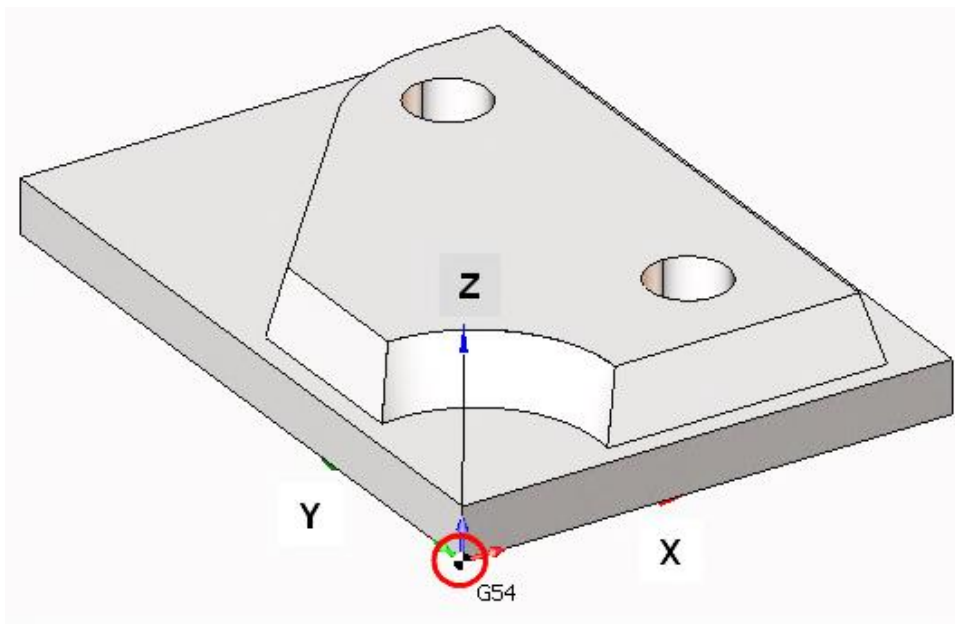


Рисунок 21 – СК заготовки до перемещения

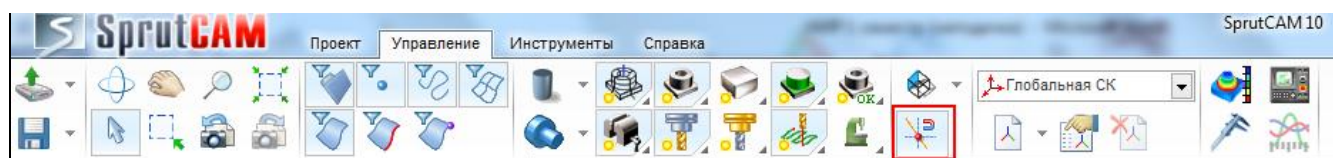


Рисунок 22 – Кнопка *Умные привязки*

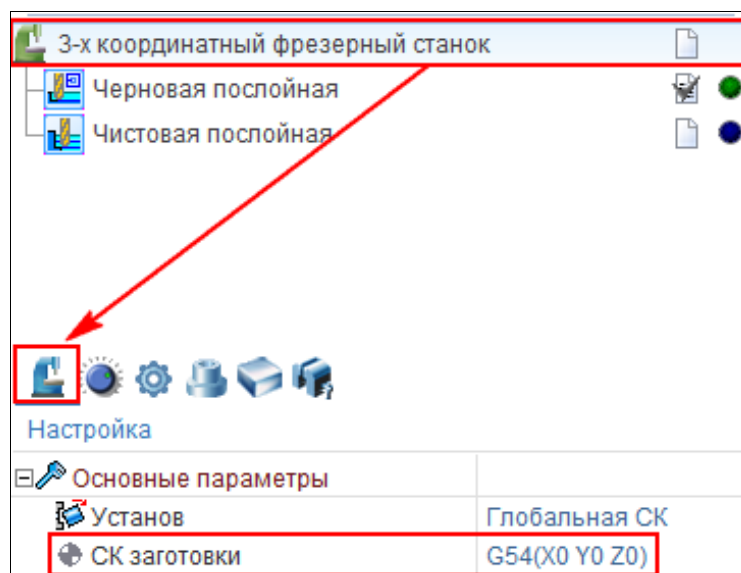


Рисунок 23 – Выбор команды *СК заготовки*

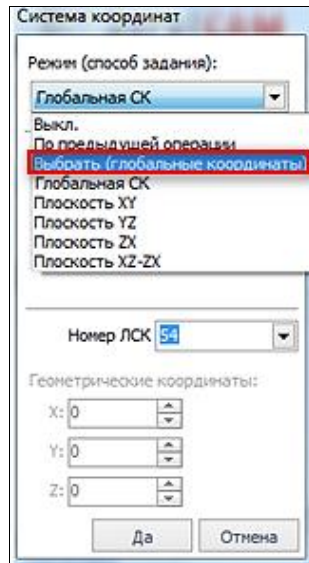


Рисунок 24 – Выбор способа задания нового положения СК заготовки

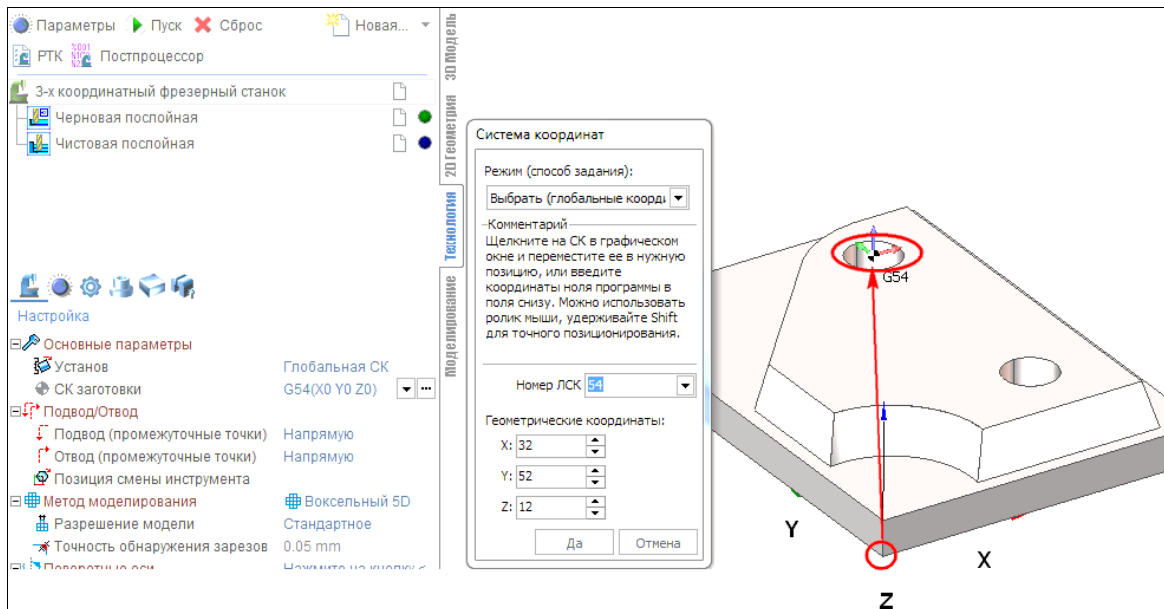


Рисунок 25 – Перемещение СК заготовки

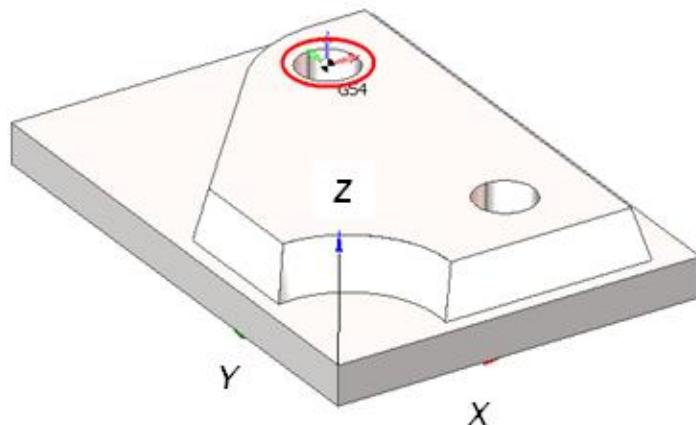


Рисунок 26 – СК заготовки после перемещения

3.7 Параметры движения инструмента. Корректируем черновые и чистовые параметры инструмента, выбираем количество проходов (шаг по Z соответствует толщине слоя материала, снимаемого за один проход) (рисунок 27а); припуск на обработку (слой материала от боковой поверхности детали, который необходимо оставить после черновой операции для дальнейшей чистовой обработки вдоль контура) – в данном случае он равен 0, так как припуск останется на боковой поверхности (рисунок 27б); безопасную высоту, на которую фреза переходит на ускоренной подаче (рисунок 27в); отклонение “в деталь” и “от детали” (это допуск на размер) для черновой и чистовой операции (рисунок 28). Прямоугольником помечено то, что предлагается системой, овалом то, что выбирается нами.

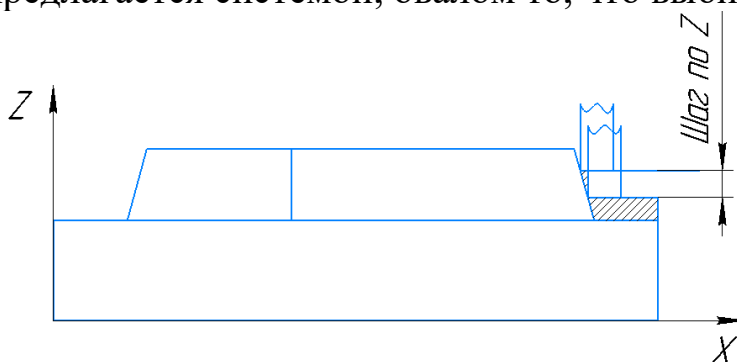


Рисунок 27 а – Количество проходов

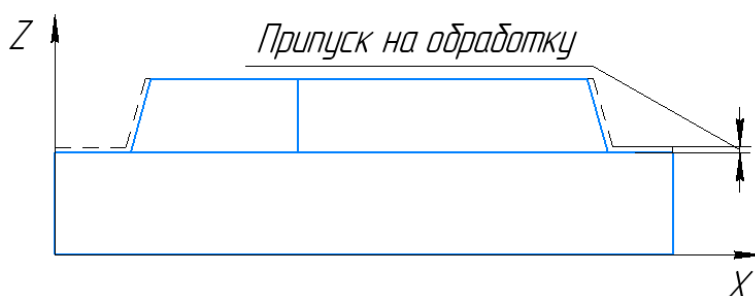


Рисунок 27 б – Припуск на обработку

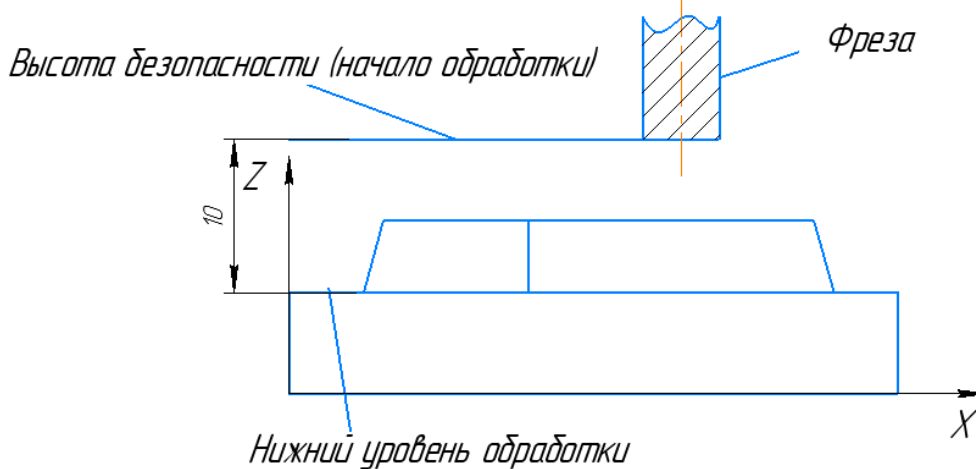


Рисунок 27 в – Безопасная высота



Рисунок 28 – Параметры движения инструмента

3.8 Расчет траектории инструмента. Нажав на команду *Пуск*, рассчитываем траектории перемещения центра фрезы при черновой и чистовой обработке (рисунки 29, 30).

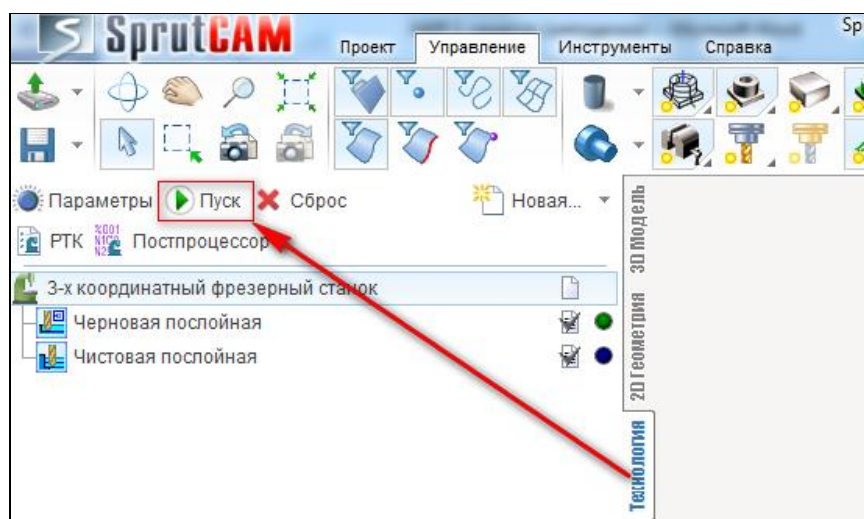
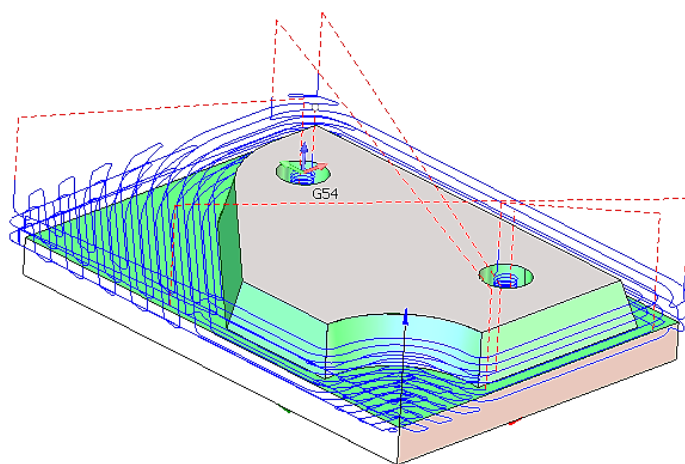
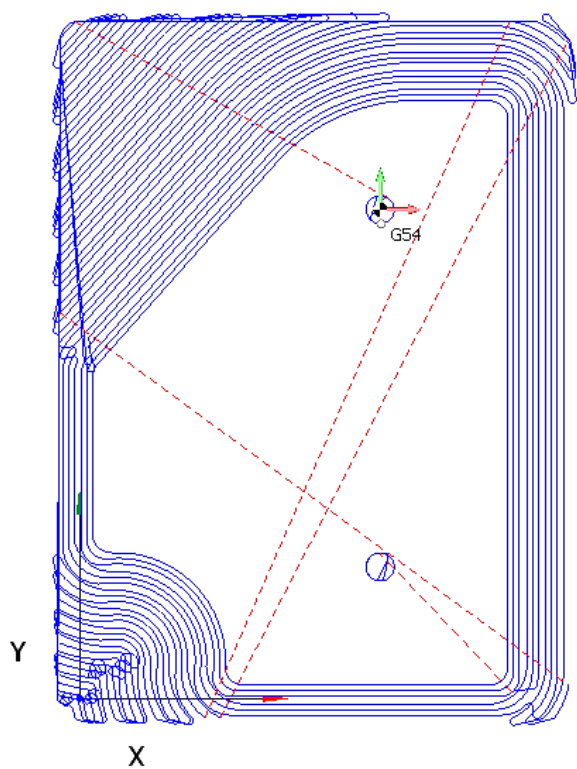
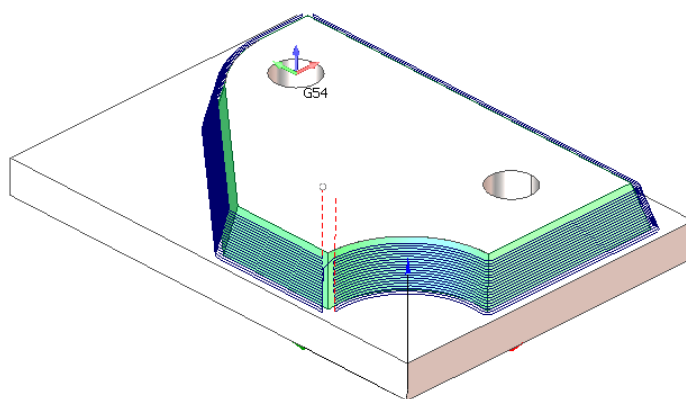
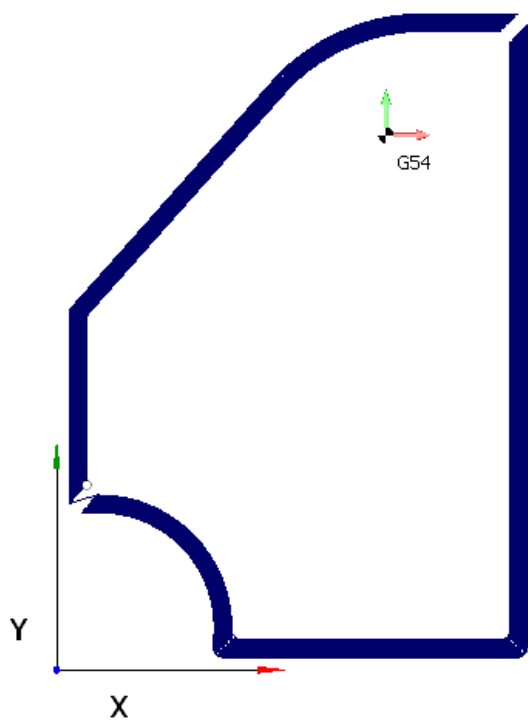


Рисунок 29 – Команда *Пуск*



Черновая обработка



Чистовая обработка

Рисунок 30 – Траектории движения фрезы

3.9 Симуляция этапов обработки. Выполним симуляцию обработки – выберем вкладку *Моделирование*, нажмем кнопку *Старт* и увидим экранную имитацию обработки заготовки по рассчитанной траектории (рисунки 31, 32).

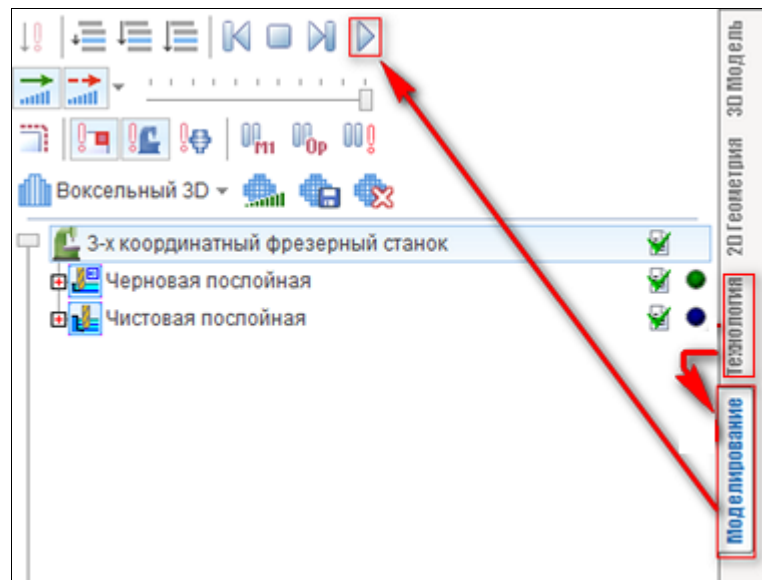


Рисунок 31 – Команда *Старт симуляции*

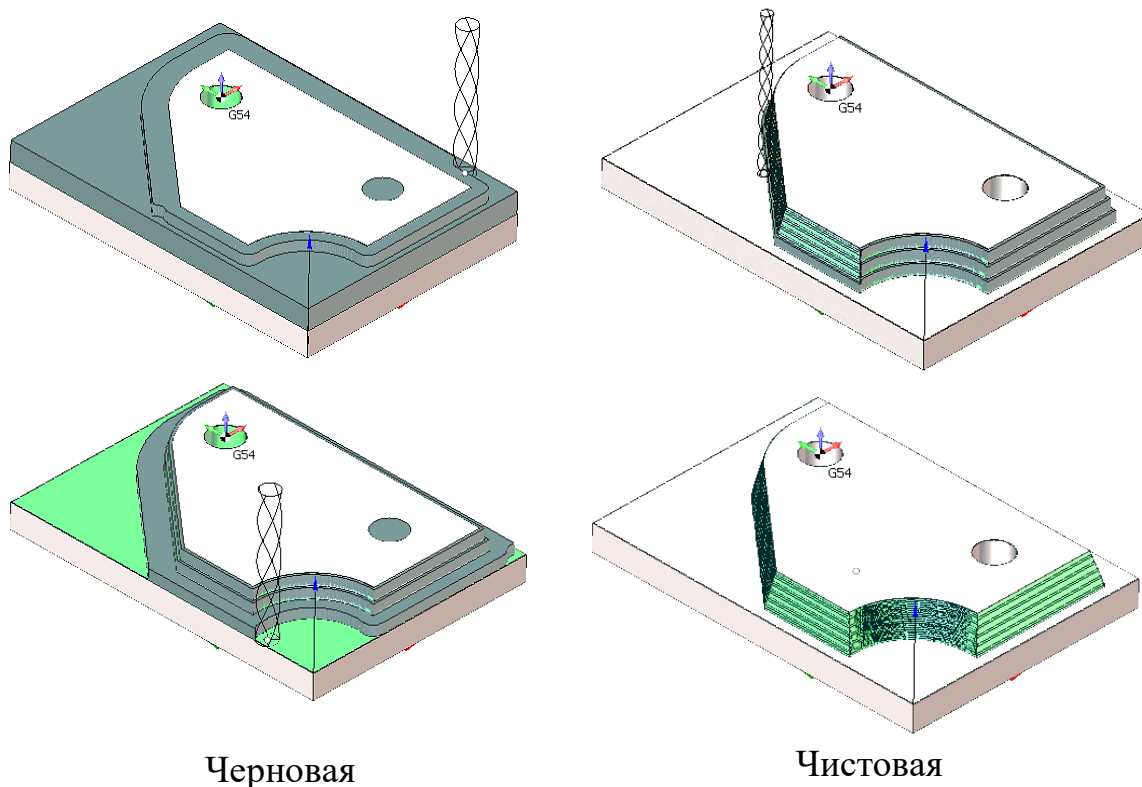


Рисунок 32 – Симуляция этапов обработки

3.10 Создание УП. Воспользуемся кнопкой *Постпроцессор*, выберем систему ЧПУ Mach3, для которой будет спроектирована УП, и получим файл БО-БЫШКА.tap (рисунки 33 – 35).

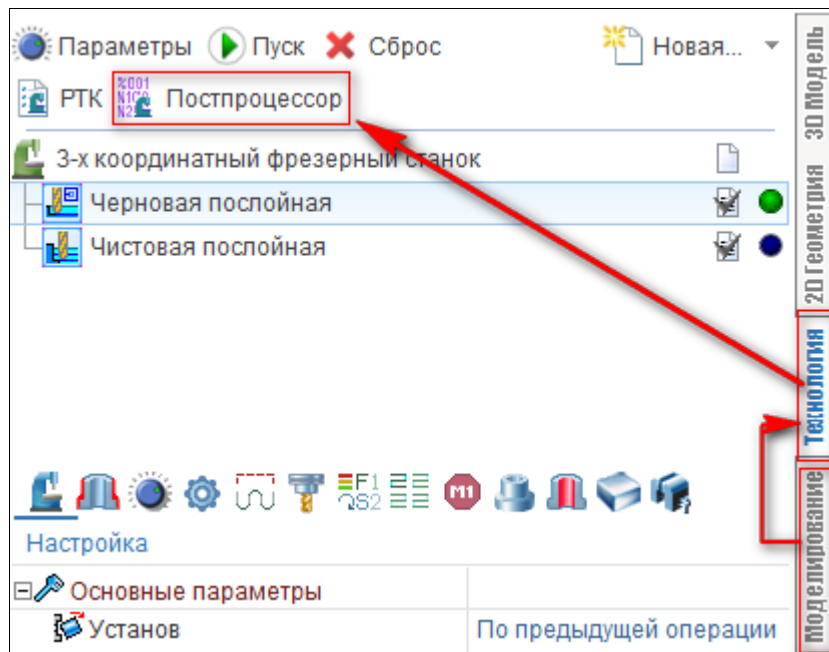


Рисунок 33 – Команда *Постпроцессор*

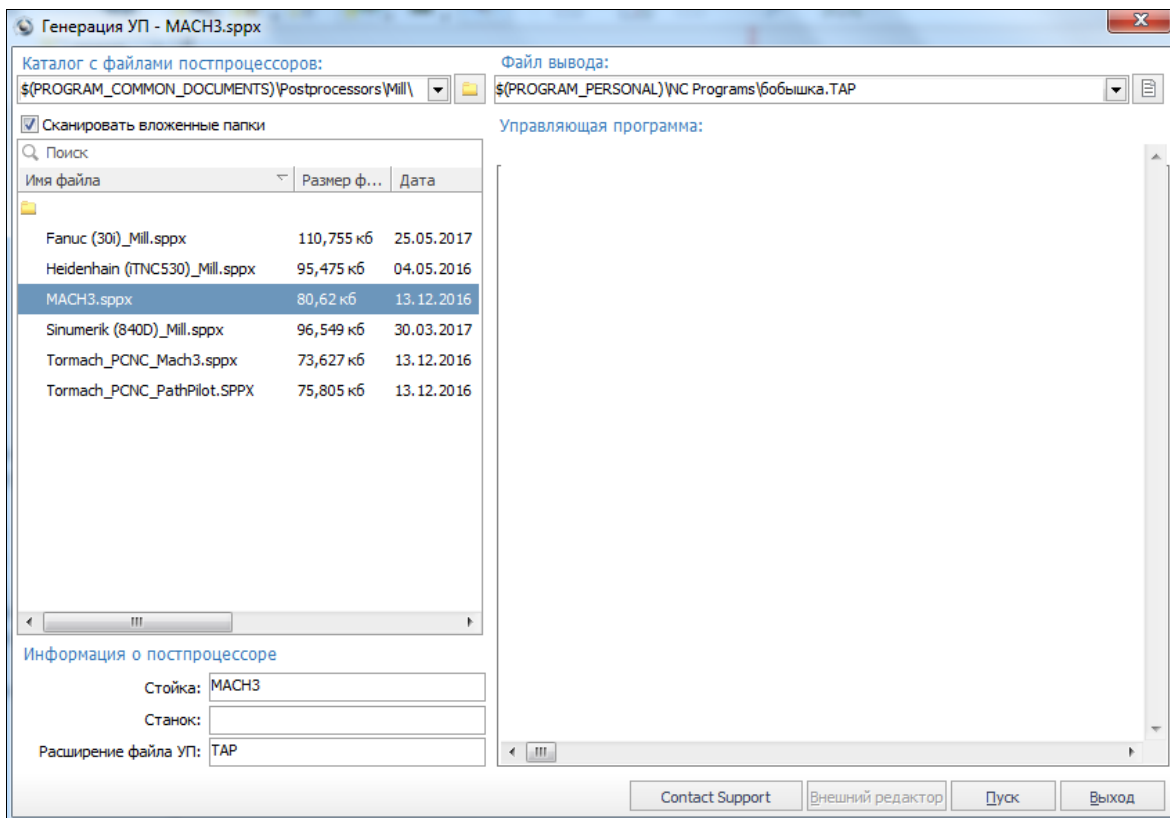


Рисунок 34 – Выбор постпроцессора для СЧПУ Mach3

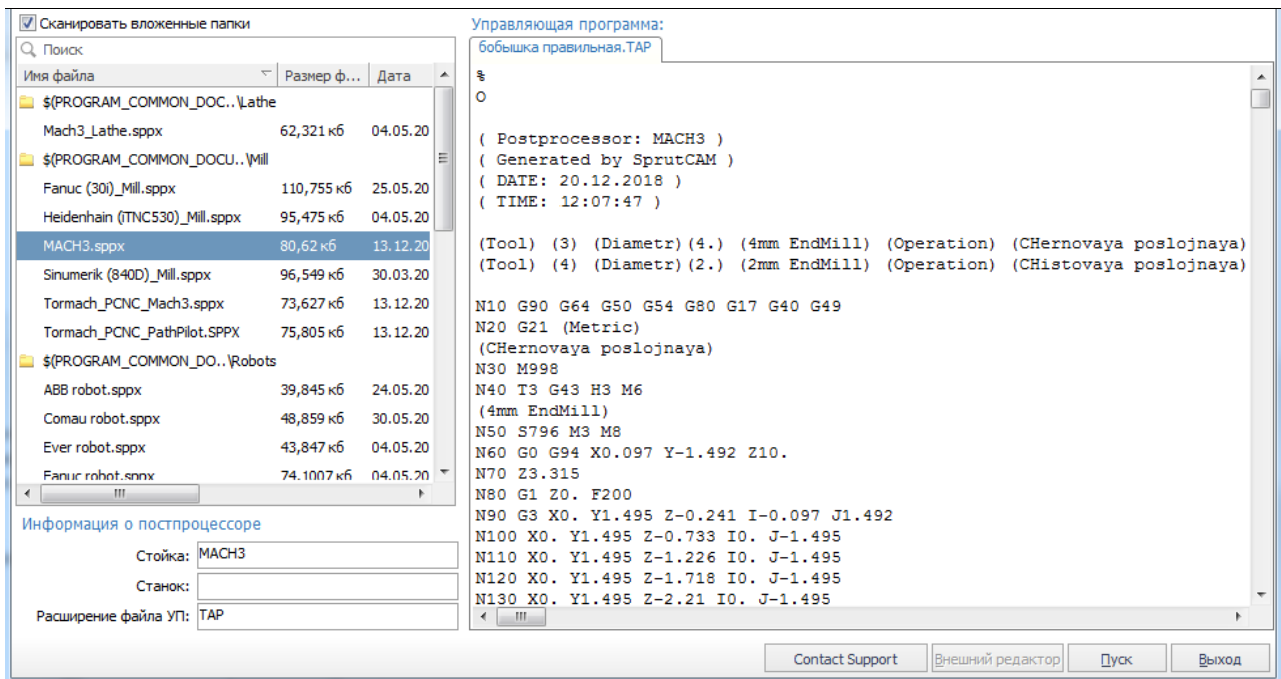


Рисунок 35 – Кадры УП (БОБЫШКА.tap)

3.11 Анализ полученной УП. Рассмотрим сформированную с помощью SprutCAM УП в таблице 1. На рисунках 36 – 42 показано несколько положений фрезы в узловых точках спроектированной траектории. Затем переходим к обработке на станке с ЧПУ.

Таблица 1 – Пояснение кадров УП

Кадр	Расшифровка
№000 O	Номер подпрограммы
№10 G90 G64 G50 G54 G80 G17 G40 G49	Переход на абсолютную СК, переключение режима на постоянную скорость, включение режима масштабирования, переключение на заданную оператором СК, отмена режимов цикла, выбор плоскости XY, отмена компенсации на радиус инструмента, отмена компенсации длины инструмента.
№20 G21	Режим работы в метрической системе
№30 M998	Запуск подпрограммы
№40 T2 G43 H2 M6	Компенсировать длину инструмента положительно, сменить инструмент, номер инструмента
№50 S200 M3 M8	Обороты шпинделя 200, начать вращение шпинделя по часовой стрелке, включить основное охлаждение
№60 G0 G94 X0.097 Y-1.492 Z10.	Установление подачи в мм/мин, ускоренное перемещение по оси X на -0.097, по оси Y на -1.492 и по оси Z на 10
№70 Z3.315	Перемещение по оси Z на 3.315

№80 G1 Z0. F200	Линейная интерполяция – перемещение по Z на 0 , подача 200 мм/об
№ 830 G1 X-34.054 Y-5.859	Линейная интерполяция, перемещение по оси X-34.054 и по оси Y-5.859
№ 850 G1 X-34.333 Y-51.273	Линейная интерполяция, перемещение по оси X-34.333 и по оси Y-51.273
№ 1380 G3 X-28.401 Y-42.498 Z-2.21 I-5.433 J-0.004	Круговая интерполяция против часовой стрелки по осям X-28.401, Y-42.498, Z-2.21, радиусом I-5.433
№ 1670 G1 X19.579 Y-48.992	Линейная интерполяция, перемещение по оси X19.579 и по оси Y-48.992
№8590 G1 Y-48.177	Линейная интерполяция перемещение по оси Y на -48,177
№ 9980 G3 X-29.265 Y-36.396 Z-5.304 I-11.488 J1.429	Круговая интерполяция против часовой стрелки по осям X-29.265, Y-36.396, Z-5.304, радиусом I-11.488
№12530 M5 M9	Остановка вращения шпинделя, выключение охлаждения
№12540 M998	Запуск подпрограммы
№12550 M30	Конец программы

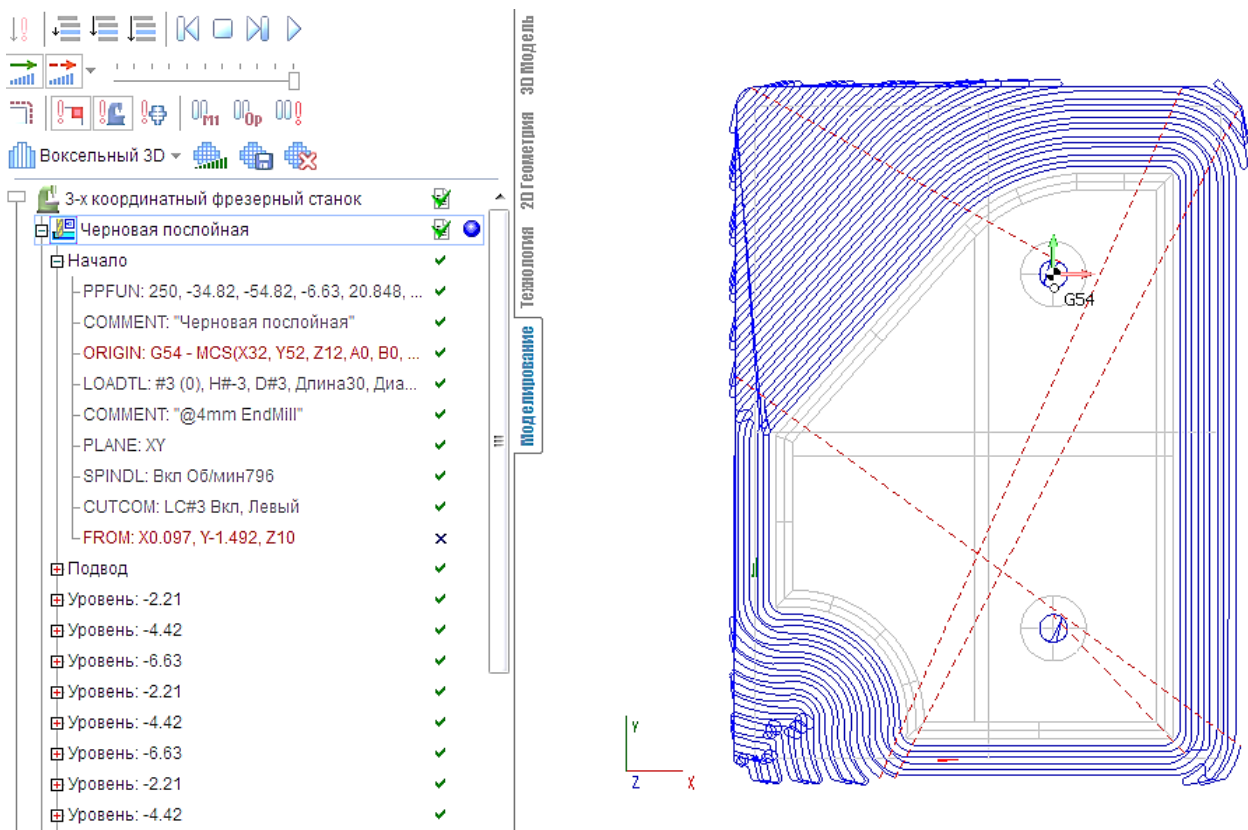


Рисунок 36 – Окно симуляции

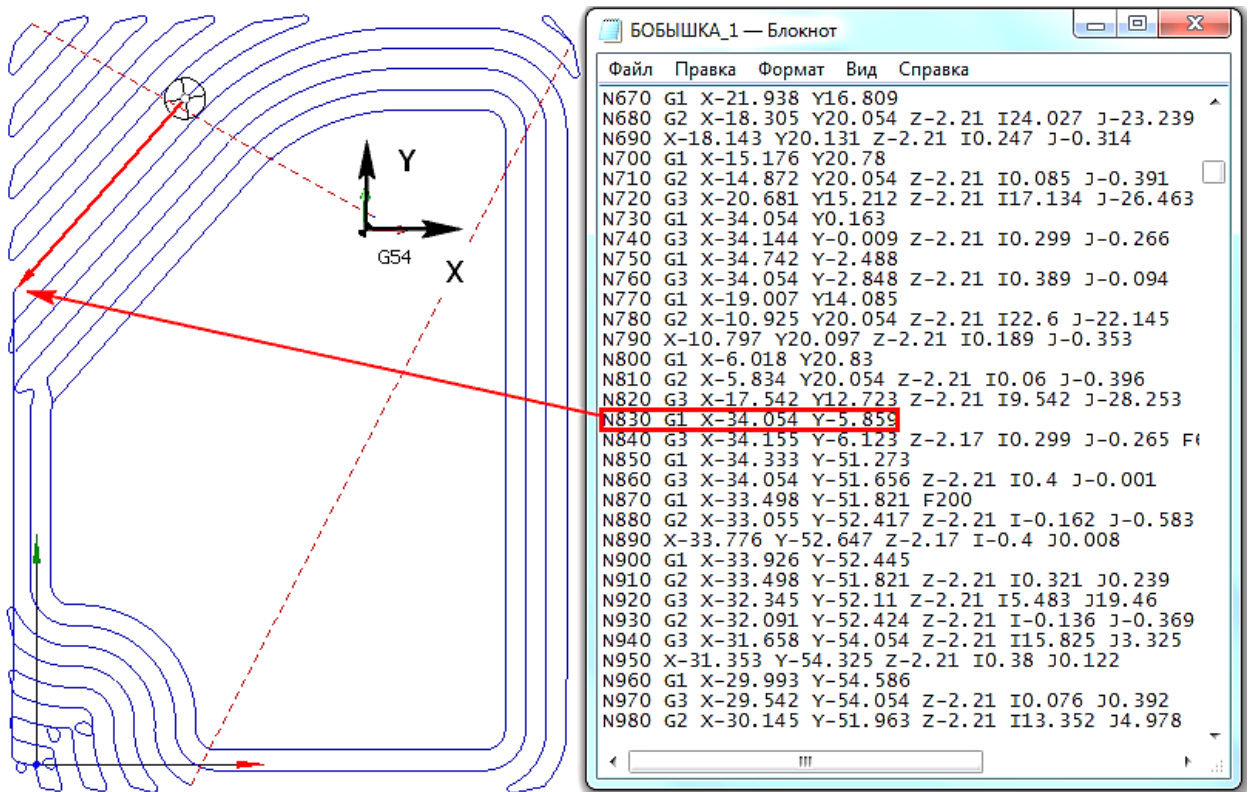


Рисунок 37 – Кадр №830

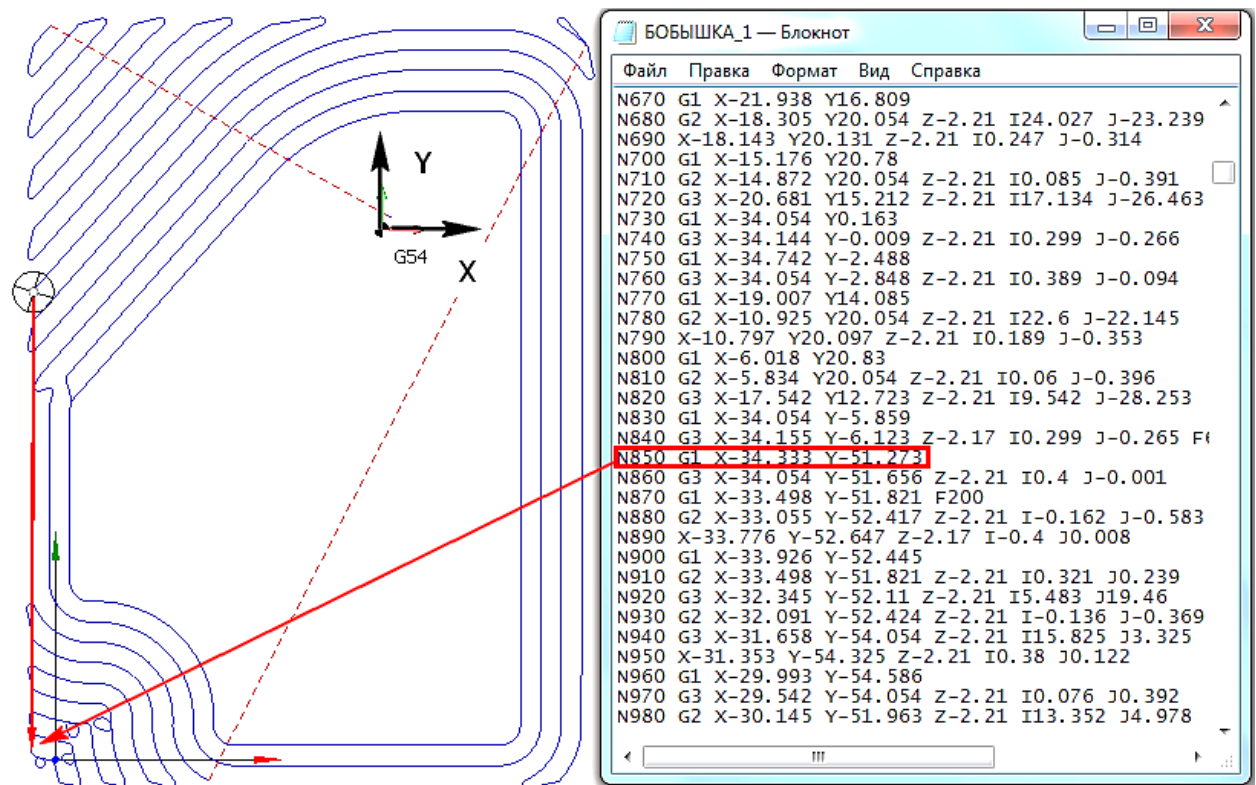


Рисунок 38 – Кадр №850

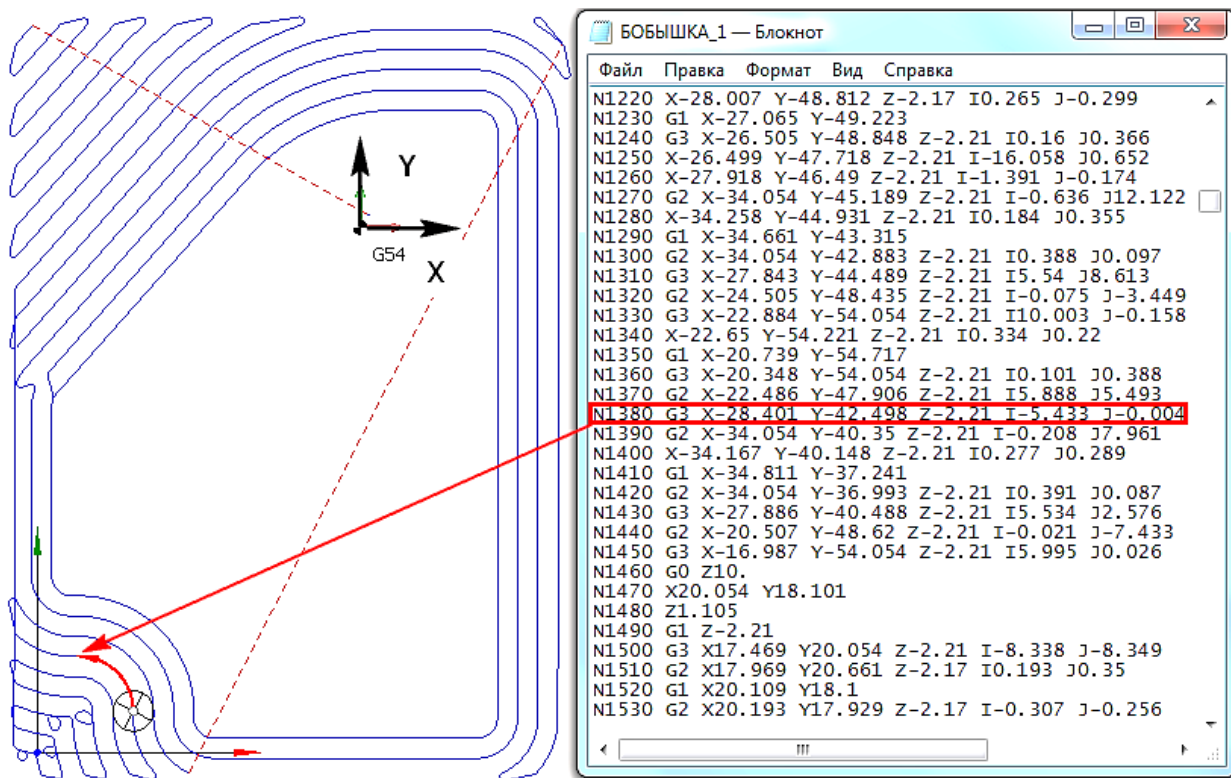


Рисунок 39 – Кадр №1380

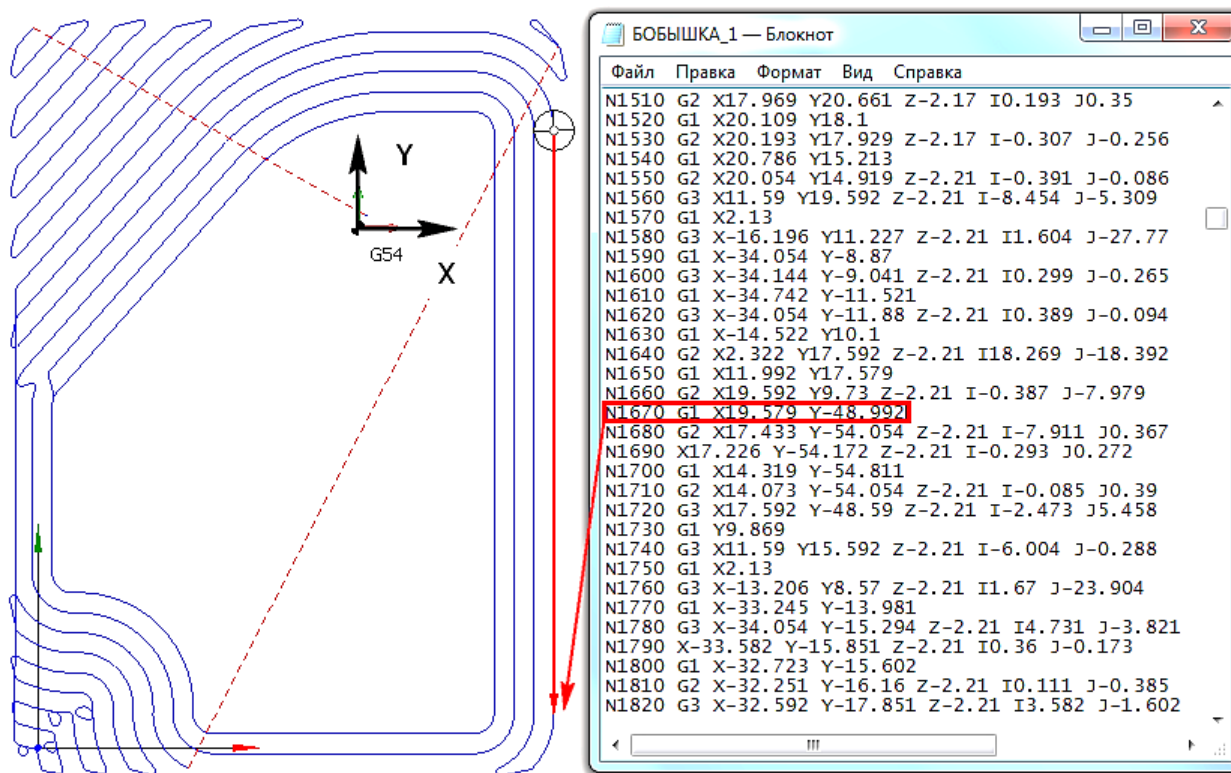


Рисунок 40 – Кадр №1670

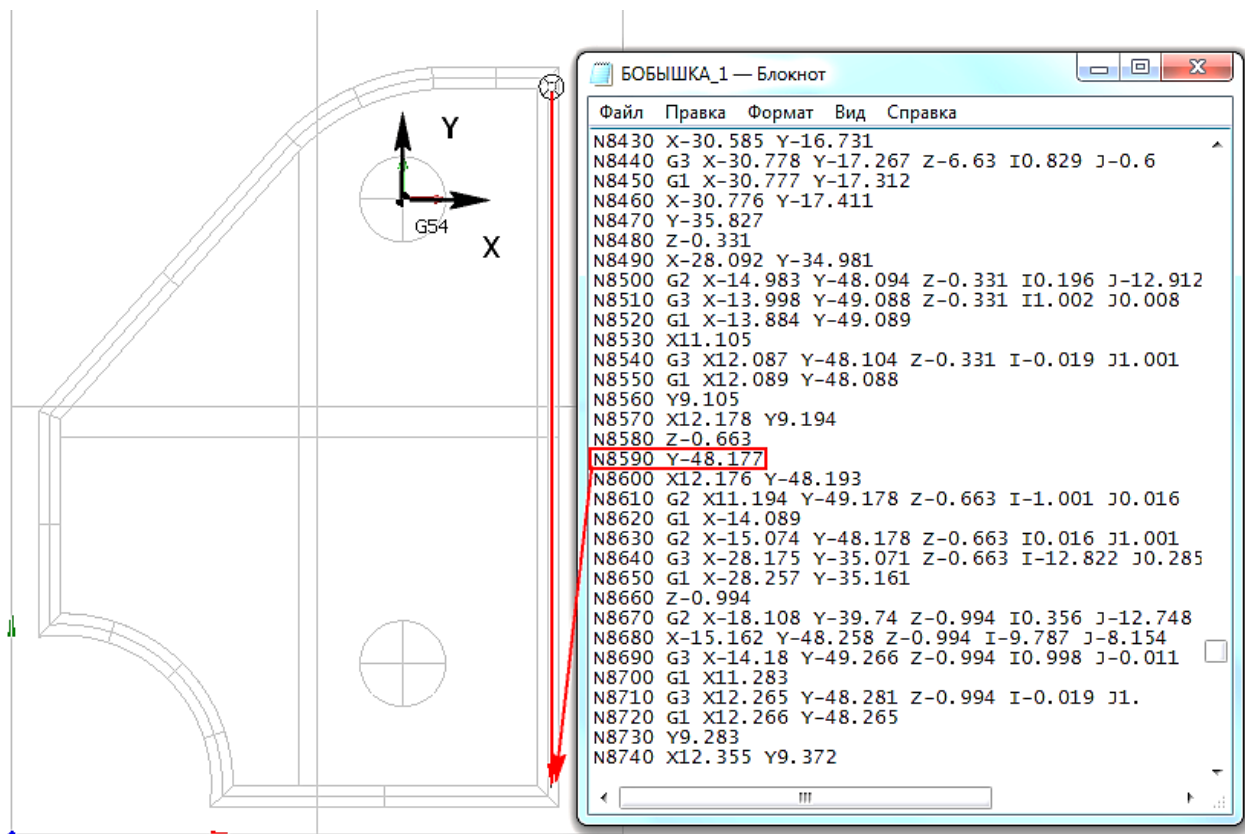


Рисунок 41 – Кадр №8590

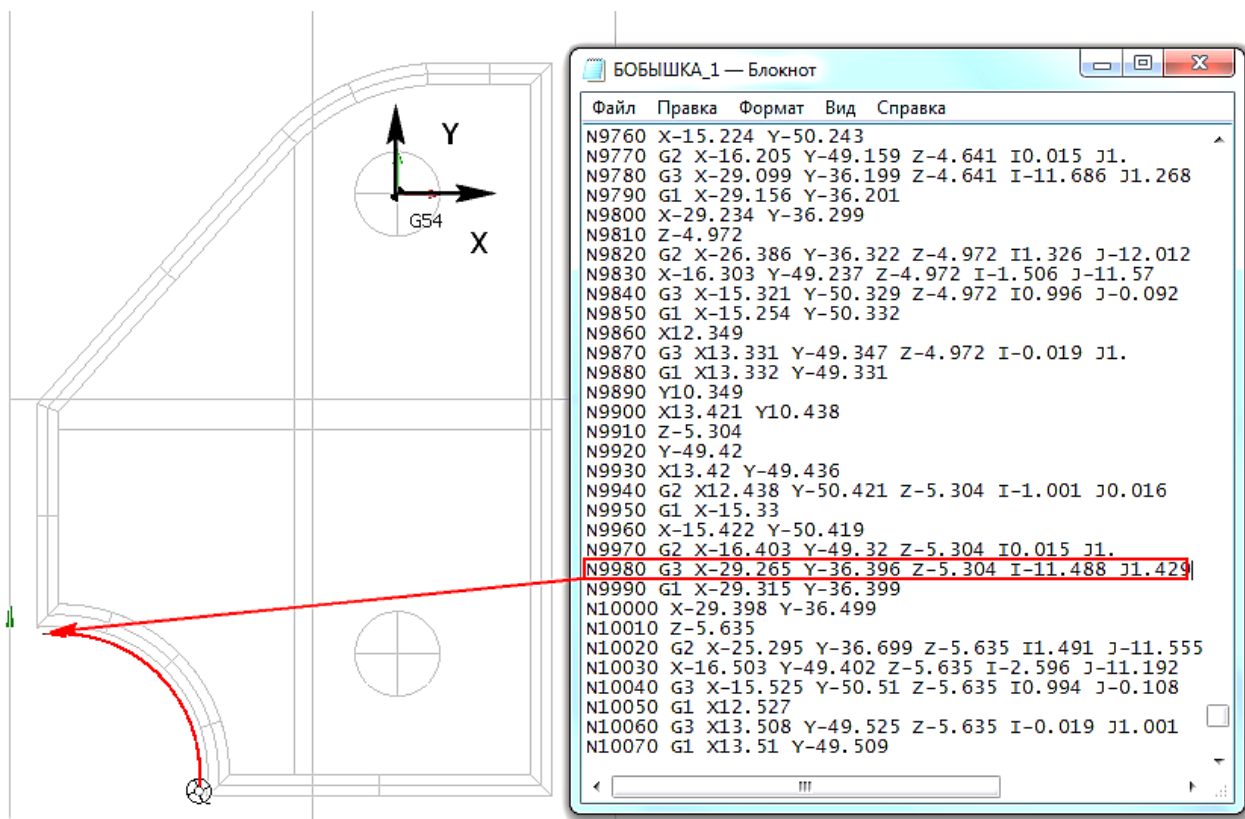
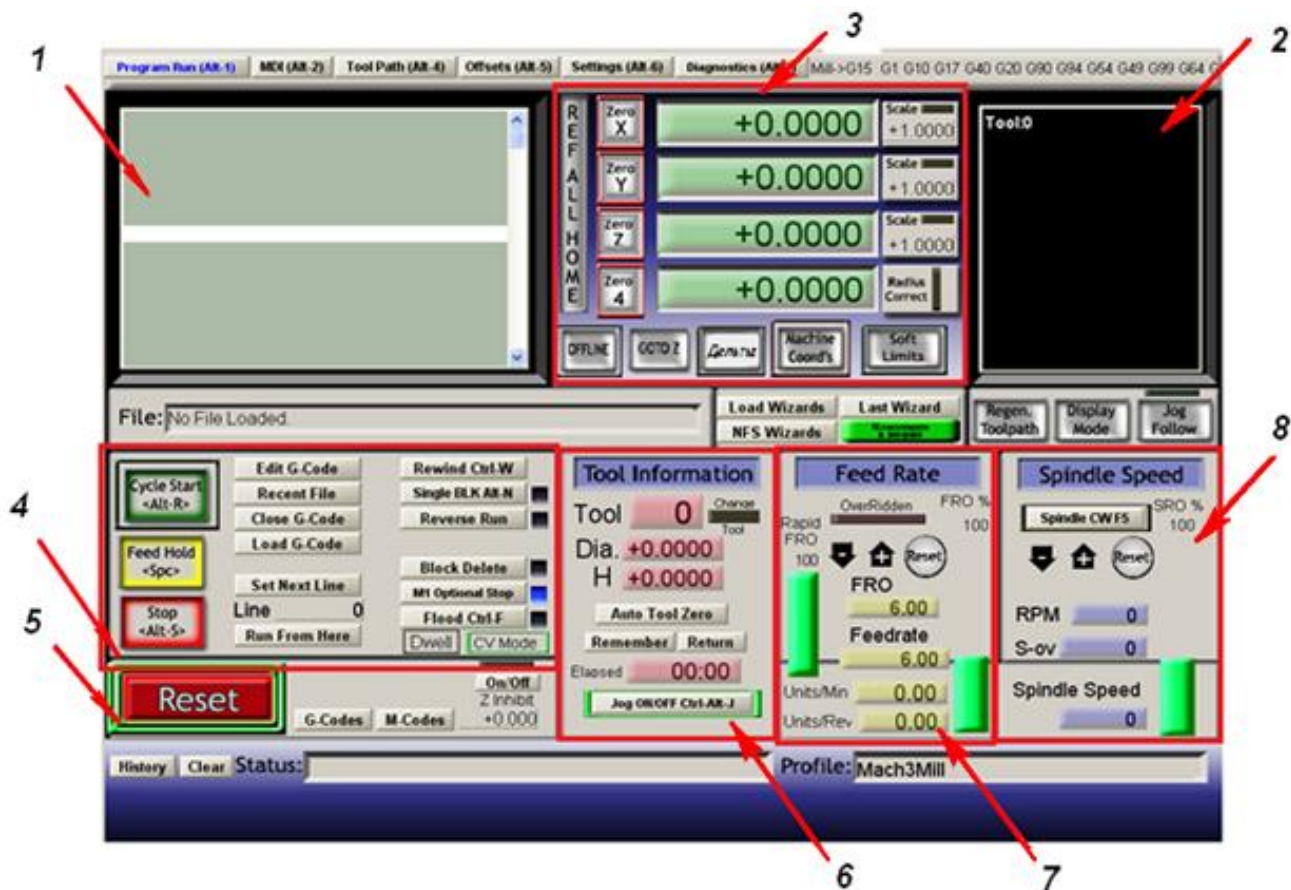


Рисунок 42 – Кадр №9980

4 ОБЗОР СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ СТАНКОМ С ЧПУ

Mach3 – система [1], запускаемая на ПК для управления фрезерными, токарными станками с ЧПУ. Интерфейс Mach3, который нам понадобится для наладки и запуска УП обработки заготовки, показан на рисунке 43 [6].

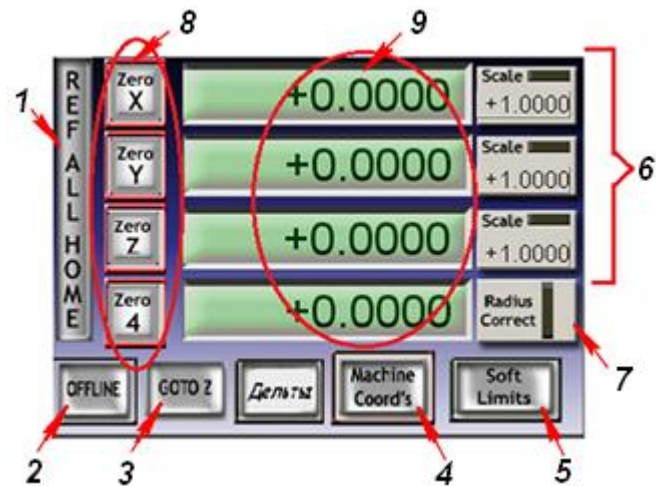


1 - Экран, отображающий кадры УП; 2 – Экран отображения траектории обработки; 3 - Элементы управления осями; 4 - Панель управления УП; 5 - Сброс; 6 - Панель управления инструментом; 7 - Панель управления подачей инструмента; 8 - Панель управления скоростью шпинделя.

Рисунок 43 – Пульт управления Mach3

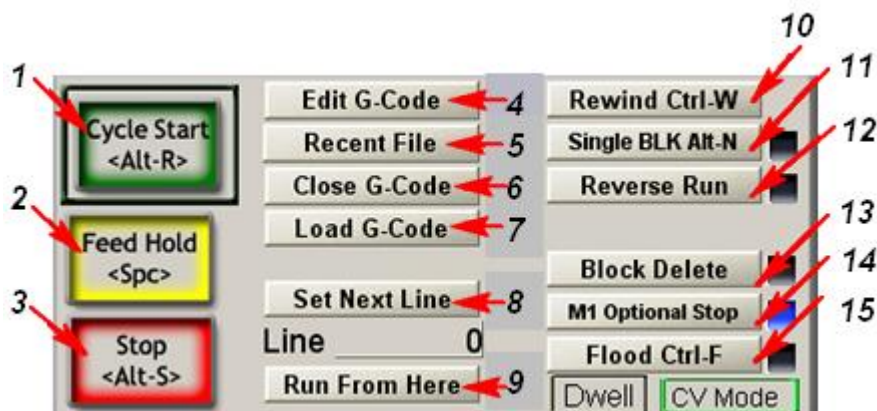
Более детально отдельные зоны интерфейса программы показаны на рисунках 44 – 49.

Рассмотрим режим ручного ввода данных (рисунок 46) [6].



1 - Referenced (принятие баз); 2 - Offline (автономный) - автономная работа с программой без связи со станком; 3 - Goto Z (перемещение в нулевую точку) - при нажатии этой кнопки, инструмент перемещается в ноль по всем осям; 4 - Machine Coordinates (координаты станка) - отображает в цифровой индикации координаты станка, то есть абсолютные координаты; 5 - Soft Limits (программные ограничения) - при нажатии данной клавиши активируются значения программных ограничений, которые указываются в меню Config> Homing/Limits; 6 - Scale (масштаб) - коэффициент масштабирования для всех осей; 7 - Radius Correction (коррекция радиуса) - данная клавиша используется, когда осуществляется вычисление смешанной скорости подачи по всем осям, включая ротационные. Светодиод сообщает, что введено значение, отличное от нуля; 8 - Zero X, Zero Y, Zero Z, Zero 4 - зануление координат по осям X, Y, Z и 4-ой координате; 9 - Отображение координат инструмента.

Рисунок 44 – Секция управления осями



1 - Cycle Start (начало цикла) - при нажатии клавиши начинается выполнение программы; 2 - Feed Hold (приостановка подачи) – нажатие клавиши, приостанавливает выполнение программы. Остановка УП выполнится так, чтобы можно было запустить клавишей Cycle Start с момента останова; 3 - Stop (остановка программы) - быстрая остановка режущего инструмента. Это может привести к потере шагов и перезапуск будет некорректным; 4 - Edit G-code (редактирование УП) - изменение загруженной УП в интерактивном режиме; 5 - Recent File (последний файл) – при нажатии клавиши, открывается последний загруженный файл; 6 - Close G-code (закрыть УП) - закрытие УП; 7 - Load G-Code (загрузить УП) - при нажатии клавиши, открывается проводник, в

котором прописываем путь, где сохранена УП; 8 - Set Next Line (установить следующий кадр) - холостой запуск УП для установки состояния, к месту, который установил пользователь, но без предварительного задания режима или движения; 9 - Run From Here(запуск с того места) - холостой запуск УП для установки состояния, к месту, который установил пользователь; 10 - Rewind (перемотка) - перемотка загруженной в данный момент УП; 11 - Single BLK (отдельный кадр) - в данном режиме, при нажатии Cycle Start, выполняется один следующий кадр УП, затем переходит в режим Feed Hold 12 - Reverse Run (обратный запуск) - при нажатии Cycle Start, в данном режиме, заставит программу запускаться в обратном порядке; 13 - Block Delete (отмена кадра) - в данном режиме, кадры начинающиеся со слэша "/" - не будут выполняться; 14 - M1 Optional Stop (M1 опционная остановка) - при включенном режиме, при поступлении команд M01, M00 работа будет остановлена; 15 - Flood (охлаждение) - включение охлаждения.

Рисунок 45 – Панель управления выполнением УП

Режим MDI (Manual Data Input) (рисунок 46) предназначен для ручного ввода G-кода. В данном окне расположены органы управления осями и цифровая индикация координат, а также экран, на котором отображаются траектории перемещения инструмента в пространстве, экраны отображения информации и управления инструментом, подачей, шпинделем, поле *Input* ручного ввода данных [6].

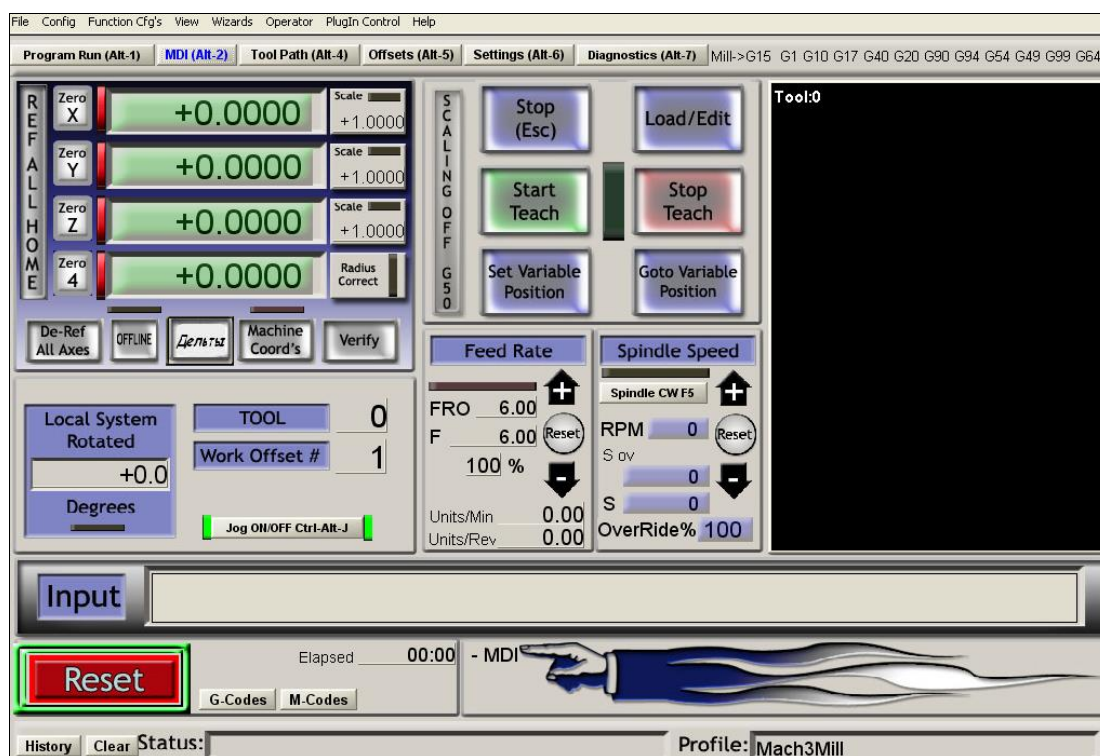


Рисунок 46 – Вкладка с окном Ручного ввода данных MDI

Также Mach3 имеет вкладки OFFSETS (рисунок 47) (Привязка инструмента); здесь можно назначить инструмент и коррекцию на инструмент [6].

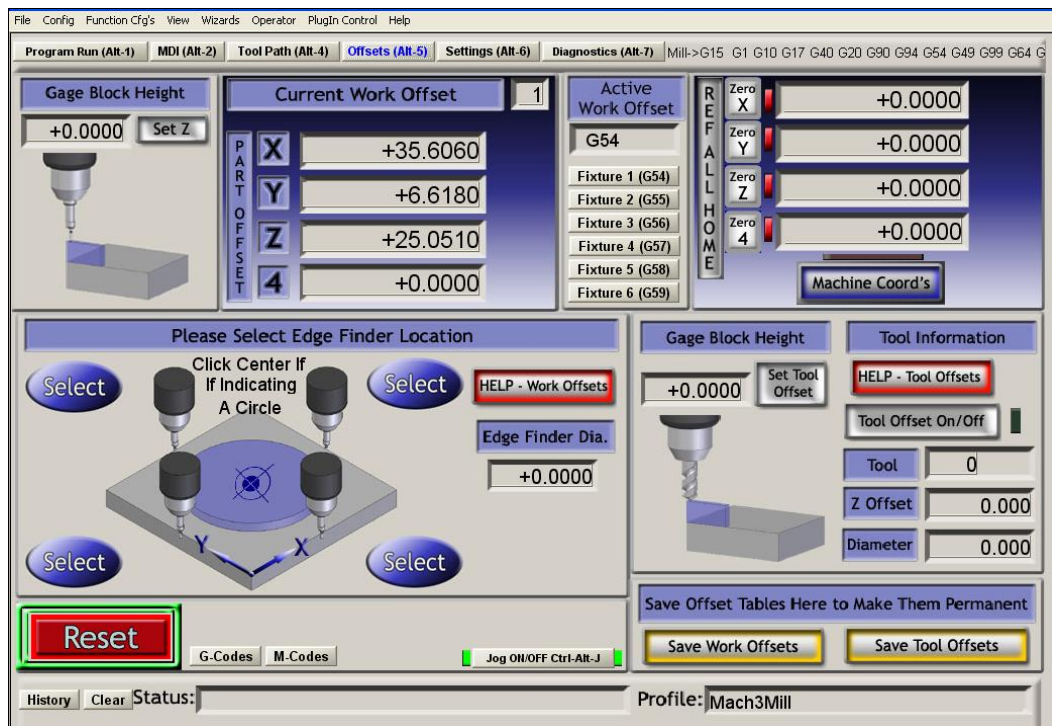
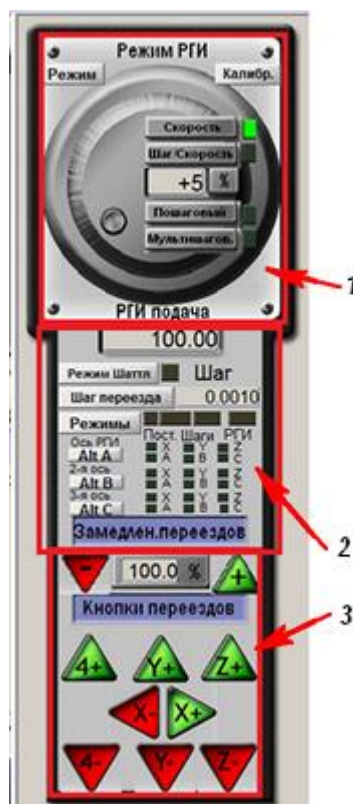


Рисунок 47 – Привязка инструмента *OFFSETS*

Управление перемещениями инструмента осуществляется при помощи специального всплывающего окна (рисунок 48). Оно вызывается и убирается с экрана посредством клавиши *Tab* на клавиатуре.



1 - Режимы переходов; 2 - Режимы переездов; 3 - Управление перемещением по осям

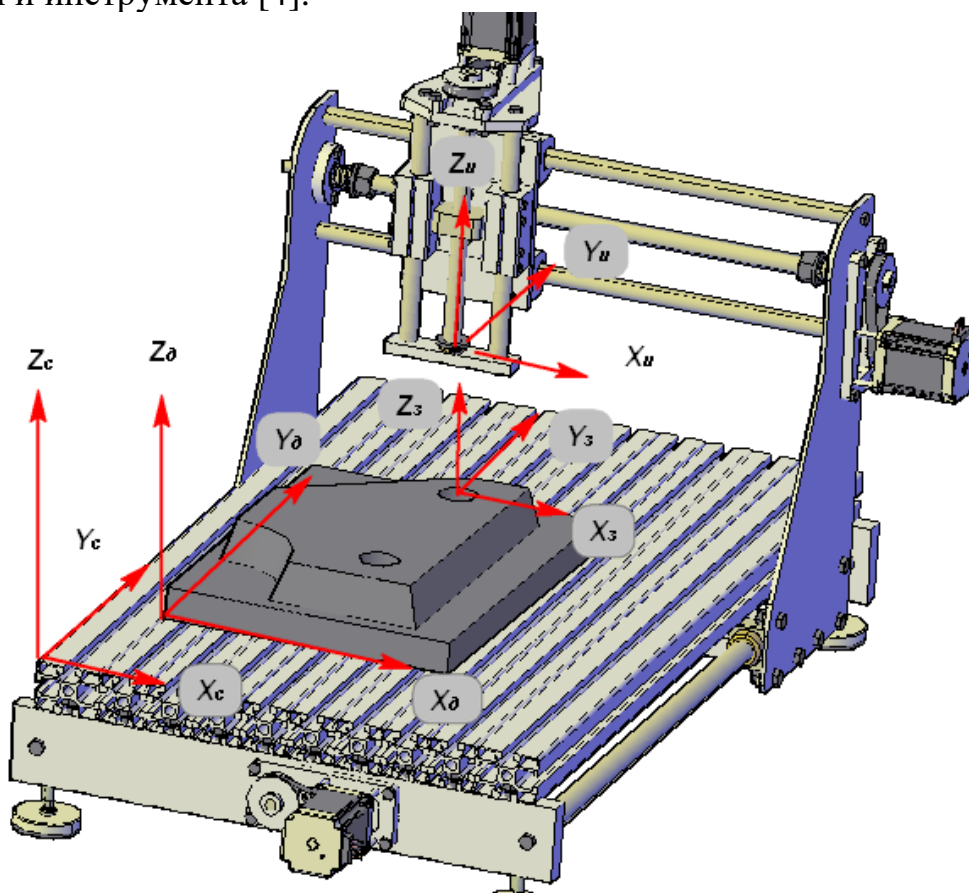
Рисунок 48 – Пульт оператора

5 НАЛАДКА СТАНКА

Наладка включает комплекс действий по подготовке станка к обработке заготовки [6].

5.1 Размещение и закрепление детали на столе станка. Сначала разместим заготовку на столе станка с учетом удобства ее закрепления и извлечения после обработки. Далее назначим нулевую точку на станке, положение которой, с одной стороны, задано началом системы координат детали в САД или САМ-системе, а с другой – определяется с учетом размещения заготовки. Рассмотрим подробнее выбор нулевой точки с учетом систем координат станка и заготовки.

На рисунке 49 показано положение осей систем координат стола станка с ЧПУ, детали и инструмента [4].



СКс – система координат станка; СКд – система координат детали;
СКз – система координат заготовки; СКи – система координат инструмента

Рисунок 49 – Системы координат при обработке

Все перемещения шпинделя станка отсчитываются от нуля станка, находящегося в левом нижнем углу стола станка.

При использовании подготовленной нами УП нуль заготовки придется переместить в точку, которая будет представлять начало отсчета обработки САМ-системы, в которой моделировалась обработка (G54). Заготовка может быть закреплена в любом месте стола. Соответственно, положение “нуль” (точка начала

отсчета обработки), от которого будет перемещаться инструмент по УП, может меняться вместе с положением заготовки. До обнуления по оси X, Y и Z положение фрезы находится в любой точке СК станка.

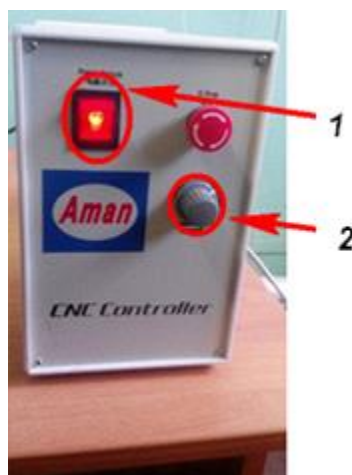
При выполнении лабораторной работы, разместим заготовку произвольно на столе. Надежно закрепим ее прихватами, используя Т-образные пазы стола станка [6].

5.2 Включение источника стабилизированного питания (рисунок 50), а затем ПК, подключённого к этому источнику.



Рисунок 50 – Блок стабилизированного питания

5.3 Включение контроллера CNC (рисунок 51).



1 - Кнопка вкл/выкл CNC контроллера; 2 - Реостат

Рисунок 51 – CNC контроллер

5.4 Запуск системы управления Mach3, для чего нажимаем первую на экране иконку, где написано *Mach3 Loader*, далее выбираем строчку в появившемся окне *AMAN CNC AC820* (рисунок 52). После этого на CNC контроллере

поворачиваем кнопку аварийной остановки направо (рисунок 53), тем самым выключаем блокировку. Затем курсором нажимаем экранную кнопку *Reset* для того, чтобы снять блокировку станка (рисунок 54).

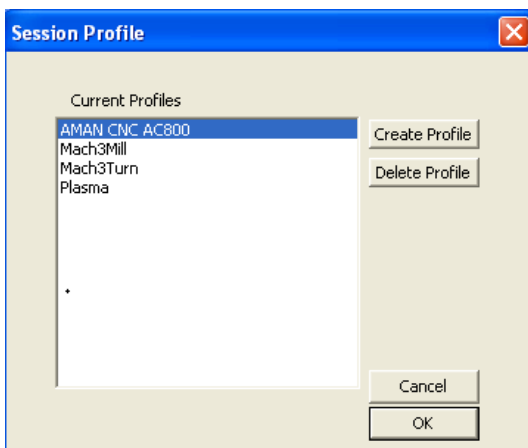


Рисунок 52 – Запуск Mach3



Рисунок 53 – Снятие с блокировки

5.5 Загрузка файла УП и выбор частоты вращения шпинделя. Для загрузки файла УП, нажимаем на кнопку *Load G-code* (рисунок 54), выбираем файл и подтверждаем кнопкой *Открыть* (рисунок 55). Нажатием кнопки *Spindle SWF* (см. рисунок 56) запускаем шпиндель и поворотом реостата вправо устанавливаем на CNC контроллере приемлемую (по указанию преподавателя) частоту вращения шпинделя.

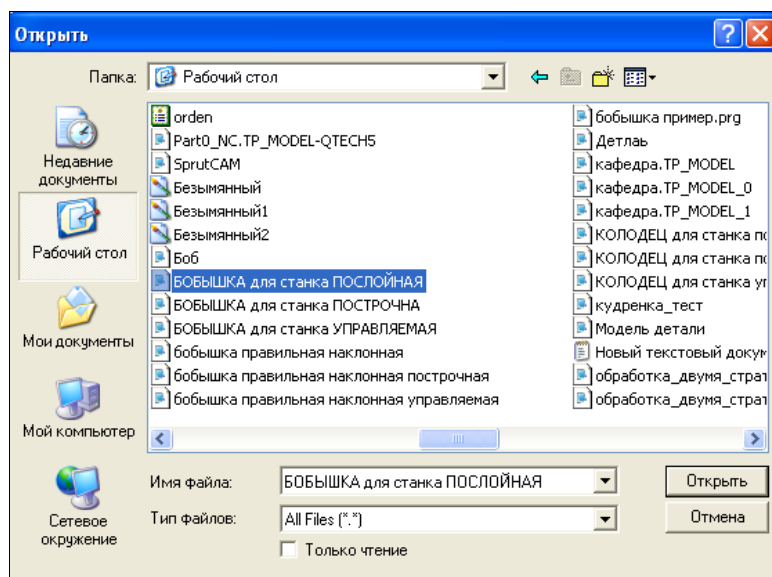
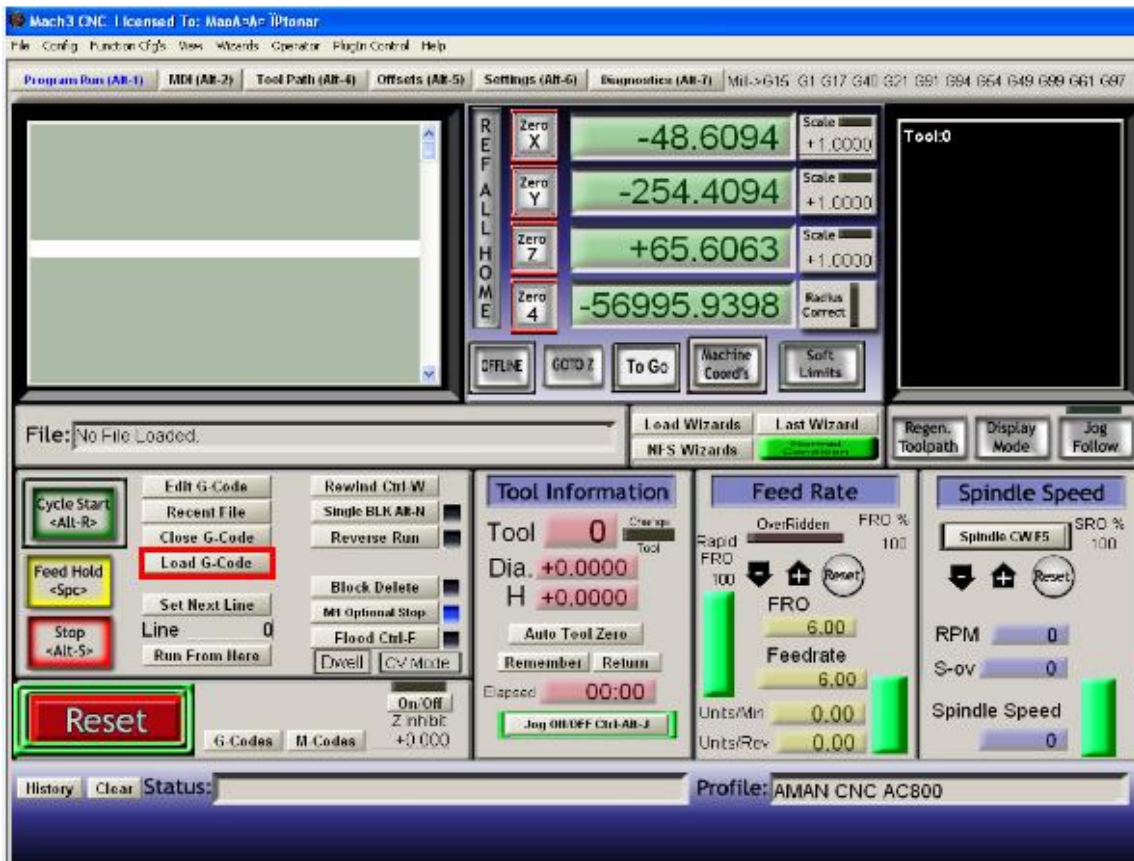


Рисунок 54 – Загрузка УП

отверстием. Нажатием кнопок *Ноль X* и *Ноль Y*, *Ноль Z* обнуляем поле координат X, Y и Z (рисунки 57 – 59).

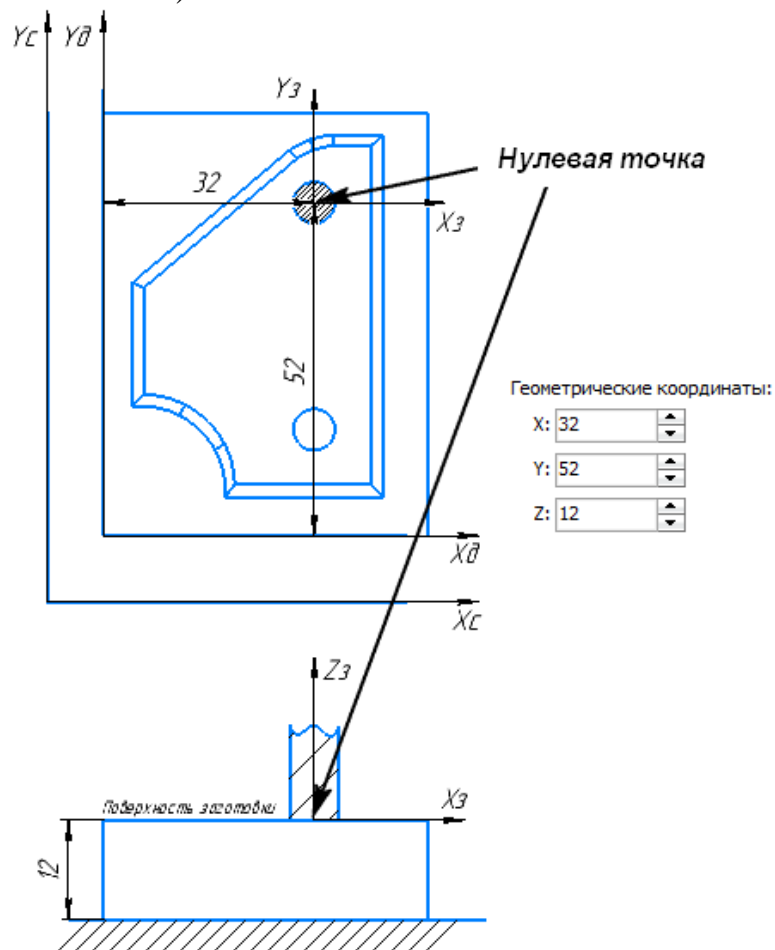


Рисунок 57 – Нулевая точка на видах сверху и сбоку

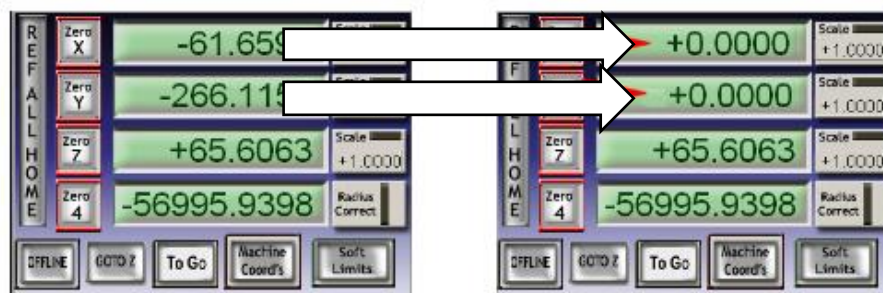


Рисунок 58 – Обнуление по осям X и Y

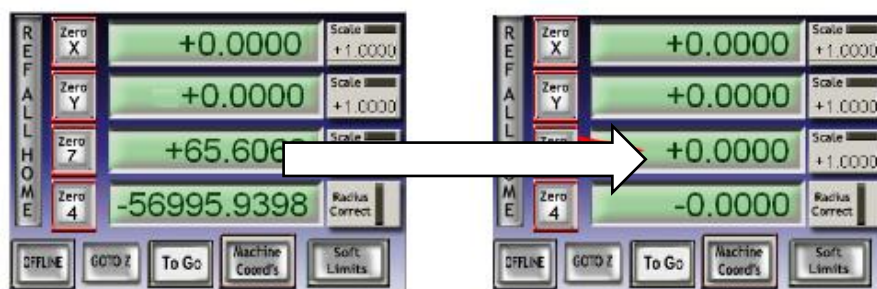


Рисунок 59 – Обнуление по оси Z

Сопоставление отображения движения оси фрезы на экране Mach3 и в системе SprutCAM дано на рисунке 62. Показано также расположение текущего кадра УП и координат узловой точки траектории (рисунок 63).

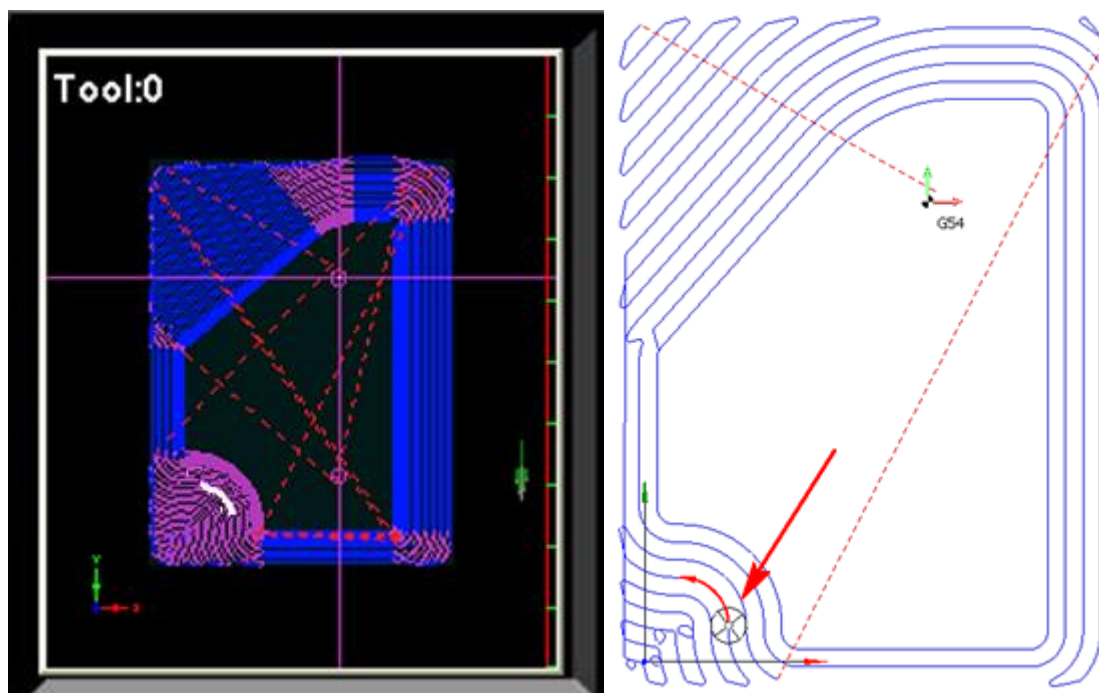


Рисунок 62 – Движение фрезы

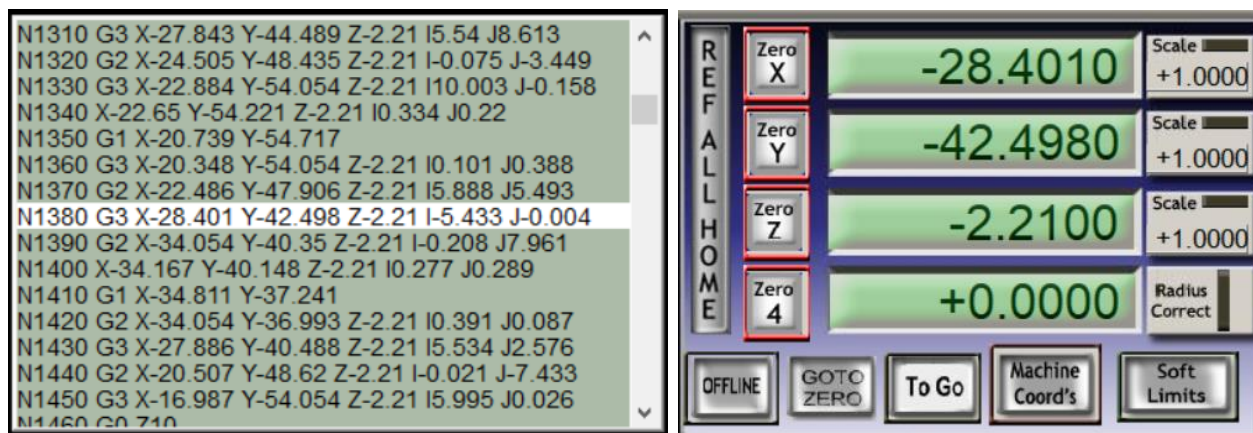


Рисунок 63 – Кадр 1380 и текущие координаты центра фрезы

6.2 Фото обработки на станке. Показаны промежуточный и конечный этапы обработки на кафедральном станке (рисунки 64, 65).



Рисунок 64 – Промежуточный вид заготовки

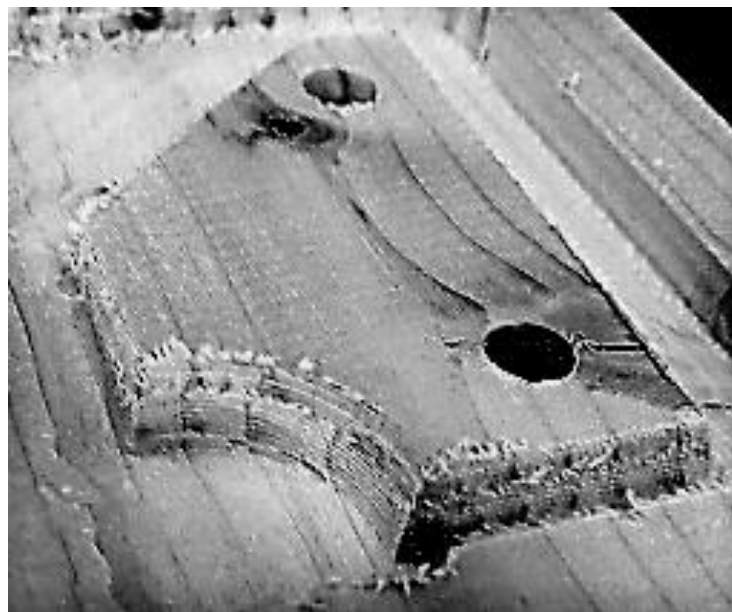
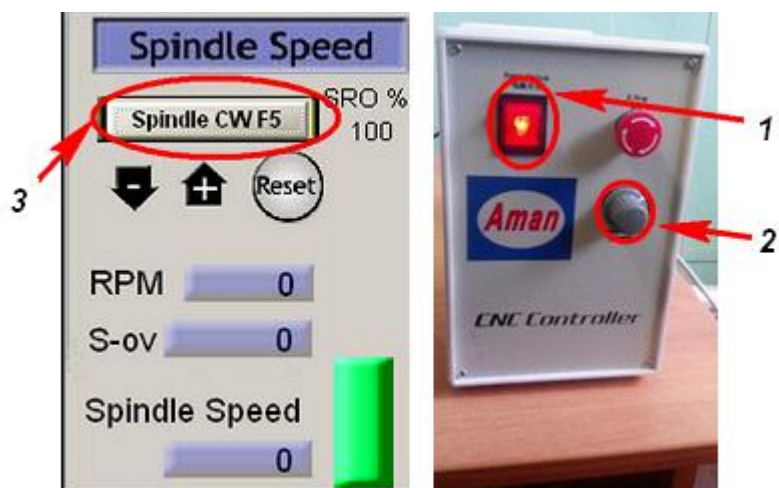


Рисунок 65 – Вид заготовки из дерева после обработки

7 ЗАВЕРШЕНИЕ РАБОТЫ НА СТАНКЕ

После выполнения лабораторной работы (ЛР) выключить оборудование:

- нажать кнопку остановки вращения шпинделя (рисунок бб),
- реостат вывести в крайнее левое положение,
- нажать кнопку выключения CNC контроллера,
- после этого закрыть программу,
- выключить компьютер и
- выключить источник стабилизированного питания.



1 - Кнопка вкл/выкл CNC контроллера; 2 - Реостат;
3 - Кнопка вкл/выкл шпинделя

Рисунок бб – Кнопки выключения системы Mach 3

По результатам выполнения ЛР представить 3D-модель детали в графическом формате, файл модели в формате SprutCAM, файл УП, схему наладки, расшифровку УП: сравнение траектории и кадров, фото результата обработки.

Список использованных источников

1. Материалы веб-страницы компании «Mach 3» [Электронный ресурс]: – Режим доступа: <http://www.machsupport.com>
2. Материалы веб-страницы компании «SprutCAM» [Электронный ресурс]: – Режим доступа: <https://www.sprut.ru/products-and-solutions/products/sprutcam>
3. Материалы веб-страницы компании «SprutCAM» [Электронный ресурс]: – Режим доступа: <https://www.sprut.ru/files/SprutCAM10/documentation/index.html>
4. Материалы веб-страницы сайта «3DContentCentral.com» [Электронный ресурс]: – Режим доступа: <http://www.3dcontentcentral.com>
5. Материалы веб-страницы кафедры «Компьютерно-интегрированная технология машиностроения» [Электронный ресурс]: – Режим доступа: <http://tms.ystu.ru>
6. Проектирование в CAD/CAM Cimatron механообработки и ее реализация на фрезерном станке с ЧПУ / Сост.: О.Н. Калачев, В.Д. Белимов – Ярославль: Издат. Дом ЯГТУ, 2016. - 50 с.
7. Программирование автоматизированного оборудования / Сост.: А.М. Михайлёв-Курган: ул. Советская, 63/4, 2015. – 34 с. [Электронный ресурс]:– Режим доступа: <http://dspace.kgsu.ru/xmlui/handle/123456789/3966>

Содержание

1	Цель работы	4
2	Исходные данные	4
2.1	3D-модель детали в системе AutoCAD	4
2.2	Импорт модели из AutoCAD в SprutCAM	6
3	Проектирования управляющей программы	7
3.1	Выбор станка	7
3.2	Этапы обработки	8
3.3	Режущий инструмент	10
3.4	Геометрия заготовки для черновой обработки	10
3.5	Форма заготовки	12
3.6	Изменение положения системы координат (СК) заготовки	13
3.7	Параметры движения инструмента	16
3.8	Расчет траектории инструмента	17
3.9	Симуляция этапов обработки	18
3.10	Создание УП	19
3.11	Анализ полученной УП	21
4	Обзор системы управления станком с ЧПУ	26
5	Наладка станка	30
5.1	Размещение и закрепление детали на столе станка	30
5.2	Включение источника стабилизированного питания	31
5.3	Включение контроллера CNC	31
5.4	Запуск системы управления Mach3	31
5.5	Загрузка файла УП и выбор частоты вращения шпинделя	33
5.6	Обнуление по осям X, Y и Z	34
6	Обработка на станке	36
6.1	Отслеживание положения фрезы в ходе обработки	36
6.2	Фото обработки на станке	38
7	Завершение работы на станке	39
	Список использованных источников	41