

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования

«Тольяттинский государственный университет»

Институт машиностроения

Кафедра «Оборудование и технологии машиностроительного производства»

Направление 15.03.01 «Машиностроение»

Профиль «Технология машиностроения»

## ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА (БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА)

на тему \_\_\_\_\_ «Проектирование вертикально-фрезерного станка с ЧПУ» \_\_\_\_\_

Студент	<u>Г.В. Кожевников</u> (И.О. Фамилия)	_____ (личная подпись)
Руководитель	<u>Д.А. Расторгуев</u> (И.О. Фамилия)	_____ (личная подпись)
Консультанты	<u>Н.В. Зубкова</u> (И.О. Фамилия)	_____ (личная подпись)
	<u>К.Ш. Нуров</u> (И.О. Фамилия)	_____ (личная подпись)
	<u>В.Г. Виткалов</u> (И.О. Фамилия)	_____ (личная подпись)

**Допустить к защите**

И.о. заведующего кафедрой

к.т.н, доцент  
(личная подпись)

\_\_\_\_\_ А.В. Бобровский

« \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2016 г.

Тольятти 2016

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Тольяттинский государственный университет»  
Институт машиностроения  
Кафедра «Оборудование и технологии машиностроительного производства»

УТВЕРЖДАЮ

И.о. зав. кафедрой \_\_\_\_\_ А.В.Бобровский

«\_\_» \_\_\_\_\_ 2016г.

**ЗАДАНИЕ**

**на выполнение выпускной квалификационной работы**

**(уровень бакалавра)**

**направление подготовки 15.03.01 «Машиностроение»**

**профиль «Технология машиностроения»**

Студент \_\_\_\_\_ Кожевников Геннадий Васильевич \_\_\_\_\_ гр. МСб-1203

1. Тема \_\_\_\_\_ Проектирование вертикально-фрезерного станка с ЧПУ \_\_\_\_\_

2. Срок сдачи студентом законченной выпускной квалификационной работы «» 2016 г.

3. Исходные данные к выпускной квалификационной работе \_\_\_\_\_ Материалы преддипломной практики \_\_\_\_\_

4. Содержание выпускной квалификационной работы (объем 40-60 с.)

*Титульный лист.*

*Задание. Аннотация. Содержание.*

*Введение, цель работы*

*1) Описание исходных данных*

*2) Проектирование станка*

*3) Технологическая часть работы*

*4) Компьютерное моделирование*

*5) Описание графической части работы*

*6) Безопасность и экологичность технического объекта*

*7) Экономическая эффективность работы*

*Заключение. Список используемой литературы.*

*Приложения: технологическая документация*

5. Ориентировочный перечень графического материала (6-7 листов формата А1)

1) Сборочный чертеж	2
2) Сборочный размерный анализ	0,5
3) Технологическая схема сборки	1
4) Электрическая схема	1
5) Результаты моделирования	0,5
6) Презентация	1

6. Консультанты по разделам

<u>Экономическая эффективность работы – Зубкова Н.В.</u>
<u>Безопасность и экологичность технического объекта – Нуров К.Ш.</u>
<u>Нормоконтроль – Виткалов В.Г.</u>

7. Дата выдачи задания «\_\_\_» марта 2016 г.

Руководитель квалификационной работы		<u>Расторгуев Д.А.</u>
	(подпись)	(И.О. Фамилия)
Задание принял к исполнению		<u>Кожевников Г.В.</u>
	(подпись)	(И.О. Фамилия)

**УДК 621.9**

## **АННОТАЦИЯ**

Проектирование вертикально-фрезерного станка с ЧПУ.

Кафедра: Оборудование и технологии машиностроительного производства.

ТГУ: Тольятти, 2016г., 65с., 6 л. формата А1.

Целью дипломной работы является проектирование конструкции настольного вертикально-фрезерного станка с ЧПУ.

На основе анализа конструкции вертикально-фрезерного станка, и знаниях, полученных за время обучения, сконструирована модель настольного станка с ЧПУ.

Эффективность предложенного оборудования подтверждена экономическим расчетом, кроме того обеспечена экологическая безопасность работы.

## СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ, ЦЕЛЬ РАБОТЫ.....	7
1.ОПИСАНИЕ ИСХОДНЫХ ДАННЫХ.....	9
1.1 Анализ конструкции вертикально-фрезерного станка с ЧПУ.....	9
1.2 Приводы станка.....	12
1.3 Блок управления шаговым двигателем.....	17
1.4 Соединительные муфты.....	18
1.5 Линейные подшипники.....	19
1.6 Шпиндель.....	20
1.7 Программное обеспечение.....	22
1.8 Режимы резания для гравировки.....	28
2. ПРОЕКТИРОВАНИЕ СТАНКА.....	30
2.1 Выбор элементов конструкции.....	31
2.2 Размерный анализ.....	32
2.3 Выбор режущего инструмента.....	36
3. ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ РАБОТЫ.....	37
4. КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ.....	39
5. ОПИСАНИЕ ГРАФИЧЕСКОЙ ЧАСТИ РАБОТЫ.....	47
6. БЕЗОПАСНОСТЬ И ЭКОЛОГИЧНОСТЬ ТЕХНИЧЕСКОГО ОБЪЕКТА..	48
6.1 Конструктивно-технологическая характеристика объекта.....	48
6.2 Идентификация производственно-технологических и эксплуатационных профессиональных рисков.....	48
6.3 Методы и технические средства снижения профессиональных рисков...	50

6.4 Обеспечение пожарной и техногенной безопасности рассматриваемого технического объекта (производственно-технологических эксплуатационных и утилизационных процессов).....	51
6.5 Обеспечение экологической безопасности рассматриваемого технического объекта.....	52
7. ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ РАБОТЫ.....	56
7.1 Расчет технологической себестоимости.....	58
7.2 Расчет показателей экономической эффективности проектируемой техники.....	61
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	63
СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ.....	64
ПРИЛОЖЕНИЯ: технологическая документация.....	66

## ВВЕДЕНИЕ, ЦЕЛЬ РАБОТЫ

При проведении учебного процесса важное место должно занимать соединение теоретических и практических знаний. Для более глубокого понимания основ управления оборудованием будет полезен процесс проектирования данного изделия. Кроме того данный станок предназначен для отработки полученных знаний в области конструирования и программирования станков с ЧПУ, ознакомления с видами электроприводов и их управлением. Также при работе с данным оборудованием необходимо пополнять свой объём знаний в данной области и не только. Требуются умения работы в трехмерных редакторах (таких как ArtCAM, 3DMAX и др.) и управляющих программах (MACH3). Кроме того требуются знания кодов управления (G-коды) при написании программы управления движением инструмента либо редактировании файла управляющей программы выданного программой ArtCAM.

При разработке модели особое внимание будет уделено простоте компоновки элементов конструкции и упрощению электрической схемы их подключения. Так как составляющие компоненты находятся в свободной продаже, это удешевляет проект и открывает множество возможностей модернизации оборудования и расширения его рабочих возможностей. Данный станок может служить платформой для установки дополнительных рабочих инструментов, таких как устройство для лазерного выжигания и приспособление для трехмерного прототипирования (3D-печать). При этом не потребуется внесения большого количества изменений в конструкцию станка, а включение дополнительных элементов в электрическую схему требует наличие дополнительного блока питания.

На станке может производиться сверление, фрезерование и гравирование трехмерных поверхностей. Заготовками могут служить такие материалы как алюминиевые сплавы (с прочностью до 800 Мпа) и различные

пластмассы. Небольшие габаритные размеры станка в совокупности с большим рабочим полем делают его доступным для использования в небольших рабочих помещениях и мастерских.

Управление осуществляется на базе персонального компьютера с операционной системой Windows. Для управления была выбрана управляющая программа MACH 3.

Целью дипломной работы является получение готовой модели станка, соответствующей заданным характеристикам. Для достижения цели необходимо решить задачи:

1. Разработать конструкцию настольного станка с числовым программным обеспечением;
2. Подобрать закупаемые элементы для механической части станка;
3. Выбрать систему управления станком;
4. Разработать электрическую схему станка;
5. Подобрать закупаемые элементы для электрической части станка;
6. Разработать технологический процесс сборки изделия;
7. Произвести статический анализ конструктивных элементов (валов направляющих);
8. Выполнить сборочный размерный анализ;
9. Выявить опасные факторы при производстве и обеспечить экологичность технического объекта;
10. Выполнить экономическое обоснование дипломной работы.

В настоящей работе предлагается разработать конструкцию и технологию сборки трехкоординатного фрезерно-гравировального станка с числовым программным управлением.



# 1. ОПИСАНИЕ ИСХОДНЫХ ДАННЫХ.

## 1.1 Анализ конструкции вертикально-фрезерного станка с ЧПУ.

Станки этой категории предназначены для фрезерования, сверления, гравировки плоских поверхностей трехмерной модели. Основными материалами для обработки были выбраны сплавы алюминия (с прочностью до 800 Мпа), а также различные виды пластмасс.

Для настольных станков существует несколько видов компоновки:

1. Станки с подвижным столом;
2. Станки с подвижным порталом.

К первому типу относят станки, у которых портал, на котором установлен режущий инструмент, является неподвижным. Станки данного типа не сильно распространены, так как при наличии подвижного стола рабочая область сильно сокращается.

К преимуществам такой конструкции можно отнести возможность создания жесткого портала (при его закреплении на раме). Так же к преимуществам можно отнести простоту реализации данной конструкции.

К недостаткам относятся большие размеры самого станка (по сравнению с конструкцией с подвижным порталом). Кроме того при применении подвижного стола невозможно проводить обработку тяжелых деталей.

Ко второму типу относятся станки, в которых по оси X перемещается сам портал. Станки данного вида наиболее распространены.

В преимущества входят более жесткий стол (так как он неподвижен), а, следовательно, и возможность обработки тяжелых деталей. Рабочая область больше, чем в предыдущем варианте. Так же существует возможность установки поворотной оси.

К недостаткам относят менее жесткий портал (трудно спроектировать его так, чтобы он был жестким и легким для быстрого перемещения). Так как портал висит на направляющих, то они должны обладать необходимой жёсткостью. Следовательно, для обеспечения нужных показателей точности требуется установка направляющих большего диаметра.

В данной работе будет проанализирована конструкция станка с подвижным столом (рисунок 1.1). Портал неподвижен и соединен с каркасом станка. Заготовка фиксируется на столе с помощью прижимов. Перемещение стола происходит по оси  $X$ . Перемещение же режущего инструмента по оси  $Y$  обеспечивает каретка, закрепленная в портале. Изменение положения инструмента по оси  $Z$  осуществляется с помощью соответствующих направляющих, расположенных в каретке.

При разработке модели были использованы [16,19,20].

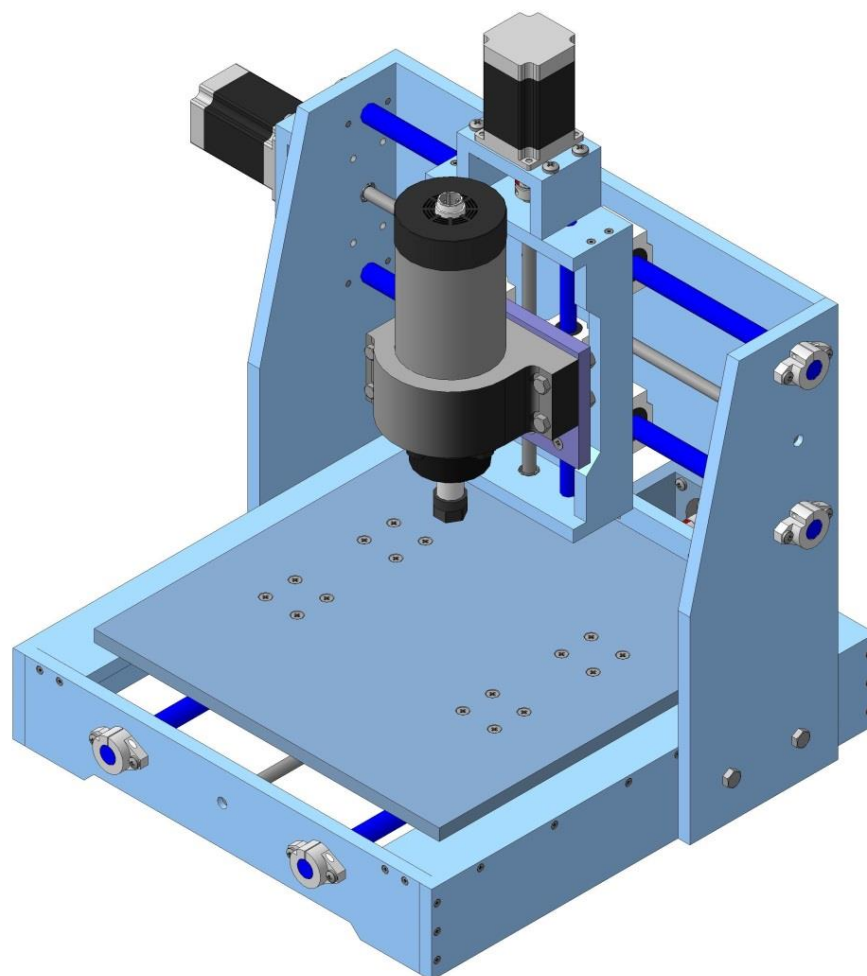


Рисунок 1.1 – Вертикально-фрезерный станок с ЧПУ.

Перемещение по координатам осуществляется с помощью шаговых электродвигателей. Кинематика данных приводов одинакова для всех трех осей и состоит из электродвигателя, соединительной муфты и винтовой передачи с шагом 1,75 мм.

За контроль над шаговыми двигателями отвечают драйверы (по одному на каждый двигатель). Они в свою очередь соединены с платой опторазвязки, через которую осуществляется подключение к компьютеру. Питание происходит от блока питания на 48 V.

Технические характеристики станка представлены в таблице 1.1.

Главным параметром станка является его точность. Настройка производится с помощью регулировки параметров шаговых двигателей. У конструкции с подвижным столом регулировка сложнее, чем у станка с подвижным порталом. При этом получаемый показатель точности получается выше, за счет отдельной калибровки шаговых двигателей стола и портала.

Таблица 1.1 - Технические характеристики станка.

Размеры станка, мм	450*450*400
Рабочая область, мм	300*260*100
Размеры стола, мм	350*360
Рабочая скорость перемещения, мм/мин	До 1000
Направляющие	Цилиндрические: $\varnothing 16$ для осей X и Y; и $\varnothing 12$ для оси Z.
Подшипники качения	5A-1000088
Линейные подшипники	для осей X и Y – SC16UU; для оси Z – SC12UU.
Шаговые двигатели	АД-200-31

## 1.2 Приводы станка

Главным движением является вращение шпинделя с режущим инструментом. В качестве шпинделя могут быть использованы как стандартные шпиндели с воздушным, либо водяным охлаждением, так мини-фрезеры или инструменты гравировального типа.

Для приводов подач целесообразно использовать шаговые электродвигатели (ШД). Данные двигатели производят бесступенчатое регулирование скоростей подач согласно значениям управляющих

импульсов, подаваемых контроллером (в данном случае – компьютер) через драйвер.

Целесообразность применения шаговых электродвигателей продиктовано несколькими условиями:

- Возможность контролировать угол поворота ротора с помощью импульсов, подающихся в двигатель;
- Обеспечение точности в пределах 2 - 5% от величины шага. Без накопления ошибок от последующих шагов;
- Быстрый старт, остановка и реверс;
- Надежное и точное управление даже при отсутствии элементов обратной связи;
- Большой диапазон регулировки скорости вращения мотора.

Шаговый двигатель (рисунок 1.2) – это электромеханическое устройство, преобразующее электрические импульсы в линейные или угловые перемещения. В большинстве своем являются бесколлекторными двигателями постоянного тока. Имеют высокую надежность и длительный срок службы. Точная регулировка скорости вращения осуществляется без обратной связи. В данной станке будут применены шаговые двигатели АД 200-31. Схема подключения униполярная. Технические характеристики ШД представлены в таблице 1.2.

Так как основной угловой шаг равен  $1,8^\circ$ , то за один полный оборот вала двигателя произойдет 200 шагов. При этом количество пройденных шагов на миллиметр будет равно количеству шагов, за полный оборот, разделенному на шаг винта. Для данной передачи с винтом Tr12 и шагом 1,75 мм, получим 114 шагов/мм.

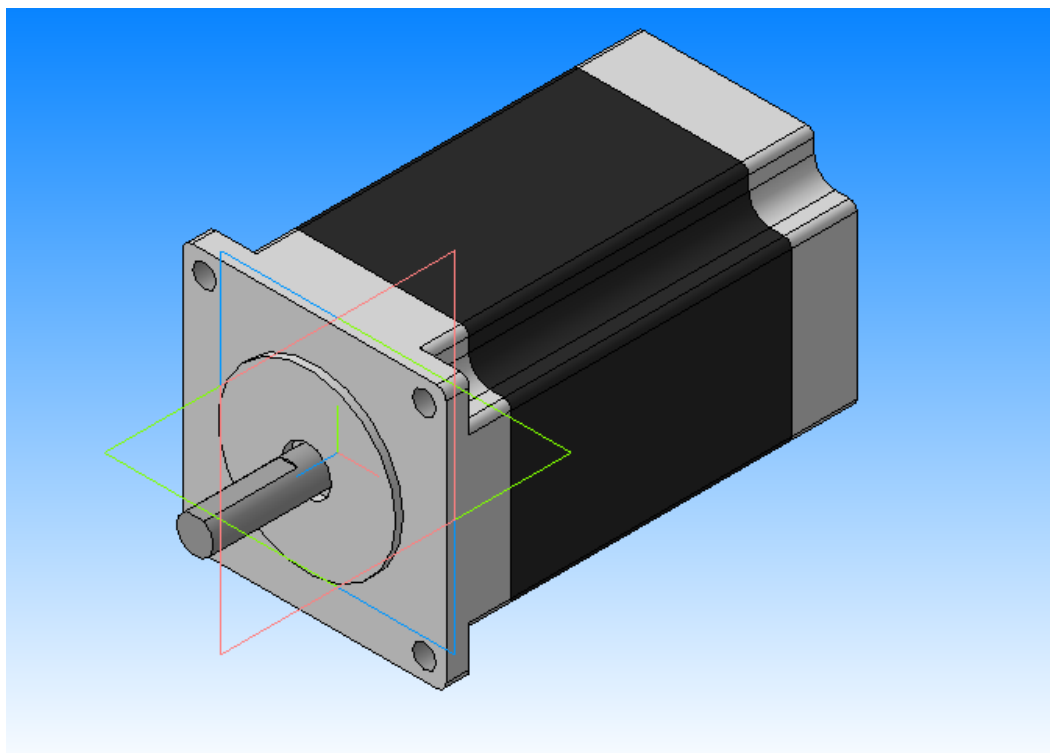


Рисунок 1.2 – Шаговый двигатель.

Таблица 1.2 - Технические характеристики шаговых двигателей АД 200-31.

Ток фазы, А	2,8
Сопротивление фазы, Ом	1,5
Индуктивность, мГн	6,8
Крутящий момент, кг*см	31
Момент инерции ротора, г*см <sup>2</sup>	840
Вес, кг	1,4
Длина, мм	88
Основной угловой шаг, °	1,8
Максимально допустимая радиальная нагрузка на валу (в 20 мм от фланца), Н	75
Максимальная допустимая осевая нагрузка на валу, Н	15

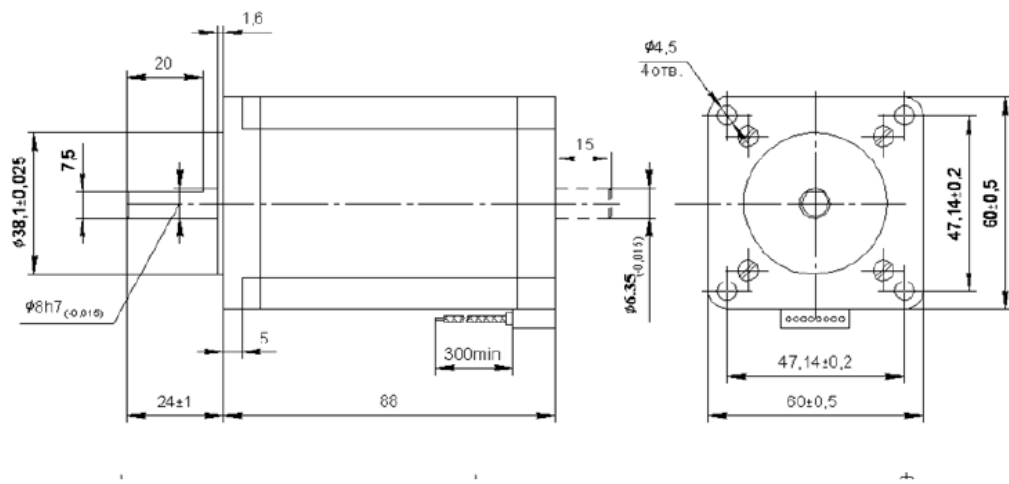


Рисунок 1.3 – Размеры шагового двигателя.

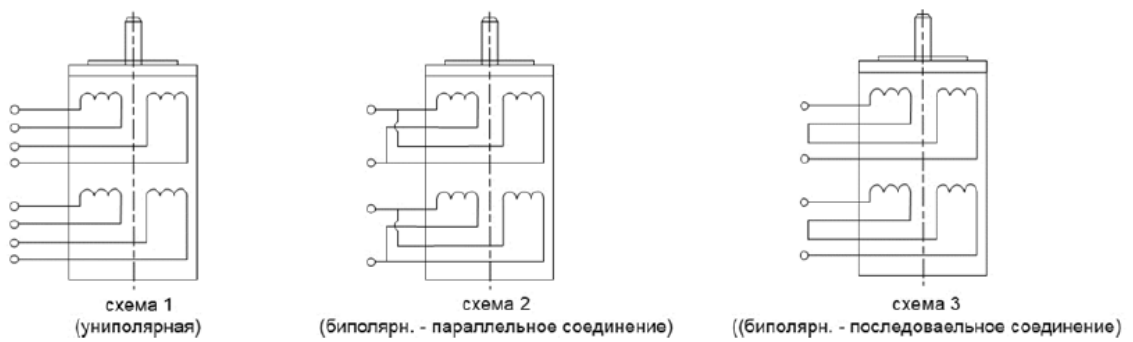


Рисунок 1.4 - Электрическая схема шаговых двигателей AD-200-31.

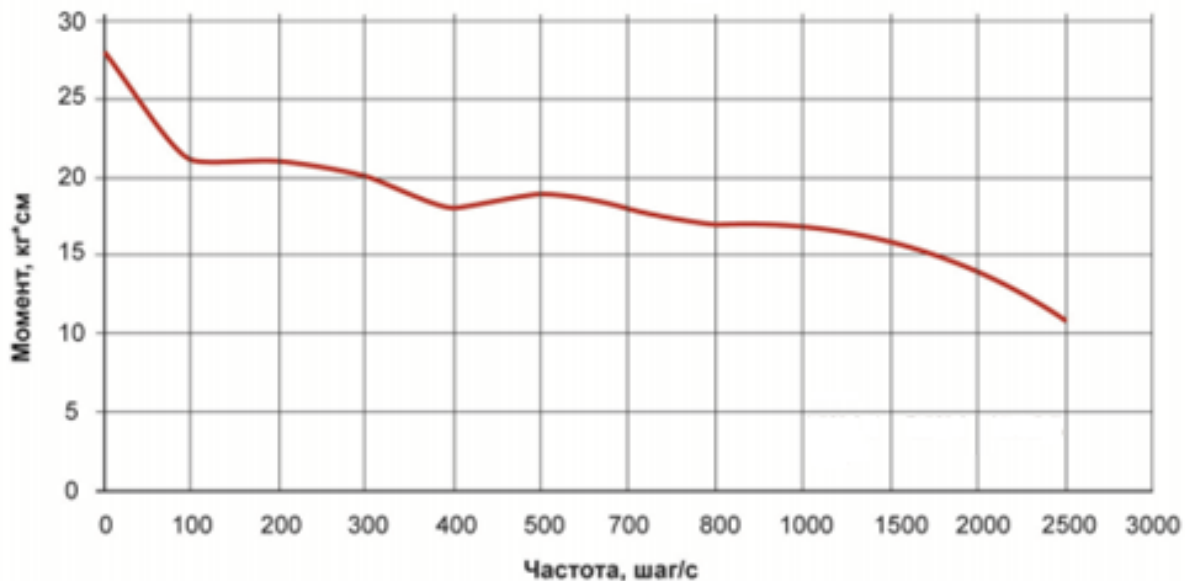


Рисунок 1.5 – Частотная зависимость крутящего момента шагового двигателя (Дробление шага 1/2, источник питания 48 В, 100 Вт.)

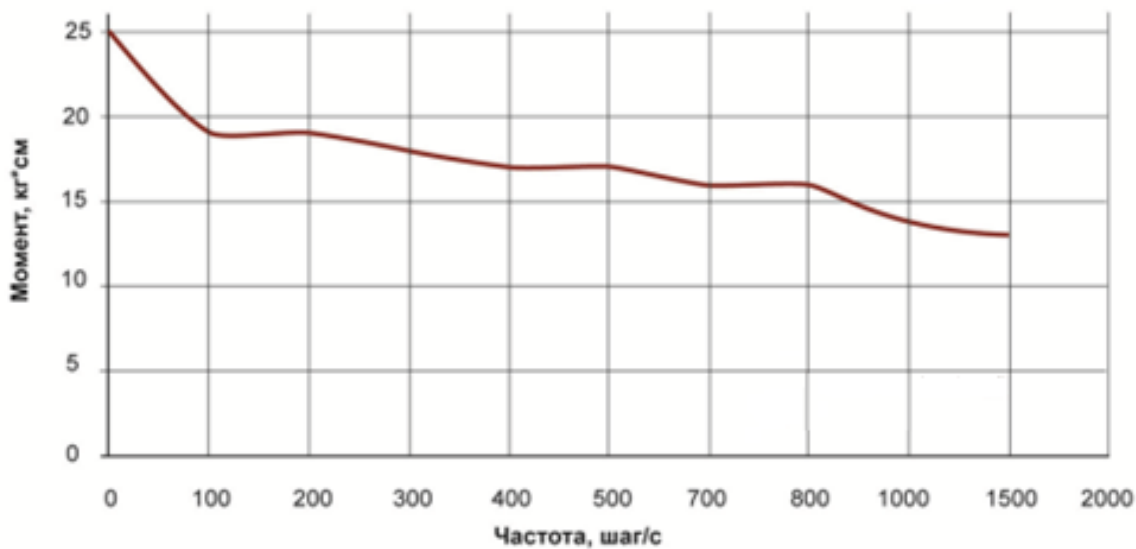


Рисунок 1.6 – Частотная зависимость крутящего момента шагового двигателя (Дробление шага 1/2, источник питания 24 В, 100 Вт.)



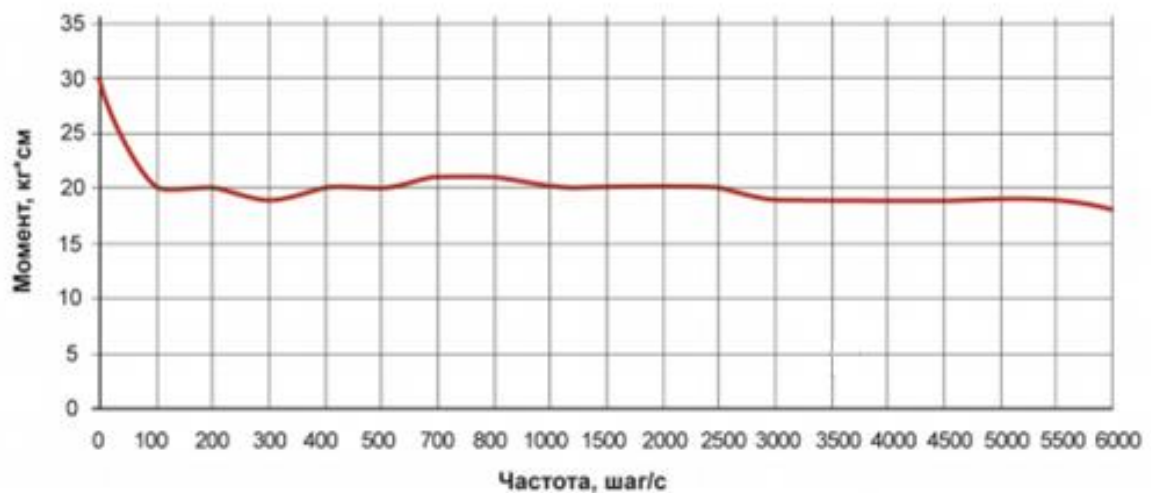


Рисунок 1.7 – Частотная зависимость крутящего момента шагового двигателя (Дробление шага 1/16, источник питания 48 В, 100 Вт.)

### 1.3 Блок управления шаговым двигателем

За управление шаговыми двигателями будут отвечать программируемый блок управления SMD – 4.2. подключение блока выполнено в режиме драйвера. Схема подключения (рисунок 1.8). Контроллером является сам персональный компьютер. Блок подключается к компьютеру через USB-порт. Связь с компьютером должна осуществляться постоянно. Для корректной работы блока необходимо установить драйвер СОМ-порта компьютера. Так как диапазон входного тока и напряжения у драйвера находится в промежутке 1,2...4,2 А и 12...48 V, то будет применяться блок питания H100S48 на 48V и 2A.

При разработке электрической схемы были использованы [17,18].

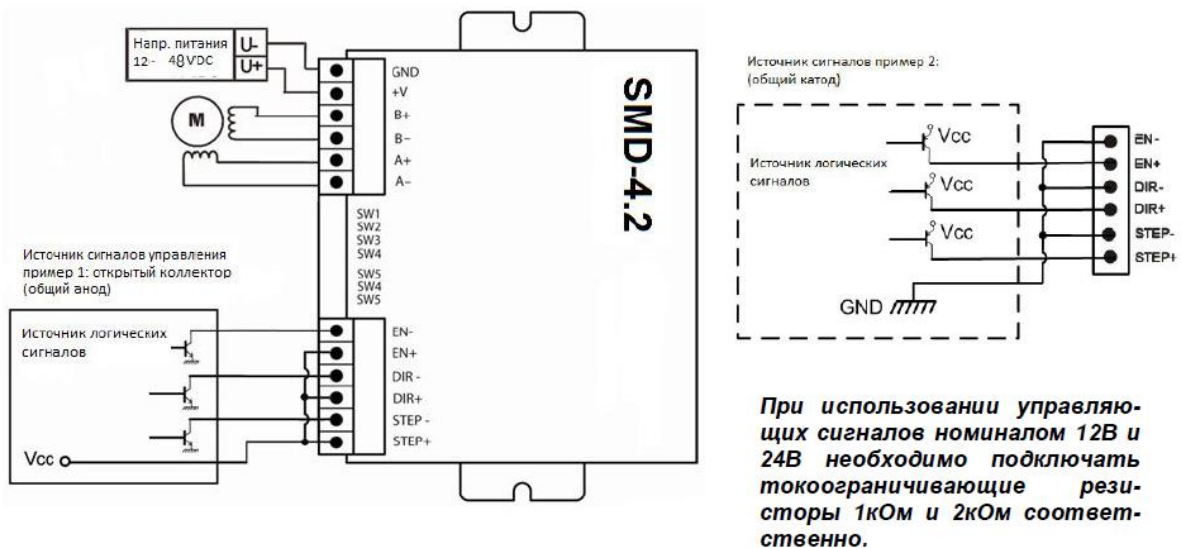


Рисунок 1.8 – схема подключения блока управления.

#### 1.4 Соединительные муфты

Для соединения вала электродвигателя с винтовой передачей будут использоваться безлюфтовые упругие муфты (рисунок 1.9). Это устройство предназначено для гашения толчков и ударов при пуске и остановке механизма. Также она компенсирует несоосность валов. К главным преимуществам муфт этого типа следует отнести отсутствие смазочных материалов.

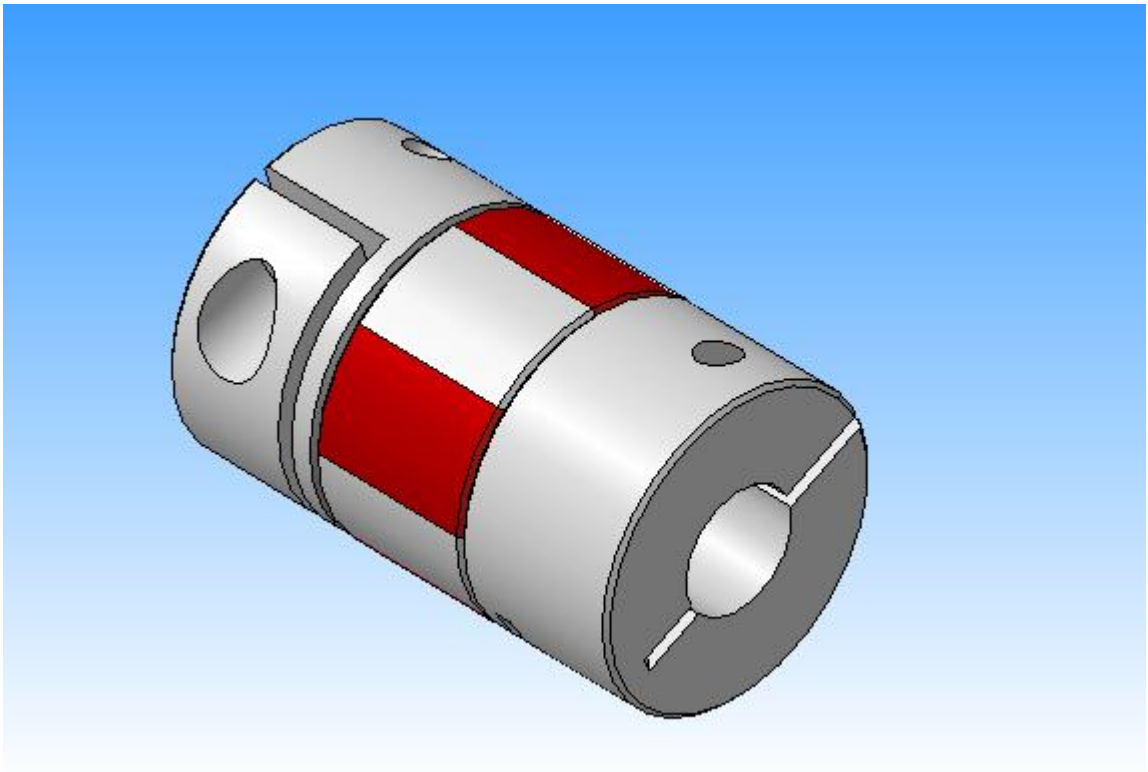


Рисунок 1.9 – Безлюфтовая упругая муфта.

### 1.5 Линейные подшипники

Линейные подшипники (подшипники линейного перемещения) – это изделие, предназначенное для перемещения каретки по цилиндрической направляющей. С помощью данного устройства осуществляется линейное перемещение вдоль оси вала (рисунок 1.10).

Состоит из двух частей:

- Движущейся части, в которой по замкнутым канавкам происходит перемещение шариков (замкнутые канавки внутри линейного подшипника);
- Поверхности тела, по которому происходит перемещение, в данном случае цилиндрический вал.

Вместо подшипников, возможно, использовать обычные втулки из цветных металлов. Однако при применении таких изделий со временем

возрастает неточность перемещения. Эта неточность связана с истиранием внутренней части втулок с течением некоторого времени. Так же при применении подшипников сила трения овал значительно ниже, чем у втулок.

В данной работе главной задачей является соблюдение заданной точности перемещения кареток по направляющим. Следовательно, в конструкции будут применяться линейные подшипники серии для валов  $\varnothing 16$  и серии для  $\varnothing 12$  мм.



Рисунок 1.10 – Блок перемещения (направляющая + подшипник).

## 1.6 Шпиндель

В качестве шпинделя могут быть применены разные по мощности типы инструментов. Такие как ручные граверы и бормашинки мощностью до 200 Вт и максимальным диаметром фрез 3 мм. Кроме того, могут быть применены малогабаритные фрезеры мощностью до 800 Вт и диаметром фрез в 3 - 6 мм. Однако наибольшее применение в станках такого типа

получили шпиндели воздушного охлаждения мощностью до 400 Вт с воздушным охлаждением. Шпиндели с водным охлаждением не учитываются, из-за их высокой цены (по сравнению с предыдущими вариантами) и необходимости применения частотного преобразователя и системы охлаждения.

В данной работе будет использован шпиндель с воздушным охлаждением и регулируемым числом оборотов (рисунок 1.11). Мощность шпинделя 300 Вт. Рабочее напряжение 48 В (требуется дополнительный блок питания).

К преимуществам можно отнести низкий уровень шума и низкий уровень биения (при обработке древесины и различных видов пластмасс). Так же в данном агрегате установлена стандартная цанга под диапазон фрез от 1 до 7 мм.

В недостатки входит малая мощность (до 400 Вт), а также применение дополнительной системы охлаждения (вентилятор на двигателе). Ограничение в обработке – только мягкие материалы (некоторые сплавы алюминия и пластмассы), что в принципе удовлетворяет типу выбранных материалов для обработки на данном станке.



Рисунок 1.11 – Шпиндель воздушного охлаждения.

### 1.7 Программное обеспечение.

В качестве управляющей программы будет использована наиболее распространенная программа MACH 3. Данный продукт позволяет производить обработку на станках с количеством управляемых координат до 5. Программа позволяет, как загружать файлы с G-кодами из различных редакторов, так и заносить их вручную.

В данном примере использовался графический редактор ArtCAMPro от компании Delcam (рисунок 1.13). Для более наглядного описания была составлена управляющая программа гравировки надписи. Размер рабочего поля надписи 100 на 100 мм. Материал заготовки – алюминий. Инструментом для гравировки служит коническая фреза диаметром 3 мм.

Параметры инструмента представлены на рисунке 1.12. Гравировка производится на глубину 0,1 мм. Общее время обработки составило 8 минут 40 секунд (рисунок 1.15).

Файл управляющей программы сохраняется в формате «.spc», что позволяет открывать его в программе управления станком MACH 3. Интерфейс программы представлен на (рисунке 1.16).

Программа MACH 3 обладает широкими функциональными возможностями. Через нее происходит настройка параметров шаговых двигателей. Кроме того, если в станке реализовано программное управление шпинделем, то оно также может быть настроено в данной программе. Также присутствует дополнительное окно управления перемещением инструмента (рисунок 1.17). В дополнении к этому существует возможность редактирования текста управляющей программы прямо в интерфейсе MACH 3. Также в программе представлен специальный экран, на котором показана трехмерная модель детали и траектория ее обработки.

Интерфейс программы MACH 3 является интуитивно понятным и для его освоения требуется немного времени.

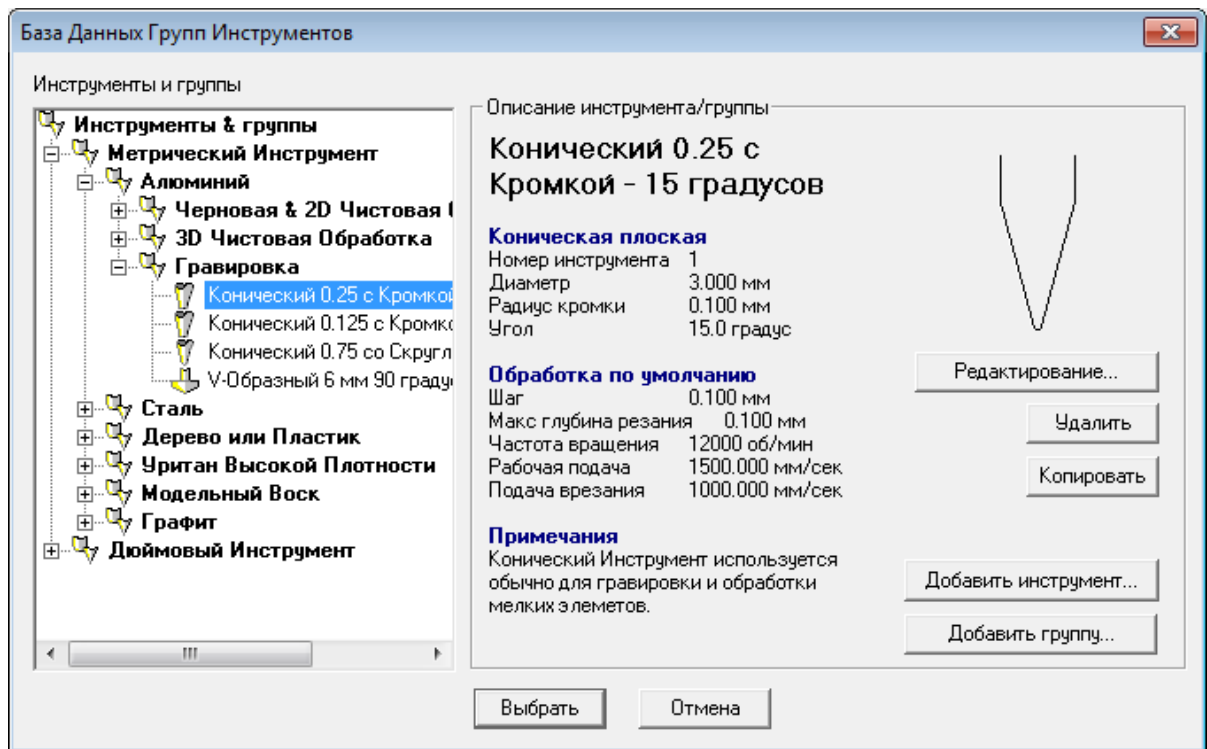


Рисунок 1.12 – Параметры инструмента.

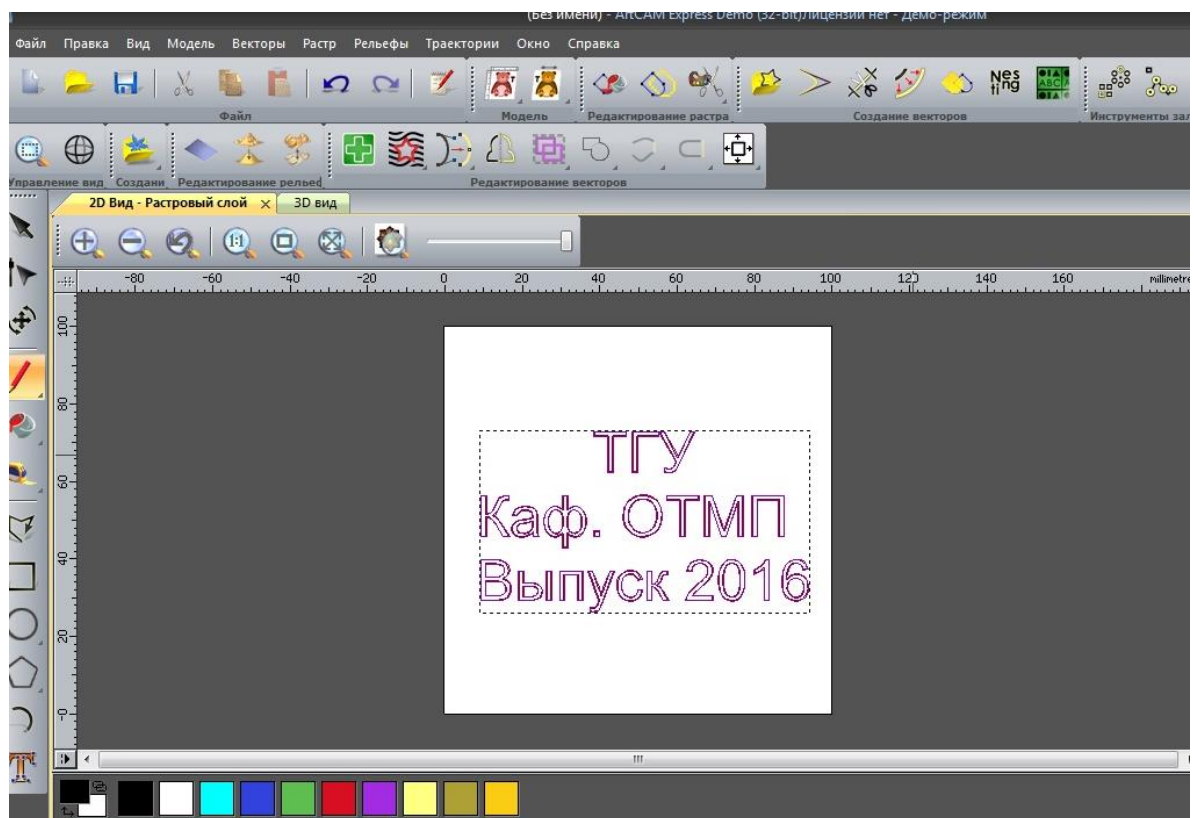


Рисунок 1.13 – Интерфейс программы ArtCAMPro и надпись, выбранная для гравировки.



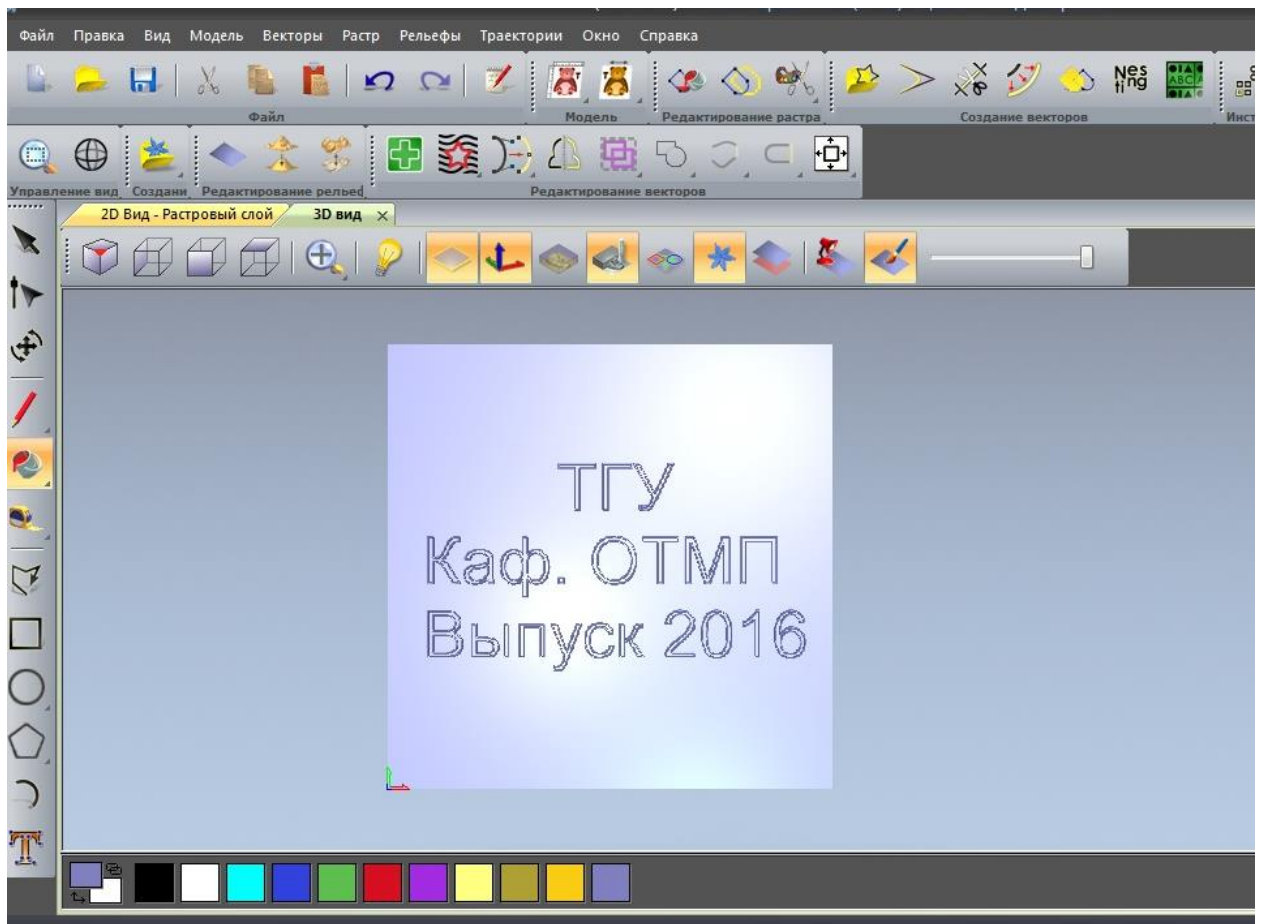


Рисунок 1.14 – Трехмерный вид обработанной надписи.

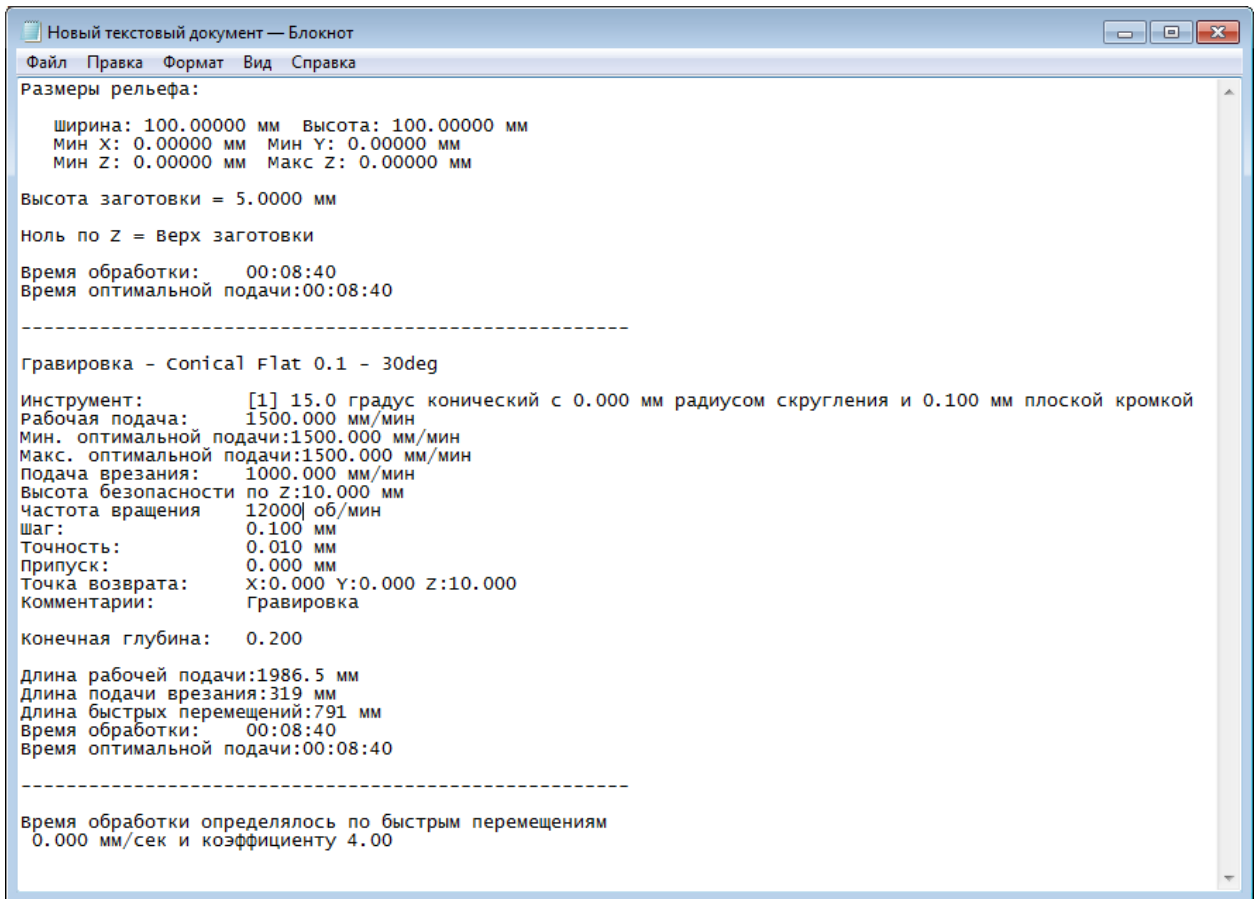


Рисунок 1.15 – Параметры гравировки.

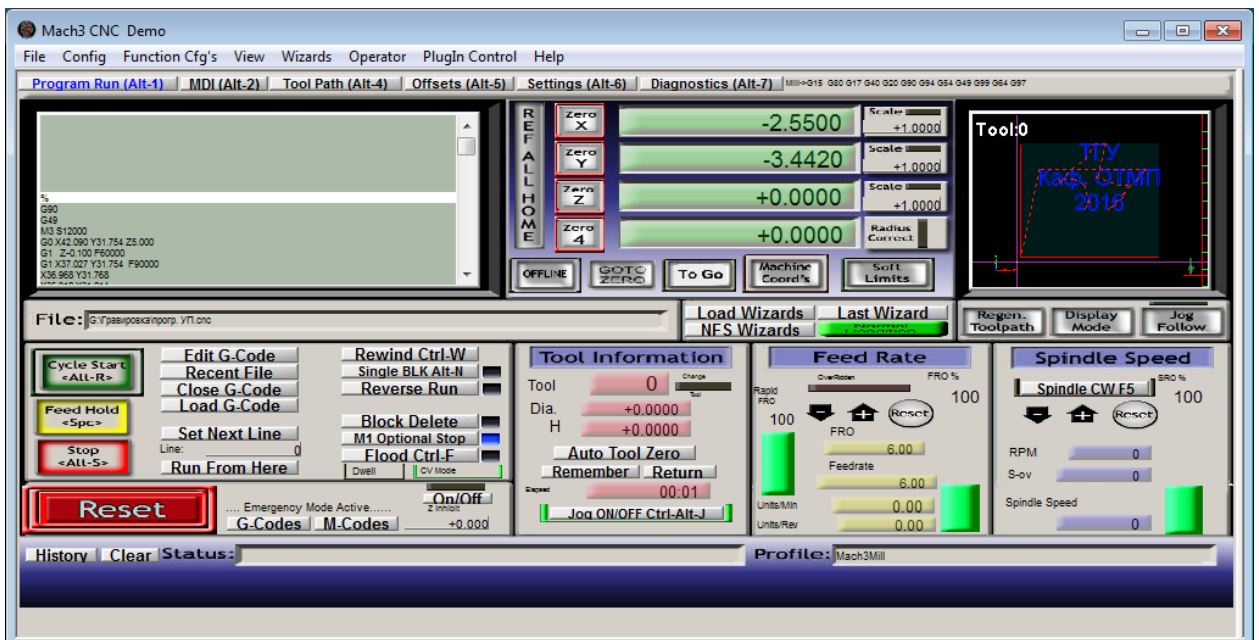


Рисунок 1.16 – Интерфейс программы MACH 3 с загруженной управляющей программой

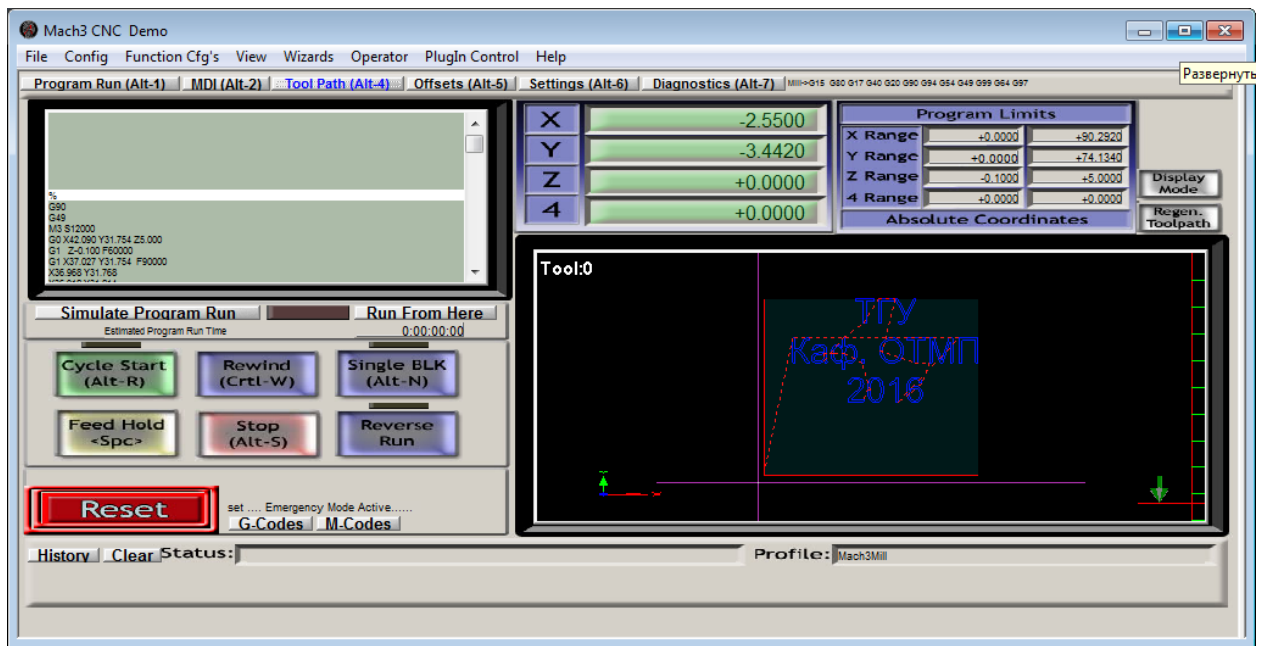


Рисунок 1.17 – Окно управления перемещением инструмента.

Таблица 1.3 - Описание основных команд управляющей программы.

№ команды	Описание команды
G90	Абсолютное позиционирование (отсчет всех координат, относительно одной нулевой точки в единой системе исчисления).
G49	Отмена коррекции на длину инструмента.
M3 S12000	Направление вращения шпинделя – по часовой стрелке.
G0 X42.090 Y31.754 Z5.000	Ускоренное перемещение в заданную точку.
G1 Z-0.100 F60000	Перемещение по прямой линии в заданную точку на указанной скорости подачи.
M05	Остановка шпинделя.

## 1.8 Режимы резания.

Рассчитаем режимы резания для модели, представленной на рисунке 1.13. Для проведения расчетов были использованы [1,3,6,10,11,13].

Гравировка производится по заготовке размером 100\*100\*5 мм.

Материал заготовки – алюминий.

Тип инструмента – фреза коническая Р6М5. Диаметр инструмента 3 мм.

$$s_z = 0,15 \text{ мм/об};$$

$$t=0,1 \text{ мм};$$

$$B=0,1 \text{ мм}.$$

Количество оборотов шпинделя находится из формулы 1.1.

$$n = \frac{1000 \cdot v}{\pi \cdot D}, \text{об/мин}; \quad (1.1)$$

Так как у используемого шпинделя максимальное количество оборотов равно 12000 об/мин, то максимальная скорость резания равна (формула 1.2):

$$v = \frac{n \cdot \pi \cdot D}{1000} = \frac{12000 \cdot 3,14 \cdot 3}{1000} = 113,04 \text{ м/мин}; \quad (1.2)$$

При этом значение главной составляющей сил резания (формула 1.3) равно:

$$P_z = \frac{10 \cdot C_p \cdot t^x \cdot s_z^y \cdot B^h \cdot z}{D^q \cdot n^w} \cdot K_{MP} =$$

$$= \frac{10 \cdot 82,5 \cdot 0,1^{0,95} \cdot 0,05^{0,8} \cdot 0,1^{1,1} \cdot 2}{3^{1,1} \cdot 12000^0} \cdot 0,63 = 0,3 \text{ Н}; \quad (1.3)$$

где  $C_p$ - коэффициент и  $x, y, h, q, w$ - показатели степени - табличные данные,

$t$ - толщина снимаемого припуска, мм;

$s_z$ - подача на зуб фрезы, мм/зуб;

$B$ - ширина фрезерования (ширина стружечной канавки), мм;

$z$ - количество зубьев фрезы;

$K_{MP}$ -коэффициент, учитывающий качество обрабатываемого материала;

$D$ - диаметр фрезы, мм;

$n$ - частота вращения фрезы, об/мин. где значения коэффициентов и показания степени равны:

Общий поправочный коэффициент  $K_{MP}$  равен (формула 1.4):

$$K_{MP} = K_{vp} \cdot K_{\mu p} \cdot K_{\gamma p} \cdot K_{\varphi p} = 0,67 \cdot 1 \cdot 0,87 \cdot 1,08 = 0,63; \quad (1.4)$$

где,  $K_{\mu p}$  - коэффициент, учитывающий свойства материала обрабатываемой заготовки (формула 1.5);  $K_{vp}$  - коэффициент, учитывающий скорость резания;  $K_{\gamma p}$  - коэффициент, учитывающий величину переднего угла  $\gamma$ ;  $K_{\varphi p}$  - коэффициент, учитывающий величину угла в плане  $\varphi$ .

$$K_{\mu p} = \left(\frac{200}{750}\right)^{0,3} = 0,67; \quad (1.5)$$

-

## 2. ПРОЕКТИРОВАНИЕ СТАНКА

При проектировании станка были произведены следующие работы:

- В начале работы были выбраны основные конструктивные размеры механизма.
- Была выбрана наиболее подходящая конструкция.
- Назначены размеры направляющих валов  $\varnothing 16$  для X и Y, и  $\varnothing 12$  для Z.
- Выбраны стандартные изделия, входящие в конструкцию станка (подшипники, крепежные элементы)
  - Добавлены дополнительные элементы для усиления жесткости конструкции
  - Установлены ограничители хода кареток (безопасная зона хода)

Все элементы конструкции были спроектированы в программе КОМПАС 3D. В отдельном файле сборки компоненты были объединены в цельный механизм.

При проектировании были использованы [2,4,7,8,9].

## 2.1 Выбор элементов конструкции.

Для снижения себестоимости изготовления станка целесообразно применять стандартные изделия. Выбор элементов будет произведен на основании соотношения цена – качество.

Целью этого раздела является выбор покупных элементов станка. Составим таблицу закупочных элементов (таблица 2.1). Цены на элементы представлены в разделе «Экономическая эффективность работы».

Таблица 2.1 – Закупочные элементы.

Перечень узлов и деталей	Кол-во компонентов
ШД (АД 200-31)	3
Драйвер (SMD 4.2)	3
Блок питания	1
Плата опторазвязки	1
Упругая муфта	3
Направляющие ось X $\varnothing$ 16 (480 мм)	2
Направляющие ось Y $\varnothing$ 16 (480 мм)	2
Направляющие ось Z $\varnothing$ 12 (250 мм)	2
Винтовая пара ось X	1
Винтовая пара ось Y	1
Винтовая пара ось Z	1
Линейные подшипники $\varnothing$ 16 мм	8
Линейные подшипники $\varnothing$ 12 мм	4
Крепление шпинделя	1
Шпиндель	1
Опора направляющих	8

## 2.2 Размерный анализ.

В данном разделе будет проведен сборочный размерный анализ. Искомым значением является погрешность непараллельности направляющих оси Y и подвижного стола оси X (рисунок 2.1). При расчете использовался [14].

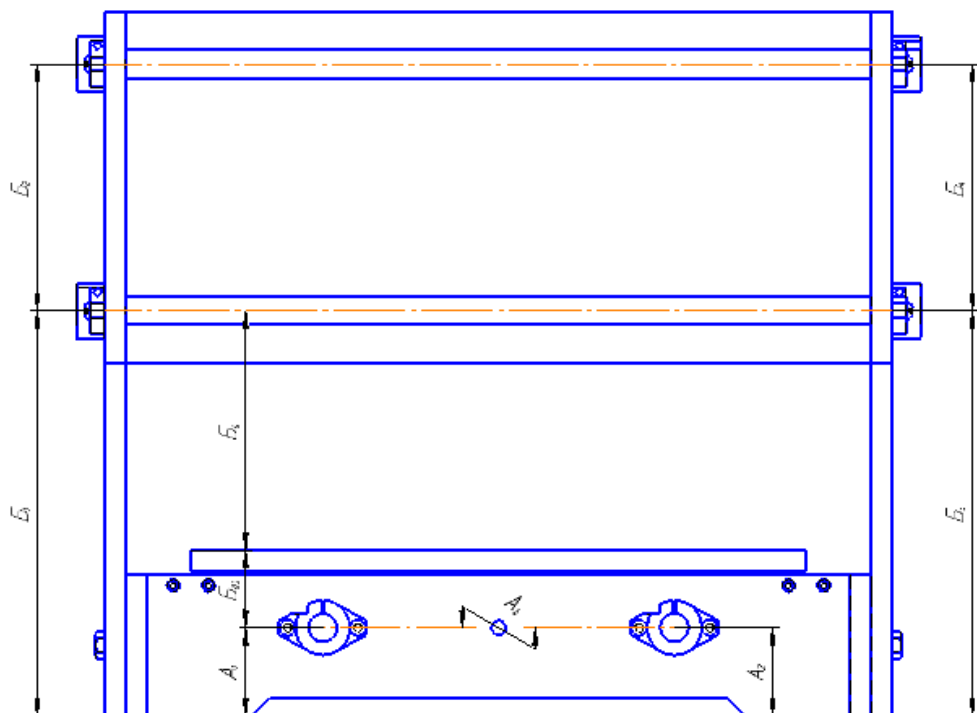


Рисунок 2.1 – Сборочный размерный анализ.

Для упрощения решения размерной цепи разобьем основную задачу на несколько второстепенных.

Во-первых, рассчитаем несимметричность направляющих оси X между собой. Для большей наглядности перестроим размерную цепь (рисунок 2.2).



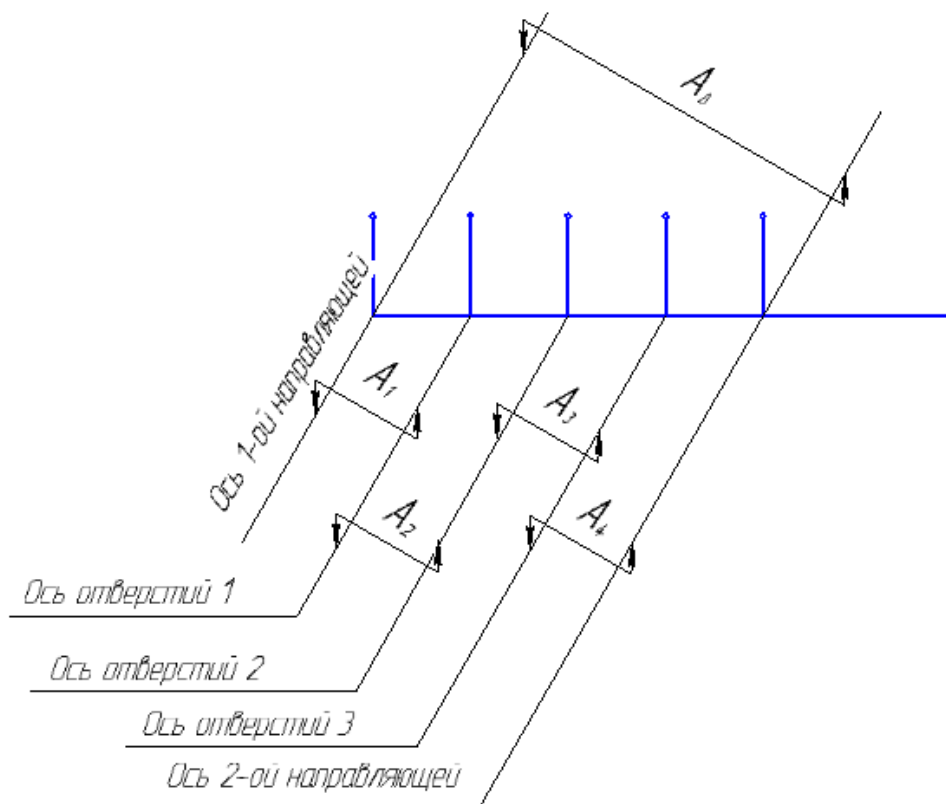


Рисунок 2.2– Сборочная размерная цепь несимметричности направляющих оси X.

$A_1$  – несимметричность крепежных отверстий опоры направляющей относительно посадочных отверстий в корпусе для 1-ой опоры;

$A_2$  – несимметричность крепежных отверстий опоры направляющей относительно посадочных отверстий в корпусе для 2-ой опоры;

$A_3$  – несимметричность крепежных отверстий опоры направляющей относительно посадочных отверстий в корпусе для 3-ей опоры;

$A_4$  – несимметричность крепежных отверстий опоры направляющей относительно посадочных отверстий в корпусе для 4-ой опоры;

$A_{\Delta}$  – несимметричность направляющих оси X.

Составим уравнение для первого случая (формула 2.1).

$$A_{\Delta} = \sqrt{\lambda T A_1^2 \cdot \lambda T A_2^2 \cdot \lambda T A_3^2 \cdot \lambda T A_4^2}, \text{ мм}; \quad (2.1)$$

Подставив величины допуска на линейный размер в формулу 2.1 получим:

$$A_{\Delta} = \sqrt{4 \cdot 0,12^2} = 0,24 \cdot \sqrt{0,01} = 0,024, \text{ мм}.$$

Теперь вернёмся к основной задаче. Для большей наглядности перестроим размерную цепь (рисунок 2.3).

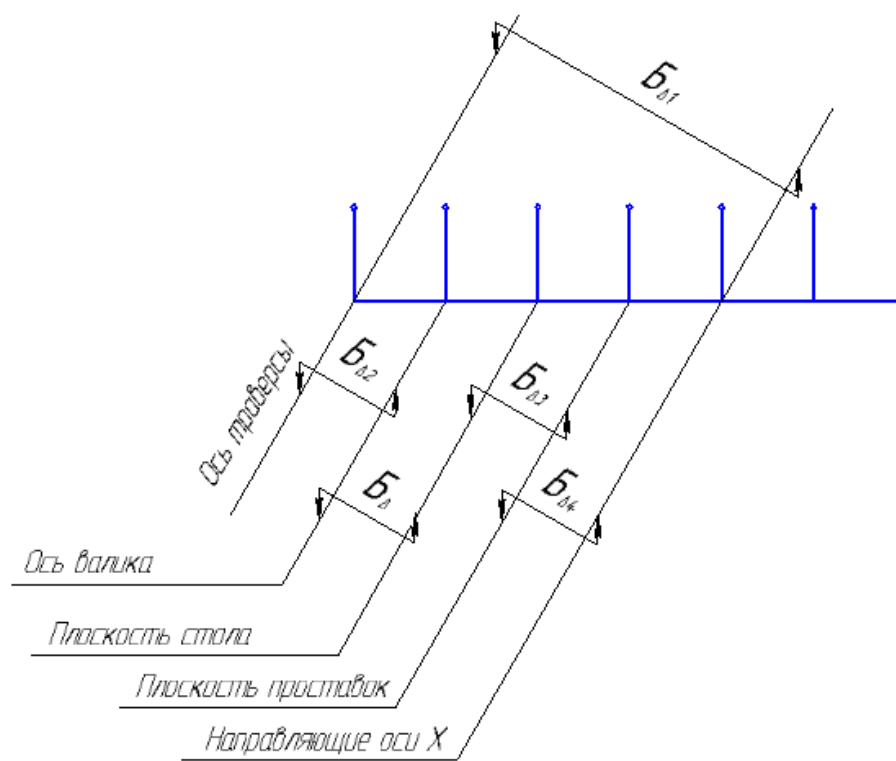


Рисунок 2.3– Сборочная размерная цепь.

$B_{\Delta 1}$  – не параллельность направляющих относительно основания станка;

$B_{\Delta 2}$  – несимметричность направляющих оси Y между собой;

$B_{\Delta 3}$  – допуск на линейный размер проставок =0,07;

$B_{\Delta 4}$  – несимметричность направляющих оси X ( $=A_{\Delta}$ );

$B_{\Delta}$  – не параллельность направляющих оси Y и стола.

Погрешность от не параллельности направляющих относительно основания станка рассчитана по формуле 2.2.

$$B_{\Delta 1} = \sqrt{\lambda T B_1^2 \cdot \lambda T B_4^2}, \text{мм}; \quad (2.2)$$

Подставив величины допуска на линейный размер в формулу 2.2 получим:

$$B_{\Delta 1} = \sqrt{2 \lambda 0,185^2} = 0,185 \cdot \sqrt{2 \cdot 0,01} = 0,026, \text{мм};$$

Погрешность от несимметричности направляющих оси Y между собой рассчитывается также как и по оси X (формула 2.3).

$$B_{\Delta 2} = \sqrt{\lambda T B_2^2 \cdot \lambda T B_4^2}, \text{мм}; \quad (2.3)$$

Подставив величины допуска на линейный размер в формулу 2.3 получим:

$$B_{\Delta 2} = \sqrt{2 \lambda 0,16^2} = 0,16 \cdot \sqrt{2 \cdot 0,01} = 0,022, \text{мм};$$

Следовательно, искомая погрешность от непараллельности направляющих оси Y и стола X (формула 2.4).

$$B_{\Delta} = \sqrt{\omega B_{\Delta 1}^2 + \omega B_{\Delta 2}^2 + \omega B_{\Delta 3}^2 + \omega B_{\Delta 4}^2}, \text{ мм}; \quad (2.4)$$

Подставив полученные значения из предыдущих формул, получим значение искомой погрешности.

$$B_{\Delta} = \sqrt{0,026^2 + 0,022^2 + 0,07^2 + 0,024^2} = 0,082, \text{ мм.}$$

### 2.3 Выбор режущего инструмента

На данном станке с ЧПУ при изготовлении единичных деталей широкой номенклатуры целесообразно применять только инструмент стандартного типа. Применение же специального либо фасонного инструмента является экономически невыгодным. При обработке изделий с рельефными поверхностями следует применять торцевые, концевые, конусные и сферические фрезы необходимого диаметра. Выбор фрез различных форм и конфигураций будет производиться по специальным каталогам. Стоит учесть, что размер хвостовиков фрез ограничен размером цапги шпинделя. Диаметр выбираемых фрез ограничен диапазоном от 1 до 8 мм.

Также целесообразно применять фрезы с небольшой длинной рабочей части инструмента. Избыточная величина этого параметра приводит к увеличению вибрации при обработке.

### 3. ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ РАБОТЫ.

Процесс разработки начинается с анализа исходных данных. В данной работе в качестве исходных данных будут использованы сборочный чертеж станка и его спецификация. На их основе был разработан чертеж технологической схемы сборки изделия. Перечень всех сборочных работ показан в таблице 3.1. При разработке использовался [12].

В качестве базовой детали была выбрана передняя панель корпуса. Также на отдельные узловые сборки были вынесена сборка каретки портала. Кроме того для облегчения сборки отдельно вынесены узлы соединения направляющих и линейных подшипников и узлы винтовой пары. Также в отдельную узловую сборку вынесен узел крепления шпинделя.

Составим перечень сборочных работ производимых при сборке. Затем рассчитаем общее время сборки изделия, используя справочные таблицы.

В процессе сборки изделия будет применяться только ручной инструмент.

Таблица 3.1 - Перечень сборочных работ.

№	Содержание основных и вспомогательных переходов	Время, $t_{оп}$ мин.
1	Осмотреть детали корпуса	0,28
2	Соединить переднюю панель с боковыми панелями	4,14
3	Вставить подшипники качения в пазы	0,54
4	Смазать узел направляющих оси X	0,42
5	Установить узел направляющих оси X	0,16
6	Смазать узел винтовой пары оси X	0,21
7	Установить узел винтовой пары оси X	0,08
8	Установить заднюю панель корпуса	4,14
9	Установить усиливающие панели	13,8
10	Соединить с корпусом левую стойку портала	0,96

Продолжение таблицы 3.1

11	Смазать узел направляющих оси Y	0,42
12	Установить узел направляющих оси Y	0,16
13	Смазать узел винтовой пары оси Y	0,21
14	Установить узел винтовой пары оси Y	0,08
15	Соединить с корпусом правую стойку портала	0,96
16	Установить заднюю панель портала	4,14
17	Установить опоры направляющих	11,04
18	Соединить заднюю панель каретки с боковыми панелями каретки	5,52
19	Установить нижнюю панель каретки	0,18
20	Смазать узел направляющих оси Z	0,34
21	Установить узел направляющих оси Z	0,16
22	Смазать узел винтовой пары оси Z	0,17
23	Установить узел винтовой пары оси Z	0,08
24	Установить верхнюю панель каретки	1,38
25	Установить крепления шаговых двигателей	8,64
26	Установить упругие муфты	0,9
27	Установить шаговые двигатели	3,36
28	Установить стол оси X	8,52
29	Установить стол оси Z	8,52
30	Установить крепление шпинделя	2,4
31	Установить шпиндель	0,8
Итого:		64,83

## 4. КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ

В данном разделе будут смоделированы силы воздействия на цилиндрические направляющие. Объектом испытаний служат направляющие оси Y, по которой перемещается каретка с инструментом. Проводить испытание направляющих на оси X не имеет смысла, так как силы влияющие на них малы.

Концы валов направляющей жестко закреплены в опоре на корпусе. Нагрузка будет приложена по оси Z. Для более подробного изучения полученных данных разобьем вал на 5 равных участков длиной по 84 мм. Нагрузка будет прикладываться поочередно к каждому из пяти участков. Испытание начнем с крайнего левого участка.

Величина нагрузки равна силе, с которой каретка давит на направляющие.

Построим цилиндрическую направляющую в КОМПАС 3D. Для приложения силы к определенному участку поверхности сделаем небольшие канавки шириной 0,5 мм. Установим закрепление на концах вала и зададим распределенную силу на первом участке (Рисунок 4.1). Сгенерируем сетку конечных элементов на поверхности детали (Рисунок 4.2). Затем проведем статический расчет на напряжение и перемещение вала (Рисунок 4.3 – 4.4). Повторим все эти действия для каждой из пяти поверхностей (Рисунок 4.5 – 4.12).

Построим графики максимального перемещения (напряжения) относительно длины направляющей (рисунок 4.13 – 4.14).

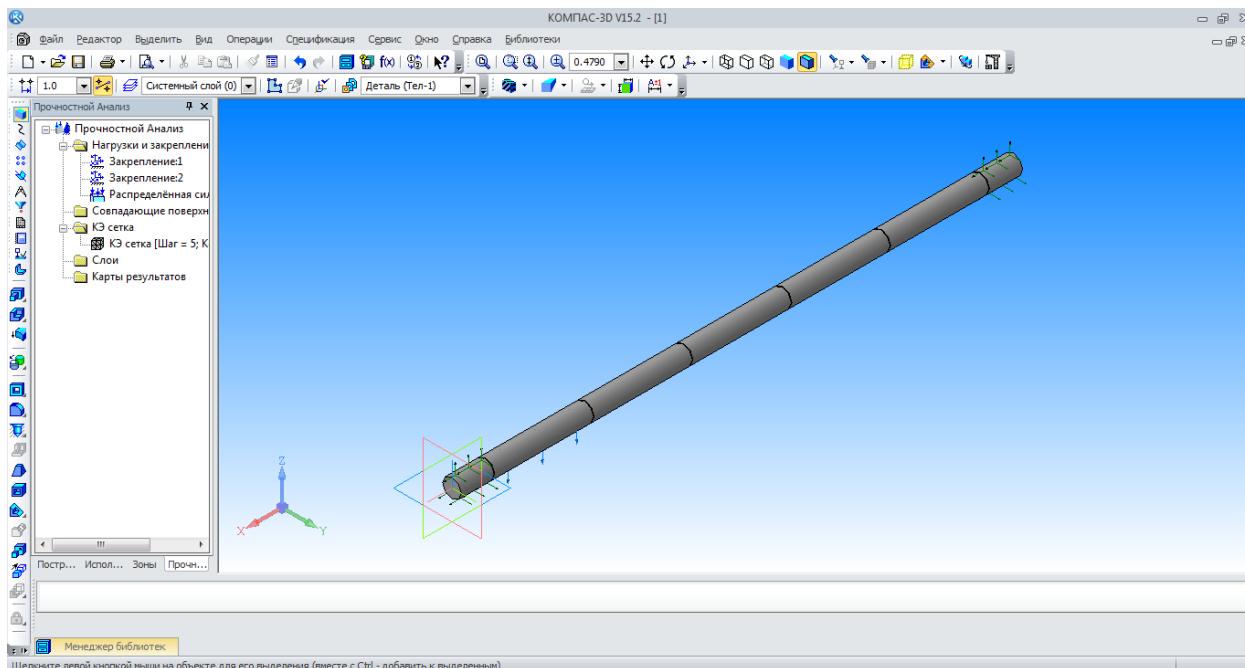


Рисунок 4.1 – Цилиндрическая направляющая с приложенными силами (закрепление в опорах и распределенная сила на участке).

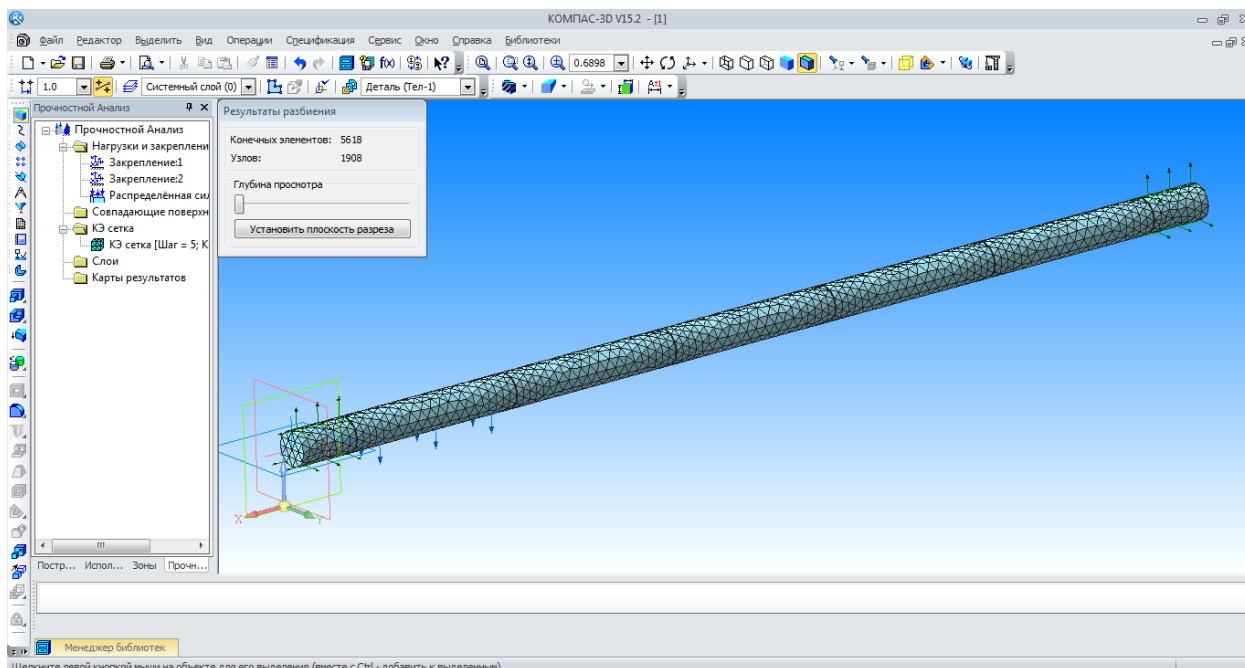


Рисунок 4.2 – Сгенерированная сетка конечных элементов.



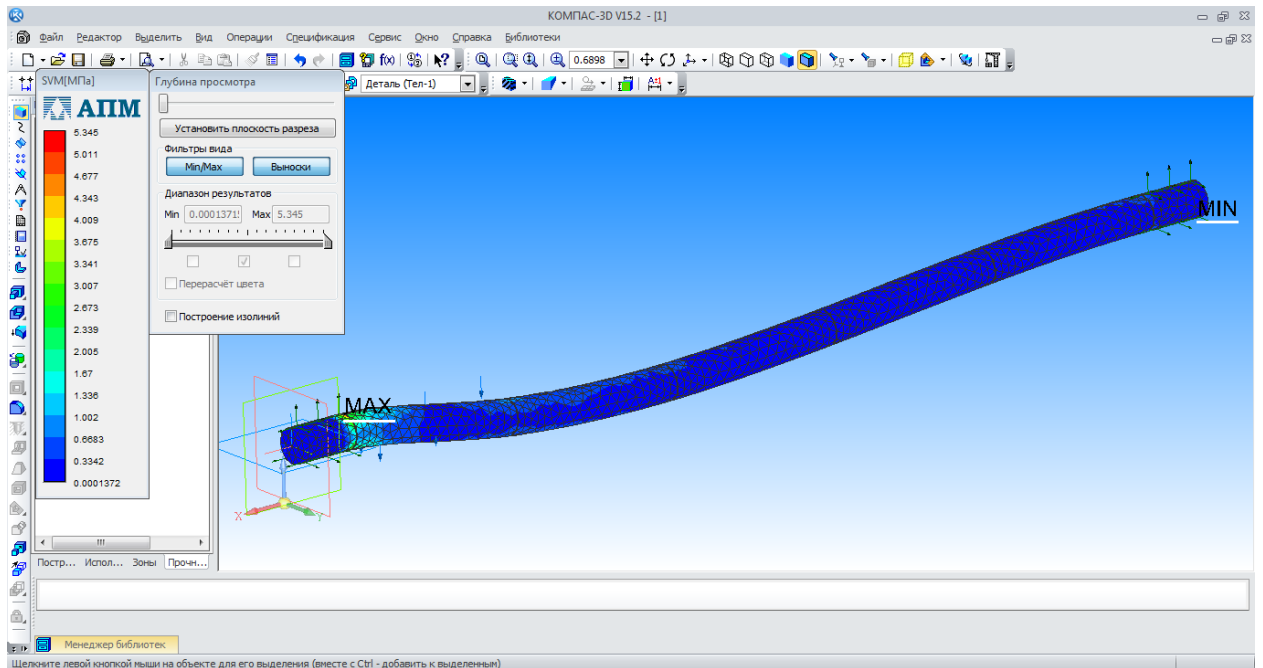


Рисунок 4.3 – Статический расчет напряжений на первом участке.

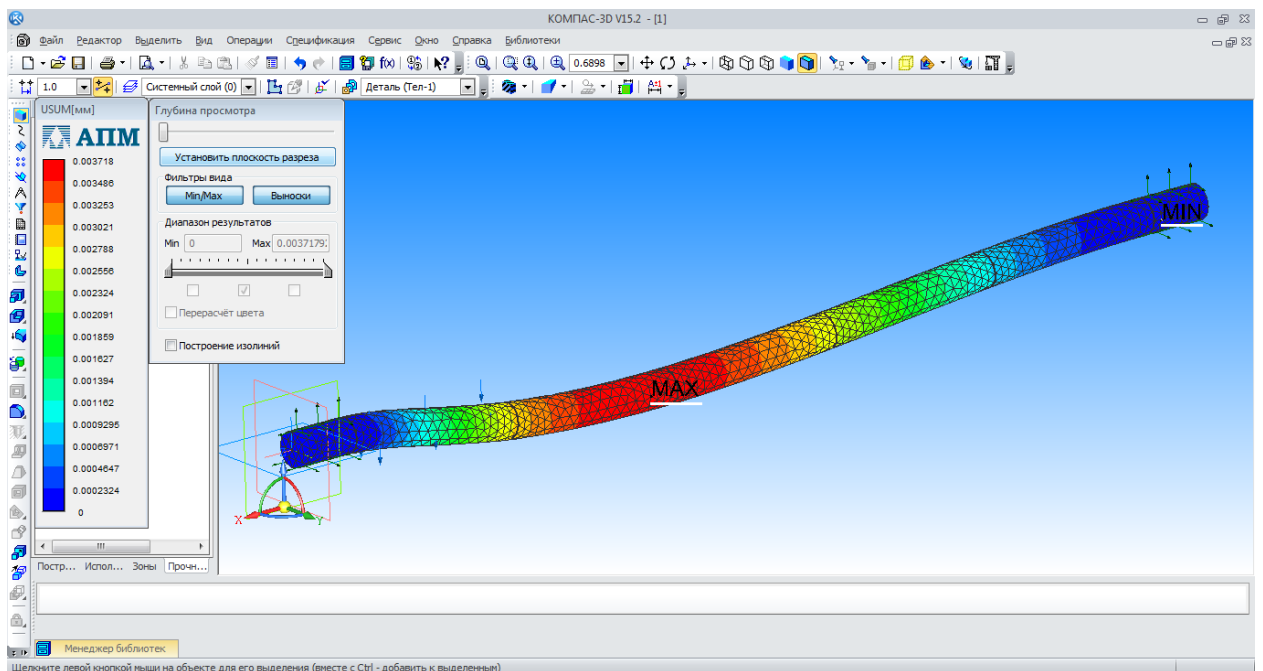


Рисунок 4.4 – Статический расчет перемещений на первом участке.

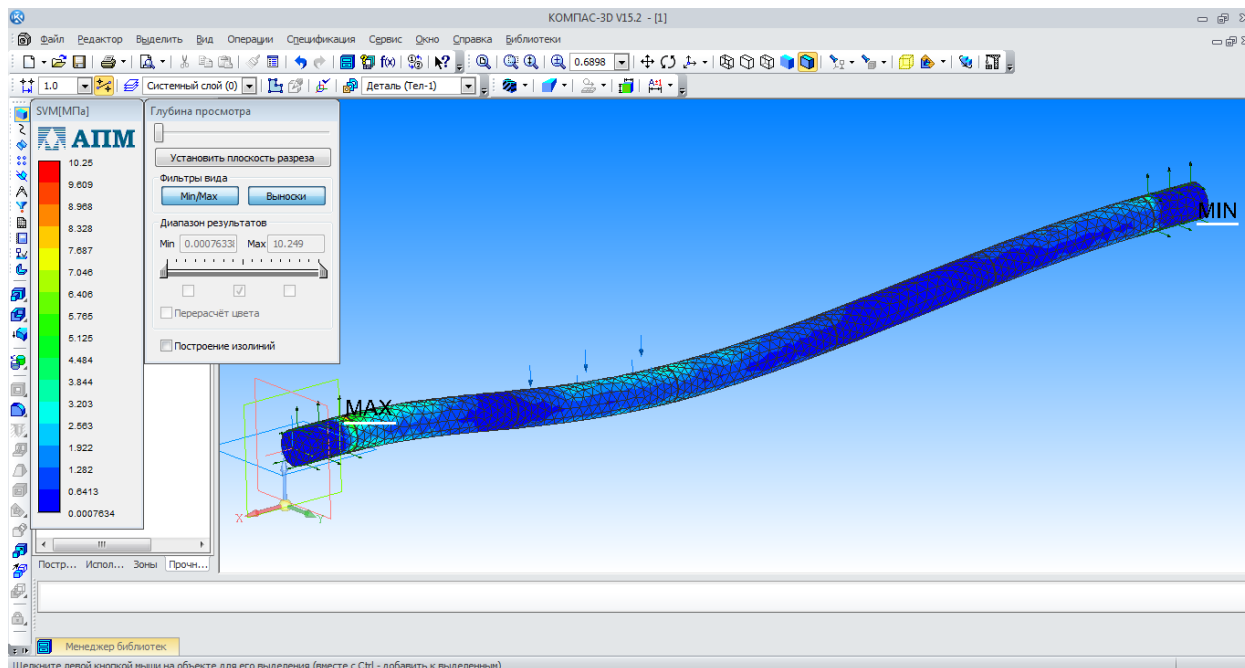


Рисунок 4.5 – Статический расчет напряжений на втором участке.

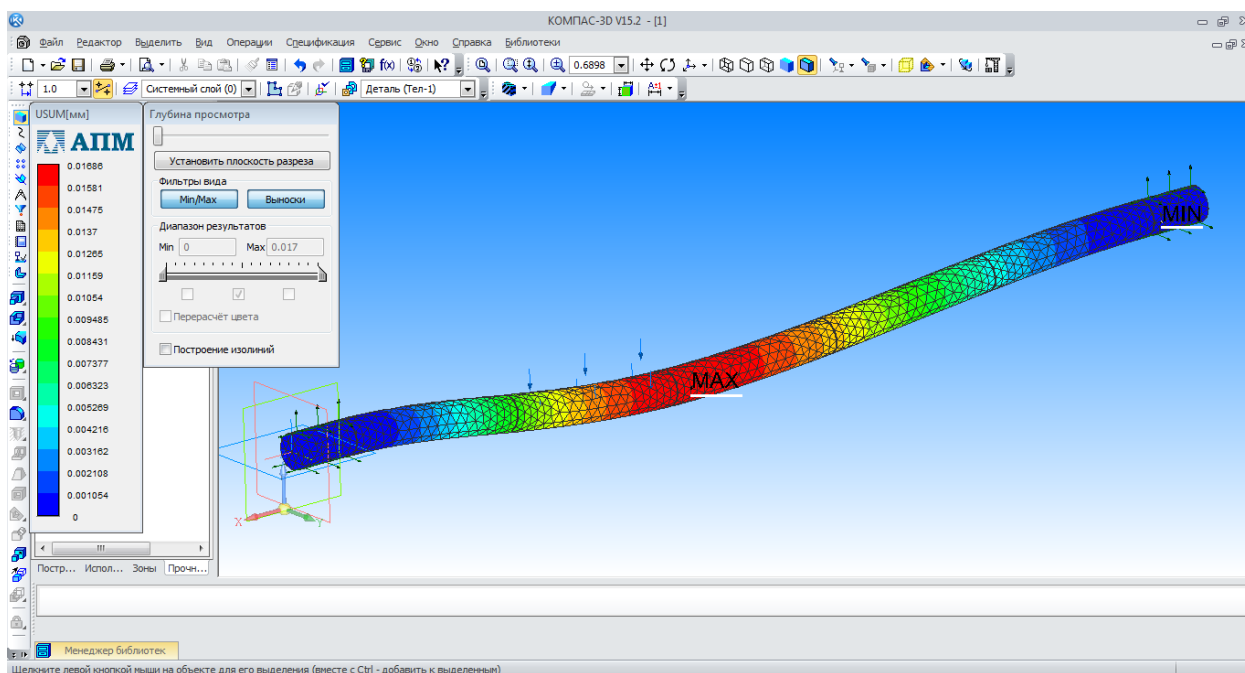


Рисунок 4.6 – Статический расчет перемещений на втором участке.

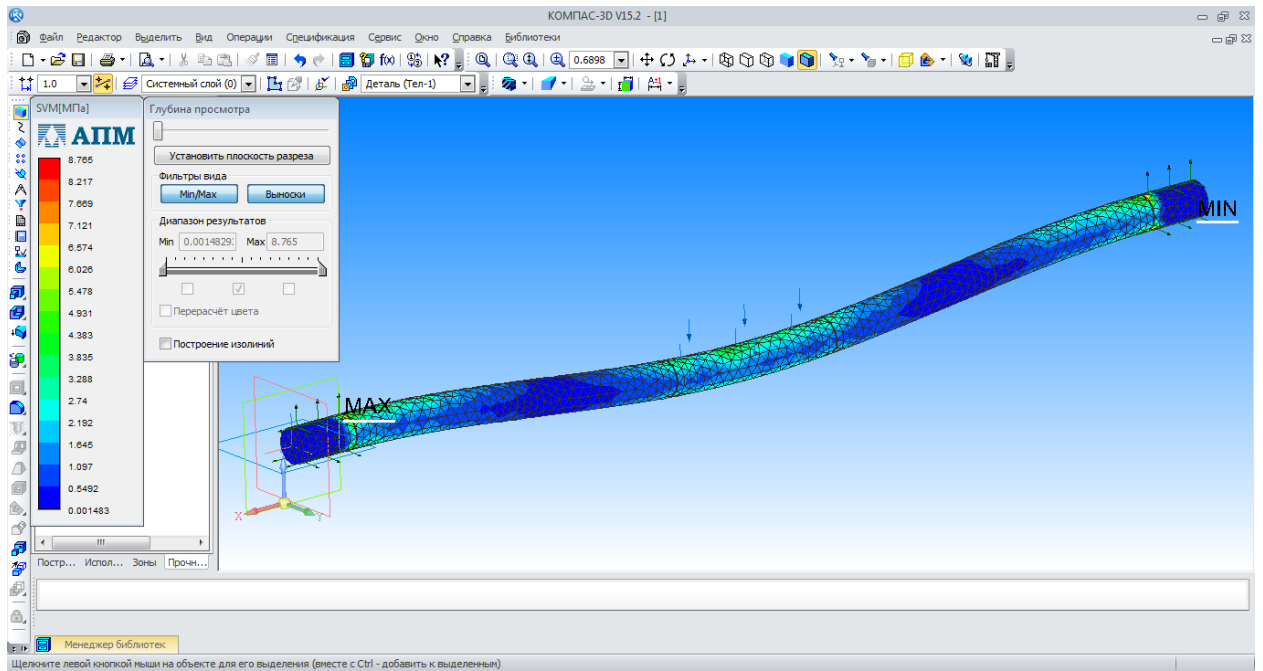


Рисунок 4.7 – Статический расчет напряжений на третьем участке.

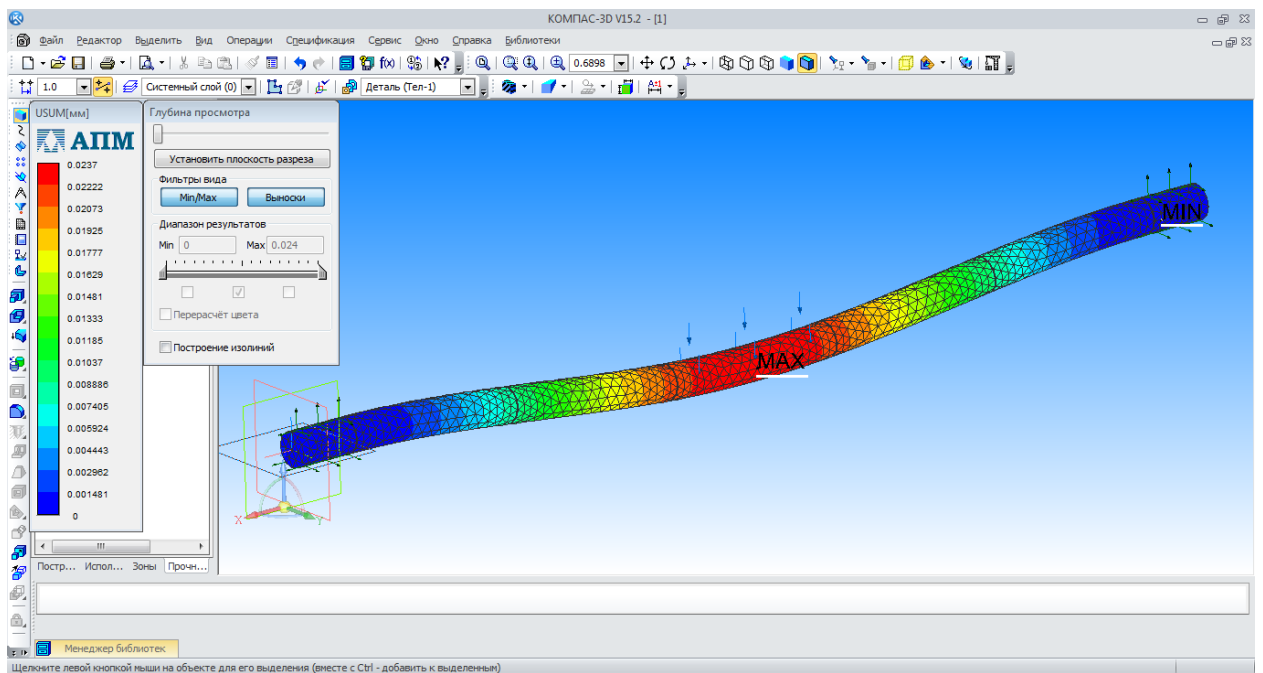


Рисунок 4.8 – Статический расчет перемещений на третьем участке.

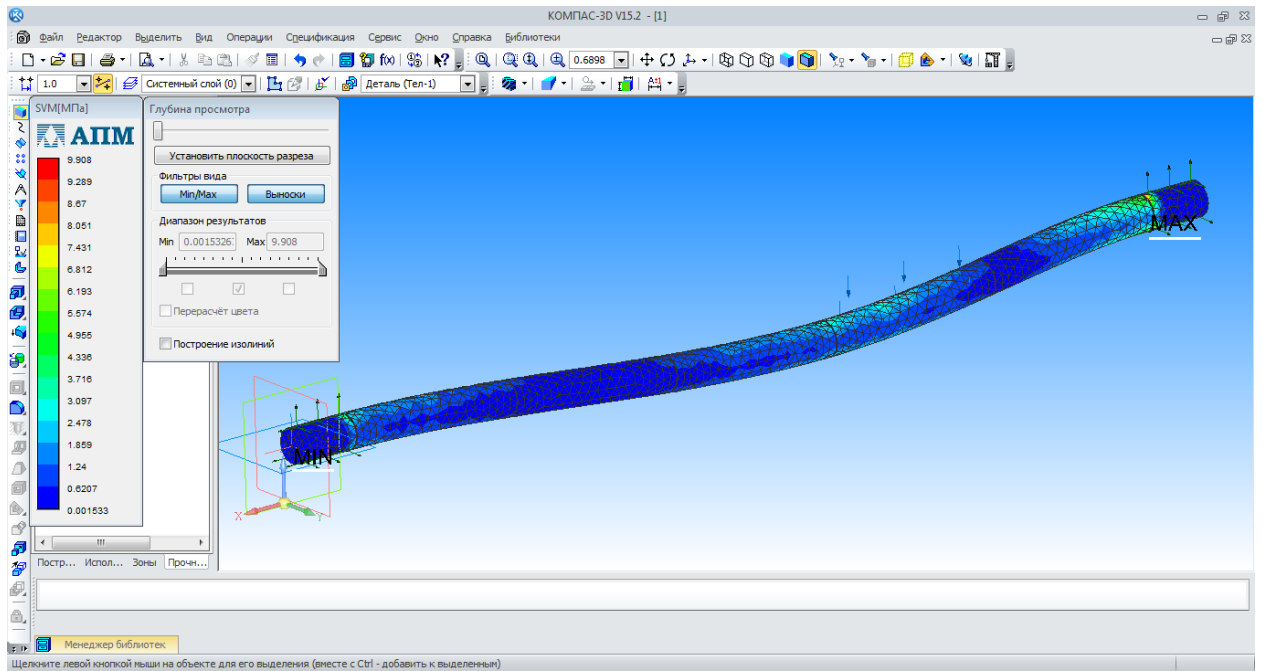


Рисунок 4.9 – Статический расчет напряжений на четвертом участке.

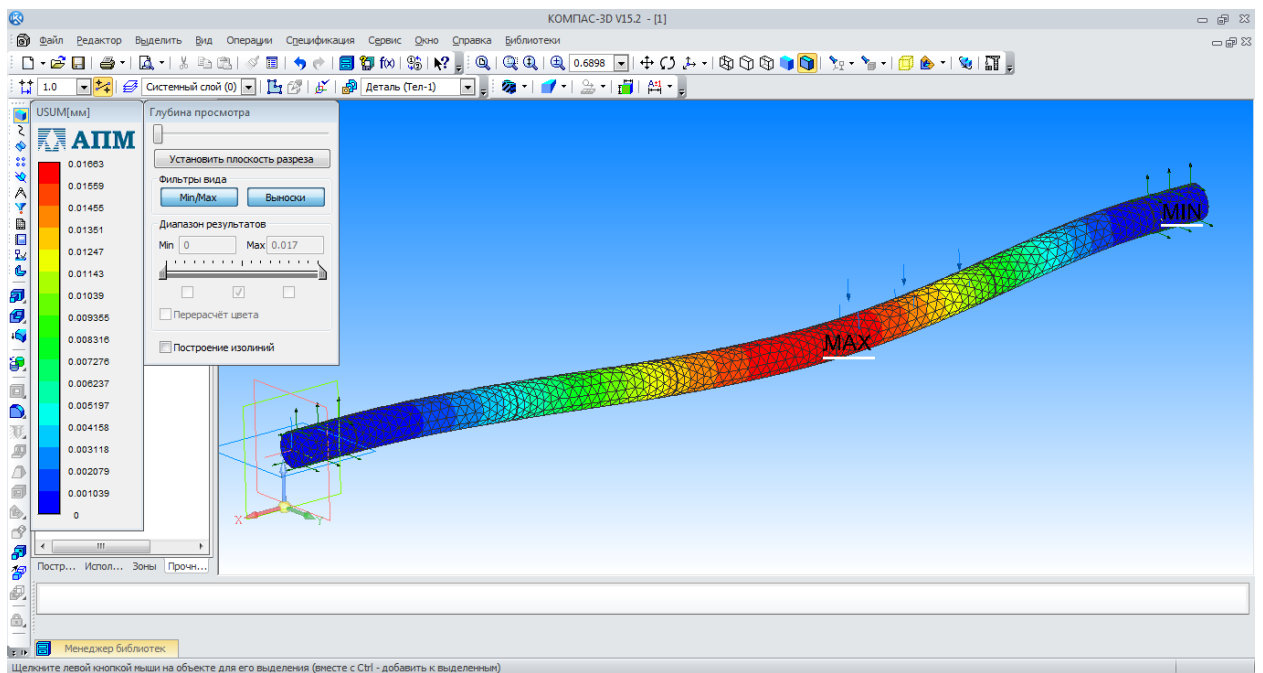


Рисунок 4.10 – Статический расчет перемещений на четвертом участке.

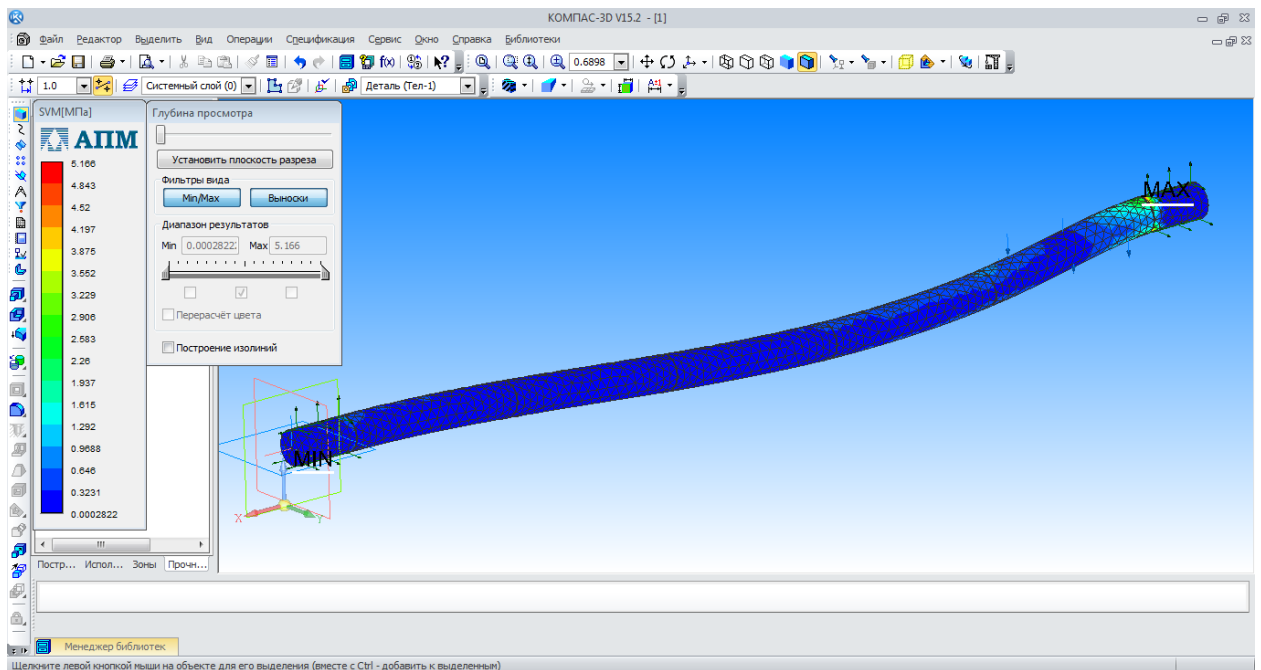


Рисунок 4.11 – Статический расчет напряжений на пятом участке.

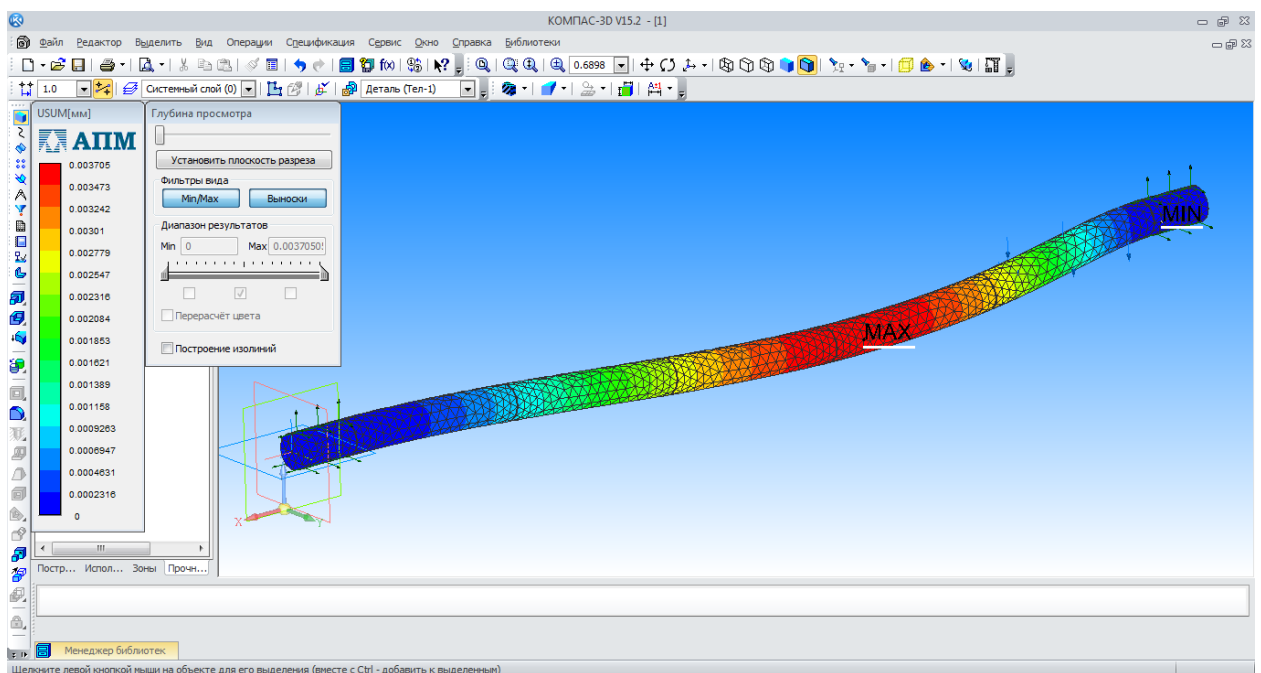


Рисунок 4.12 – Статический расчет перемещений на пятом участке.

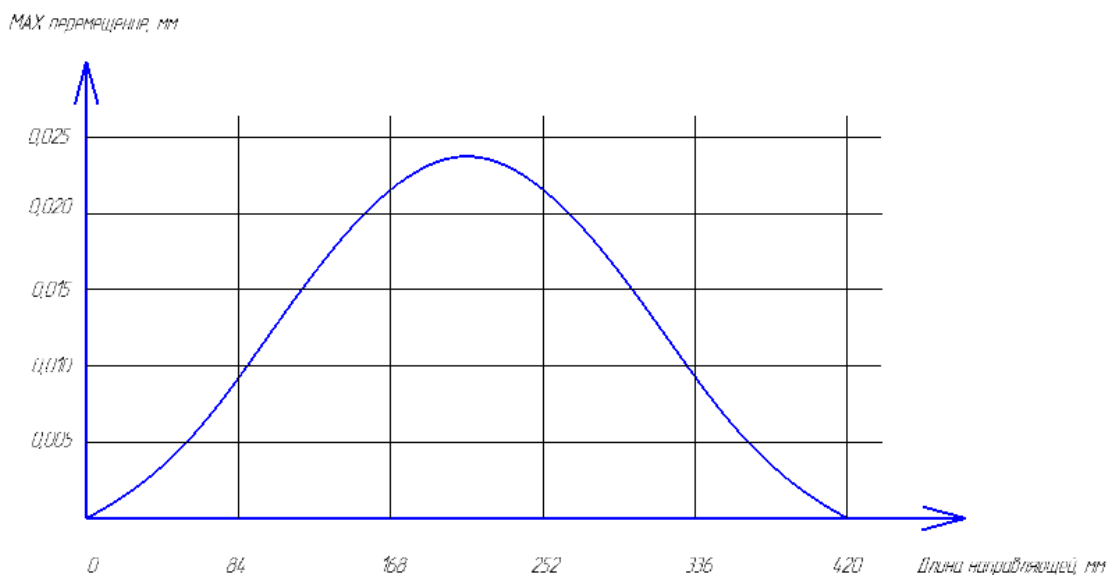


Рисунок 4.13 – График МАХ перемещения от длины направляющей.

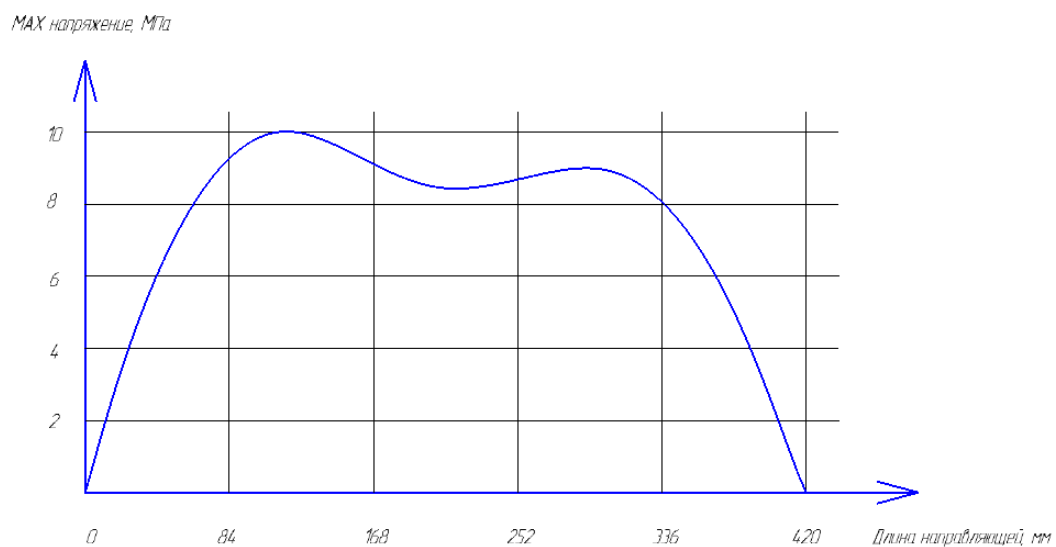


Рисунок 4.13 – График МАХ напряжения от длины направляющей.

Вывод: даже при увеличенном значении приложенной силы прогиб вала направляющей находится в пределах нормы. Для станков подобного класса максимальным значением провисания направляющих является 0,2 мм, полученные данные соответствуют этому условию.

## 5. ОПИСАНИЕ ГРАФИЧЕСКОЙ ЧАСТИ РАБОТЫ

Графическая часть данного дипломной работы состоит из 6 листов (в том числе 1 лист приложения). Чертежи представлены в формате А0, А1 и А2.

Структура чертежей:

1. Сборочный чертеж в формате А0 (на данном чертеже представлены основные виды и разрезы станка, проставлены габаритные и присоединительные размеры, проставлены позиции) и спецификация к нему (см. приложение А);

2. Сборочный размерный анализ в формате А2 (представлен вид размерной цепи);

3. Технологическая схема сборки в формате А1 (показан процесс сборки устройства с основными рекомендациями к нему) и технологическая карта к нему (см. приложение Б);

4. Электрическая схема в формате А1 (схема подключения электронных компонентов станка с ЧПУ);

5. Результаты моделирования в формате А2 (графические данные, полученные при статических испытаниях валов направляющих).

На плакате презентации представлена основная информация по дипломной работе, а также показательные иллюстрации.

## 6. БЕЗОПАСНОСТЬ И ЭКОЛОГИЧНОСТЬ ТЕХНИЧЕСКОГО ОБЪЕКТА

### 6.1 Конструктивно-технологическая характеристика объекта

Исходные данные по технологическому процессу занесены в таблицу

6.1. При заполнении раздела использовался [5].

Таблица 6.1 - Технологический паспорт объекта.

Технологический процесс	Технологическая операция, вид выполняемых работ	Наименование должности работника, выполняющего технологический процесс, операцию	Оборудование, устройство, приспособление	Материалы, вещества
ТП проектирования вертикально-фрезерного станка	Заготовительная	Слесарь	Дисковая пила TJET JTS-700L 400V	Фанера
	Сверлильная	Оператор	Сверлильный станок ALZSTAR 18 T/S	
	Контрольная	Контролер	Штангенциркуль	-
	Сборочная	Слесарь	Верстак	-

### 6.2 Идентификация производственно-технологических и эксплуатационных профессиональных рисков

Возможное возникновение опасных и вредных факторов было учтено и приведено в таблице 6.2.



Таблица 6.2 - Идентификация профессиональных рисков.

Производственно-технологическая и/или эксплуатационно-технологическая операция, вид выполняемых работ	Опасный и /или вредный производственный фактор	Источник опасного и / или вредного производственного фактора
заготовительная	Движущиеся машины и механизмы	Полотно пилы
	Применение электрооборудования, замыкание электрической цепи которого может пройти через тело человека	Ток в электрической цепи станка
	Острые кромки на поверхности инструментов, заусенцы и шероховатость на поверхности заготовок	Поверхность режущего инструмента
Сверлильная	Движущиеся машины и механизмы	Вращающийся шпиндель станка
	Повышенная запыленность рабочей зоны	Вид обрабатываемого материала
	Повышенная температура оборудования	Взаимодействие поверхностей инструмента и заготовки
	Применение электрооборудования, замыкание электрической цепи которого может пройти через тело человека	Ток в электрической цепи станка
	Острые кромки на поверхности инструментов, заусенцы и шероховатость на поверхности заготовок	Поверхность режущего инструмента
Контрольная	-	-

### 6.3 Методы и технические средства снижения профессиональных рисков.

В данном разделе были назначены мероприятия по предупреждению опасных производственных факторов. Кроме того были выбраны средства индивидуальной защиты для рабочего персонала. Вся информация занесена в таблицу 6.3.

Таблица 6.3 - Методы и средства снижения воздействия опасных и вредных производственных факторов

Опасный и / или вредный производственный фактор	Организационные методы и технические средства защиты, снижения, устранения опасного и / или вредного производственного фактора	Средства индивидуальной защиты работника
Движущиеся машины и механизмы	Проведение своевременного инструктажа, использование ограждающих элементов	Спецодежда для защиты от загрязнений и механических воздействий, ботинки с защитным подноском
Применение электрооборудования, замыкание электрической цепи которого может пройти через тело человека	Применение надежных материалов изоляции электропроводки, применение предохраняющих устройств	Прорезиненные перчатки
Повышенная запыленность рабочей зоны	Применение средств вентилирования воздуха	Средства индивидуальной защиты органов дыхания (СИЗОД), защитные очки
	Применение устройств по сбору пыли	
Повышенная температура оборудования	Применение средств воздушного охлаждения	-

6.4 Обеспечение пожарной и техногенной безопасности рассматриваемого технического объекта (производственно-технологических эксплуатационных и утилизационных процессов).

Главным условием безопасной работы персонала является наличие надежной системы обеспечения пожарной безопасности. Для грамотного назначения средств обеспечения безопасности нужно в первую очередь идентифицировать опасные факторы при пожаре (таблица 6.4).

Учитывая полученную информацию, выберем основные технические средства пожарной безопасности (таблица 6.5). В дополнении к этому назначим организационно-технические мероприятия для персонала (таблица 6.6).

Таблица 6.4 - Идентификация классов и опасных факторов пожара.

Участок, подразделение	Оборудование	Класс пожара	Опасные факторы пожара	Сопутствующие проявления факторов пожара
Заготовительный	Дисковая пила	В	Пламя и искры, высокая температура, выделение ядовитых паров при сгорании легкоплавких веществ.	Осколки, части разрушенного объекта, разрушение электропроводки, выбросы вредных веществ в процессе горения, выбросы вредных веществ в процессе пожаротушения.
Сверлильный	Сверлильный станок			
Контрольный	Штангенциркуль			
Сборочный	Верстак			

Таблица 6.5 - Технические средства обеспечения пожарной безопасности.

Первичные средства пожаротушения	Мобильные средства пожаротушения	Стационарные установки и системы пожаротушения	Средства пожарной автоматики	Пожарное оборудование	Средства индивидуальной защиты и спасения людей при пожаре	Пожарный инструмент (механизированный и немеханизированный)	Пожарные сигнализация, связь и оповещение.
Песок, порошковый огнетушитель.	Пожарная мотопомпа	Аэрозольная система пожаротушения	Система управления пожаротушением	Пожарный шкаф	Противогазы, респираторы	Совковая лопата, ведро, багор	Автоматическая установка пожарной сигнализации

Таблица 6.6 - Организационные (организационно-технические) мероприятия по обеспечению пожарной безопасности.

Наименование технологического процесса, оборудования технического объекта	Наименование видов реализуемых организационных (организационно-технических) мероприятий	Предъявляемые требования по обеспечению пожарной безопасности, реализуемые эффекты
ТП проектирования вертикально-фрезерного станка	Организация пожарной охраны, инструктаж сотрудников по действиям во время пожара, определение пожароопасных веществ и выбор правил их хранения	Мониторинг концентрации легковоспламеняющихся веществ, своевременная утилизация легковоспламеняющихся отходов

## 6.5 Обеспечение экологической безопасности рассматриваемого технического объекта.

Главной задачей этого раздела является обеспечение экологической безопасности выбранного объекта. Для этого необходимо идентифицировать экологические факторы объекта (таблица 6.7). Опираясь на полученные данные, назначим мероприятия по снижению негативного воздействия на окружающую среду (таблица 6.8).

Таблица 6.7 - Идентификация экологических факторов технического объекта

Наименование технического объекта, технологического процесса	Структурные составляющие технического объекта, технологического процесса (производственно го здания или сооружения по функциональному назначению, технологические операции, оборудование), энергетическая установка транспортное средство и т.п.	Воздействие технического объекта на атмосферу (вредные и опасные выбросы в окружающую среду)	Воздействие технического объекта на гидросферу (образующие сточные воды, забор воды из источников водоснабжения)	Воздействие технического объекта на литосферу (почву, растительный покров, недра) (образование отходов, выемка плодородного слоя почвы, отчуждение земель, нарушение и загрязнение растительног о покрова и т.д.)
ТП проектирования вертикально- фрезерного станка		Древесная пыль, образующаяся в процессе обработки	-	Образование отходов в виде древесной пыли

Таблица 6.8 - Разработанные организационно-технические мероприятия по снижению негативного антропогенного воздействия технического объекта на окружающую среду.

Наименование технического объекта		ТП проектирования вертикально-фрезерного станка
Мероприятия по снижению негативного антропогенного воздействия на атмосферу	по на	Установка специальных вытяжек с системой фильтрации для очистки воздуха перед выбросом в атмосферу
Мероприятия по снижению негативного антропогенного воздействия на гидросферу	по на	Отсутствует воздействие на гидросферу
Мероприятия по снижению негативного антропогенного воздействия на литосферу	по на	Сбор стружки с последующим отправлением в пункт приема металлолома

#### Выводы:

1. В разделе «Безопасность и экологичность технического объекта» приведена характеристика технологического процесса изготовления деталей вертикально-фрезерного станка, перечислены технологические операции, должности работников, производственно-техническое и инженерно-техническое оборудование, применяемые сырьевые технологические и расходные материалы, комплектующие изделия и производимые изделия (таблица 6.1).

2. Проведена идентификация профессиональных рисков по осуществляемому технологическому процессу (таблица 6.2).

3. Разработаны организационно-технические мероприятия по снижению профессиональных рисков. Подобраны средства индивидуальной защиты для персонала (таблица 6.3).

4. Разработаны мероприятия по обеспечению пожарной безопасности технического объекта. Проведена идентификация класса пожара и опасных факторов пожара и разработка средств, методов и мер обеспечения пожарной безопасности (таблица 6.4). Разработаны средства, методы и меры обеспечения пожарной безопасности (таблица 6.5). Разработаны мероприятия по обеспечению пожарной безопасности на техническом объекте (таблица 6.6).

5. Идентифицированы экологические факторы (таблица 6.7) и разработаны мероприятия по обеспечению экологической безопасности на техническом объекте (таблица 6.8).

## 7. ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ РАБОТЫ

В данном разделе будет произведен расчет экономической эффективности работы. При расчёте использовался [15].

Для расчета капитальных вложений в изделие суммируем общую стоимость деталей и узлов, расходы на сборку и затраты на проектирование.

Таблица 7.1- Ведомость вводимых деталей и узлов.

Перечень узлов и деталей	Кол-во компонентов	Цена за 1 ед.	Цена за необходимый комплект
ШД (АД 200-31)	3	3000	9000
Драйвер (SMD 4.2)	3	4000	12000
Блок питания	1	1500	1500
Плата опоразвязки	1	300	300
Упругая муфта	3	400	1200
Направляющие ось X $\varnothing$ 16 (480 мм)	2	1200 (за 1м)	1200
Направляющие ось Y $\varnothing$ 16 (480 мм)	2	1200 (за 1м)	1200
Направляющие ось Z $\varnothing$ 12 (250 мм)	2	1100 (за 1м)	1100
Винтовая пара ось X	1	600	600
Винтовая пара ось Y	1	600	600
Винтовая пара ось Z	1	300	300
Линейные подшипники $\varnothing$ 16 мм	8	450	3600
Линейные подшипники $\varnothing$ 12 мм	4	300	1200
Крепление шпинделя	1	1400	1400
Шпиндель	1	4000	4000
Опора направляющих	8	250	2000
Дополнительно (крепежные элементы, соединительные провода и др.)	-	-	500
Всего:			41700

Расходы на сборку ( $P_{сб}$ ):



$$P_{CB} = T_{CB} \cdot C_{\text{час}} \cdot K_D \cdot (1 + K_C) = 1,1 \cdot 66,71 \cdot 1,08 \cdot (1 + 0,3) = 103,1, \text{ руб.} \quad (7.1)$$

Где:  $T_{CB}$  – трудоемкость сборки и монтажа, н-часов;  $C_{\text{час}}$  – средняя часовая тарифная ставка рабочих, занятых демонтажем;  $K_D$  – коэффициент, учитывающий доплаты до часового, дневного и месячного фонда заработной платы;  $K_C$  – коэффициент, учитывающий отчисления на социальные нужды.

Затраты на проектирование:

$$З_{\text{ИР}} = T_{\text{ТР.ИР}} \cdot C_{\text{ч.ТЕХ}} = 564,1 \cdot 77,55 = 43745,96, \text{ руб.} \quad (7.2)$$

где:  $C_{\text{ч.ТЕХ}}$  – часовая заработная плата конструктора, технолога:

$$C_{\text{ч.ТЕХ}} = \frac{\text{Оклад}_{\text{КОНСТ(ТЕХН)}}}{D_{\text{Р.МЕС}} \cdot T_{\text{СМ}}} = \frac{14000}{22 \cdot 8} = 77,55, \text{ руб./ час} \quad (7.3)$$

где:  $T_{\text{СМ}}=8$  – продолжительность рабочей смены;  $\text{Оклад}_{\text{КОНСТ(ТЕХН)}}$  – месячный оклад конструктора, технолога;  $D_{\text{Р.МЕС}}=22$  – количество рабочих дней в месяце.

Суммируя значения из предыдущих формул, получим величину общих капитальных вложений в изделие.

$$K_{\text{ОБЩ}} = C_D + P_{CB} + З_{\text{ИР}} = 41700 + 103,1 + 43745,96 = 85549,06, \text{ руб.} \quad (7.4)$$

## 7.1 Расчет технологической себестоимости

$$M = M_3 \cdot \Pi_{МАТ} \cdot K_{ТЗ} - M_{ОТХ} \cdot \Pi_{ОТХ}, \text{ руб.} \quad (7.5)$$

$$З_{ПЛ.ОП.БАЗ.} = \frac{\sum T_{ШТ} \cdot C_{ч}}{60} \cdot K_{У} \cdot K_{ПФ} \cdot K_{ПР} \cdot K_{Д} \cdot K_{ВН} \cdot K_{Н}, \text{ руб.} \quad (7.6)$$

$$З_{ПЛ.Н.БАЗ.} = \frac{C_{ЧН} \cdot \Phi_{ЭР} \cdot H_{ОБ.ОБЩ} \cdot K_{З.СР}}{\Pi_{Г} \cdot H_{ОБСЛ}} \cdot K_{У} \cdot K_{ПФ} \cdot K_{ПР} \cdot K_{Д} \cdot K_{Н}, \text{ руб.} \quad (7.7)$$

$$H_{ПЛ.} = (З_{ПЛ.ОП} + З_{ПЛ.Н}) \cdot K_{С}, \text{ руб.} \quad (7.8)$$

$$P_{Р.ОБ.БАЗ.} = \frac{\sum_1^m (\Pi_{ОБ} \cdot (K_{МОИТ} + 1) - B_{Р.ОБ}) \cdot H_{ОБ} \cdot K_3}{\Phi_3 \cdot 60 \cdot K_{ВН}} \cdot K_{Р}, \text{ руб.} \quad (7.9)$$

$$P_{А.БАЗ.} = \frac{\sum_1^m (\Pi_{ОБ} \cdot (K_{МОИТ} + 1) - B_{Р.ОБ}) \cdot H_{ОБ} \cdot K_3}{\Phi_3 \cdot 60 \cdot K_{ВН} \cdot 100} \cdot H_{А}, \text{ руб.} \quad (7.10)$$

$$P_{Э.БАЗ.} = \frac{\sum_1^m M_{У} \cdot T_{МАШ}}{КПД \cdot 60} \cdot K_{ОД} \cdot K_{М} \cdot K_{В} \cdot K_{П} \cdot \Pi_{Э}, \text{ руб.} \quad (7.11)$$

$$P_{II} = \sum_1^m \frac{((C_{II} \cdot K_{TP} - B_{P,II}) \cdot K_{УБ} + C_{ПЕР}) \cdot T_{МАШ}}{T_{II} \cdot (H_{ПЕР} + 1) \cdot 60}, \text{руб.} \quad (7.12)$$

$$P_{ПЛ} = \frac{\sum_1^m H_{ОБ} \cdot P_{УД} \cdot K_3 \cdot K_{Д.ПЛ}}{\Pi_{Г}} \cdot Ц_{Э.ПЛ}, \text{руб.} \quad (7.13)$$

$$P_{У.ЛР} = \sum_1^m \frac{З_{У.ЛР} \cdot K_3 \cdot H_{ДЕТ} \cdot K_{В.ЛР}}{\Pi_{Г} \cdot T_{ПЕР}}, \text{руб.} \quad (7.14)$$

$$P_{Э.ОБ} = P_{Р.ОБ} + P_A + P_{Э} + P_{II} + P_{СМ} + P_B + P_{СЖ} + P_{ПЛ} + P_{У.ЛР}, \text{руб.} \quad (7.15)$$

Используя описанную методику (формулы 7.5 - 7.15), получим следующие значения, которые представлены в таблице 7.2.

Таблица 7.2 – Значения параметров технологической себестоимости.

№	Наименование показателей	Значения показателей
1	Основные материалы за вычетом отходов,руб.	726,03
2	Основная заработная плата рабочих операторов,руб.	4,72
3	Основная заработная плата наладчика,руб.	0,36
4	Начисления на заработную плату,руб.	1,73
5	Расходы на текущий ремонт оборудования,руб.	0,02
6	Расходы на амортизацию оборудования,руб.	0,004
7	Расходы на технологическую энергию,руб.	0,012
8	Расходы на инструмент,руб.	0,26
9	Расходы на содержание и эксплуатацию производственной площади,руб.	0,29
10	Расходы на поставку и эксплуатацию управляющих программ для станков с ЧПУ,руб.	0,39
11	Итого расходы по содержанию и эксплуатации оборудования,руб.	1,036

Таблица 7.3 - Калькуляция себестоимости обработки детали.

№	Статьи затрат	Затраты, руб.
		Проект
1	2	3
1	Материалы за вычетом отходов: $M$	0,9
2	Основная заработная плата рабочих операторов и наладчиков: $Z_{ПЛ.ОСН} = Z_{ПЛ.ОП} + Z_{ПЛ.Н}$ $Z_{ПЛ.ОСН(ПР)} = 4,72 + 0,36 = 5,08$	5,08
3	Начисления на заработную плату: $H_{З.ПЛ}$	1,73
4	Расходы на содержание и эксплуатацию оборудования: $P_{Э.ОБ}$	1,036
Итого технологическая себестоимость: $C_{ТЕХ} = M + Z_{ПЛ.ОСН} + H_{З.ПЛ} + P_{Э.ОБ}$		8,75
5	Общеховые накладные расходы: $P_{ЦЕХ} = Z_{ПЛ.ОСН} \cdot K_{ЦЕХ}$ $P_{ЦЕХ(ПР)} = 5,08 \cdot 1,72 = 8,74$	8,74
Итого цеховая себестоимость: $C_{ЦЕХ} = C_{ТЕХ} + P_{ЦЕХ}$		17,49
6	Заводские накладные расходы: $P_{ЗАВ} = Z_{ПЛ.ОСН} \cdot K_{ЗАВ}$ $P_{ЗАВ(ПР)} = 5,08 \cdot 1,97 = 10,01$	10,01
Итого заводская себестоимость: $C_{ЗАВ} = C_{ЦЕХ} + P_{ЗАВ}$		27,5
7	Внепроизводственные расходы: $P_{ВН} = C_{ЗАВ} \cdot K_{ВНП}$ $P_{ВН(ПР)} = 27,5 \cdot 0,003 = 0,083$	0,08
Всего полная себестоимость: $C_{ПОЛ} = C_{ЗАВ} + P_{ВН}$		27,58

## 7.2 Расчет показателей экономической эффективности проектируемой техники.

$$P_{OЖ} = \mathcal{E}_{УГ} = C_{ПОЛ(БАЗ)} \cdot R \cdot P_{Г}, \text{ руб.} \quad (7.16)$$

$$P_{OЖ} = \mathcal{E}_{УГ} = 27,58 \cdot 0,2 \cdot 10000 = 55160 \text{ , руб.}$$

$$H_{ПРИБ} = P_{OЖ} \cdot K_{НАЛ}, \text{ руб.} \quad (7.17)$$

$$H_{ПРИБ} = P_{OЖ} \cdot K_{НАЛ} = 68950 \cdot 0,2 = 11032 \text{ , руб.}$$

$$P_{ЧИСТ} = P_{OЖ} - H_{ПРИБ}, \text{ руб.} \quad (7.18)$$

$$P_{ЧИСТ} = P_{OЖ} - H_{ПРИБ} = 55160 - 11032 = 44128 \text{ , руб.}$$

$$T_{ОК.РАСЧ} = \frac{K_{ВВ.ПР}}{P_{ЧИСТ}} + 1, \text{ года} \quad (7.19)$$

$$K_{ВВ.ПР} = K_{ОБЩ} = 85549,06, \text{ руб.}$$

$$T_{ОК.РАСЧ} = \frac{85549,06}{44128} + 1 = 3, \text{ года}$$

$$D_{\text{ДИСК.ОБЩ}} = P_{\text{ЧИСТ.ДИСК}}(T) = \sum_1^T P_{\text{ЧИСТ}} \cdot \frac{1}{(1+E)^t}, \text{ руб.} \quad (7.20)$$

$$D_{\text{ДИСК.ОБЩ}} = 44128 \cdot 0.87 + 44128 \cdot 0.756 + 44128 \cdot 0.658 = 100788,35, \text{ руб.}$$

$$\mathcal{E}_{\text{ИНТ}} = \text{ЧДД} = D_{\text{ОБЩ.ДИСК}} - K_{\text{ВВ.ПР}}, \text{ руб.} \quad (7.21)$$

$$\mathcal{E}_{\text{ИНТ}} = \text{ЧДД} = 100788,35 - 85549,06 = 15239,29, \text{ руб.}$$

$$\text{ИД} = \frac{D_{\text{ОБЩ.ДИСК}}}{K_{\text{ВВ.ПР}}}, \text{ руб.} / \text{ руб.} \quad (7.22)$$

$$\text{ИД} = \frac{100788,35}{85549,06} = 1,17, \text{ руб.} / \text{ руб.}$$

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В данной выпускной квалификационной работе были выполнены следующие пункты:

- 1) Разработана конструкция настольного гравировально-фрезерного станка;
- 2) Подобраны элементы механической и электрической составляющих станка;
- 3) Определена область применения данного оборудования;
- 4) Выбрано программное обеспечение для управления изделием;
- 5) Спроектирована 3D-модель данного станка в программе Компас 3D;
- 6) Разработан технологический процесс сборки изделия;
- 7) Рассчитана погрешность основных конструктивных элементов методом размерных цепей;
- 8) Выявлено слабое место в конструкции – прогиб направляющих оси Y. Произведен статический анализ данного элемента;
- 9) Классифицированы и разобраны источники экологической опасности и назначены методы их устранения;
- 10) Произведён расчет экономической эффективности объекта.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Дальский А. М. Справочник технолога – машиностроителя, в 2-х томах. Под ред. Дальского А. М. М.: Машиностроение, 2003. - т. 1 – 912с., т. 2 – 944с.
2. Соболев С.Ф. Методические указания по разработке технологических процессов изготовления деталей механической обработкой / С. Ф. Соболев, Ю. П. Кузьмин. – СПб.: СПбГУ ИТМО, 2007. – 118с.
3. Барановский Ю. В. Режимы резания металлов/ Ю. В. Барановский. – 3-е изд. - М., Машиностроение, 1972 г.
4. Горбацевич А. Ф. Курсовое проектирование по технологии машиностроения: [Учеб.Пособие для машиностроит. спец. Вузов]/ А. Ф. Горбацевич, В. А. Шкред. – 4-е изд., перераб. и доп. – Мн: Высш. школа, 1983.- 256с., ил.
5. Горина Л. Н. Обеспечение безопасных условий труда на производстве. Учеб. Пособие. – Тольятти, 2000, 68 с.
6. Багромов Л. Г. Расчет режимов резания при фрезеровании / Л. Г. Багромов, А. М. Колокатов. – М.: МГАУ, 2000. – XX с.
7. Добрыднев И. С. Курсовое проектирование по предмету "Технология машиностроения"/ И. С. Добрыднев. – М.: Машиностроение 1985, - 184 с., ил.
8. Матвеев В. В. Проектирование экономических технологических процессов в машиностроении/ В. В. Матвеев, Ф. И. Бойков. – Челябинск: Юж.-Урал. кн. изд-во. 1979. – 111 с., ил.
9. Справочник технолога – машиностроителя. В 2-х т. Т. 1,2/ Под ред. Косиловой А. Г. и Мещерякова Р. К. – 4-е изд. Перераб. и доп., М: Машиностроение, 1985 г., 656 с., ил.
10. Некрасов С. С. Обработка материалов резанием/ С. С. Некрасов. - М.: Агропромиздат, 1988. - 336с.



11. Кузнецов Ю. И. Оснастка для станков с ЧПУ: Справочник/ Ю. И. Кузнецов, А. Р. Маслов, А. Н. Байков. – М.: Машиностроение, 1990. - 510с.: ил.
12. Новиков М. П. Основы технологии сборки машин и механизмов/ М. П. Новиков. – М.:Машиностроение, 1980. – 592с.
13. Бобровский А.В. Резание цветных металлов: Справочник / А. В. Бобровский, О. И. Драчев, А. В. Рыбьяков. – СПб.: Политехника, 2001. – 200с.:ил.
14. Булычев В. А. Расчет сборочных размерных цепей. Методические указания к практическим занятиям по курсу «Технология отрасли». Тольятти. – 1996 г.
15. Зубкова Н.В. Учебно – методическое пособие по выполнению экономического раздела выпускной квалификационной работы для студентов, обучающихся по направлению подготовки 15.03.05 «Конструкторско – технологическое обеспечение машиностроительных производств». / Н.В. Зубкова – Тольятти: ТГУ, 2015. – 73с.
16. Pabla, B. S. CNC Machines / B. S. Pabla, M. Adithan. – New Age International, 1994. – 107 p.
17. Smid Peter CNC Programming Techniques / Peter Smid, – 1 th ed. – Industrial Press, Inc., 2005. – 360 p.
18. Peterson, Michael J. CNC Programming: Basics & Tutorial / Peterson, Michael J. – CreateSpace Independent Publishing Platform, 2008. – 234 p.
19. Overby, Alan. CNC Machining Handbook: Building, Programming, and Implementation / Overby A. – 1 th ed. – McGraw–Hill Education TAB, 2010. – 272 p.
20. Kelly, James F. Build Your Own CNC Machine / Kelly James F., Hood-Daniel P., – Apress, 2009. – 240 p.

# Приложения:

технологическая документация

Формат	Зона	Лист	Обозначение	Наименование	Кол	Примечание	Лист			
							Лист	Листов		
				<u>Документация</u>						
A1			16.07.646.01.000 СБ	Сборочный чертеж	1					
				<u>Детали</u>						
		1	16.07.646.01.000.01.	Передняя панель корпуса	1					
		2	16.07.646.01.000.02.	Боковая панель корпуса	2					
		3	16.07.646.01.000.03.	Задняя панель корпуса	1					
		4	16.07.646.01.000.04.	Усиливающие панели	2					
		5	16.07.646.01.000.05.	Стойка портала левая	1					
		6	16.07.646.01.000.06.	Стойка портала правая	1					
		7	16.07.646.01.000.07.	Задняя панель портала	1					
		8	16.07.646.01.000.08.	Направляющие оси X	2					
		9	16.07.646.01.000.09.	Направляющие оси Y	2					
		10	16.07.646.01.000.10.	Направляющие оси Z	2					
		11	16.07.646.01.000.11.	Опоры направляющих	8					
		12	16.07.646.01.000.12.	Ходовой винт оси X	1					
		13	16.07.646.01.000.13.	Ходовой винт оси Y	1					
		14	16.07.646.01.000.14.	Ходовой винт оси Z	1					
		15	16.07.646.01.000.15.	Ходовая гайка	3					
		16	16.07.646.01.000.16.	Упругая муфта	3					
		17	16.07.646.01.000.17.	Шаговый двигатель	3					
		18	16.07.646.01.000.18.	Крепление ШД	3					
		19	16.07.646.01.000.19.	Задняя панель каретки	1					
			<b>016.07.646.01.000 СП</b>							
Изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата	Вертикально-фрезерный станок Сборочный чертеж			Лист	Лист	Листов
Разраб.	Кожевников							4	1	2
Проб.	Расторгуев									
Н.контр.	Виткалов									
Утв.	Бабровский				<b>ТГУ МСБ-1203</b>					
Копировал					Формат А4					



Приложение Б

ТГУ		Технологическая карта сборки вертикально-фрезерного станка с ЧПУ.				Группа: <u>МСб-1203</u>		
Институт машиностроения		Наименование изделия: вертикально-фрезерный станок с ЧПУ.				Студент <u>Кожевников</u>		
		Собираемый узел: вертикально-фрезерный станок с ЧПУ.				Ф.И.О. <u>Г.В.</u>		
Кафедра ОТМП		№ чертежа узла 16.07.646.03		Годовой выпуск узлов 1		Лист № <u>1</u>		
						Всего листов <u>4</u>		
№ операции	№ переходов	Содержание переходов	№ деталей (узлов) и кол-во их, поступ. На сбор.оп.	Оборудован.	Приспособл.	Инструмент		Норма времени в минутах
						рабочий	Контр.	
05		<u>Узловая сборка</u> Сборка узла направляющих оси X						
	1	Смазать направляющие оси X.	8/2	верстак				0,21*2
	2	Установить линейные подшипники.	36/2					0,08*2 Σ 0,58
10		<u>Сборка узла направляющих оси Y.</u>						
	1	Смазать направляющие оси Y.	9/2	верстак				0,21*2
	2	Установить линейные подшипники.	36/2					0,08*2 Σ 0,58
15		<u>Сборка узла направляющих оси Z.</u>						
	1	Смазать направляющие оси Z.	10/2	верстак				0,17*2
	2	Установить линейные подшипники.	36/2					0,08*2 Σ 0,50
20		<u>Сборка узла винтовой пары оси X.</u>						
	1	Смазать винт оси X.	12/1	верстак				0,21
	2	Установить ходовую гайку.	15/1					0,08 Σ 0,27
25		<u>Сборка узла винтовой пары оси Y.</u>						
	1	Смазать винт оси Y.	13/1	верстак				0,21
	2	Установить ходовую гайку.	15/1					0,08 Σ 0,27
Разработал			Проверил		Утвердил		Лист	1
							Листов	4

№ операции	№ переходов	Содержание переходов	№ деталей (узлов) и кол-во их, поступ. На сбор.оп.	Оборудован.	Приспособл.	Инструмент		Норма времени в минутах	
						рабочий	Контр.		
30		Сборка узла винтовой пары оси Z.							
	1	Смазать винт оси Z.	14/1	верстак				0,21	
2	Установить ходовую гайку.	15/1						0,08	
								Σ 0,27	
35		Сборка корпуса станка		верстак					
	1	Осмотреть детали корпуса							0,28
	2	Запрессовать подшипники качения в пазы.	27/6			Молоток			0,09*6
	3	Установить переднюю панель корпуса.	1/1						0,07
	4	Наживить винты	30/6			Отвертка крестовая			0,59*6
	5	Присоединить боковые панели и затянуть винты окончательно.	2/2						0,1*6
	6	Присоединить узел направляющих оси X.	8/2						0,1
	7	Присоединить узел винтовой пары оси X.	12/1						0,1
	8	Наживить винты задней панели корпуса.	30/6						0,59*6
	9	Присоединить заднюю панель и затянуть винты окончательно.	3/1						0,1*6
	10	Наживить винты	30/20						0,59*20
	11	Присоединить усиливающие панели и затянуть винты окончательно	4/2						0,1*20
	12	Наживить болты на левую боковую стойку.	28/2						0,1*2
	13	Присоединить левую стойку и затянуть болты окончательно	5/1						0,38*2
	14	Присоединить узел направляющих оси Y.	9/2					0,1	
	15	Присоединить узел винтовой пары оси Y.	13/1					0,1	
16	Наживить болты на правую боковую стойку.	28/2				0,1*2			
Разработал			Проверил		Утвердил		Лист	2	
							Листов	4	

№ операции	№ переходов	Содержание переходов	№ деталей (узлов) и кол-во их, поступ. На сбор.оп.	Оборудован.	Приспособл.	Инструмент		Норма времени в минутах
						рабочий	Контр.	
	17	Присоединить правую стойку и затянуть болты окончательно.	6/1					0,38*2
	18	Наживить винты на заднюю панель портала.	30/8					0,1*8
	19	Присоединить заднюю панель портала и затянуть винты окончательно.	7/1					0,38*8
	20	Установить опоры направляющих.	11/8					0,1*8
	21	Закрутить винты	32/16					0,59*16 Σ 39,37
40		Сборка каретки оси Y.						
	1	Установить заднюю панель каретки.	19/1	Верстак		Отвертка		0,07
	2	Наживить винты.	30/18					0,59*18
	3	Присоединить боковые панели каретки и затянуть винты окончательно.	20/2					0,1*10
	4	Присоединить нижнюю панель каретки и затянуть винты окончательно.	21/1					0,1*4
	5	Присоединить узел направляющих оси Z.	10/2					0,1
	6	Присоединить узел винтовой пары оси Z.	14/1					0,1
	7	Присоединить верхнюю панель каретки и затянуть винты окончательно.	22/1					0,1*4 Σ 12,69
45		Сборка узла шагового двигателя.						
	1	Установить крепление ШД.	18/1	Верстак		Отвертка		0,07
	2	Наживить винты.	32/2 31/4					0,59*4
	3	Присоединить ШД и затянуть винты окончательно.	17/1					0,1
	4	Присоединить упругую муфту к валу ШД.	16/1					0,1
	5	Затянуть крепление муфты.	30/1					0,1 Σ 3,36
Разработал		Проверил		Утвердил			Лист	3
							Листов	4

№ операции	№ переходов	Содержание переходов	№ деталей (узлов) и кол-во их, поступ. На сбор.оп.	Оборудован.	Приспособл.	Инструмент		Норма времени в минутах
						рабочий	Контр.	
50	1	Сборка узла шпинделя. Установить крепление шпинделя.	25/1	Верстак		Гаечный ключ		0,1
	2	Наживить болты.	33/4 35/2					0,59*6
	3	Установить шпиндель в посадочное отверстие.	26/1					0,1
	4	Затянуть болты окончательно.	33/4 35/2					0,1*6
								Σ 4,34
55	Общая сборка.			Верстак		Отвертка		
	1	Установить корпус на верстак.	1/1					0,2
	2	Установить каретку оси Y в сборе.	19/1					0,2
	3	Затянуть винты окончательно.	32/16					0,5*16
	4	Установить стол оси X.	23/1					0,1
	5	Затянуть винты окончательно.	32/16					0,5*16
	6	Установить стол оси Z.	24/1					0,1
	7	Затянуть винты окончательно.	32/16					0,5*16
	8	Установить узел шагового двигателя в сборе.	18/3					0,2*3
	9	Затянуть винты окончательно.	31/12					0,59*12
	10	Установить узел шпинделя.	25/1					0,2
11	Затянуть болты окончательно.	33/4	0,59*4					
								Σ 34,84
Разработал			Проверил		Утвердил		Лист	4