

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Тольяттинский государственный университет»

Институт машиностроения

(наименование института полностью)

Кафедра «Оборудование и технологии машиностроительного производства»

(наименование кафедры)

15.04.05 «Конструкторско-технологическое обеспечение  
машиностроительных производств»

(код и наименование направления подготовки)

Технология автоматизированного машиностроения

(профиль)

**МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ**

на тему Разработка трёхкоординатного фрезерного станка с ЧПУ центра

«Формула Станок»

Студент

И.В. Шевелёв

(И.О. Фамилия)

\_\_\_\_\_  
(личная подпись)

Научный  
руководитель  
Консультанты

Д.Ю. Воронов

(И.О. Фамилия)

\_\_\_\_\_  
(личная подпись)

А.Г. Егоров

(И.О. Фамилия)

\_\_\_\_\_  
(личная подпись)

Руководитель программы д.т.н., доцент Н.М. Бобровский

(ученая степень, звание, И.О. Фамилия)

\_\_\_\_\_  
(личная подпись)

« \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 20 \_\_\_\_ г.

**Допустить к защите**

Заведующий кафедрой к.т.н., доцент Н.Ю. Логинов

(ученая степень, звание, И.О. Фамилия)

\_\_\_\_\_  
(личная подпись)

« \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2019 г.

Тольятти 2019

## АННОТАЦИЯ

Шевелёв Иван Владимирович. Разработка трёхкоординатного фрезерного станка с ЧПУ центра «Формула Станок». Магистерская диссертация. Тольятти. Тольяттинский государственный университет, 2019.

В магистерской диссертации представлена методика проектирования фрезерного станка с ЧПУ порталного типа.

Ключевые слова: исходные данные для проектирования, станок с ЧПУ, алгоритм разработки станка, выбор комплектующих, возможности проекта, минимальные и максимальные вложения, «Индустрия 4.0».

При выполнении магистерской диссертации достигнуты следующие результаты:

- по разделу «Введение» - исследована актуальность и сформулирована цель данной работы;

- по первому разделу – проведены патентные исследования необходимые для понимания состояния исследовательской, практической, инновационной частей развития малогабаритных станков с ЧПУ;

- по второму разделу – разработана методика проектирования фрезерного станка с ЧПУ, включающую в себя обоснование выбора компоновки станка, его размеров, выбор комплектующих и просчитана возможная стоимость проекта;

- по третьему разделу – рассмотрены перспектива развития малогабаритных станков с ЧПУ, возможности коммерциализации проекта;

- по разделу «Заключение» представлены достижения и выводы по данной работе.

Магистерская диссертация содержит пояснительную записку в размере 124 страницы, содержащую 2 таблицы и 76 рисунков.

# СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	5
1 Патентное исследование развития направления малогабаритных станков с ЧПУ.....	7
1.1 Цель исследования.....	7
1.2 Содержательная часть патентов.....	7
1.3 Выводы и заключения .....	32
2 Разработка методики проектирования станочного комплекса.....	35
2.1 Выбор концепции станка.....	35
2.2 Алгоритм проектирования и обоснование выбора конструкции (деталей, узлов, агрегатов) станка.....	37
2.3 Методика проверки точности станка .....	78
2.4 Экономическое обоснование необходимости различных вариантов проекта .....	85
2.5 Общие выводы.....	94
3 Перспективы развития малогабаритных станков с ЧПУ сквозь призму «Индустрии 4.0».....	97
3.1 Основные понятия, определения и тенденции в «Индустрии 4.0».....	97
3.2 Современное студенческое конструкторское бюро.....	100
3.3 Рынок и перспективы 3D комплексов с ЧПУ .....	103
3.4 Коммерциализация проекта фрезерного станка с ЧПУ.....	104
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	107
СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ .....	108
ПРИЛОЖЕНИЕ А.....	121
ПРИЛОЖЕНИЕ Б.....	122

ПРИЛОЖЕНИЕ В.....	123
ПРИЛОЖЕНИЕ Г.....	124

## ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время рынок развития 3D аппаратов и подобных устройств, стремительно развивается. Прогнозируемый рост к 2020 году порядка 20 млрд \$, т.е. более чем в 2 раза относительно сегодняшних показателей. Структура рынка самая разнообразная, технологии востребованы и применяются везде. Однако доля России в нем около 0,45% на 2018г.! По данным «Boston Consulting Group», доля инновационных компаний в РФ не превышает 1% и они ни как не влияют на рынок труда. При сохранении подобной тенденции, через 7 – 10 лет отставание России грозит стать несократимым.

Как один из вариантов решения подобной проблемы является создание студенческого конструкторского бюро, которое позволит студентам изучать современные способы производства и понимать направления развития современных технологий.

Ключевым звеном подобного бюро становятся различные комплексы с ЧПУ и 3D аппараты. Изучение их устройства, принципа работы и технологий их разработки становится главной задачей для успешного запуска студенческого конструкторского бюро.

Тогда, цель магистерской диссертации может быть сформулирована следующим образом: разработка детально обоснованной и поэтапной методики проектирования фрезерного станка с ЧПУ портального типа.

Для достижения данной цели, предлагается решить следующие задачи:

- провести патентные исследования необходимые для понимания состояния исследовательской, практической, инновационной частей развития малогабаритных станков с ЧПУ;

- разработать алгоритм проектирования фрезерного станка с ЧПУ, включающую в себя обоснование выбора компоновки станка, его размеров, выбор комплектующих и просчитана возможная стоимость проекта;
- изучить перспективы развития малогабаритных станков с ЧПУ, возможности коммерциализации проекта;
- сделать выводы о достижении поставленной цели.

# **1 Патентное исследование развития направления малогабаритных станков с ЧПУ**

## **1.1 Цель исследования**

В данной главе будут даны ответы на вопросы, необходимые для понимания состояния исследовательской, практической, инновационной частей развития малогабаритных станков с ЧПУ и перспектив развития данного направления. Вопросы следует сформулировать следующим образом:

- Достаточная ли патентопригодность технических решений и идей в данной группе станков?

- Каково общее количество патентов данной категории станков по отношению к другим группам?

- Каковы тенденции патентования в данной категории?

Ниже приведена содержательная часть патентов.

## **1.2 Содержательная часть патентов**

### **Четырёхосевой настольный фрезерно-гравировальный станок**

Четырёхосевой настольный фрезерно-гравировальный станок состоит из следующих деталей: вертикальных упоров основания, вертикальных упоров координаты Y, удерживающей площадки, бочки, электродвигателей, электронного блока управления, ЭВМ, ходовых винтов координаты X, Y, направляющих координат X, Y, Z, разрезных гаек, рабочего стола с T-образными пазами, прижимных элементов, муфт, пазов, пластины щита, перемычки основания, башмака, каретки, крышки каретки, крепежа для

зажима, контроллера концевых переключателей, концевых переключателей, гибкого кабель-канала координаты X, Y.

Крепеж под кабель-канал, отличается тем, что основание состоит из двух вертикальных упоров. Основания прямоугольной или произвольной формы. На одном из вертикальных упоров основания, вертикальных упоров координаты Y и удерживающей площадке расположены отверстия, содержащие посадочные места для установки одного или двух разгрузочных подшипников, а также отверстия для установки бочек – полых цилиндрических деталей с фланцами для крепления и овальными вырезами посередине, для доступа к муфте, соединяющей вал ходового винта с валом электродвигателя, к которым крепятся электродвигатели, подключаемые к электронному блоку управления и управляемые с ЭВМ.

При этом на другом вертикальном упоре основания и вертикальном упоре координаты Y расположены ответные отверстия, содержащие посадочные места для установки одного или двух подшипников, центрирующие ходовые винты координаты X и координаты Y.

В свою очередь, к вертикальным упорам основания крепятся две направляющие координаты X, выполненные в виде прямоугольных балок с треугольными проточками на гранях или балок произвольного сечения. Также к вертикальным упорам основания с нижней стороны крепятся горизонтальные упоры основания прямоугольной или произвольной формы, снабженные крепежными отверстиями для фиксации на размещаемой поверхности, вертикальные упоры основания, направляющие координаты X и горизонтальные упоры основания выполняются литыми, и/или сварными, и/или разборным.

В свою очередь, к горизонтальным упорам основания крепятся съемные амортизирующие полосы, повторяющие контур нижней части горизонтального упора основания, выполненные из одной или нескольких

частей. Также возможна произвольная форма исполнения амортизирующих полос или установка заявленного устройства на амортизирующий коврик. Плита, устанавливается сверху основания и закрывает направляющие координаты X, и передачи винт-гайка, представлены в виде ходовых винтов координаты X и разрезных гаек, является рабочим столом с Т-образными пазами, выполненными под использование стандартного крепежа и ориентированными вдоль координаты X, служащие для размещения заготовки, при помощи от трех до пяти прижимных элементов прямоугольной или произвольной формы с овальными отверстиями посередине, упирающиеся с разных сторон в вертикальные грани заготовки и притягивающиеся к рабочему столу при помощи крепежных болтов и барашковых гаек.

Поворотный стол, состоит из мотор-редуктора, прикрепленного к основному упору прямоугольной или произвольной формы, с фланцами для крепления, к верхней части которого крепится прямоугольная или произвольной формы муфта, с проточками для зажима разборной круглой, квадратной или произвольной формы рамки, в которую устанавливается обрабатываемая заготовка и фиксирующаяся посредством второй муфты и прижимного винта в верхней части Т-образного упора или упора произвольной формы с фланцами для крепления, обеспечивающего вращение заготовки на  $360^\circ$  в вертикальной плоскости.

Перемычка основания, в свою очередь, крепится к направляющим координаты X, посредством двух призмобразных деталей-башмаков. К верхней же части вертикальных упоров координаты Y прикрепляется направляющая координаты Y, выполненная в виде прямоугольной балки с двумя треугольными проточками на противоположных гранях и защитной канавкой для размещения разрезной гайки и ходового винта координаты Y или балки произвольного сечения, к направляющей координаты Y за счет башмаков и паза под направляющую координаты Y крепится каретка

прямоугольной или произвольной формы, к которой, в свою очередь, крепится съемная крышка каретки квадратной или произвольной формы с проточками или без с размещенной на ней разрезной гайкой, имеющая отверстия для доступа к крепежным болтам башмаков.

С противоположной стороны каретки перпендикулярно направляющей координаты  $Y$  за счет башмаков и паза под направляющую координаты  $Z$  крепится направляющая координаты  $Z$ , аналогичная направляющей координаты  $Y$ , содержащая в нижней части крепеж для зажима фрезерной головки, выполненный с направляющей координаты  $Z$  литым, и/или сварным, и/или разборным, также в нижней части расположена перемычка с отверстием и посадочным местом для установки одного или двух подшипников, а в верхней части - удерживающая площадка под электродвигатель прямоугольной или произвольной формы.

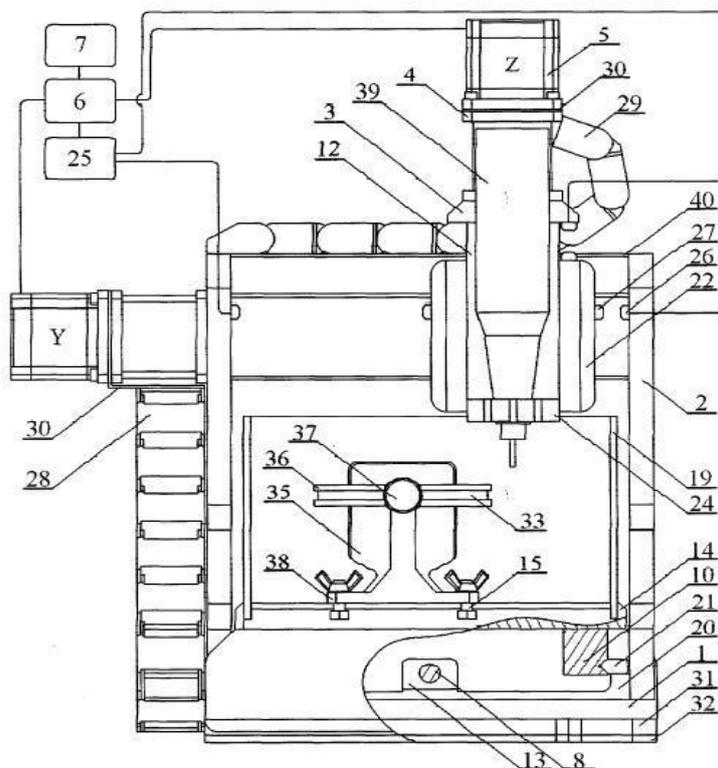


Рисунок 1.1 – компоновка настольного четырехосевого фрезерно-гравировального станка

Станок снабжен концевыми выключателями, состоящими из пары приемник-передатчик и управляемыми контроллером концевых выключателей. Приемники расположены на разных концах всех осей X, Y, Z.

Для размещения проводов электропитания электродвигателей и шпинделя используются кабель-каналы, один из которых расположен по координате X, а второй - по координате Y, лежащий на опоре под кабель-канал прямоугольной или произвольной формы, крепящейся к верхней части вертикального упора координаты Y, удерживающиеся на станке при помощи крепежа под кабель-канал.

### **Обрабатывающий центр**

Описание полезной модели к патенту Полезная модель относится к станкостроению, а именно к обрабатывающим центрам портального типа, преимущественно вертикально-фрезерным, предназначенным для прецизионной высокоскоростной обработки сложных по форме деталей. В обрабатывающем центре, содержащем станину с продольными направляющими, поворотный стол, портал с установленной на направляющих портала посредством ответных опор и снабженной приводом перемещения вдоль них кареткой, и ползуном с поворотной головкой с мотор-шпинделем, снабженный приводом его перемещения посредством ответных опор вдоль направляющих каретки, портал включает четыре вертикальные направляющие, каретка выполнена в виде размещенной между направляющими портала прямоугольной рамки с размещенными на верхних и нижних ребрах ее сторон, перпендикулярных продольным направляющим станины, четырьмя горизонтальными направляющими, предназначенными для взаимодействия с ответными опорами ползуна.

Технический результат - повышение точности обработки. 6 ил.

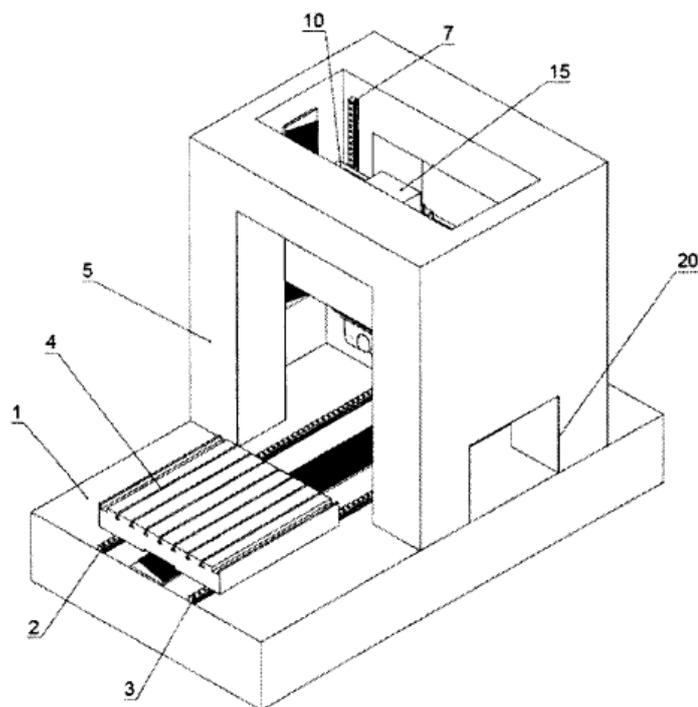


Рисунок 1.2 – общий вид

Полезная модель относится к станкостроению, а именно к обрабатывающим центрам (ОЦ) портального типа, преимущественно вертикально-фрезерным, предназначенным для прецизионной высокоскоростной обработки сложных по форме деталей.

Известна модифицированная конструкция пятиосевого ОЦ фирмы Hermle, содержащая станину, две вертикальные стойки-стенки, прикрепленные к станине и имеющие сверху продольные направляющие, на которые установлена поперечная балка с возможностью перемещения по ним и имеющая поперечные направляющие, установленные по высоте балки, на которых консольно крепится каретка с возможностью перемещения по ним и имеющая опоры, скользящие по вертикальным направляющим, установленным на ползуне, который, таким образом, консольно крепится к каретке и имеет возможность вертикального перемещения относительно каретки, для перемещения по своим направляющим балка, каретка и ползун также снабжены соответствующими приводами (Для HERMLE «трудных»

материалов нет. «Оборудование и инструмент для профессионалов», с. 40, МЕТАЛЛООБРАБОТКА, 3/2006).

Этот ОЦ имеет несимметричную в продольном направлении конструкцию из-за консольной установки каретки и ползуна, что ведет к неравномерному распределению усилий и температуры от мотор-шпинделя, а также большое расстояние по вертикальной оси от режущей кромки до первых опор вертикальных направляющих ползуна, что уменьшает жесткость конструкции по вертикальной оси и, как следствие, все эти факторы в сумме приводят к понижению точности обработки.

Наиболее близкой к заявленному техническому решению - прототипом – является конструкция прецизионного пятиосевого ОЦ модели HSC-75 фирмы VMG, содержащего станину, портал, состоящий из двух вертикальных стоек, прикрепленных к станине и сверху соединенных поперечной балкой, имеющей сбоку поперечные горизонтальные направляющие, на которых консольно крепится каретка с возможностью перемещения по ним, каретка, в свою очередь, имеет вертикальные направляющие, по которым скользит ползун с поворотной головкой и мотор-шпинделем, для перемещения по своим направляющим каретка и ползун снабжены соответствующими приводами.

Этот ОЦ также имеет несимметричную в продольном направлении конструкцию из-за консольной установки каретки и ползуна, что ведет к неравномерному распределению усилий и температуры от мотора-шпинделя, а также большое расстояние по вертикальной оси от режущей кромки до первых опор вертикальных направляющих ползуна, что уменьшает жесткость конструкции по вертикальной оси, и, как следствие, все эти факторы в сумме приводят к понижению точности обработки.

Задача полезной модели - создание обрабатывающего центра с наиболее равномерным распределением усилий резания и температуры от приводов,

уменьшение расстояния между режущей кромкой и ближними к ней опорами ползуна.

Достижимый технический результат - повышение точности обработки.

Поставленная задача решается, а заявленный технический результат достигается тем, что в обрабатывающем центре, содержащем станину с продольными направляющими, поворотный стол, установленный с возможностью перемещения по продольным направляющим станины, портал с установленной на направляющих портала посредством ответных опор и снабженной приводом перемещения вдоль них кареткой, и ползун с поворотной головкой с мотор-шпинделем, снабженный приводом его перемещения посредством ответных опор вдоль направляющих каретки, портал включает четыре вертикальные направляющие, каретка выполнена в виде размещенной между направляющими портала прямоугольной рамки с размещенными на верхних и нижних ребрах ее сторон, перпендикулярных продольным направляющим станины, четырьмя горизонтальными направляющими, предназначенными для взаимодействия с ответными опорами ползуна.

Сущность полезной модели поясняется изображениями: Рисунок 1.2 - общий вид ОЦ в изометрии (приведён выше);

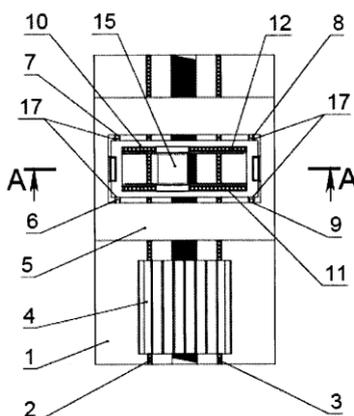


Рисунок 1.3 - ОЦ, вид сверху;

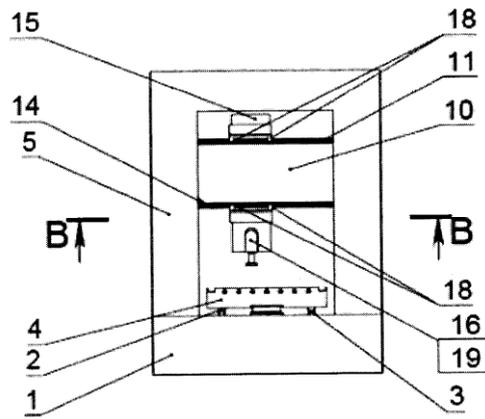


Рисунок 1.4 - ОЦ, вид спереди;

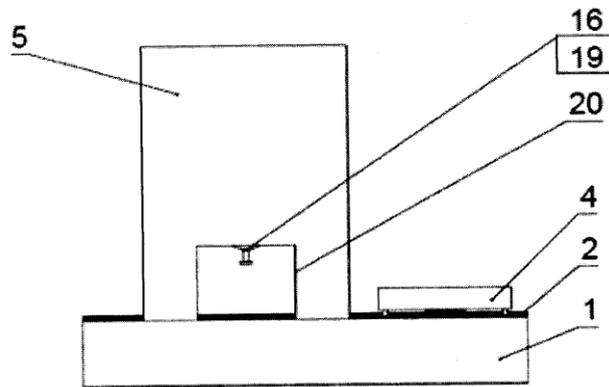


Рисунок 1.5 - ОЦ, вид сбоку;

**A-A**

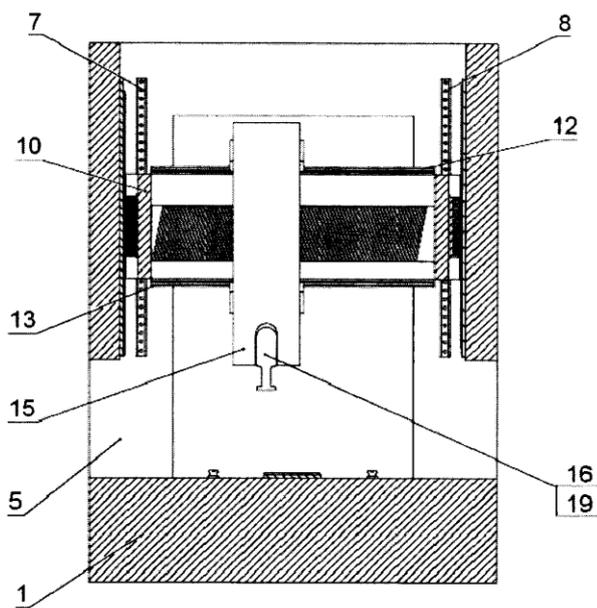


Рисунок 1.6 - сечение АА;

## В-В

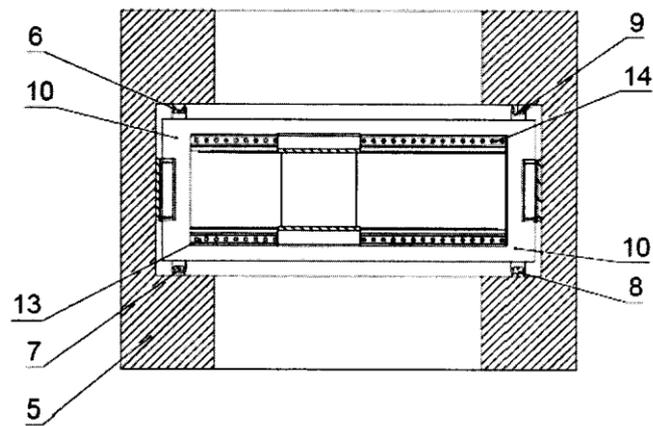


Рисунок 1.7 - сечение ВВ.

Обрабатывающий центр содержит следующие элементы: 1 - станина; 2, 3 - продольные направляющие станины; 4 - поворотный стол; 5 - портал; 6, 7, 8, 9 - вертикальные направляющие портала; 10 - каретка; 11, 12, 13, 14 - горизонтальные направляющие каретки; 15 - ползун; 16 - поворотная головка; 17 - ответные опоры каретки; 18 - ответные опоры ползуна; 19 - мотор-шпиндель; 20 - окно портала.

Обрабатывающий центр состоит из станины 1 направляющих 2 и 3, поворотного стола 4, портала 5, включающий четыре вертикальные направляющие 6, 7, 8 и 9, с установленной на них посредством ответных опор 17 и снабженной приводом перемещения кареткой 10, выполненной в виде прямоугольной рамки с размещенными на ее верхних и нижних торцевых ребрах вдоль направления, перпендикулярного продольным направляющим станины, четырьмя горизонтальными направляющими 11, 12, 13 и 14, с установленным на них посредством ответных опор 18 и снабженным приводом перемещения ползуном 15, на котором установлена поворотная головка 16, оснащенная приводом поворота (не показан) и мотор-шпинделем 19.

Работает ОЦ следующим образом. Подлежащую обработке деталь (на рисунках не показана) закрепляют на поворотном столе станка 4. При помощи прямых линейных симметричных приводов перемещения (на рисунках не показаны) каретки 10 и ползуна 15 и привода поворотной головки 16 (на рисунках не показан) соответственно осуществляют установочные перемещения поворотной головки 16 относительно поворотного стола 4.

Далее по сигналам контроллера ЧПУ происходит обработка изделия. При этом подачи в продольном направлении и также поворот относительно вертикальной оси, осуществляются за счет перемещений поворотного стола 4 вдоль продольных направляющих станины 2, 3

Для смены инструмента поворотная головка 16 с мотор-шпинделем 19 устанавливается в вертикальное положение, при котором ось мотор-шпинделя 19 параллельна вертикальной оси ОЦ.

В процессе обработки детали, усилия и температура равномерно передаются от мотор-шпинделя 19 и поворотной головки 16 через симметрично установленную в портале каретку, а отсутствие вертикального движения ползуна 15 позволяет уменьшить расстояние между режущей кромкой и ближними к ней опорами 18 ползуна, что в сумме положительным образом сказывается на точности обработки детали.

Преимуществом заявленного ОЦ является повышение точности обработки деталей за счет:

1. равномерного распределения усилий резания. При консольной установке каретки и ползуна в прототипе возникает плечо, через которое передаются усилия резания, что приводит к изгибу этой консоли и, как следствие, к смещению режущей кромки относительно ее первоначального положения. При симметричной установке каретки внутри портала в

предлагаемом ОЦ плеча нет и соответственно нет смещения режущей кромки;

2. равномерного распределения температуры. При консольной установке каретки и ползуна в прототипе возникает плечо, через которое передаются тепло от инструмента резания и подшипников мотор-шпинделя при высокоскоростной обработке с одной стороны, и приводов перемещения каретки и ползуна - с другой стороны, что приводит к нагреву этой консоли, изменению ее размеров и, как следствие, к смещению режущей кромки относительно ее первоначального положения. При симметричной установке каретки внутри портала в предлагаемом ОЦ тепло равномерно передаются через симметрично установленную рамку во все направления, что приводит равнозначному изменению размеров во все стороны и соответственно не создает смещения режущей кромки;

3. уменьшения расстояния между режущей кромкой и первыми опорами ползуна. При вертикальном выдвигании ползуна вниз в прототипе увеличивается расстояние от кромки инструмента резания до ближних к ней опор ползуна, что уменьшает жесткость конструкции, и, как следствие, приводит к смещению режущей кромки относительно ее первоначального положения. В предлагаемом ОЦ вертикально движется симметрично установленная внутри портала каретка, передавая усилия резания через вертикальные направляющие на стенки портала во всех направлениях, при этом расстояние между режущей кромкой и ближними к ней опорами ползуна не изменяется, что в сумме делает конструкцию более жесткой и, как следствие, уменьшается смещение режущей кромки относительно ее первоначального положения.

Таким образом, поставленная задача - создание обрабатывающего центра с наиболее равномерным распределением усилий резания и температуры от приводов, а также уменьшения расстояния между режущей

кромкой и ближними к ней опорами ползуна - решена, а заявленный технический результат - повышение точности обработки - достигнут.

Станочный комплекс содержит станину с продольными направляющими, стол поворотный, продольно перемещающийся, портал с осью Z, шпиндель.

### **Малогабаритное многокоординатное обрабатывающее устройство на основе механизма с параллельной кинематикой**

Малогабаритное многокоординатное обрабатывающее устройство, содержащее шпиндельный узел и платформу с модулем приводов, отличающееся тем, что платформа соединена с основанием шестью штангами, выполненными с возможностью перемещения относительно вертикальной оси устройства более чем на  $360^\circ$  по круговым направляющим основания, причем штанги соединены с основанием ползунами посредством карданных шарниров, а с платформой - сферическими шарнирами.

При этом модуль приводов соединен с ползунами посредством плоских пружин.

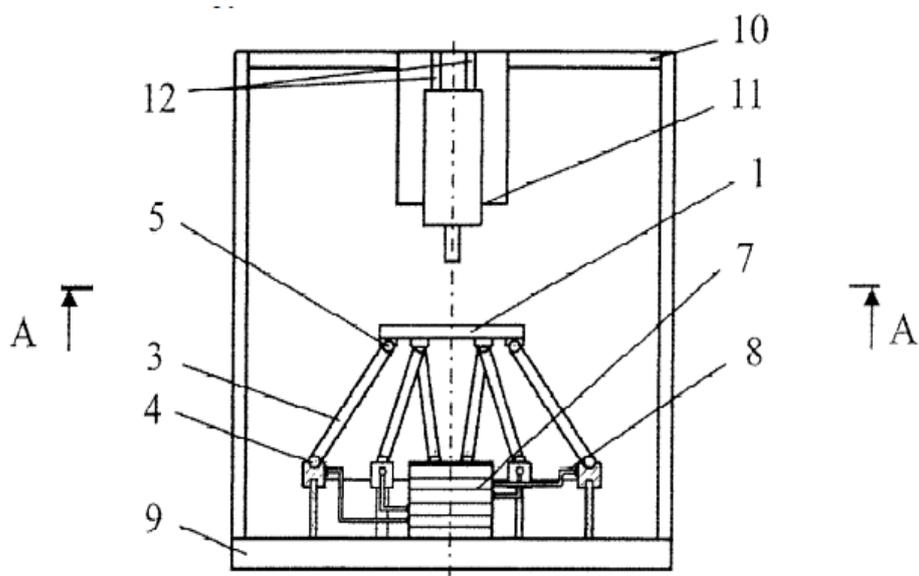


Рисунок 1.8 – Приспособление

## Настольный портально-фрезерный комплекс с ЧПУ

Настольный портально-фрезерный комплекс с ЧПУ содержит: остов-станину, установленный рабочий стол, боковины портала с установленной на них траверсой, ось Z со шпинделем, плату управления с концевиками, приводами в виде шаговых двигателей и ходовых винтов с ШВП, редукторных ременных передач. В качестве направляющих качения для стола и кареток установлены танкетки качения в количестве по четыре пары для стола и поперечной каретки.

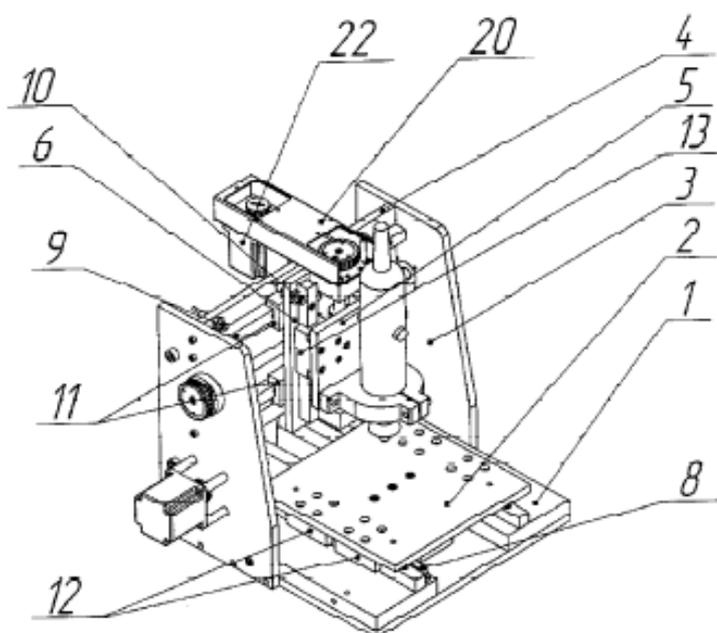


Рисунок 1.9 - устройство станка

### Устройство диагностирования шпиндельного узла фрезерного станка

#### Формула полезной модели

1. Устройство диагностирования шпиндельного узла фрезерного станка, содержащее средства съема информации, выполненные в виде измерительного кольца, установленного в горизонтальной плоскости с возможностью совместного вращения со шпинделем шпиндельного узла,

двух бесконтактных датчиков перемещения, установленных в горизонтальной плоскости в зоне измерительного кольца ортогонально друг другу, функционально обеспечивающие при возникновении нагрузки на шпиндель возможность дистанционного съема информации относительно смещения последнего в горизонтальной плоскости, а также средства сбора и обработки информации и визуализации, отличающиеся тем, что оно снабжено дополнительным средством съема информации в виде бесконтактного датчика перемещения, установленного в зоне торца шпинделя, функционально обеспечивающего возможность дистанционного съема информации при смещении последнего в вертикальной плоскости.

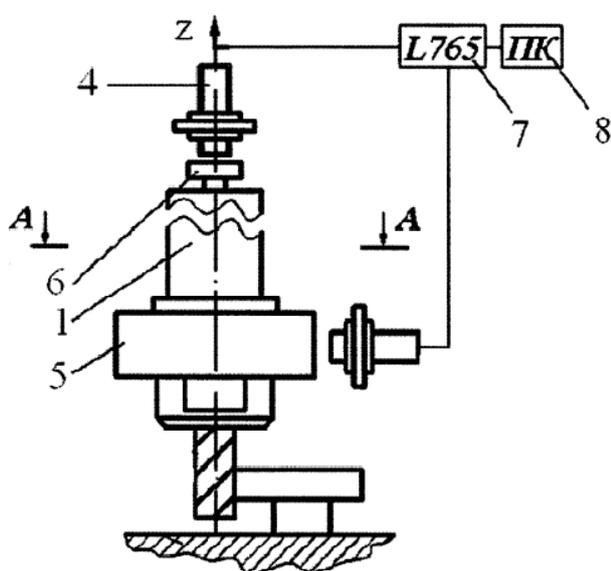


Рисунок 1.10 - устройство краискателя

2. Устройство по п.1, отличающееся тем, что средство съема информации смещения шпинделя в вертикальной плоскости снабжено элементом передачи информации в виде подпятника, установленного на торце шпинделя.

## Переносное устройство для металлообработки

Формула полезной модели

1. Переносное устройство для металлообработки, содержащее направляющие, траверсу с суппортом для размещения инструмента, установленную с возможностью перемещения по направляющим, и опоры, на которых установлены направляющие, отличающееся тем, что опоры выполнены в виде балок, расположенных поперечно направляющим, при этом направляющие установлены с возможностью перемещения по балкам и по траверсе, а балки установлены с возможностью перемещения по направляющим.

2. Переносное устройство по п.1, отличающееся тем, что направляющие закреплены на балках посредством кронштейнов, установленных с возможностью перемещения по балкам, и соединены с траверсой посредством ползунов, установленных на направляющих, при этом направляющие размещены в сквозных отверстиях кронштейнов, а траверса - в сквозных отверстиях ползунов.

3. Переносное устройство по п.1, отличающееся тем, что направляющие выполнены в виде цилиндрических штанг.

4. Переносное устройство по п.1, отличающееся тем, что траверса представляет собой цилиндрические направляющие, на которых размещен суппорт.

5. Переносное устройство по п.1, отличающееся тем, что суппорт снабжен винтовым приводом.

6. Переносное устройство по п.2, отличающееся тем, что ползуны снабжены винтовым приводом.

7. Переносное устройство по п.1, отличающееся тем, что опоры снабжены пятами, соединенными с балками с возможностью переустановки.

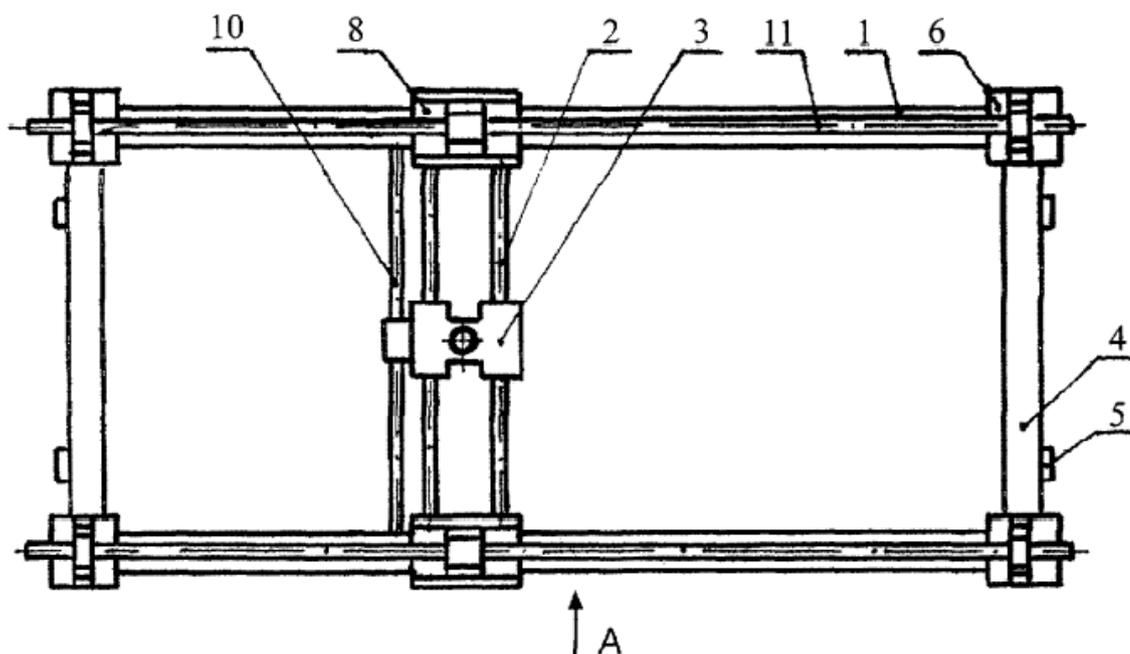


Рисунок 1.11 – общий вид устройства

**Способ получения рельефной поверхности и устройство для его осуществления**

Изобретение относится к способу получения рельефной поверхности и к устройству для его осуществления. Сущность изобретения заключается в том, что ось вращения инструментов ориентируют под разными углами к заготовке, а перемещение инструментов осуществляют в трех взаимно перпендикулярных плоскостях. Изобретение позволяет устранить дефекты на обработанной поверхности, увеличить срок службы инструментов.

Изобретение относится к области декоративной обработки, а именно к способам отделки изделий и, в частности, к выполнению рельефных поверхностей, изображений.

Известен способ получения рельефной поверхности, заключающийся в обработке поверхности заготовки заточенными по фигурному профилю режущими инструментами 5 посредством вращения их вокруг собственных осей с одновременным перемещением по заданной программе синхронно с подачей заготовки в горизонтальном направлении.

Здесь же описано и устройство для получения рельефной поверхности, содержащее неподвижную станину и рабочий стол, установленные на станине подвижную раму и 10 механизм подачи заготовки, установленные на подвижных платформах шпиндель-моторы, на валах которых установлены режущие инструмента для обработки поверхности заготовки.

Недостатком известного способа получения рельефной поверхности и устройства для его осуществления является невозможность устранения дефектов на обработанной поверхности в процессе обработки.

Техническим результатом заявленного способа получения рельефной поверхности и устройства для его осуществления является устранение дефектов на обработанной поверхности, связанных с возможностью получения углублений с четко выраженными границами.

В данном случае, получение рельефной поверхности изделия достигается обработкой заготовки заточенными по фигурному профилю режущими инструментами, посредством вращения их вокруг собственных осей с одновременным перемещением по заданной программе синхронно с подачей заготовки в горизонтальном направлении. Ось вращения инструментов ориентируют под разными углами к заготовке. Перемещение инструментов осуществляют в трех взаимно перпендикулярных плоскостях, одна из которых расположена параллельно поверхности заготовки, при этом подачу заготовки осуществляют по заданной программе, при скорости подачи заготовки, равной нулю. Обработку подвижными режущими инструментами осуществляют на отдельных участках непрерывно, а неподвижно закрепленные режущие инструменты при движении заготовки уменьшают скорость своего вращения синхронно и в соответствии со скоростью подачи заготовки, вплоть до нуля .

Данное устройство содержит неподвижную станину и рабочий стол, установленные на станине подвижную раму и механизм подачи заготовки,

установленные на подвижных платформах шпиндель-моторы, на валах которых установлены режущие инструменты для обработки поверхности заготовки. Перемещение шпиндель-мотора по одной из координат совпадает с направлением подачи заготовки, а шпиндель-мотор выполнен с обеспечением возможности закрепления и удержания роторного или пильного агрегата или в виде оправки для закрепления другого шпиндель-мотора или в виде оправки для закрепления платформы со своим сервоприводом для обеспечения возможности высокочастотных перемещений в вертикальном направлении высокооборотного шпиндель-мотора.

В устройстве над заготовкой установлены поджимаемые штоками пневмоцилиндры, подающие ролики, покрытые неповреждающим поверхность заготовки материалом, например полиуретаном. Под заготовкой симметрично и под каждым верхним подающим роликом установлены нижние металлические подающие ролики, поджимаемые штоками пневмоцилиндров таким образом, что нижние подающие ролики незначительно выступают над поверхностью стола и их положение относительно поверхности стола выполнено регулируемым с помощью ограничителей, при этом сила прижима заготовки к столу регистрируется пьезометрическим датчиком, соединенным с нижним подающим роликом для устранения трения заготовки о стол, а все подающие ролики кинематически связаны между собой в подающий механизм для приведения в действие сервоприводом, управляемым по программе.

Весь блок сервоприводов вместе со шпиндель-моторами установлен на подвижной раме и выполнен с перемещением в вертикальной плоскости.

Инструменты для нанесения рельефа и/или рисунка расположены по отношению к неподвижным шпинделям в необходимой последовательности, а

декорирующие шпиндели выполнены с возможностью перемещения по одной из координат и параллельно подаче заготовки.

На рабочем столе под любым декорирующим инструментом установлен передвигающийся перпендикулярно столу и перемещению заготовки мостик, несущий пористую пластину для вакуум-прижима тонких заготовок и быстросъемные пластины разной ширины из материала с низким трением, например текстолита, установленные на уровне поверхности стола с шириной, позволяющей инструменту опускаться ниже уровня стола без повреждения .

На рабочем столе с обеих сторон заготовки и под инструментом установлены быстросъемные регулируемые пластины из легкообрабатываемого материала, например пластика, ограничивающие перемещение заготовки по ширине во время обработки и позволяющие выходу инструмента за края заготовки в тело вставки для устранения сколов кромок заготовки.

С обеих сторон инструмента, неподвижного и декорирующего шпинделей, установлены быстросъемные и разной ширины прижимные ролики, покрытые не повреждающим поверхность заготовки материалом, например полиуретаном, для прижатия заготовки к столу, удержания ее и исключения вибрации в процессе обработки, установленные с возможностью поворота вокруг горизонтальной оси для обеспечения оптимального прижима заготовки, с сохранением этого положения за счет преднатяга фрикционных прокладок.

Прижимные ролики установлены на пластине, соединенной через шток с вертикально скользящей подпружиненной платформой, соединенной с помощью эксцентрикового механизма со стойкой, закрепленной на раме ротора.

К шпиндель-мотору присоединена роторная приставка, принимающая от шпиндель-мотора любые положения в продольном направлении по отношению к подаче заготовки и любые угловые положения в поперечном направлении и установлена с возможностью поворота вокруг собственной оси и непрерывного изменения положения оси режущего 35 инструмента во время обработки заготовки.

На декорирующем шпиндель-моторе установлена рама с собственным сервоприводом и высокочастотным ротором для обеспечения высокого быстродействия по дополнительной субкоординате  $Z$  под любым углом по направлению к подаче заготовки за счет поворота удерживающего приспособления в декорирующем шпиндель-моторе.

На одной из направляющих планок установлены ролики под углом к направлению подачи заготовки для ее поджатия к столу, а планка с роликами утоплена ниже поверхности для устранения повреждения нижней кромки заготовки.

На другой направляющей металлической планке установлены прижимные неподпружиненные и вращающиеся на подшипниках диски.

В качестве инструментов использованы фрезы различной ширины с установленными твердосплавными пластинами различной формы, например две или более на одну фрезу, размещенные с возможностью сохранения балансировки, а фрезы установлены между собой по различным уровням или по режущим радиусам и выполнены таким образом, что режущие кромки пластин рядом установленных на шпинделе фрез одного уровня частично перекрывают друг друга и полностью совпадают по режущим радиусам, при этом фрезы имеют одинаковые или разные уровни или режущие радиуса слева и справа, а количество уровней выполнено любым.

Обеспечение возможности перемещения любого декорирующего инструмента по любой координате осуществлено посредством программы за счет генерации случайных чисел, предопределяющих величину перемещения каждого хода инструмента для создания случайного рисунка, идентичного рисунку, полученного ручной обработкой.

В районе размещения декорирующего инструмента или на выходе и над изделием установлен датчик и/или телекамера для сканирования качества рисунка и/или рельефа с обеспечением возможности корректировки обработки инструментом, вплоть до остановки обработки.

Сущность изобретения поясняется чертежами, где показано:

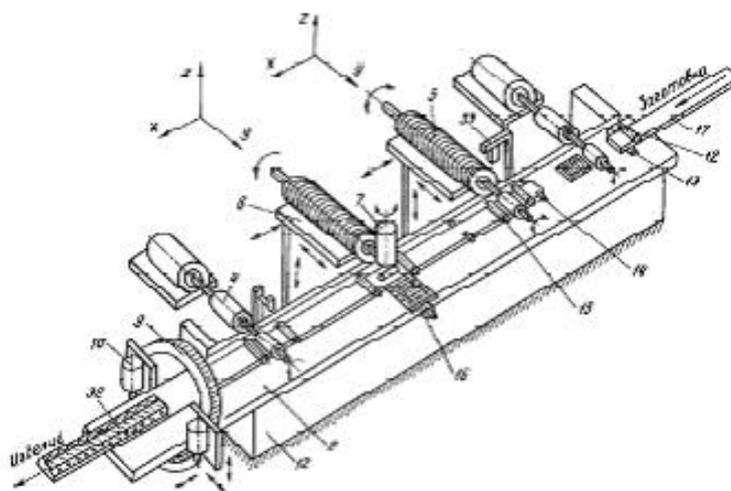


Рисунок 1.12 - изображено устройство для получения рельефной поверхности, общий вид

В конце рабочего стола по ходу перемещения заготовки установлена круговая ферма для размещения подвижного шпиндель-мотора, принимающего любые положения в пространстве для нанесения рисунка и/или рельефа на нижней и боковых поверхностях заготовки с сохранением возможности установки различных агрегатов или роторных приставок с переменным или фиксированным положением инструмента в пространстве.

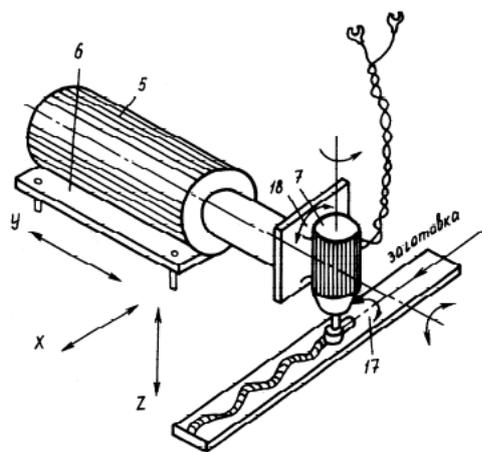


Рисунок 1.13 - шпиндель-мотор с закрепленным на нем роторным агрегатом при обработке в шести степенях свободы

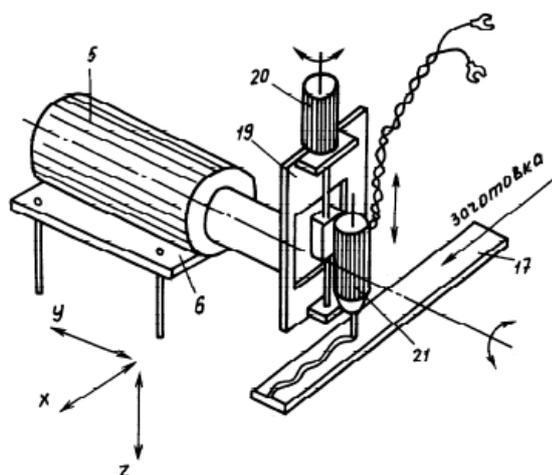


Рисунок 1.14 - шпиндель-мотор с закрепленной на нем платформой со своим сервоприводом и 20 высокоскоростным шпиндель-мотором

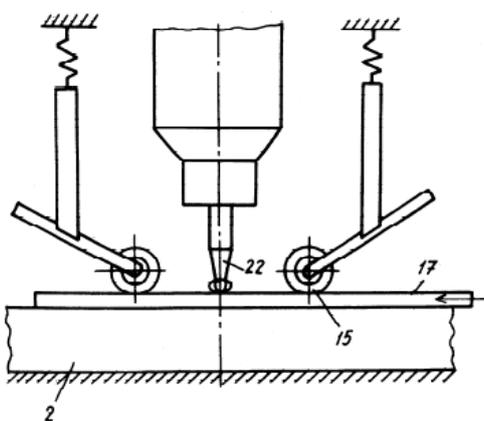


Рисунок 1.15 - изображены прижимные ролики перед и после режущего инструмента

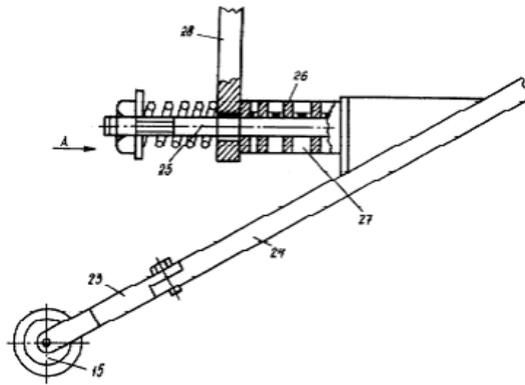


Рисунок 1.16 - прижимной ролик с пластиной, штоком и фрикционными прокладками

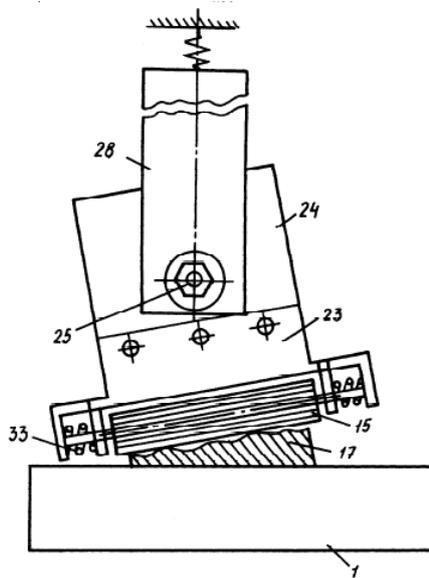


Рисунок 1.17 - вид А на рисунке 5

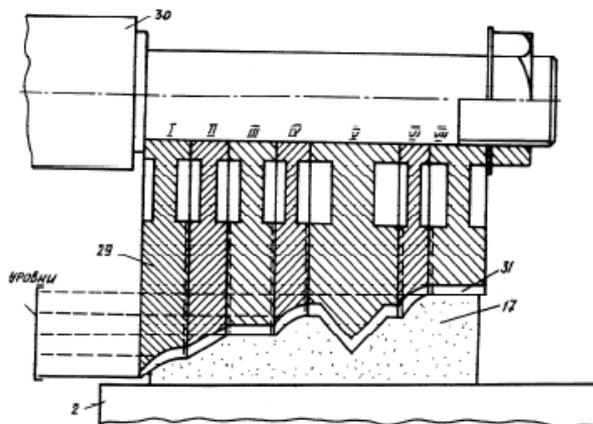


Рисунок 1.18 - разрез головки шпинделя с набором фрез и с установленными на них твердосплавными пластинками

Устройство для получения рельефной поверхности содержит установленные на неподвижной станине 1 рабочий стол 2, подвижную раму 3, неподвижные шпиндели 4, подвижные декоративные шпиндель-моторы 5 на платформах 6, роторную приставку 7 на декоративном шпиндель-моторе 5, магазин 8 съемных инструментов, круговую ферму 9 со 30 шпиндель-мотором 10, стойку с телекамерой 11, верхние подающие ролики 12, нижние подающие металлические ролики 13, направляющие ролики 14, прижимные ролики 15, вставку-мостик 16. Позицией 17 обозначена заготовка.

Устройство имеет установленную на шпиндель-моторе 5 с помощью оправки 18 и 35 роторную приставку 7, в другом исполнении - установленную на шпиндель-моторе 5 платформу 19 со своим сервоприводом 20 и высокооборотным шпиндель-мотором 21. У каждого режущего инструмента, нож или фреза 22, установлены прижимные ролики 15, установленные на быстросъемной пластине 23, присоединенной к несущей пластине 24, которая через шток 25 и фрикционные прокладки 26 и металлические втулки 27 40 прикреплена к скользящей подпружиненной платформе 28, установленной на основной платформе (не показана) с помощью эксцентриков (не показаны).

Режущая часть фрез 29, собранных в пакет на шпинделе 30, состоит из твердосплавных пластин 31, закрепленных на шпинделе 30 таким образом, что режущие кромки пластин 31, расположенных рядом, всегда одного уровня и частично перекрывают друг друга.

Функционирует устройство следующим образом:

Обрабатываемая заготовка 17 с помощью механизма подачи и подающих роликов 12 и 13 подается в рабочую зону к инструменту первого неподвижного шпинделя 4, где формируется первоначальный профиль заготовки.

Затем заготовка 17 попадает во вторую рабочую зону под фрезу 29 или роторную приставку 7, где прижимается прижимными, подпружиненными 33 роликами 15 в зоне мостика 16. Инструмент на валах декорирующих шпиндель-моторов 5 и роторной приставки 7 вращается с высокой угловой скоростью.

Сервоприводы горизонтального, вертикального и угловых перемещений платформ 6 и инструментов, получающие управляющие сигналы от компьютера по соответствующей программе, постоянно ориентируют ось вращения инструментов под любым углом к 5 заготовке 17 и обеспечивают выполнение рисунка и/или рельефа любой сложности.

После обработки в рабочих зонах декоративных шпинделей 5 заготовка 17 попадает в рабочую зону выходного неподвижного шпинделя 4, где принимает окончательный вид рисунок и/или рельеф (орнамент) в виде готового изделия 32. Таким образом, изобретение снижает инерционность режущих инструментов, упрощает 10 конструкцию при повышении качества рельефной поверхности с получением неограниченного количества орнаментов, узоров, рисунков и с высокой скоростью.

### **1.3 Выводы и заключения**

В результате патентного исследования в системе FIPS в группе В23С 1/00 (фрезерные станки общего назначения, были сделаны следующие выводы, заключение и приведены факты:

- одношпиндельные горизонтальные станки - два патента, соответствующих теме данной работы;

- со шпинделем, находящимся в зафиксированном положении – 0 заявок, патентов и полезных моделей к патенту;

- со шпинделем, движущимся в вертикальном направлении – 0 заявок, патентов и полезных моделей к патенту;

- многошпиндельные горизонтальные станки - один патент, соответствующей теме данной работы;

- с горизонтальным и вертикальным шпинделями два патента, соответствующих теме данной работы;

- одношпиндельные вертикальные станки – девять патентов, из которых два патента, соответствующих теме данной работы;

- многошпиндельные вертикальные станки - один патент, соответствующей теме данной работы;

- со шпинделем, устанавливаемым под разными углами, например в горизонтальных или вертикальных плоскостях - пять патентов, соответствующих теме данной работы;

- с вращающимся рабочим столом (для станков общего назначения - 0 заявок, патентов и полезных моделей к патенту;

- с использованием копировальных устройств - один патент, соответствующей теме данной работы;

- при вращении обрабатываемого изделия - 0 заявок, патентов и полезных моделей к патенту;

- переносные фрезерные устройства или станки (детали или составные части: кожухи, корпуса переносных инструментов с приводами от двигателя, специально не связанные с выполняемыми операциями операциями В 25F 5/00); фрезерные устройства или станки с ручным приводом - тринадцать патентов, из которых один патент, соответствует теме данной работы.

Приведённые выше факты позволяют сделать следующие заключения:

- В данной группе станков крайне мало патентов и заявок на патент, по сравнению с другими группами;

- Технические решения, применяемые в данных станках, в большинстве своём подлежат патентованию;

- После 2014-го года патентная активность резко снизилась, одновременно со значительным ростом рынка подобных станков, причём как купленных у заводов производителей, так и индивидуально построенных по собственным проектам или с оглядкой на чьи-то идеи;

- Вновь открытые или рационализаторские технические решения узлов, агрегатов и целых комплексов, авторы предпочитают выкладывать в открытый доступ, считая излишним трату времени и собственных ресурсов на подачу заявок на патенты;

Подробнее о перспективах развития данного направления станкостроения будет рассмотрено во второй и третьей главах данной работы.

## **2 Разработка методики проектирования станочного комплекса**

### **2.1 Выбор концепции станка**

Проектирование станочного комплекса опирается на следующие условия:

1) Максимальный или полный учёт персональных требований клиента (размер рабочей зоны, обрабатываемый материал, загруженность оборудования, необходимая точность и цена (бюджет клиента)).

2) Максимальное использование и применения в конструкции станков стандартных изделий, либо изделий, которые можно свободно заказать, исходя из индивидуальных размеров (профили станочные, крепеж, кронштейны, муфты, готовые наборы электроники и приводов и т.д.).

3) Нестандартные изделия (боковины портала, нижняя опорная плита, поперечина портала, опорные плиты стола, короб модуля оси X и плиту оси Z) проектируются максимально простой формы, без высокоточных отверстий, с минимальным количеством отверстий с крепежной резьбой, требующих соосности, перпендикулярности, параллельности и т.д.

4) Определения эмпирическим путем минимально необходимых размеров элементов станины, механики и приводов для обработки дерева, фанеры, пластины, цветмета, гравировки, размеров профиля, толщины плит из дюралья (фанеры), диаметры направляющих и т.д.

5) Проектируемый фрезерно-гравировальный станок с ЧПУ портального типа, должен быть пригоден, как минимум, для столярных 2D и 3D работ, гравировки и создания микрорельефа на цветных металлах и сплавах.

б) «Трэш» варианты или ультра-бюджет (такие как применение шпилек, вместо ходовых винтов, поделки из деталей старых принтеров, дрелей стиральных машин, использование дрелей и т.д.) не рассматриваем.

7) Конструкция должна обладать свойствами «открытой архитектуры», позволяя менять конструкцию (устройство) отдельных элементов, узлов и агрегатов или проводить их модернизацию смежных узлов.

8) Проектирование начинается с одной из вводных: исходя из точно определенного бюджета и задачи по обработке, или с озвученной клиентом точностью (в пределах возможностей проектировщика – до 15...30 мкм), либо делается заключение, что работоспособный прототип сделать не получится и озвучивается минимальная сумма для создания действующего образца. В дальнейшем, комбинация этих факторов или исходных данных может быть иной.

9) Так же, при проектировании станка необходимо заложить конструктивную особенность, которая повлечет, в случае замены любой детали или узла (рельса, ШВП, двигатель, драйвер, часть станины), изменение одного или сразу нескольких параметров станка, таких как: повышение точности, производительности или долговечности и т.д.

Конкретными дополнительными условиями для данного проекта являются: минимальная точность станка, в нашем случае 100 мкм и предполагаемый ассортимент изделий. Эти дополнительные условия помогут определиться с рабочим полем, габаритами, массой и необходимым качеством для комплектующих.

В данном случае выбор был сделан в пользу максимальной универсализации возможностей при производстве изделий потенциально востребованных в каждом доме. Соответственно максимальные размеры рабочего поля определили следующие факторы: размер стандартной панели

фасада кухни (дверцы), а это  $400 \times 705 \text{ мм} \times 16 \text{ мм}$  (рисунок 2.1) и максимальной размер дверцы «стенки» в зал, детскую и т.д. -  $330 \times 720 \text{ мм}$ . Исходя из этого, минимально необходимый размер рабочего поля составит:  $400 \times 720 \times 150 \text{ мм}$  (хотя по Z достаточно будет и  $100 \dots 120 \text{ мм}$ ).

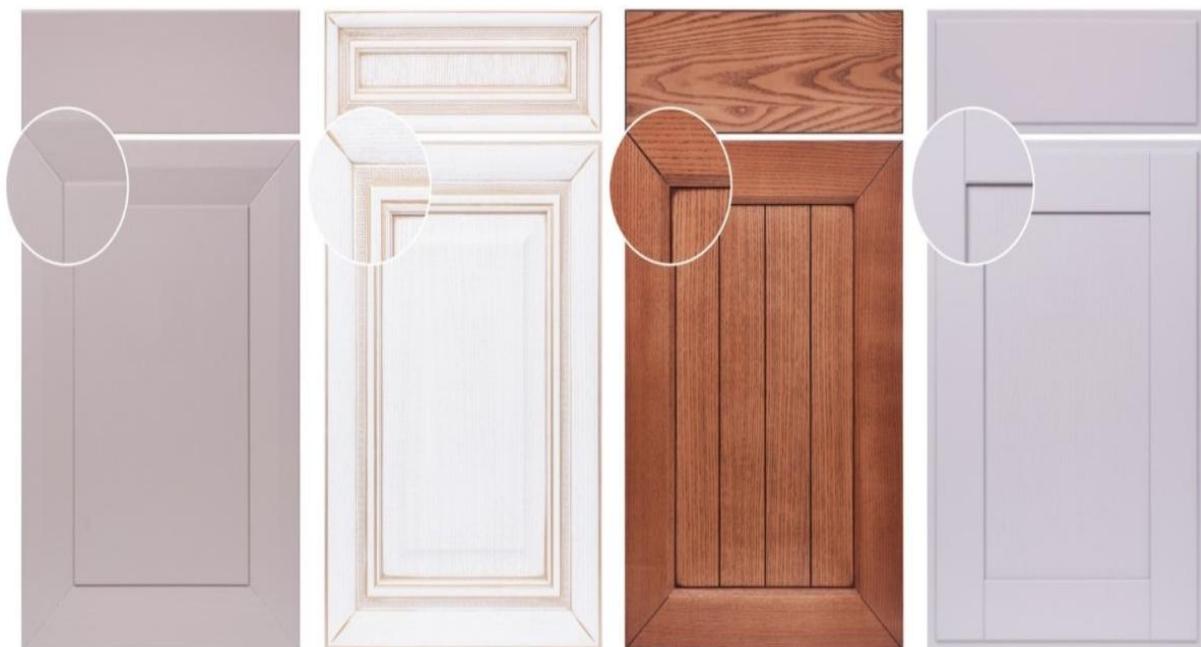


Рисунок 2.1 – дверцы кухонных шкафов

В качестве материала обработки, для данного проекта, минимально необходимым будем считать дерево, с возможностью гравировки цветных материалов.

## **2.2 Алгоритм проектирования и обоснование выбора конструкции (деталей, узлов, агрегатов) станка**

В предыдущем разделе рассматривались общие вопросы выбора концепции проектирования станка, оценивался бюджет, возможности станка исходя из условия обработки фасада. Теперь необходимо определиться с исполнительными размерами станины, направляющих, винтов, приводов и шпинделя.

### 2.2.1 Выбор материала, компоновки и конструкции станины

Исходными данными для дальнейшего проектирования являются: заявленная точность станка 100 мкм (погрешность) и рабочее поле фрезы по осям X и Y (400 × 720мм).

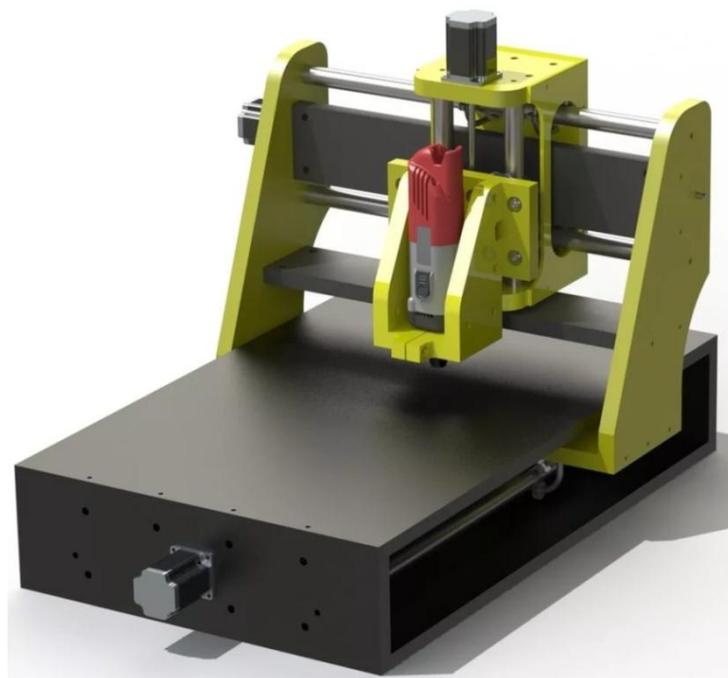


Рисунок 2.2 – общий вид и компоновка станка

Проведя сравнительный анализ различных вариантов исполнения станков на примерах роликов в ютубе, заметок на сайтах, отзывов и обсуждений на форумах и просто готовых предложений в интернет-магазинах как российских, так и китайских и европейских, был сделан однозначный вывод в пользу горизонтально-фрезерного станка с ЧПУ портального типа (рисунок 2.2).

Вариантов исполнения существует довольно много, от использования старых поверочных плит, до цельнолитого чугунного или каменного основания. Рассмотрим несколько технических решений, доказавших свою работоспособность и рациональность применения, в зависимости от назначения станка.

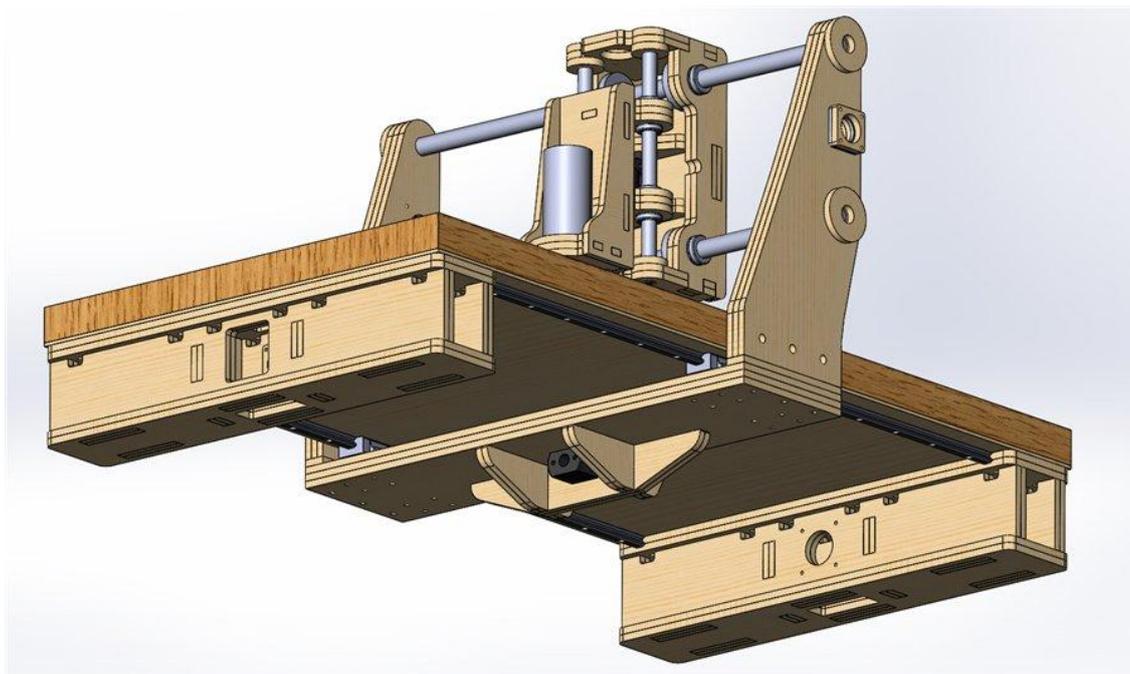


Рисунок 2.3 – фанерная станина фрезерного станка

Касательно материала станины, сразу следует исключить такие варианты как детали из сталей или чугуна, любых отливок, в том числе и каменных. Эти решения не отвечают одному из условий проектирования – минимальной стоимости обработки и трудоёмкости изготовления, а так же стремлению к использованию стандартных и лёгких в обработке материалов. В таком случае, выбор материала сводится к двум видам – дюралюминиевые плиты и станочный профиль, а также фанера толщиной от 12 мм и больше.

Как показал опыт строительства из склеенных листов фанеры, общей толщиной 24 мм (рисунок 2.3), станок получился вполне жизнеспособным и производительным для обработки фанеры и дерева.

Рассмотрим следующие типы конструкций стола (станины): с одним и двумя шаговыми двигателями (ШД) для привода оси Y; с наличием нижней поперечины портала и без неё; станину собранную только из элементов из дюралевой плиты; комбинированную – основа это рама из станочного профиля, плиты только для опор.

## Вариант с двумя ШД для привода оси Y

Данный вариант – единственно верный для станков с рабочим полем по оси Y от 1000 мм и по X от 600 мм (рисунок 2.4).



Рисунок 2.4 – двухдвигательный вариант привода оси Y

При использовании одного ШД (рисунок 2.5) возникает ряд проблем, таких как:

- неоправданное увеличение стоимости станка. Всё возрастающую массу портала придётся таскать одному ШД, поэтому придётся выбрать самый мощный, ставить редуктор, но опыт других конструкторов показывает, что даже самая мощная из доступных моделей будет работать с перегрузкой;

- необходима будет установка нижней поперечины для портала, что повлечёт необходимость решения вопроса установки опор крепления ШВП, опоры гайки ШВП и т.д.

- практически полностью исключается возможность использования передачи рейка-шестерня, которая является основной в подобных конструкциях. Либо конструкция становится нерациональной, не говоря уже о такой проблеме, как провисание под собственным весом полутора, двух или трёх метрового винта ШВП.

- для обеспечения хоть какой-то жёсткости придётся заказывать винт диаметром от 25 до 40 мм, однако его стоимость превзойдёт многократно стоимость всех деталей двухдвигательного исполнения.

Данных аргументов вполне достаточно, чтобы «одномоторный» вариант для станков с рабочим полем от 0,6 м<sup>2</sup> считать неоправданным. Проблема синхронизации двух моторов даже не рассматриваем, т.к. он давно решён современными программами управления для станков с ЧПУ, не зависимо от их стоимости. Забегая вперёд отметим, что современные платы управления, даже самые доступные, изначально рассчитаны на работу с четырьмя и более осями. Наиболее распространённым является вариант с возможностью управления пятью осями. Именно из подобных моделей и будет сделан выбор для нашего станка.

Для станков с площадью менее 0,6 м<sup>2</sup> возможны оба варианта. Всё будет зависеть от обрабатываемого материала, бюджета и требуемой точности. Жёсткого и категоричного разграничения тут нет, но опыт производства подобных хоббийных станков показывает, что целесообразно использовать по одному ШД на ось, причём одинаковых, при площади рабочего поля менее 0,15 м<sup>2</sup>.

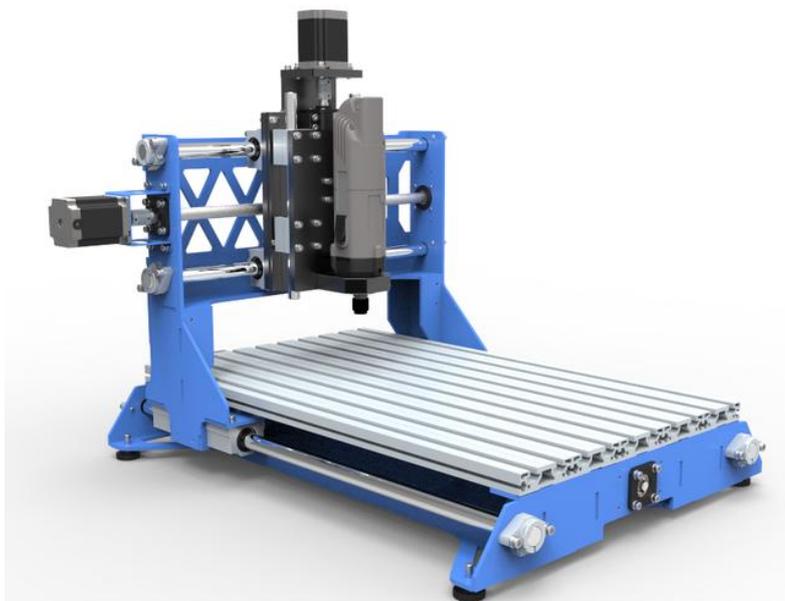


Рисунок 2.5- один ШД на каждую ось

Проведя сравнительный анализ обоих вариантов исполнения, учтя полученный опыт при сборке и пусконаладке первого прототипа, был сделан однозначный выбор в пользу двухдвигательного варианта. С одной стороны очевидно, что стоимость нижней поперечины портала меньше стоимости ещё привода в сборе (ШВП, ШД, муфта, опоры крепления, драйвер, кронштейн крепления ШД), Но с другой у этого варианта появляются такие преимущества, которые с лихвой покрывают эту ценовую разницу:

- возможность использования менее мощных и дорогих ШД;
- становится рациональным использование одной модели двигателя для всех осей;
- упрощается конструкция станины с одновременным повышением жёсткости;
- как следствие предыдущего пункта, выбор конструкции станины автоматически делается в пользу рамы из станочного профиля, с опорами из дюралевой плиты Д16Т, толщиной от 12 мм;

- грамотный подбор типоразмера станочного профиля позволит использовать несущие элементы рамы как поверхности для закрепления направляющих рельсового типа.

Подводя итог данному подразделу, делаем вывод: станина выполняется из станочного профиля с опорами из дюралевой плиты Д16Т. Для боковин, нижней и верхней поперечин портала, опорной плиты каретки Z и плиты для установки шпинделя, также используем дюралевую плиту. Станочный профиль для возможной установки ШВП с направляющими.

Ещё один важный момент, о котором следует сказать отдельно – из чего будет сделан рабочий стол, и как к нему будут крепиться приспособления и оснастка. Самый очевидный вариант – это профиль для рабочего стола с Т-образными пазами. А так как основа конструкции это рама с поперечинами, тот проблем с монтажом и жёсткостью системы не возникает. Конструкция приобретёт законченный вид, а по своим функциональным возможностям не будет уступать заводским образцам.

### 2.2.2 Выбор направляющих

Как уже было сказано в начале этой главы, самые дешевые и простые варианты, такие как использования в качестве направляющих обычных труб, пазов станочного профиля и т.д., в данной работе не рассматриваются. Здесь приводится вариант проекта с минимальными финансовыми вложениями для получения станка максимально конструктивно и функционально близкого к промышленным образцам. Хотя данные варианты имеют место быть, но будут рассмотрены в отдельных статьях.

В соответствии с этим условием, будем рассматривать три следующих варианта: гладкие валы, цилиндрические и профильные рельсовые направляющие. Дадим оценку каждому варианту и выберем оптимальный, исходя из наших условий.

## Направляющие в виде цилиндрических гладких валов

Являются самыми доступными в ценовом диапазоне (рисунок 2.6 и 2.7). Сравнение будет проведено для направляющих с диаметром 20 мм в ценах на 20.04.2019г. и курсе доллара от Центробанка, равным 65 рублям. В дальнейшем это позволит, используя поправочные коэффициенты, сравнивать динамику изменения цен или фиксировать её отсутствие.



Рисунок 2.6 – полированные валы

Достоинства данного варианта: самая простая конструкция, несложный способ крепления и необслуживаемые и нерегулируемые линейные модули.

Но, как показал опыт изготовления деталей для первого прототипа и их последующей сборки, относительная дешевизна с лихвой перекрывается высокими техническими требованиями к сопрягаемым деталям, а простота конструкции – серьёзными эксплуатационными издержками.



Рисунок 2.7 – линейный подшипник для полированного вала

Недостатки подобного решения:

- высокие требования к соосности отверстий либо под сами направляющие, либо под опоры их крепления;
- при использовании подшипников качения давление со стороны шарика прикладывается в одной точке, со временем в этой точке продавливается канавка;
- повышенная чувствительность к стружке и пыли;
- наличие самих опор – при установке «с наружи» могут мешать установке других элементов, ввиду своих габаритов, просто создают выступающие части; в случае установки «внутри» - уменьшают рабочий ход соответствующей оси ровно на свою высоту с каждого края. В случае с прототипом №1 эта величина составляет  $30 + 30 = 60$  мм;
- фиксация направляющих только по краям, и, как следствие, неизбежное провисание и снижение жесткости;
- линейные модули не имеют возможность компенсировать люфт.

### **Направляющие рельсового типа**

Находятся в середине ценового диапазона, представлены конструкциями SBR и TBR (рисунок 2.8).



Рисунок 2.8 – направляющие рельсового типа с линейным модулем серии TBR

Достоинства:

- линейные модули имеют возможность компенсации люфта;
- вал крепится к опоре и лежит на ней, нагрузки распределяются равномерно, провисание исключено;
- надёжность и плавность работы;
- расположение отверстий для крепления опоры рельсы соответствует ряду типоразмеров станочных профилей, что, в нашем случае, существенно упрощает её установку с соблюдением требований по соосности, параллельности и т.д. Даже в случае установки вне станочного профиля, не создают помех для монтажа смежных деталей.

Недостатки:

- несколько дороже первого варианта;
- большая высота  $H$  (рисунок 2.9) направляющей, в сборе с линейным подшипником, над плоскостью крепления опоры, что существенно для оси  $Z$ , но подробнее в соответствующем разделе.

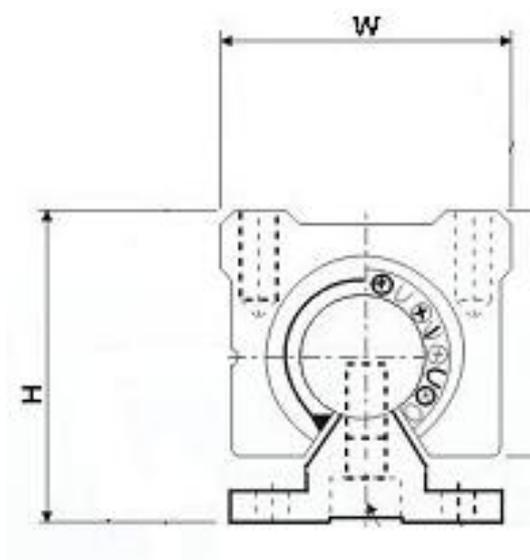


Рисунок 2.9 – габариты рельсовых направляющих

## Профильные направляющие типа HIWIN

Для сравнения с остальными будем использовать два типоразмера – HIWIN15 и HIWIN20, как самые распространённые (рисунок 2.10).

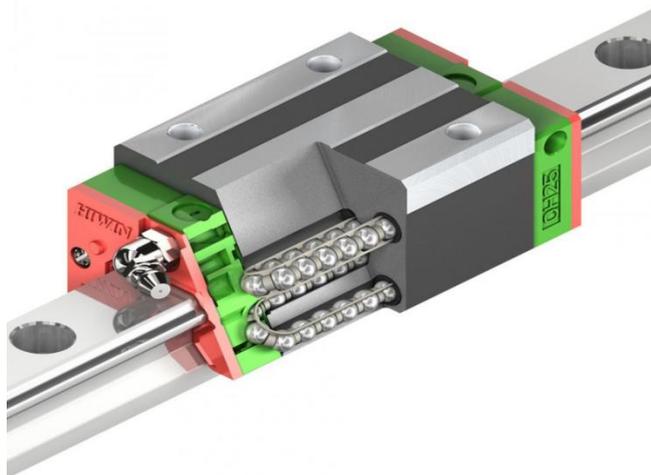


Рисунок 2.10 – направляющая типа HIWIN в сборе

Преимущества:

- на боковой поверхности вырезаны дорожки качения. Профиль соприкосновения с шариком в подшипнике каретки представляет собой дугу, а не точку, как в валах на опорах, это повышает износостойкость направляющих;

- самая высокая точность, надёжность (произведённые на Тайване), предназначены для тяжёлонагруженных работ;

- возможность крепления к линейному подшипнику модуля со смазкой;

- минимальная высота среди всех моделей, в среднем на 40%;

- исключительная жёсткость, благодаря конструкции;

- простой монтаж практически на любой станочный профиль.

Единственный недостаток, который стоит выделить, это цена, значительно превосходящая два предыдущих образца.

Так как в данном проекте не требуется прецизионная точность, а условия работы не являются тяжёлыми, то принимаем окончательно рельс SBR20 с модулями TBR20 для оси Y, и рельсы SBR16 с модулями TBR16 для осей X и Z.

### 2.2.3 Выбор приводного механизма

В начале, следует определиться с рассматриваемыми вариантами. Активно применяются следующие передачи: обычная шпилька с бронзовой гайкой (рисунок 2.11), трапецевидный винт, ременная передача, шариковинтовая передача (ШВП), реечная передача.



Рисунок 2.11 – шпилька в качестве ходового винта

Передача посредством шпильки (рисунок 2.11) исключается, ввиду малой точности позиционирования, хотя это самый дешёвый вариант.

Передача с помощью ходового винта (рисунок 2.12) с трапецевидной резьбой тоже не подходит, ввиду хоть и лучшей, чем у шпильки точностью, но всё же не достаточной. К тому же вопрос обработки концов придётся решать самому, как и опор данного винта.



Рисунок 2.12 – ходовой винт с бронзовой гайкой

По умолчанию предлагается устанавливать в запрессованные подшипники. К моделям типа «собери из того что есть» это применимо, но не к данному проекту.

### **Ременная передача**

Хоть и обладает приемлемой точностью при определённых условиях (использование механизма натяжения, своевременная замена ремня и т.д.), но не предназначена для тяжело нагруженных работ, к тому же работающих с динамическими нагрузками. Стоит отметить, что в качестве одноступенчатого редуктора (рисунок 2.13) с передаточным числом от 1 до 3 и зубчатым ремнём с механизмом натяжения, применяется часто.

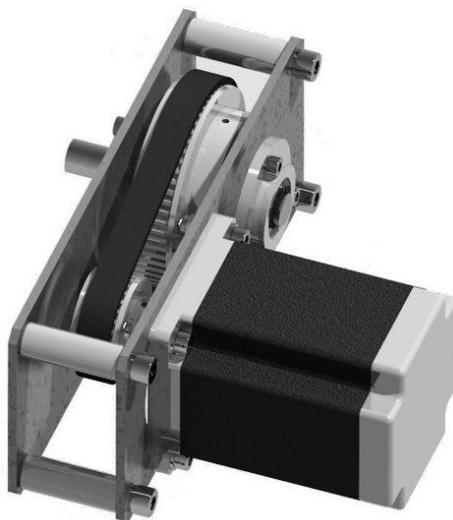


Рисунок 2.13 – ременной привод в одноступенчатом редукторе

Хорошо подходит (рисунок 2.14) и массово применяется в конструкции недорогих 3D принтеров.

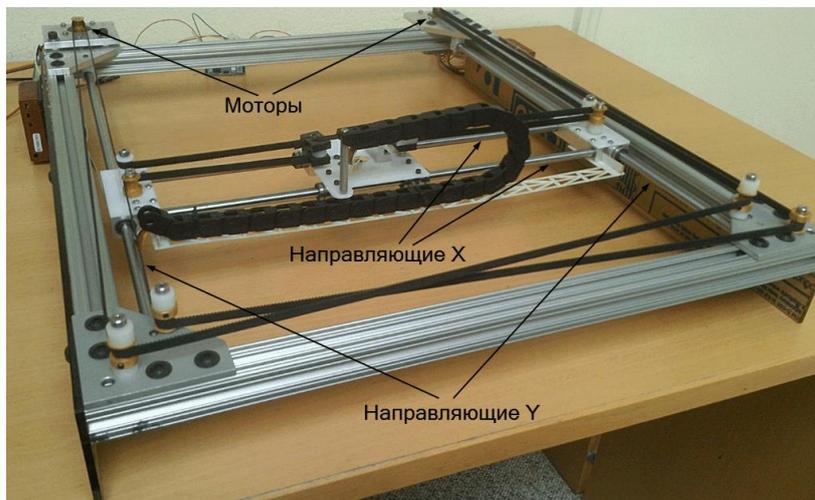


Рисунок 2.14 – ременная передача вместо ходового винта

### Реечная передача

Отличный вариант для обработки дерева, т.к. скорость перемещения составляет до 7 м/мин., против 2 м/мин у винтов. Однако это оправдано в случае крупногабаритных станков (раскроечных), но требует механизма поджима шестерни к рейке, т.к. при движении возникает люфт от прогиба или отжатия шестерни или рейки под нагрузкой или сразу же в момент её снятия. Для оси Z не рационально, т.к. её ход редко превышает 200 мм и большие скорости не требуются.



Рисунок 2.15 – реечные передачи различных исполнений

Поэтому для нашего случая выбираем ШВП (рисунок 2.16). В идеале для оси Y необходим винт SFU 2005 (диаметр 20 мм, шаг 5 мм), для остальных SFU 1605. Но можно унифицировать детали, сделать все SFU 1605 и использовать одинарные, а не двойные гайки.



Рисунок 2.16 – винт ШВП с гайкой

Преимущества ШВП:

- высокая точность позиционирования;
- возможность заказать обработку хвостовиков под выбранные, из широкого перечня, размеры и типы опор;
- надёжность и долговечность работы при грамотном обслуживании;
- не требует дополнительных устройств для нормальной работы.

Недостатки:

- самый дорогой вариант;
- требуются дополнительные навыки и знания при установке гайки ШВП и опор;

#### 2.2.4 Опоры ШВП винта

Исходя из условий проектирования и сделанного выбора, сравнивать необходимо опоры серий VF/BK (рисунок 2.17) и FF/FK (рисунок 2.18).

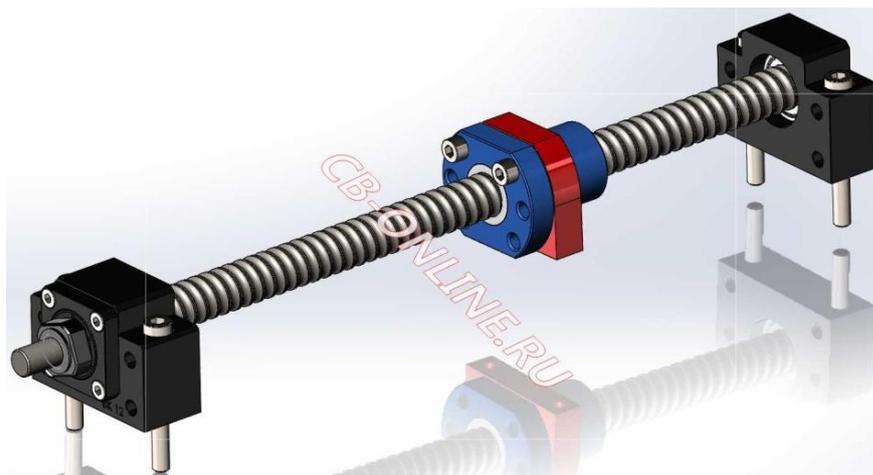


Рисунок 2.17 – ШВП с опорами серии BF/BK



Рисунок 2.18 – ШВП с опорами серии FF/FK

Чётко определённого правила не существует, но есть рекомендации производителей станков и комплектующих к ним. Из них следует, что серия FF/FK обычно устанавливается на горизонтальные оси, а BF/BK на вертикальные.

Однако данная рекомендация не носит ультимативный характер и от неё можно отступить в точности до наоборот. Никаких критичных последствий не будет. Необходимо лишь обосновать свой выбор. Имеет место быть и такой случай – все опоры выбираются одной серии для унификации изготовления или проектирования способа крепления под эти опоры.

Мной была выбрана серия BF/BK по той причине, что её, теоретически, можно установить на станочный профиль определённого типоразмера, что разом решает проблему соосности, параллельности и перпендикулярности.

Однако дальнейшие теоретические расчёты и деревянные макеты станка, доказали ошибочность данного предположения.

Данная идея заслуживает внимания, но, как оказалось, имеет крайне ограниченное применение. Причина – увеличение габаритных размеров, неоправданное усложнение конструкции и стоимости станка. Поэтому всё равно придётся прибегать к услугам фрезеровщика, обработки отдельных деталей на станке с ЧПУ или разработать технологию, позволяющую добиться требуемой точности в условиях простой мастерской и сверлильного станка.

#### 2.2.5 Определение исполнительных размеров ходовых винтов оси Y

Единой и абсолютно верной формулы нет, но можно, исходя из особенностей конкретной конструкции, выделить общую закономерность при проектировании. Начнем с самой большой оси, оси – Y.

Для обеспечения необходимого перемещения инструмента вдоль оси Y, необходимо определить исполнительные размеры шарико-винтовой передачи (ШВП). Обозначим этот размер как  $L_Y$  (рисунок 2.19). Учтём следующие линейные величины, выраженные в миллиметрах, а именно:

1) Минимально необходимый линейный размер рабочей части винта ШВП, который обозначим как  $L_{1Y}$  (рисунок 2.19), равный 705 мм. Это длина стандартной кухонной дверцы. Все последующие величины должны обеспечить именно такой минимальный ход фрезы по оси Y;

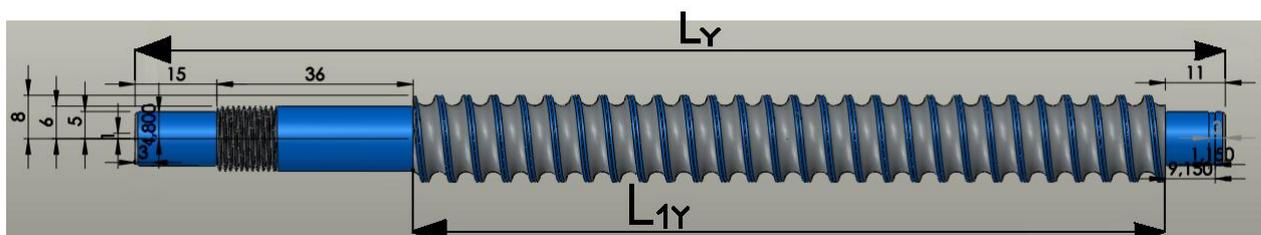


Рисунок 2.19 - основные размеры винта ШВП



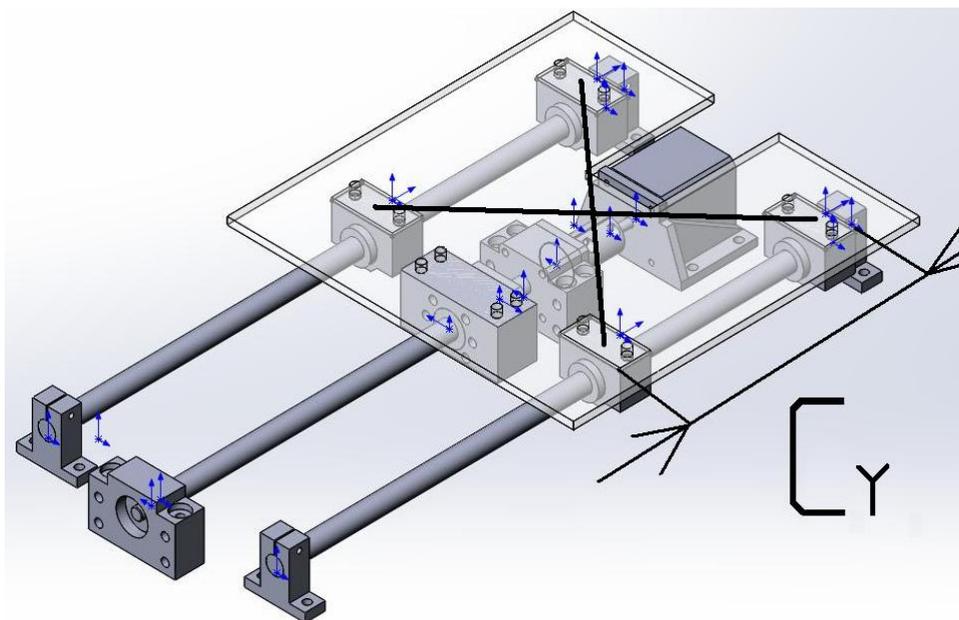


Рисунок 2.22 – расстояние между линейными подшипниками

Боковина портала либо опирается на нижнюю его поперечину, к которой, в свою очередь, крепятся линейные подшипники для направляющих рельс, либо же линейные подшипники устанавливаются прямо на боковине.

Длина модуля SBR16 составляет 45 мм. На каждую сторону необходимо по два обычных модуля, либо по одному, но серии L (модуль увеличенного размера). В нашем случае серия L не применялась или отказались от применения по ряду причин: при примерно одинаковой цене одного модуля L и двух обычных, заменить один износившийся обычный модуль дешевле в два раза, чем один серии L.

Ширина опорной части боковины строго определяется длиной модуля L, увеличена в разумных и сколь-нибудь значительных пределах, быть не может, в противном случае, распределение нагрузки по длине подшипника не будет оптимальной и равномерной, особенно при работе. Но, тем не менее, данный вариант вполне применим при низко нагруженной работе – гравировки и т.д.



Рисунок 2.23 – Концевой переключатель

В качестве необходимой и достаточной длины опорной части боковины портала, принимаем 2,5...3 длины корпуса линейного модуля. В нашем случае принимаем 130 мм. Данные значения получены эмпирическим путем и проверены на множестве подобных конструкций, как самодельных, так и заводских. Обозначим его как «С<sub>У</sub>».

5) С каждого конца оси Y необходимо предусмотреть установку датчиков (рисунок 2.23) концевое положения (контактных или бесконтактных), а так же в идеале по 10...12 мм с каждой стороны дополнительного размера под упругие элементы на роль буфера. Забегая вперед уточним – система остановки в крайних положениях должна состоять минимум из двух контуров, лучше 3 или 4, таких как:

- программный, задаёт максимально допустимую величину хода в выбранной системе координаций;
- контактные концевые переключатели (по 2 на каждую ось);
- дублирующий контур из бесконтактных датчиков (по одному на каждую ось);
- упругие элементы.

В случае установки упоров, размеры для датчиков не учитываются, т.к. ни меньше самих упоров. Обозначим эти размер следующими символами ( $D_1$  – только для датчиков;  $D_2$  – только для упоров).

б) Конструктивный запас хода оси  $Y$  на случай установки дополнительных приспособлений, Четкого правила, не говоря уже о закономерности, выявить не удалось. Однако не следует закладывать излишне больше значения на каждую сторону, т.к. учет габарита опоры портала (размер « $C_Y$ ») уже дает значительный запас площади рабочего стола, которого вполне хватит для крепежной оснастки.

Обозначим его как « $F_Y$ ». Принимаем, что при данных условиях проектирования будем достаточно запаса в пределах 20...70 мм.

При выведения окончательной формулы определения исполнительного размера ( $L_Y$ ) ходового винта, необходимо сделать одно замечание. Учет размера « $B$ » (размера гайки ШВП) становится неактуальным, т.к. он конструктивно находится точно по центру между линейными подшипниками (рисунок 2.22) и не выступает за их пределы, даже в случае использования двойной гайки.

И так, формула имеет свой окончательный вид:

$$L_Y = L_{1Y} + A_{1Y} + A_{2Y} + C_Y + D_{2Y} + F_Y; \quad (1)$$

Подставляем уже принятые значения для нашего случая и получаем следующий частный вид:

$$L_Y = 720 + 12 + 50 + 130 + 20 + 40 = 972 \text{ мм}$$

Учитывая ценообразования на комплектующие, выравненные в цене за один погонный метр (винты, направляющие, станочный профиль), принимаем окончательный абсолютный размер ходового винта равным 1000 мм.

## 2.2.6 Выбор шпинделя

Выбор для каждого проекта сводится к следующим типам: воздушного (рисунок 2.24) или охлаждения, мощностью 1,5 или 2,2 кВт. Более мощные варианты не подходят по цене, хотя запас мощности весьма желателен, а менее мощные – по условиям обработки и задач проекта.

Комплекты поставки включают в себя: шпиндель, частотный преобразователь и набор цанг для шпинделя с воздушным охлаждением, а для жидкостного охлаждения (рисунок 2.25), ещё и водяной насос, кронштейн крепления шпинделя фитинги и шланги.

Рассмотрим основные характеристики, преимущества и недостатки представленных моделей.



Рисунок 2.24 – шпиндель воздушного охлаждения с частотным преобразователем



Рисунок 2.25 – шпиндель жидкостного охлаждения с дополнительным оборудованием

Порядок цен за данные комплекты следующие:

- 15000...16500 рублей: 1,5 кВт с воздушным охлаждением;
- 20000...22000 рублей: 2,2 кВт с воздушным охлаждением и 1,5 кВт с жидкостным охлаждением;
- 24500...26000 рублей: 2,2 кВт с жидкостным охлаждением.

Преимущества шпинделей с жидкостным охлаждением:

- Менее шумные;
- Могут работать на оборотах менее 6000 об/мин без перегрева подшипников.

Недостатки:

- Большая цена, по сравнению с воздушниками;

- Менее удобная система крепления шпинделя;

- Наличие дополнительного оборудования для подачи охлаждающей среды и, как следствие, усложнение системы.

Недостатки «воздушников» являются достоинствами «жидкостников» и наоборот. Также следует отметить, что шпиндели мощностью 1,5 кВт оснащены цангами ER11 (максимальный диаметр хвостовика фрезы 7 мм), а шпиндели с мощностью 2,2...3,0 кВт – ER20 (максимальный диаметр хвостовика фрезы 12 мм). Цанги большего размера доступны со шпинделями мощностью от 3,5 кВт.

Сопоставив все эти факты, выбираем шпиндель с воздушным охлаждением, мощностью 1,5 кВт. В дальнейшем, возможна установка и 2,2 кВт, причём, как с воздушным, так и с жидкостным охлаждением.

### 2.2.7 Выбор приводных двигателей

В данном разделе выбор изначально будет производиться из шаговых двигателей определённого типоразмера, отличающиеся крутящим моментом, делением шага, комплектом поставки и стоимостью.

Разумеется идеальным вариантом стали бы сервоприводы или шаговые двигатели с энкодером на каждую ось, но, во первых, они обладают избыточной точностью, а во вторых запредельной ценой, для данного проекта. Однако, всё же следует рассмотреть особенности данных приводов и их достоинства.

### **Сервоприводы**

Представляют собой электротехническую систему привода, позволяющую эффективно осуществлять управление скоростями в требуемом диапазоне. Применение такого рода устройств дает возможность реализовать периодическую повторяемость процессов с высокой частотой.

Серводвигатели являются инновационным вариантом электропривода, поэтому они получили широкое распространение в машиностроении и других отраслях промышленности. Подобные устройства (рисунок 2.26) сочетают в себе высокую эффективность в работе и низкий уровень шума.



Рисунок 2.26 – комплект сервопривода

Преимущества серводвигателей:

- высокая мощность при малых размерах;
- высокий крутящий момент;
- быстрый разгон и торможение;
- постоянное и бесперебойное отслеживание положения;
- низкий уровень шума, отсутствие вибраций и резонанса;
- широкий диапазон скорости вращения;
- высокая скорость разгона;
- точное позиционирование;
- стабильная работа в широком диапазоне скоростей;
- малая масса и компактная конструкция;

## Шаговые сервоприводы с энкодером

Данные двигатели (рисунок 2.27) занимают промежуточное положение между обычным шаговым двигателем и сервоприводом.



Рисунок 2.27 – шаговый двигатель с энкодером

Их основным плюсом является цена, они ощутимо дешевле, чем обычный сервопривод. А наличие энкодера на вале шагового двигателя позволяет получать обратную связь (скорость и соответственно угловое положение). Что позволяет уйти от основных недостатков шаговых двигателей.

## Шаговый электродвигатель

Простой шаговый двигатель (рисунок 2.28) — это синхронный бесщёточный электродвигатель с несколькими обмотками, в котором ток, подаваемый в одну из обмоток статора, вызывает фиксацию ротора. Последовательная активация обмоток двигателя вызывает дискретные угловые перемещения (шаги) ротора.

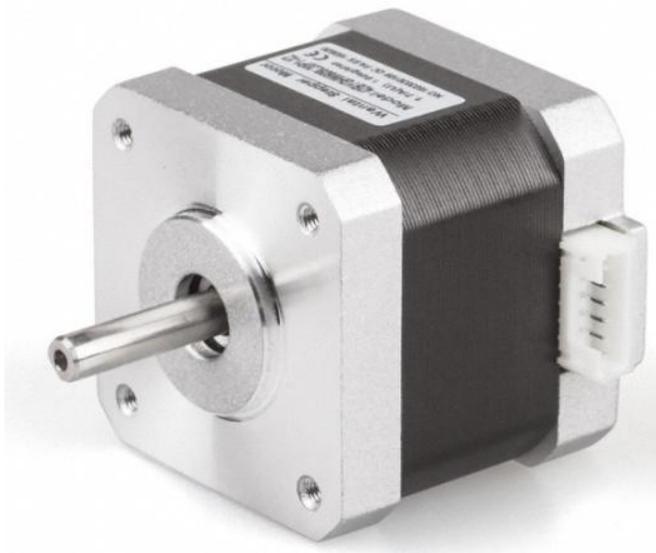


Рисунок 2.28 – простой ШД, тип NEMA 17

### Типоразмер

Этот параметр характеризует размером и расстоянием между крепёжными отверстиями на фланце двигателя. Обозначаются как NEMA 17, NEMA 23, NEMA 32. Для данного проекта оптимальным выбором станут моторы серии NEMA 23.



Рисунок 2.29 – шаговый двигатель серии NEMA 23

Изначально можно выбрать маломощный вариант с диаметром выходного вала равным 6 мм (рисунок 2.29). В дальнейшем, можно приобрести более мощные моторы с диаметром выходного вала равным 8

мм, но с точно такими же установочными размерами фланца. Поэтому такая модернизация потребует только других переходных муфт.

### Деление шага

Меньший шаг означает более плавное перемещение, но в этом случае потребуются драйвер с большей входной частотой, а он обойдется дороже. Наиболее распространены ШД с шагом от 0,9 и до 1,8 градуса. Этих значений хватает для решения стандартных задач, ставящихся перед порталными станками.

### Преимущества шаговых двигателей:

- легкость настройки. Успех пуска системы с ШД зависит только от правильности его подключения и корректного выбора драйвера. Сервомотор требуется настраивать дополнительно, он сложнее в подключении и в ремонте;

- неприхотливость в эксплуатации. Для бюджетного порталного станка после нескольких лет интенсивной работы не исключается вероятность подклинивания механики. Пиковая нагрузка на ШД в такой ситуации приведет только к пропуску шагов и росту рассогласования, проблема решается перезагрузкой станка. Увеличение нагрузки на слабый сервомотор приведет к перегоранию обмоток, на мощный – к механической поломке передачи;

- у ШД способность к удержанию вала в заданном положении выше. Сервомотор при фиксации ротора склонен к микроколебаниям, ротор ШД остается на одной угловой позиции без сдвигов.

### Недостатки:

- резонанс. Решается выбором драйвера с функцией подавления резонанса;

- инертность. Естественный недостаток, следующий из принципа работы ШД, но он проявляется только при быстром разгоне. Перед фрезерно-гравировальными станками ставятся другие задачи – например, при нанесении рельефного изображения на каменную плиту на ускоренные перемещения приходится не более 1% времени;

- повышенный уровень шума. Последний параметр, на который стоит обратить внимание. В данном проекте важнее стоимость оборудования (а ШД дешевле, чем тихие сервомоторы).

### Комплект поставки

Предпочтение стоит отдавать товарам из Китая или Тайваня. Европейские образцы в несколько раз дороже, а производятся зачастую там же. Комплект (рисунок 2.30) должен включать в себя 4...5 ШД, блок питания (БП), плату управления (ПУ), драйверы для двигателей, набор быстросъемных разъемов, диск с драйверами и инструкцией.



Рисунок 2.30 – пример комплекта поставки ШД

## 2.2.8 Анализ конструкции портала и оси X

Ось X является поперечной горизонтальной осью станка. От правильности выбора конструкции портала и его размеров напрямую зависит жесткость всей системы.

Для выбора исполнительных размеров элементов конструкции и заказа комплектующих, необходимо ответить на следующие вопросы:

1 Портал будет подвижным или нет; 2 Исполнительные размеры ШВП и направляющих оси X; 3 Форма и размеры боковин портала; 4 Способ расположения направляющих на оси X и каретки для оси Z; 5 Исполнительные размеры ШВП и направляющих оси Z.

### **Подвижность портала**

Как уже было рассмотрено в предыдущих разделах, портал будет подвижным по оси Y, привод от двух ШВП с ШД без редукторов. Вариант конструкции с неподвижным порталом имеет место быть, имеет ряд преимуществ:

- Повышенная жёсткость портала;
- Упрощение сборочных операций и формы портала.

Но для нашего случая не подходит из-за недостатков:

- Габаритный размер оси Y существенно возрастает, примерно в два раза, т.к. именно стол должен ходить вдоль оси Y;
- Увеличиваются размеры ШВП и направляющих, их стоимость, без увеличения площади рабочей зоны;

Данное решение применимо и оправдано в моделях с небольшим рабочим полем – менее 0,15 м<sup>2</sup>.

## 2.2.9 Расчёт исполнительных размеров ШВП оси X

Методика расчёта исполнительного размера ШВП и направляющих для оси X аналогична методике оси Y, поэтому приведём её упрощённый вид:

$$L_x = L_{1x} + A_{1x} + A_{2x} + C_x + D_{2x} + F_x, \quad \text{где:} \quad (2)$$

$L_{1x}$  – минимально необходимый рабочий ход оси, согласно исходным данным для данного проекта. В нашем случае – 420 мм;

$A_{1x}$  – линейный размер одного обработанного хвостовика ходового винта. В нашем случае это 12 мм;

$A_{2x}$  – линейный размер одного обработанного хвостовика ходового винта. В нашем случае это 50 мм;

$C_x$  – длина опорной части каретки портала, принимаем 2,5...3 длины корпуса линейного модуля. В нашем случае принимаем 130 мм;

$D_{2x}$  – размер для компенсации возможной потери длины рабочего хода, в случае установки аварийных демпферов. В нашем случае принимаем 20 мм;

$F_x$  – конструктивный запас длины хода по оси X для установки оснастки, различных приспособлений и просто резерва. Принимается в диапазоне 20...50 мм.

Подставляем уже принятые значения для нашего случая и получаем следующий частный вид:

$$L_x = 420 + 12 + 50 + 130 + 20 + 40 = 672 \text{ мм.}$$

Учитывая ценообразование на комплектующие, выраженное в цене за один погонный метр (винты, направляющие, станочный профиль), принимаем окончательный абсолютный размер ходового винта равным 700 мм.

### 2.2.10 Форма и размеры боковин портала

Существует несколько вариантов исполнения формы портала (рисунки 2.31, 2.32, 2.33):

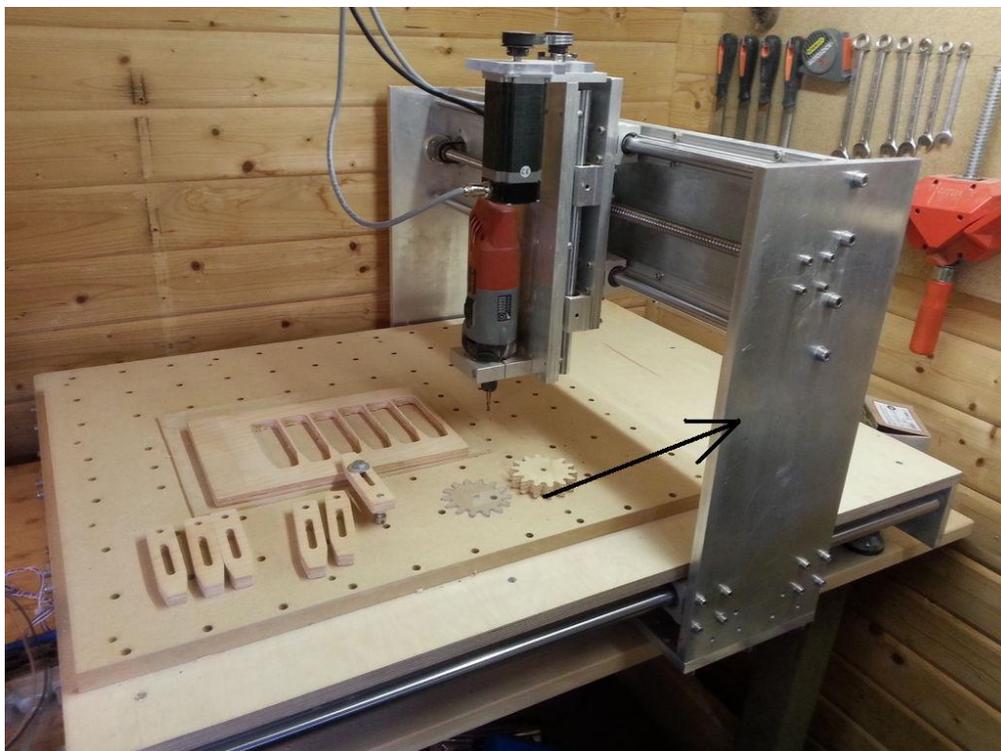


Рисунок 2.31 – простая форма портала



Рисунок 2.32 – Нерациональная форма портала



Рисунок 2.33 – Рациональная форма боковин портала

Однако мы будем руководствоваться принципом – оптимальная конструкция, относительно максимально рационального расположения рабочего поля фрезы. Наилучшим образом подходит наклонная форма боковины портала, без сложных криволинейных поверхностей, позволяющая обрабатывать каждую из своих граней за проход инструмента.

На рисунке ниже (рисунок 2.34) представлено рациональное расположение рабочего поля фрезы.

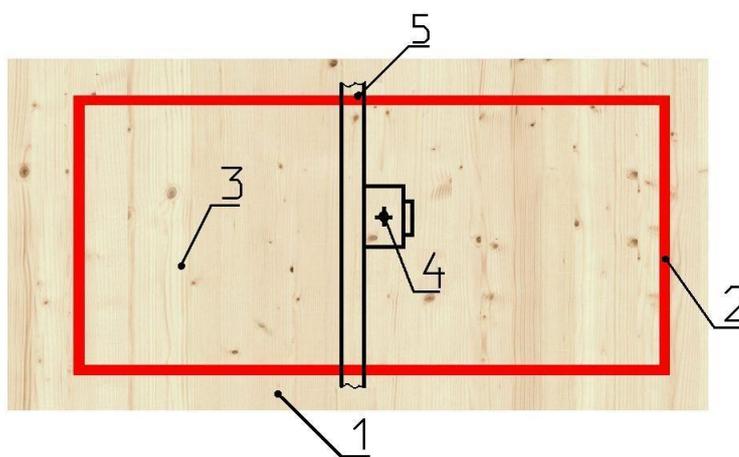


Рисунок 2.34 - рационально расположение рабочего поля фрезы (вид сверху)

На рисунке 2.34 показаны: 1 – вся площадь рабочего стола; 2 – граница рабочего поля фрезы; 3 – рабочее поле фрезы; 4 – положение фрезы; 5 – условное изображение портала со шпинделем

На данной схеме чётко видно, что проекция рабочего поля практически идеально расположена на поверхности существующего рабочего стола. По верхнему и нижнему краю остаётся достаточно места, к тому же одинаковой размерности, для крепления оснастки. С фронтальной стороны шпинделя места для оснастки несколько меньше, чем с тыльной, но это не принципиально. Обеспечить такое расположение может наклонная форма боковины портала с грамотно подобранным углом наклона (рисунок 2.33).

Грамотно выбранный угол наклона боковин портала и конструкции каретки оси X, позволят максимально приблизить ось вращения фрезы к мидельной плоскости M (рисунок 2.39), что и позволит приблизиться к оптимальной проекции рабочего поля фрезы на рабочий стол.

Простая или прямая боковина портала (рисунок 2.31) в большинстве случаев даёт нерациональную проекцию рабочего поля на рабочий стол (рисунок 2.35), что ограничивает возможности по обработке на станке при тех же его габаритах и стоимости.

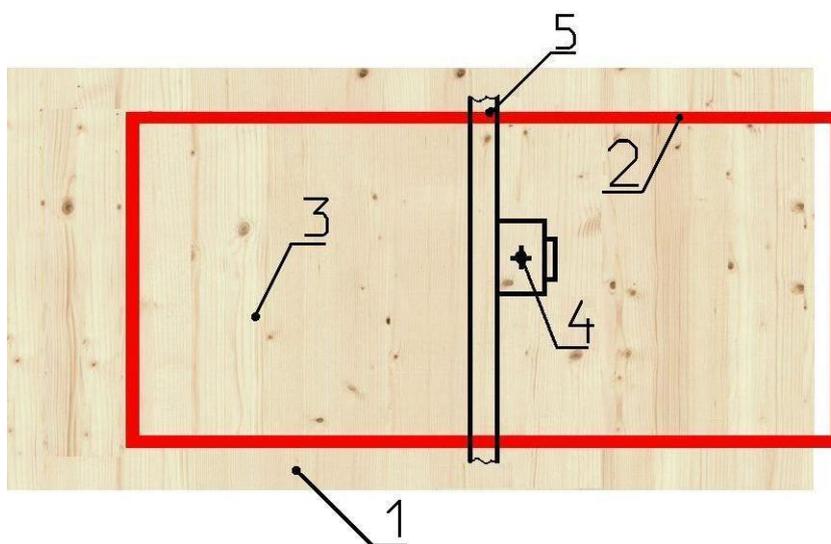


Рисунок 2.35 – нерациональное расположение рабочего поля

Как видно из вышеприведённой схемы, возможности обработки снижаются чуть более чем значительно, с тыльной части шпинделя остаётся значительная неиспользуемая площадь, а с фронтальной рабочее поле «выезжает» или практически совпадает с границей рабочего стола. Это существенно усложняет задачу установки оснастки и заставляет просто обрабатывать заготовки меньшего размера.

Вопрос о выборе формы боковины считаем решенным.

### 2.2.11 Способ расположения направляющих и каретки оси X

Существует несколько вариантов расположения направляющих и каретки оси X. Но мы рассмотрим два основных способа, и назовём их «классический» и «альтернативный». Различные комбинации данных вариантов рассматриваться не будут.

Ниже представлены общие виды обеих конструкций. Отметим сразу, что единственным преимуществом «классического» варианта является меньшее количество деталей, необходимых для его реализации, и, возможно, меньшие трудозатраты. Поэтому после приведённых рисунков будут рассмотрены недостатки «классической» конструкции.

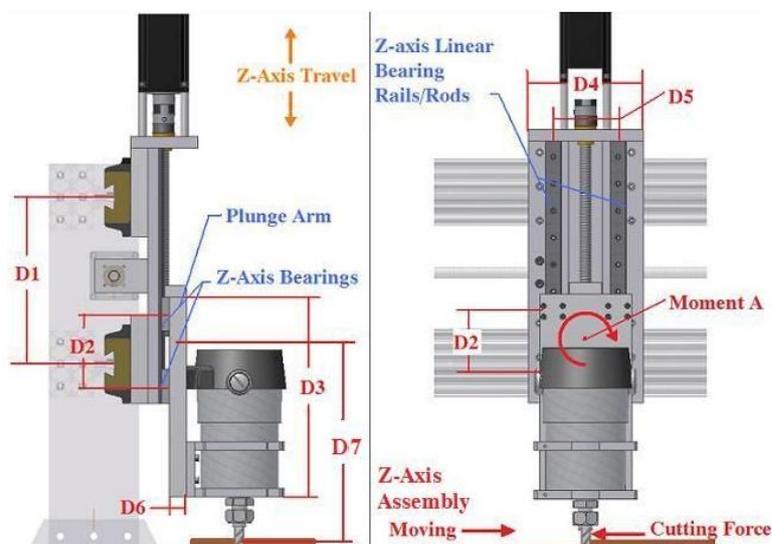


Рисунок 2.36 – «классическое» исполнение каретки оси X

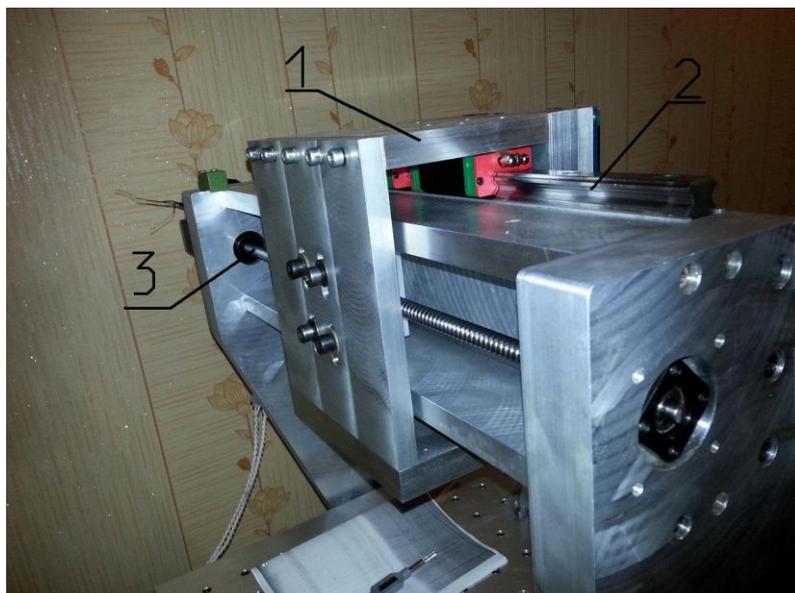


Рисунок 2.37 – альтернативная конструкция каретки оси X для оси Z,  
вид сзади



Рисунок 2.38 – альтернативная конструкция каретки оси X для оси Z,  
вид сзади, вид спереди

На рисунках 2.36 и 2.37 обозначены: 1 – каретка оси X; 2 – расположение направляющих; 3 – расположение привода оси X; 4 – установочная плита на оси X для монтажа оси Z; 5 – вид спереди на расположение направляющих каретка оси X.

Чтобы обосновать выбор в пользу именно «альтернативной» конструкции осей X и Z, приведём схему, которая наглядно покажет два самых критичных недостатка, присущих «классической компоновке».

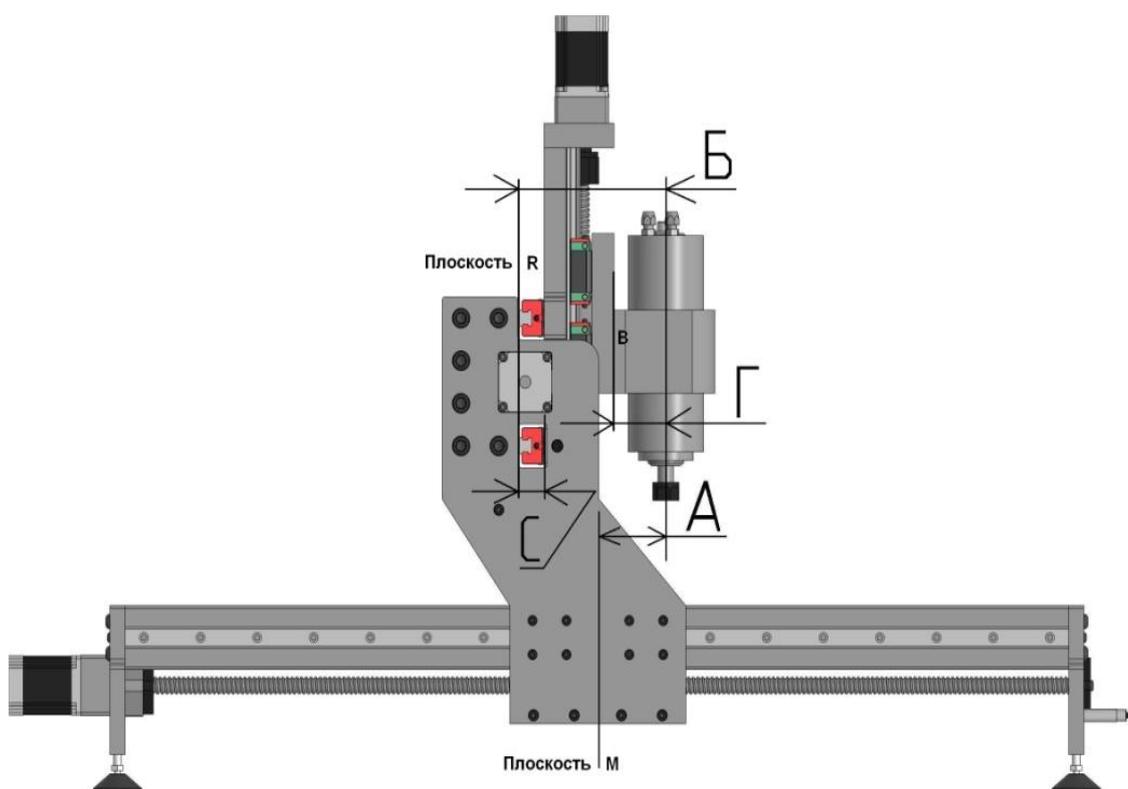


Рисунок 2.39– конструктивные недостатки «классической» компоновки осей X и Z.

На рисунке 2.39 обозначены: А – расстояние от оси вращения шпинделя до середины основания портала (мидельная плоскость М); Б – расстояние от оси вращения фрезы до плоскости крепления консоли; Г – «вылет» шпинделя относительно монтажной плиты; С – высота направляющей с линейным модулем.

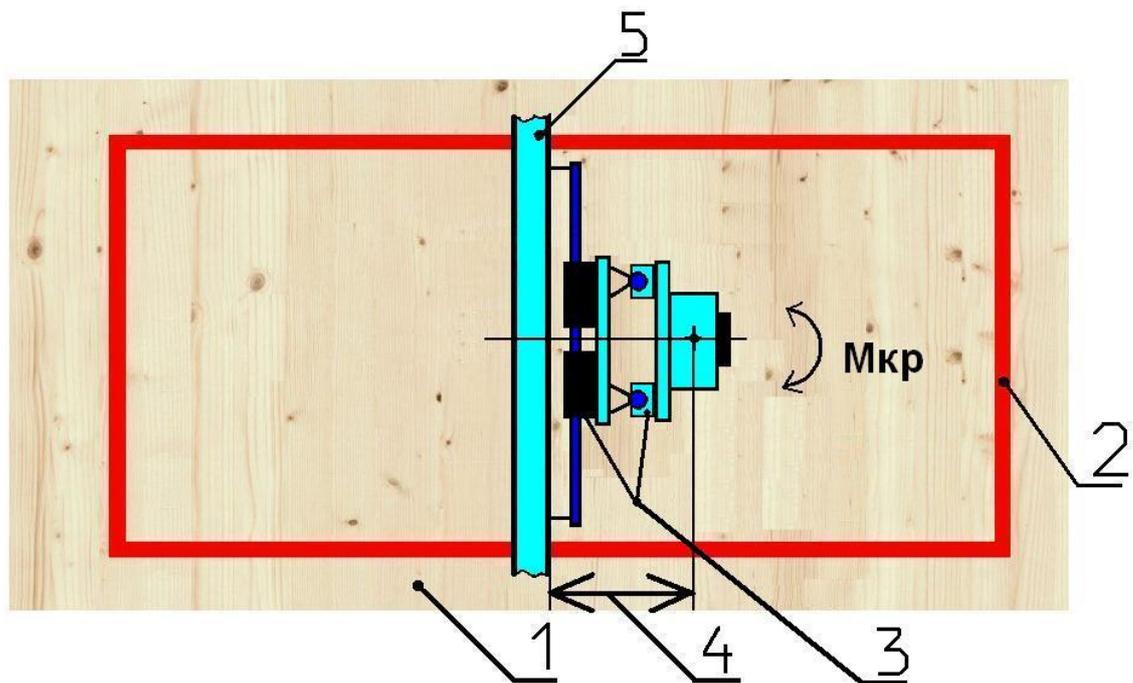


Рисунок 2.40 – портал «классической» компоновки с осью Z вид сверху

На рисунке обозначены: 1 – вся площадь рабочего стола; 2 – граница рабочего поля фрезы; 3 – каретка оси X с установленной осью Z; 4 – расстояние от оси вращения фрезы до плоскости крепления консоли; 5 – условное изображение портала.

Основные недостатки «классической» конструкции:

1 – Слишком большой «рычаг», образованный расположением всех элементов оси X и оси Z на одной консоли, размер 4 (рисунок 2.40 ) и размер Б (рисунок 2.39);

2 – Провисание консоли под собственным весом;

3 – Нерациональное распределение масс, относительно верхней поперечины портала (плоскость R, рисунок 2.39).

Преимущества «альтернативной» конструкции:

- значительное уменьшение вылета консоли (размер 4, рисунок 2.41);

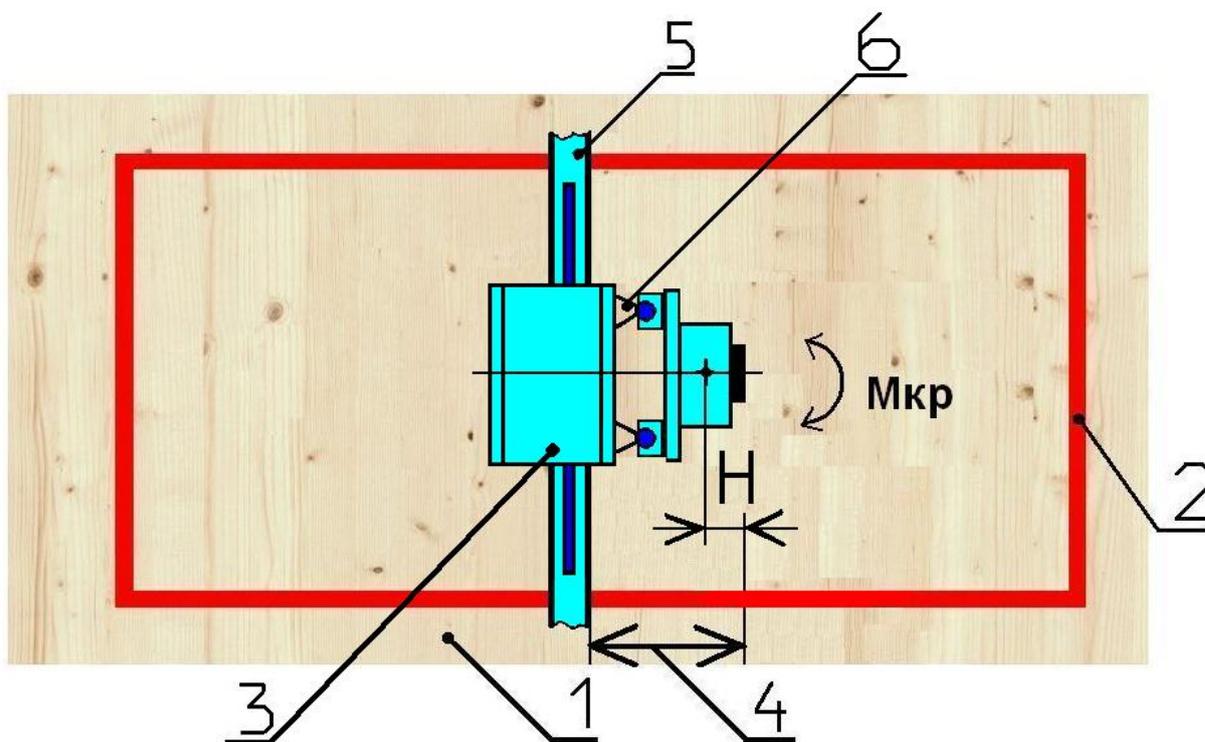


Рисунок 2.41 – «альтернативная» конструкция, вид сверху

На рисунке обозначены: 1 – вся площадь рабочего стола; 2 – граница рабочего поля фрезы; 3 – каретка оси X новой конструкции; 4 – предыдущее расстояние от оси вращения фрезы до плоскости крепления консоли; 5 – условное изображение портала; 6 – направляющие с линейными подшипниками оси Z; H – величина уменьшения вылета консоли.

- улучшение распределения масс (рисунок 2.41 ), благодаря расположению ряда деталей за плоскость R (рисунок 2.39);

- упрощение конструкции деталей для каретки оси X и всей оси Z;

- повышение жёсткости всей системы;

- приближение проекции рабочего поля фрезы к оптимальному расположению на рабочем столе.

### 2.2.12 Исполнительные размеры ШВП оси Z

Методика расчёта исполнительного размера ШВП и направляющих для оси Z аналогична методике для осей X и Y, поэтому приведём её упрощённый вид:

$$L_Z = L_{1Z} + A_{1Z} + A_{2Z} + C_Z + D_{2Z} + F_Z, \quad \text{где:} \quad (3)$$

$L_{1Z}$  – минимально необходимый рабочий ход оси, согласно исходным данным для данного проекта. В нашем случае – 120 мм;

$A_{1Z}$  – линейный размер одного обработанного хвостовика ходового винта. В нашем случае это 12 мм;

$A_{2Z}$  – линейный размер одного обработанного хвостовика ходового винта. В нашем случае это 50 мм;

$C_Z$  – расстояние между внешними краями линейных подшипников, установленных на данной направляющей (рисунок 2.42). Принимаем 2,5...3 длины корпуса линейного модуля. В нашем случае принимаем 130 мм;

$D_{2Z}$  – размер для компенсации возможной потери длины рабочего хода, в случае установки аварийных демпферов. В нашем случае принимаем 20 мм;

$F_Z$  – конструктивный запас длины хода по оси Z для установки оснастки, различных приспособлений и просто резерва. Принимается в диапазоне 20...50 мм.

Подставляем уже принятые значения для нашего случая и получаем следующий частный вид:

$$L_Z = 120 + 12 + 50 + 130 + 20 + 30 = 242 \text{ мм.}$$

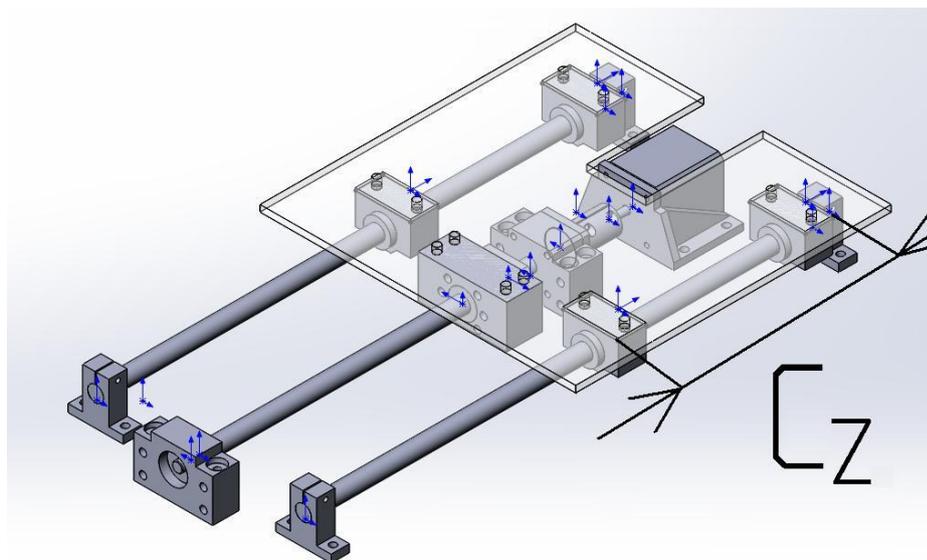


Рисунок 2.42 – размер  $C_Z$ .

Учитывая ценообразование на комплектующие, выраженное в цене за один погонный метр (винты, направляющие, станочный профиль), значительную экономию при приобретении уже готового комплекта деталей для модуля  $Z$  принимаем окончательный размер ходового винта в пределах от 260 до 300 мм.

Окончательный выбор будет зависеть от конкретного типоразмера готового комплекта деталей и цены, предложенной за него. Так же это позволит чуть позже определиться с окончательным значением хода оси  $Z$ . Его регулировка будет осуществляться изменением размера  $C_Z$ .

### 2.2.13 Исполнительные размеры остальных деталей

К остальным деталям, чьи линейные размеры необходимо будет определить, относятся направляющие, детали из дюралевых плит и станочного профиля. Методика их определения довольно проста:

1 – Собрать винты ШВП, т.е. установить гайку и опоры (рисунок 2.43). В данном проекте предполагается установка опор ШВП внутри конструкций, соответственно исходным размером для измерения и принятия в качестве исполнительного становится размер «Б»;

2 – Разработать чертежи или эскизы деталей. Самостоятельно или с помощью аутсорсинга разработать 3D модель станка, скорректировав размеры станка.

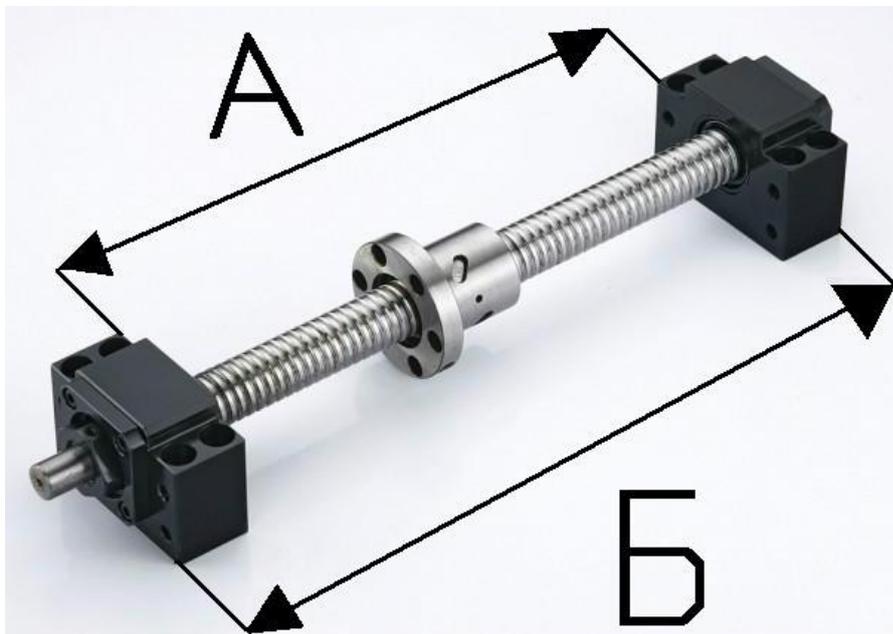


Рисунок 2.43 – способ вычисления размеров

Обойтись можно и без 3D модели станка, ограничившись эскизами. Детальные размеры каждой детали будут «самоуточняться» в процессе их прорисовки. В случае, если использование программ для 3D проектирования невозможно, необходимо изготовить прототипы деталей из фанеры и проверить правильность своих расчётов.

### 2.3 Методика проверки точности станка

В качестве контроля точности станка, приведу несколько методик проверки точного взаиморасположения деталей станка и точности изготовления деталей на станке, а именно: 1 методика проверки перпендикулярности хода оси Z относительно стола; 2 методика проверки перпендикулярного расположения опорной плиты под шпиндель, самого шпинделя и всего модуля оси Z, относительно стола; 3 соответствие точности станка заявленной при проектировании.

### 2.3.1 Перпендикулярность хода оси Z

Это самая простая для проведения методика. Для её осуществления потребуются металлические малогабаритные тиски и индикаторная магнитная стойка (рисунок 2.44).

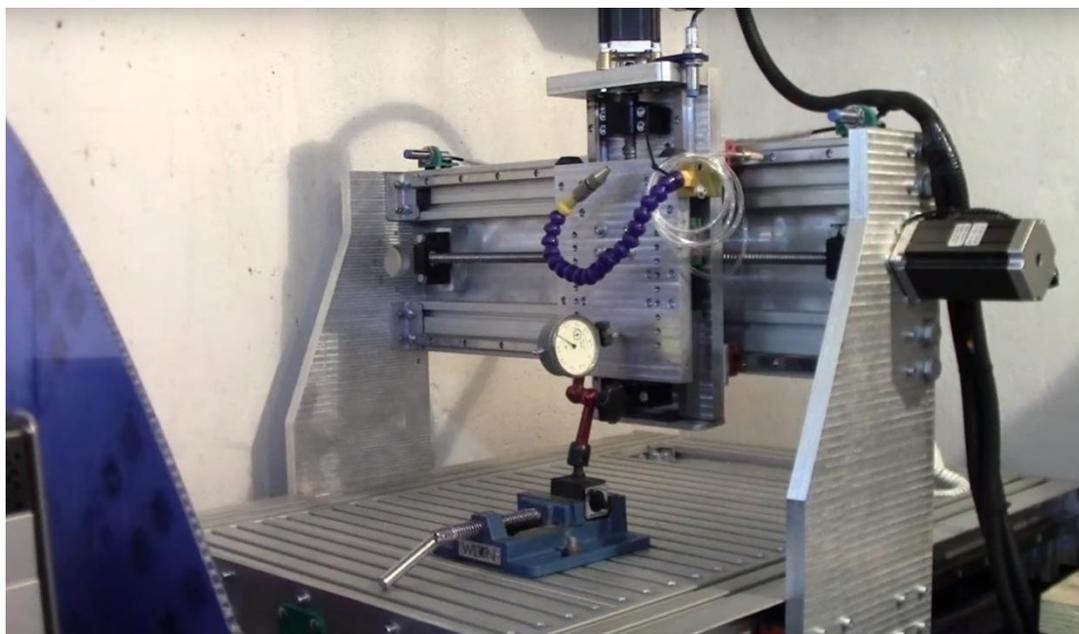


Рисунок — 2.44 Проверка перпендикулярности оси Z

Можно было обойтись и одной магнитной стойкой, но так как рабочий стол сделан из дюралевого сплава, придётся сначала жёстко на нём закрепить стальные тиски, а уже в тисках разместить магнитную стойку.

Стержень индикатора часового типа устанавливается на поверхность опорной плиты оси Z таким образом, чтобы выполнялись следующие условия: стержень касается плиты под углом близким к  $90^\circ$ ; ход стержня достаточный и стремится к половине своего полного хода, к каждому из крайних значений; точка приложения стержня в начале измерения располагается как можно ближе к верхнему или нижнему краю опорной плиты (зависит от направления измерения — из крайнего нижнего положения в верхнее или наоборот); ничто не мешает последующим

перемещениям оси  $Z$  как вверх, так и вниз; циферблат индикатора выставляется в положение «ноль под стрелкой индикатора».

Правильное расположение оснастки представлено на рисунке 2.44. Подачу для перемещения оси  $Z$  следует выставить как можно плавную, для максимально чёткой фиксации изменений положения индикаторной стрелки. Перемещая ось  $Z$  из одного крайнего положения в другое, оцениваем отклонение от перпендикулярности и принимаем соответствующее решение — оставить как есть, в случае полного отклонения по длине плиты равном цене деления измерительного прибора, или провести регулировку, с последующей перепроверкой по вышеприведённой методике.

Таблица 2.1 - Фиксация распределения отклонений по высоте плиты

Штангенциркуль механический, $V_{ном.} =$ мм; $H_{ном.} =$ мм; $L_{ном.} =$ мм.				Штангенциркуль электронный, $V_{ном.} =$ мм; $H_{ном.} =$ мм; $L_{ном.} =$ мм.			
Деталь №	Lфакт. мм	Hфакт. мм	Vфакт. мм	Деталь №	Lфакт. мм	Hфакт. мм	Vфакт. мм
1				1			
2				2			
3				3			
...				...			
Минимальное значение, $E_{min}$				Минимальное значение, $E_{min}$			
Максимальное значение, мм $E_{max}$				Максимальное значение, мм $E_{max}$			
Максимальное отклонение $\Delta E$ , мкм				Максимальное отклонение $\Delta E$ , мкм			

В случае выявления серьёзного отклонения от перпендикулярности (30 мкм и более), составляется таблица распределения отклонений по высоте плиты. Размерный шаг выбирается в зависимости от величины отклонения, но кратным полному ходу оси  $Z$  и в пределах от 10 до 40мм.

В «Примечаниях» записывается краткий вывод по результатам измерений: регулировка требуется или нет; если требуется, то каково фактическое положение плиты, на какую величину и как следует проводить регулировку.

### 2.3.2 Проверка перпендикулярного расположения опорной плиты под шпиндель, самого шпинделя и всего модуля оси Z относительно стола

Шпиндель необходимо устанавливать строго перпендикулярно поверхности стола.

Был выбран простой способ, не предполагающий использование дорогих инструментов. Для этого необходимо надёжно зафиксировать простой карандаш на цанге или на фрезе, под углом (30...60° к поверхности стола).



Рисунок 2.45 - юстировка перпендикулярности оси вращения шпинделя

Тогда при вращении оси шпинделя кончик карандаша вырисует окружность. При опускании шпинделя, на поверхности стола кончик карандаша оставит след в виде одного из 5 основных вариантов и массы промежуточных, когда наклонен, например, назад и влево (рисунок 2.45).

Единственно верный вариант – окружность. Чем дальше кончик карандаша от оси вращения, тем точнее результат.

Аналогичным образом проверяется перпендикулярность опорной плиты под шпиндель относительно стола. Разница в том, что карандаш устанавливается как можно ближе к углу  $90^\circ$  относительно поверхности стола, а движение по окружности выполняется станком по программе. Пример установки показан на рисунке 2.46.

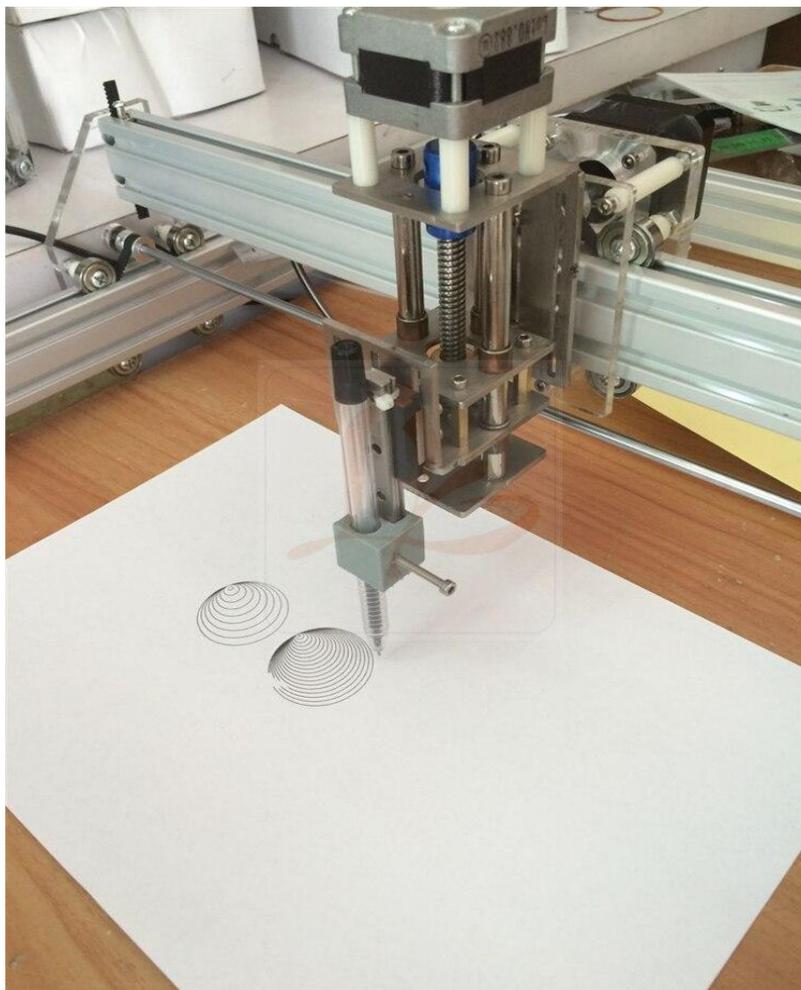


Рисунок 2.46 – проверка опорной плиты

Оценка перпендикулярности опорной плиты оси  $Z$  аналогична предыдущему пункту (рисунок — 2.45).

### 2.3.3 Соответствие станка точности, заявленной при проектировании

Предлагается провести оценку точности станка простым способом — изготовлением серии одинаковых деталей. В качестве опытной детали

желательно выбрать ту, которая может пригодиться для дальнейшей работы на станке, а не какую-то абстрактную. Принимаем элемент стандартной оснастки — прихват в качестве таковой. В случае, если станок изготовлен по бюджетному проекту, то материал детали дерево (рисунок 2.47), в стандартном исполнении — дюраль Д16Т.



Рисунок 2.47 – производство опытной партии

Перечислим требования к опытной детали (прихвату, рисунок 2.48):

- количество деталей в опытной партии — от пяти до десяти штук;
- изготавливаются из одного листа (фанера или дюраль);
- размеры детали и инструмент изготовления одни и те же для всей партии.

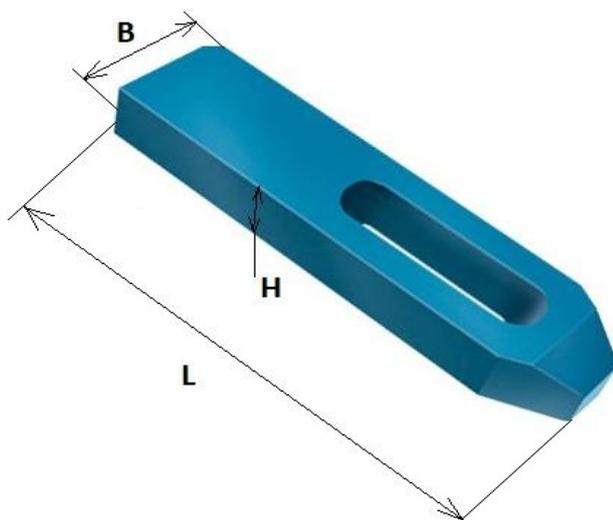


Рисунок 2.48 - Прихват

Измерения полученных деталей проводим с помощью имеющегося в наличии инструмента - прецизионные штангенциркули. Первый это ШЦ-I-125 0,02, с точностью 0.02мм (рисунок 2.49), второй штангенциркуль с цифровой индикацией и точностью 0.02мм (рисунок — 2.50).



Рисунок 2.49 – штангенциркуль механический



Рисунок 2.50 - штангенциркуль с цифровой индикацией

После изготовления опытной партии, каждой детали присваивается номер, от 1 до 10, согласно порядку их изготовления. Номер наносится несмываемым маркером на поверхность детали. С каждой детали поочередно снимаются размеры сначала механическим, затем электронным штангенциркулем. Замеры следует проводить в одних и тех же, заранее выбранных, местах и плоскостях на каждой детали. Полученные данные заносятся в таблицу 2.2.

Таблица 2.2 – результаты замеров

Штангенциркуль механический, $V_{ном.} =$ мм; $H_{ном.} =$ мм; $L_{ном.} =$ мм.				Штангенциркуль электронный, $V_{ном.} =$ мм; $H_{ном.} =$ мм; $L_{ном.} =$ мм.			
Деталь №	Lфакт. мм	Hфакт. мм	Vфакт. мм	Деталь №	Lфакт. мм	Hфакт. мм	Vфакт. мм
1				1			
2				2			
3				3			
...				...			
10				10			
Минимальное значение, $E_{min}$				Минимальное значение, $E_{min}$			
Максимальное значение, мм $E_{max}$				Максимальное значение, мм $E_{max}$			
Максимальное отклонение $\Delta E$ , мкм				Максимальное отклонение $\Delta E$ , мкм			

После обработки полученных фактических значений, делается вывод о точности построенного станка.

#### **2.4 Экономическое обоснование необходимости различных вариантов проекта**

Прежде чем перейти к калькуляции вариантов стоимости проекта, следует учесть ещё один немаловажный момент – финансовые возможности проектировщика и форс-мажорные обстоятельства. Да, первоначально ставилась и выполняется задача по постройке максимально бюджетного

варианта под чётко определённые условия обработки: изготовление изделий из дерева или фанеры (кухонные фасады, элементы отделки комнатных стенок и т.д.) с максимальными размерами 420×700×100 мм; возможность выжигания, гравировки и создания структуры микрорельефа, на поверхности заготовок из цветных металлов и сплавов.

Но всякое может случиться, а стоимость даже такого изделия составит порядка семидесяти пяти тысяч рублей. Поэтому следует заложить возможность замены ряда деталей и узлов на существенно более дешёвые аналоги. При этом станок должен сохранить достаточную жесткость для полноценной работы, пусть даже и в качестве рабочего макета. Возможности по обработке эрзац-варианта должны сводиться к обработке деталей из дерева на глубину до 4...5 мм. Это позволит проверить работоспособность всех систем, оценить первоначальную точность и предельные возможности станка, жесткость элементов конструкции, согласно разработанной методике.

В дальнейшем, при замене эрзац деталей на изначально предусмотренные, можно будет сопоставлять качественные и количественные изменения характеристик станка и делать соответствующие выводы о правильности разработанной концепции проектирования и обоснования выбора именно этих деталей.

Сама конструкция станка позволит, также, оценить насколько изменились характеристики в ту или иную сторону и стоили ли эти изменения затраченных ресурсов. Например:

- эффективность замены направляющих и модулей с SBR16 на TBR16;
- с SBR16 на SBR20 (в данных случаях крепления рельс одинаковы, потребуется лишь приобрести их вместе с модулями);
- изменение толщины деталей из дюралевых плит с 10...12 мм до 16...20 мм;

- шпиндель иной мощности с 1,5 кВт на 2,2 кВт;

- более мощные ШД, но той же серии NEMA23 (сервоприводы в подобном проекте неоправданно дороги);

- жёсткость системы с рёбрами жёсткости (укосинами) и без них.

Для решения поставленной мини-задачи следует определиться со следующими моментами:

- какие элементы можно заменить, а какие нет;

- экономия должна составить одну треть или более. Эта величина в 21 тысячу рублей связана с тем, что проект рассчитан широкий круг возможных покупателей и возможность постройки прототипа с бюджетом в 45...55 тысяч рублей, а не в 75...85 тысяч рублей;

- заложить конструктивную возможность дальнейшей поэтапной и финансово необременительной модернизации, существенно повышающей возможности станка.

Совокупность этих факторов должна повысить интерес к проекту, особенно в сложившейся сложной экономической ситуации в стране.

#### 2.4.1 Сравнительный анализ деталей на возможность замены дешевыми аналогами

Проведя сравнительный анализ различных конструкций как самостоятельных разработок, так и заводских исполнений, и учитывая личный опыт создания первого прототипа, можно смело разделить детали на подлежащих замене на эрзацы и те, чья замена будет нецелесообразна.

Приведём обоснования подобного утверждения по отношению к каждой группе комплектующих:

## **Шаговые двигатели с драйверами, платой управления и блоком питания**

Их следует приобретать сразу под окончательный вариант. Для данного проекта это 10500 рублей. Можно найти дешевле, но экономия 3...4 тысяч рублей обернётся большой нагрузкой на ШД, плату управления, БП, что вызовет их быстрый нагрев, со всеми вытекающими последствиями.

## **Направляющие**

Ситуация аналогичная. Существенную экономию могут дать рельсы диаметром 8...10 мм. Но для данного проекта их возможностей будет явно недостаточно. Серьёзных нагрузок они не выдержат. Поэтому заказываются по изначальному проекту.

## **ШВП с опорами**

Аналогичная ситуация. В случае выбора передачи другого типа (ременная, ходовая резьба), неизбежно придётся решать вопрос о её установке в проект, рассчитанный под другую передачу (изготавливать другие детали). Ну и целесообразность использования другого типа привода в дальнейших проектах тоже достаточно сомнительно. Поэтому даже применение ШВП меньшего диаметра не даст существенной экономии, зато нагрузки на передачу вырастут значительно. Заказываем по проекту.

## **Детали из станочного профиля**

Замена также нецелесообразна. Придётся менять размеры и вносить изменения в конструкцию, ведь за меньшие деньги можно приобрести профиль меньшего сечения и без покрытия.

Подводя промежуточный итог делаем следующий вывод: все вышеперечисленные компоненты не могут быть заменены на аналоги, дающие как значительное снижение затрат с сохранением минимального

производственного функционала, так и возможность их дальнейшего применения в аналогичной модели станка.

#### 2.4.2 Обоснование выбора эрзац деталей

К следующей группе деталей, чья замена целесообразна, относятся: все элементы станка из дюралевых плит, поверхность рабочего стола и шпиндель. Рассмотрим подробнее каждую группу и обоснуем рациональность возможной замены.

##### **Шпиндель**

Начнём с цены шпинделя, включающей в себя доставку, сам шпиндель, частотный преобразователь, набор цанг, а, для жидкостного охлаждения, ещё и водяной насос, кронштейн крепления шпинделя и шланги:

- 15000...16500 рублей: 1,5 кВт с воздушным охлаждением;
- 20000...22000 рублей: 2,2 кВт с воздушным охлаждением и 1,5 кВт с жидкостным охлаждением;
- 24500...26000 рублей: 2,2 кВт с жидкостным охлаждением.

Приведённый выше порядок цен однозначно показывает, что шпиндель можно заменить на фрезер фирмы BOSCH или другой марки. Изменение крепления к оси Z будет стоить минимальных средств, а экономия составит порядка одиннадцати тысяч рублей. При этом с обязанностями по фрезеровке и гравировке дерева, фрезер справится на должном уровне.

##### **Детали из дюралевых плит**

С деталями из дюралевой плиты ситуация аналогичная. Все они (две опоры стола, две боковины портала, верхняя и нижняя поперечины, детали оси Z вместе с установочной плитой для шпинделя), вне зависимости от окончательного выбора конструкции оси Z и компоновки портала, могут

быть легко заменены на аналогичные из фанеры. Предпочтение отдаётся фанере из берёзы.

Толщину листов фанеры следует выбирать в диапазоне от 16 до 24 мм. Листы менее 16 мм не дадут минимально необходимой жесткости (станок превратится в полностью рабочий макет), а более 24 мм создадут излишние сложности при установке ШД и регулировке их муфт.

Полная работоспособность конструкции из фанеры с толщиной деталей от 16 до 24 мм была подтверждена «коллегой по цеху», самостоятельным проектировщиком, построившим недорогой станок для своей мастерской и зарабатывающим на своём хобби.

### **Экономический эффект**

Лист фанеры толщиной 12 мм стоит в районе 1000 рублей (можно раскроить четыре комплекта деталей), лист толщиной 16 мм 1900 рублей (можно раскроить два комплекта деталей). Аналогичные суммы на раскрой каждого комплекта деталей. Таким образом, затраты на детали для станка составят порядка 3...4 тысяч рублей. Разметку и сверление отверстий предполагается сделать самостоятельно.

### **Проектные затраты**

Для изготовления всех деталей, предусмотренных проектом, потребуется лист дюралевой плиты площадью  $1\text{ м}^2$ . Заказать можно двумя способами: отрезать от стандартной плиты кусок нужного размера, составив карту раскроя, учитывая, что одна из сторон будет иметь размер торца плиты, равным 1200мм.

Другой вариант – заказ (подбор) обрезков и остатков плит. Здесь возможно подобрать и сравнить цены на остатки следующих размеров:

1000×1000, 1200×1000, 1000×800 и 1200×750. Составим карты раскроя для каждого случая, сопоставим цены и выберем оптимальный вариант.

Можно подобрать по обрезку на каждую деталь, но даже беглый анализ показывает, что это экономически нецелесообразно. Поэтому выбирать будем из целых кусков. Следует отметить, что в вариантах 1000×1000 и 1200×1000 остаются значительные остатки «про запас», поэтому вариант 1200×1000, по возможности, не рассматриваем. Листы размеров 1000×800 и 1200×750 используются практически полностью.

Стоимость остатков плит:

1 Плита Д16Т, толщина 12 мм:

1000×800 – 18500 рублей;

1000×1000 – 23000 рублей;

1200×750 – 20000 рублей.

2 Плита Д16Т, толщина 16 мм:

1000×800 – 23000 рублей;

1000×1000 – 27000 рублей;

1200×750 – 25400 рублей.

3 Плита Д16Т, толщина 20 мм:

1000×800 – 29000 рублей;

1000×1000 – 34000 рублей;

1200×750 – 38000 рублей.

Приведённые цены не включают доставку и стоимость раскроя. Рассмотрение размеров с толщиной менее 12 мм и более 20 мм актуальны для других проектов, поэтому в данной работе рассматриваться не будут. Следует сделать пояснение: толщина плит менее 12 мм – это вариант для эконом-класса, а свыше 20 мм – тяжёлых, дорогих станков.

Простое сравнение показывает, что стоимость заготовок для данных деталей составит от 18500 рублей до 34000 рублей. Стоимость обработки будет варьироваться от 10000 до 35000 рублей. Здесь под словом «обработка» понимается обработка на станке с ЧПУ всех поверхностей и необходимых отверстий.

Таким образом, экономия составит от 24000 до 65000 тысяч рублей.

### **Поверхность рабочего стола**

Эрзац стол может быть изготовлен из склеенных листов фанеры, общей толщиной от 32 до 48 мм. Стоимость вместе с услугой по раскрою составит 1500 рублей. Работоспособность подобного решения доказана на практике.

Для базового проекта идеально подойдёт станочный профиль для рабочего стола. Рынок предлагает много вариантов профиля для рабочего стола с Т-образными пазами. Учитывая площадь нашего рабочего стола, стоимость будет варьироваться в пределах от 6 до 8,5 тысяч рублей.

#### **2.4.3 Сравнительный анализ финансовых затрат**

Суммарная экономия только по эрзац-деталям проекта, составит:

$$\Sigma = \Sigma_{\text{БАЗ-Д}} - \Sigma_{\text{ЭРЗАЦ-Д}} \quad (4)$$

$\Sigma_{\text{БАЗ-Д}} = C_{\text{Шпиндель}} (15\dots16) + C_{\text{плита}} (28\dots73) + C_{\text{Стол}} (6\dots8,5) = 49\dots97,5$  тысяч рублей, где:

$C_{\text{Шпиндель}}$  – стоимость комплекта шпинделя;

$C_{\text{плита}}$  - стоимость всех деталей из дюралевых плит, включая обработку;

$C_{\text{Стол}}$  – стоимость станочного профиля для стола.

$\Sigma_{\text{ЭРЗАЦ-Д}} = C_{\text{Фрезер}} (3 \dots 5) + C_{\text{Фанера}} (3 \dots 5) + C_{\text{Стол}} (0,5 \dots 1,5) = 6,5 \dots 11,5$   
тысяч рублей, где:

$C_{\text{Фрезер}}$  – стоимость ручного фрезера;

$C_{\text{Фанера}}$  – стоимость всех деталей из фанеры, включая обработку.

$\Sigma = 42,5 \dots 86$  тысяч рублей. Эта сумма экономии только по трём группам деталей. Вычислим полные суммы затрат на базовый и бюджетный варианты, определим разницу в необходимых средств ( $\Delta C$ ) между базовым проектом и эрзац проектом, сделаем вывод об экономической целесообразности разработки бюджетного варианта проекта.

1) Вычислим затраты на базовый проект ( $\Sigma_{\text{БПроект}}$ ):

$$\Sigma_{\text{БПроект}} = C_{\text{ШД}} + C_{\text{СП}} + C_{\text{Шпиндель}} + C_{\text{плита}} + C_{\text{Стол}} + C_{\text{Огр и Допы}} + C_{\text{Компл. ШВП}}, \quad (5)$$

где:

$C_{\text{ШД}}$  – стоимость комплекта из ШД, драйверов, платы управления, БП;

$C_{\text{СП}}$  – стоимость всех деталей из станочного профиля;

$C_{\text{плита}}$  – стоимость всех деталей из дюралевых плит, включая обработку;

$C_{\text{Стол}}$  – стоимость станочного профиля для стола;

$C_{\text{Огр и Допы}}$  – стоимость всех деталей для дополнительного оснащения станка (ограждение, кабель-каналы, концевики, краеискатель, системы отвода стружки или пыли и т.д.)

$C_{\text{Компл. ШВП}}$  – стоимость всех комплектующих для ШВП, включая опоры и обработку концов винтов.

$\Sigma_{\text{БПроект}} = C_{\text{ШД}} (10\dots14) + C_{\text{СП}} (10\dots16) + C_{\text{Шпиндель}} (15\dots16) + C_{\text{плита}} (28\dots73) + C_{\text{Стол}} (6\dots8,5) + C_{\text{Огр и Допы}} (7\dots12) + C_{\text{Компл. ШВП}} (17\dots25) = \text{от } 93 \text{ до } 164,5 \text{ тысяч рублей.}$

2) Определим полную стоимость бюджетного (эрзац) варианта проекта:

$$\Sigma_{\text{ЭПроект}} = C_{\text{ШД}} + C_{\text{СП}} + C_{\text{Фрезер}} + C_{\text{Фанера}} + C_{\text{Стол}} + C_{\text{Огр и Допы}} + C_{\text{Компл. ШВП}}; \quad (6)$$

$\Sigma_{\text{ЭПроект}} = C_{\text{ШД}} (10\dots14) + C_{\text{СП}} (10\dots16) + C_{\text{Фрезер}} (3\dots5) + C_{\text{Фанера}} (3\dots5) + C_{\text{Стол}} (0,5\dots1,5) + C_{\text{Огр и Допы}} (7\dots12) + C_{\text{Компл. ШВП}} (17\dots25) = \text{от } 50,5 \text{ до } 78,5 \text{ тысяч рублей.}$

3) Определим разницу в рублях: ( $\Delta C_{\text{MIN}}$  и  $\Delta C_{\text{MAX}}$ ):

$$\Delta C_{\text{MIN}} = \Sigma_{\text{БПроектMIN}} - \Sigma_{\text{ЭПроектMAX}}, \text{ (рублей);} \quad (7)$$

$$\Delta C_{\text{MAX}} = \Sigma_{\text{БПроектMAX}} - \Sigma_{\text{ЭПроектMIN}}, \text{ (рублей);} \quad (8)$$

$$\Delta C_{\text{MIN}} = 93 - 78,5 = 14,5 \text{ тысяч рублей;}$$

$$\Delta C_{\text{MAX}} = 164,5 - 50,5 = 114 \text{ тысяч рублей.}$$

## 2.5 Общие выводы

По итогам проведённого анализа и расчётов сделаем следующие выводы по второй главе работы:

- фактически можно построить работоспособный станок при бюджете в 50 тысяч рублей;

- реальная экономия составляет, в случае бюджетного проекта, 114 тысяч рублей или 326 процентов от максимально возможной рационально потраченной суммы;

- в случае постройки прототипа по первоначальному проекту, экономия может составить 71,5 тысяч рублей или 77 процентов от максимально возможной рационально потраченной суммы;

- убедившись в реализуемости подобного проекта и его фактических возможностях, принять решение о целесообразности дальнейших вложений, либо удовлетвориться полученным результатом. Готовый станок, даже в бюджетном исполнении, можно выставить на продажу с наценкой за работу или оставить для личных хоббийных целей;

- детальная проработка и экономическое обоснование альтернативного (эрзац) проекта признана абсолютно оправданной, позволяющей как минимизировать возможные потери, так и привлечь намного более широкий круг энтузиастов, с различными финансовыми возможностями.

Последний момент данного раздела, на котором стоит остановиться, это сознательное игнорирование процента добавленной стоимости на всех этапах расчёта конечной цены проекта. Минимально приемлемым следует считать прибавку в 25...40 процентов. Однако данный проект изначально не предназначался для конкуренции с заводскими образцами ни в массовости продаж готовых изделий, ни в традиционном продвижении на рынке.

Разумеется, можно наладить и свой личный малый бизнес в небольшой столярке, принимая заказы со стороны, самостоятельно проектируя и производя что-либо. При достаточном анализе рынка и собственной любви к производству, вполне возможно зарабатывать себе на жизнь данным ремеслом. Примеров успешных мастеров-производителей достаточно в интернете.

Однако, проект обладает и другими возможностями, не все из которых возможно оценить в денежном эквиваленте. Например:

- приобретённые навыки в областях проектирования, постройки и наладки станка;

- продвижение проекта, посредством открытого доступа ко всем этапам разработки, сборки, пуско-наладки, через канал на «Ютубе» и социальные сети. Не в виде банальной рекламы, но в форме открытой дискуссионной площадки, не ограниченной ни временными, ни территориальными, ни (в идеале) языковыми барьерами.

Именно приведённые выше пункты и стали приоритетными при принятии решения о реализации данного проекта.

### **3 Перспективы развития малогабаритных станков с ЧПУ сквозь призму «Индустрии 4.0»**

#### **3.1 Основные понятия, определения и тенденции в «Индустрии 4.0»**

В данной работе термин «Индустрия 4.0» означает четвертую промышленную революцию.

«Индустрия 4.0» - это концепция развития так называемого «умного производства, где «Умное оборудование» на «Умных фабриках» осуществляет самостоятельный информационный взаимообмен, перенастраивает и оптимизирует производственные мощности.

Это должен быть «совершенно новый подход к производству», как отметила в отчете Industrie 4.0 Working Group, конгломерат крупных промышленников, экспертов в области искусственного интеллекта, экономистов и академиков. Немецкое правительство поддерживает эту идею и принимает «высокотехнологичную стратегию» для подготовки нации, но в целом Индустрия 4.0 должна и уже постепенно захватывает весь мир, хотим мы этого или нет. США, к примеру, последовали примеру Германии и создали некоммерческий консорциум Industrial Internet в 2014 году, которым руководят лидеры промышленности вроде General Electric, AT&T, IBM и Intel.

Одним из наиболее ощутимых аспектов четвертой промышленной революции является идея «сервис-ориентированного проектирования». Оно может варьироваться от пользователей, использующих заводские настройки для производства собственных продуктов, до компаний, которые поставляют индивидуальные продукты индивидуальным потребителям.

Потенциал такого вида производства огромен. К примеру, связь между умными продуктами «Интернета вещей» и умными машинами, которые их производят, то есть этот «промышленный Интернет», будет означать, что они смогут производить себя самостоятельно и определять целевое производство в зависимости от нужд, определенных ими же.

Цифры «4.0» означают, что это современное направление развития промышленности имеет настолько большой потенциал, что неминуемо приведёт к четвёртой промышленной революции (рисунок 3.1).

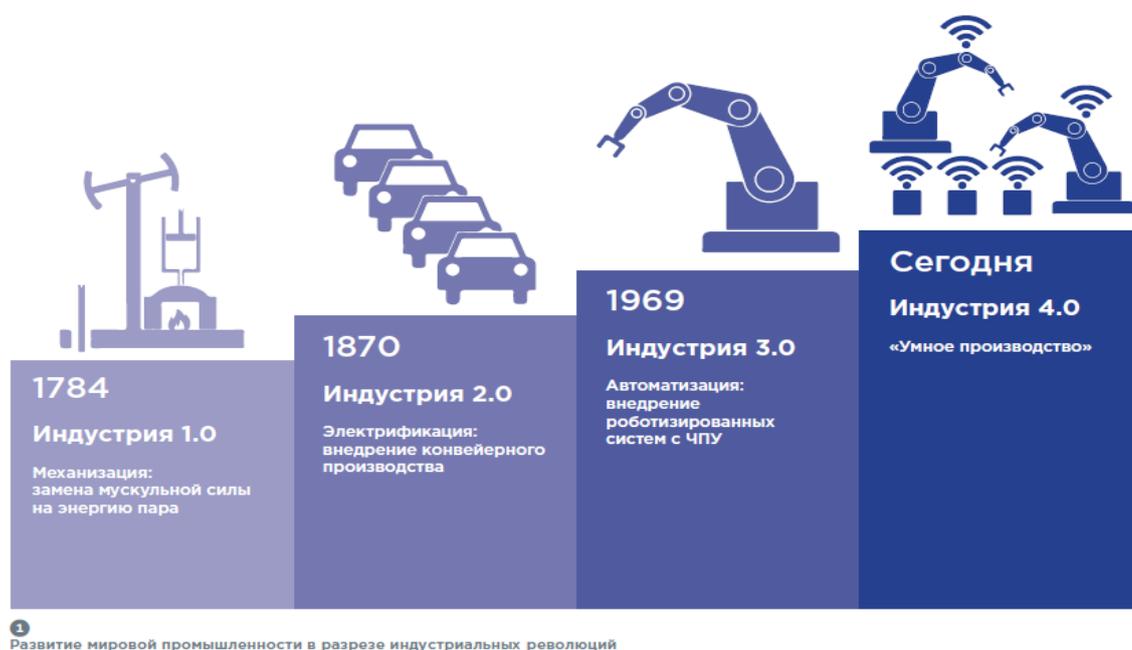


Рисунок 3.1 – Основные этапы промышленных революций

Согласно историческим данным, первой промышленной революцией стала замена ручного труда энергией пара;

Вторая ознаменовала создание электричества и внедрение конвейерного производства;

Третья революция произошла в середине шестидесятых годов двадцатого столетия благодаря автоматизации производства и внедрений систем с ЧПУ;

Четвёртая же будет связана с внедрением «Умного производства», и, практически полного, исключения человека из производственного процесса.

Сочетание данных идей в одной концепции делает Индустрию 4.0 очень перспективным направлением для развития промышленности, которое даст большие возможности предприятиям, внедрившим его первыми. Внедрение принципов «Умного производства» позволит предприятию получить огромное преимущество перед конкурентами:

- Технологическое оборудование будет понимать свое окружение и сможет общаться между собой, а также с логистическими системами поставщиков и потребителей. Это позволит повысить эффективность всего производственного процесса, устранить «человеческий фактор» и повысить качество конечной продукции.

- Производственное оборудование, получая сведения об изменившихся требованиях, сможет само вносить корректировки в технологический процесс. Производственные системы станут способны к самооптимизации и самоконфигурации. Это позволит значительно повысить гибкость производства (появится возможность индустриальным способом изготавливать единичные изделия), снизить себестоимость продукции, а также сократить сроки освоения и выпуска новой продукции.

На первый взгляд, описанное выше кажется чем-то фантастическим, и напрашивается мысль, что внедрение подобной концепции на российских производственных предприятиях является нецелесообразным или очень далекой перспективой. Однако аналогичные программы уже запущены во многих странах: в Нидерландах, Франции, Великобритании, Италии, Бельгии, Китае, США и в других, и если не начать предпринимать активные действия в данном направлении уже сегодня, то через 5-10 лет это может привести к значительному отставанию отечественных предприятий в области производственных технологий и производительности труда.

Цифровая система управления производством — важный шаг к Индустрии 4.0 (рисунок 3.2).



Рисунок 3.2 – схематичное изображение «Индустрии 4.0»

### 3.2 Современное студенческое конструкторское бюро

Проект станка, представленный в данной работе, является одним из ключевых звеньев на пути создания, сначала, небольшой мастерской, а затем и студенческого FabLab, которая и станет высшей ступенью в подготовке специалистов в концепции «Индустрии 4.0».

FabLab или (fabrication laboratory) это небольшая мастерская, предлагающая участникам возможность изготовить необходимые им детали на станках ЧПУ. В более широком смысле ФабЛаб – это всемирная сеть цифровых лабораторий (рисунок 3.3) 3D моделирования, предоставляющая доступ к самым современным инструментам цифрового производства для творчества и изобретения, с возможностью реализации от идей до готового продукта.



Рисунок 3.3 – пример современного FabLab

Конечная цель – создание студенческого FabLab (рисунок 3.3) или студенческого конструкторского бюро на базе института машиностроения с вовлечением студентов всех курсов не только для материального воплощения своих идей, но и создание новых мощностей для FabLab. Иными словами предлагается не просто закупать оборудование и начинать на нем что-то делать, но, изучив особенности его работы, устройства и принципов проектирования, начать процесс его модернизации, разрабатывать новые комплексы и технологии производства.

Оснащение, на первом этапе, будет включать в себя 3D принтер и трёхосевой фрезерный станок с ЧПУ портального типа. 3D принтер предполагается приобрести как кит-набор и собрать собственными силами. Первый прототип фрезерного станка уже самостоятельно разработан и построен, второй прототип в, данный момент, собирается. Это позволило на

практике изучить особенности конструкции и методы проектирования подобных станков.

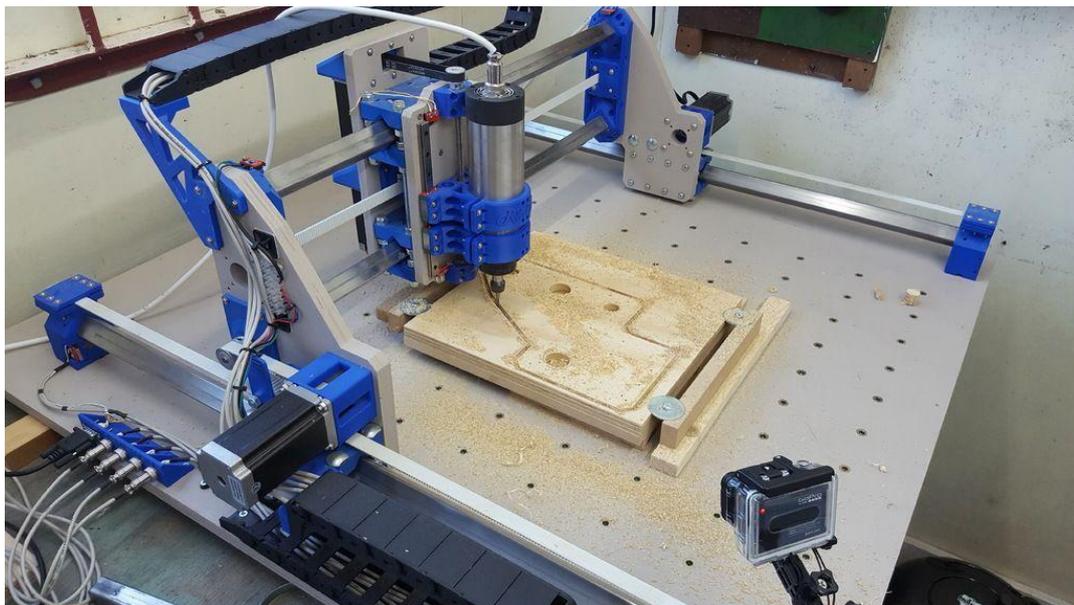


Рисунок – 3.4 станок, построенный в FabLab

Полученные навыки позволят как модернизировать данные станки, так и проектировать новые(рисунок 3.4), например робот манипулятор с шестью степенями свободы типа КУКА (рисунок 3.5).

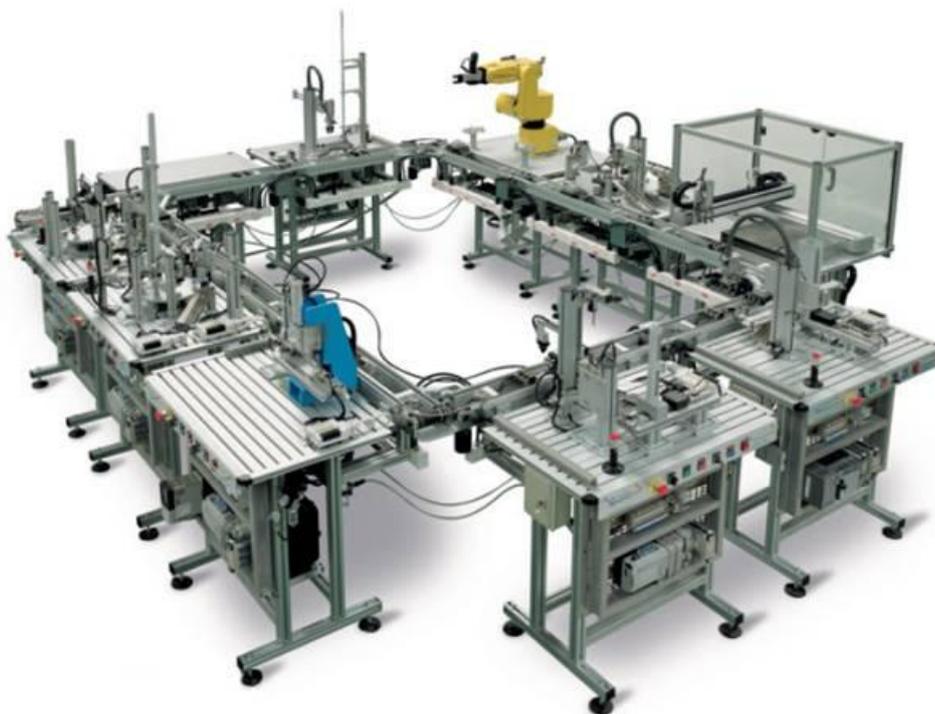


Рисунок 3.5 – вариант производственной линии в FabLab

### 3.3 Рынок и перспективы 3D комплексов с ЧПУ

Рынок 3D аппаратов и подобных устройств, стремительно развивается. Прогнозируемый рост к 2020 г. 20 млрд \$, т.е. более чем в 2 раза относительно сегодняшних показателей. Структура рынка самая разнообразная, технологии востребованы и применяются везде. Однако доля России в нем около 0,45% на 2018г.! По данным той же «BCG», доля инновационных компаний в РФ не превышает 1% и они ни как не влияют на рынок труда. При сохранении подобной тенденции, через 7 – 10 лет отставание России грозит стать несократимым.



Рисунок 3.6 – современные лаборатории

FabLabs существуют не только за границей, но и развиваются в России (рисунок 3.7). Наша идея предлагает тесную и взаимовыгодную кооперацию машиностроительного, автомобилестроительного и архитектурно-строительного направления. Позволит развить тематику новых материалов для 3D печати, создание беспилотных аппаратов (рисунок 3.6), их испытание, доработку; вовлечение широкого круга молодежи в эти направления.



Рисунок 3.7 – Мастерская для учебной практики

### **3.4 Коммерциализация проекта фрезерного станка с ЧПУ**

Преимущества ЧПУ заключаются в отсутствии потребности в работнике, осуществляющем ручные операции, облегчении эксплуатации станка, исключении человеческого фактора при работе с материалами, повышении производительности производства, изготовлении деталей высокой точности, однако автоматизация производства требует специализированных кадров для работы с программным обеспечением станка.

Фрезерный станок с ЧПУ позволяет в автономном режиме осуществлять набор различных технологических операций по резке, сверлению, обработке материалов. Среди обрабатываемых материалов могут выступать древесина, различные металлы, керамика, полимеры, камень. Заготовка должна закрепляться на рабочей поверхности стола, а обработка осуществляется с помощью вращающейся фрезы, режущей материалы.

## Услуги, оказываемые при помощи фрезерного станка с ЧПУ

При помощи фрезерного станка с ЧПУ можно оказывать услуги по фрезеровке и гравировке материалов. В частности может быть произведен криволинейный раскрой дерева или металлов, декор материалов по заказу, изготовление чертежей или рисунков на нестандартных форматах (рисунок 3.8), изготовление элементов мебели и оборудования.

Основная целевая аудитория – малое предпринимательство и индивидуальные заказчики. В первом случае стоит ориентироваться на производственную сферу, в первую очередь, мебельное производство, а также на рекламный бизнес. Сотрудничество будет заключаться в изготовлении по заказу необходимых элементов, деталей сложной формы, обработке заготовок из дерева или металлов, фигурном или криволинейном раскрое листа и пр.

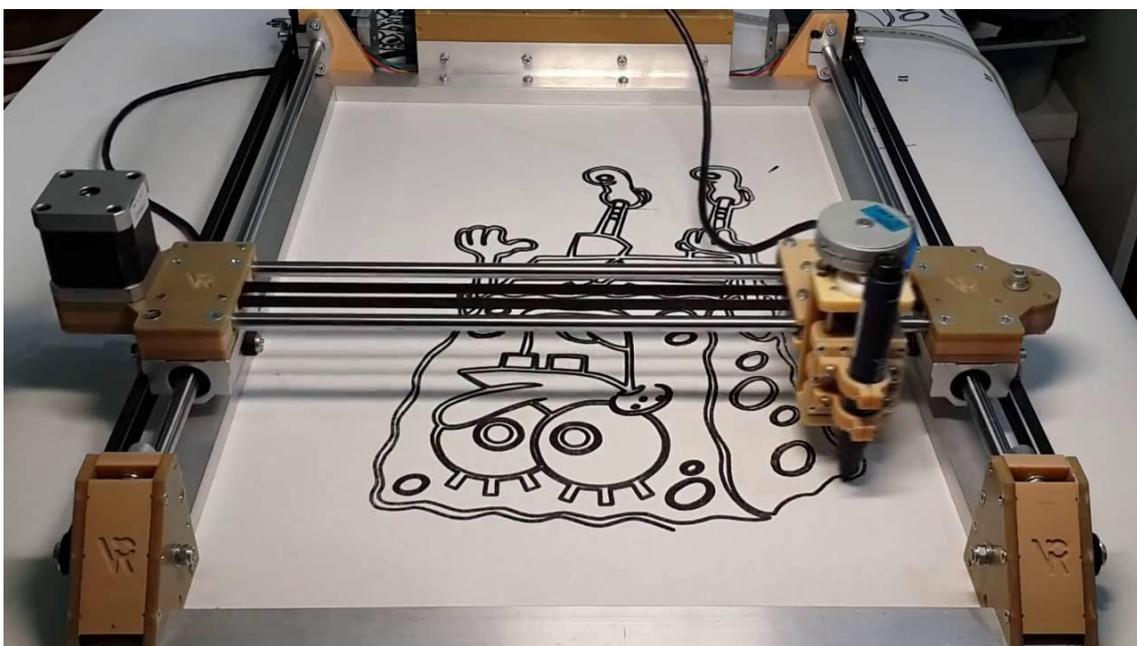


Рисунок 3.8 – работа станка в качестве плоттера

Актуальность заключается в том, что большинство микропредприятий, в силу ограниченности бюджета, не имеют в наличии фрезерного оборудования, что вынуждает обращаться за обработкой или изготовлению

различных элементов в специализированные компании. Рекламный бизнес заинтересован в 2D и 3D резьбе, изготовлении образцов наружной рекламы, логотипов, вывесок (рисунок 3.8) и т.д., которые используются в продвижении информации.

Частные заказчики заинтересованы в большей степени в изготовлении скульптурных и сувенирных изделий, игрушек, различных моделей и пр.

Наряду с заказами можно организовать линейное производство определенного товара, востребованного на местном рынке и предназначенного для реализации в сетях розничной торговли, например, изготовление мебели, рамок и пр.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Подводя итог проделанной работы, можно сделать следующие выводы:

- разработана методика поэтапного проектирования фрезерного станка с ЧПУ портального типа, даны исчерпывающие обоснования для выбора каждого элемента станка, основанные на исходных требованиях, таких как необходимая точность, условия и задачи по обработке, имеющиеся средства;

- рассмотрены варианты последующей модернизации станка, позволяющие улучшать характеристики станка с минимально возможными вложениями;

- рассчитаны точные суммы, необходимые как для начального (бюджетного), так и проектного варианта станка: минимально необходимая сумма для постройки работоспособного станка составит порядка пятидесяти тысяч рублей, но с ограниченными возможностями по обработке, а проектный вариант, фактически представляющий собой «производство средств производства», обойдётся в максимальные 170 (сто семьдесят) тысяч рублей;

- детально проработано экономическое обоснование альтернативного (эрзац), позволяющей как минимизировать возможные потери, так и привлечь намного более широкий круг энтузиастов, с различными финансовыми возможностями.

- рассмотрены вопросы как коммерческой выгоды от проекта, так и иные конкурентные преимущества, трудно поддающихся оценке в денежном выражении, например: приобретение навыков в областях проектирования, постройки и наладки станка, возможность создания конструкторских бюро, лабораторий и т.д.;

Цели работы достигнуты

## СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ

1 Барановский, Ю.В. Режимы резания металлов. Справочник / Ю.В. Барановский. - Изд. 3-е, перераб. и доп. - М., Машиностроение, 1995 г., 320 с.

2 Белоусов, А.П. Проектирование станочных приспособлений: Учеб. пособие для учащихся техникумов. / А.П. Белоусов.; 3-е изд., перераб. И доп.– М. : Высш.школа, 1980, 240 с.

3 Горбачев, А.Ф. Курсовое проектирование по технологии машиностроения: Учеб. Пособие для вузов. / А.Ф.Горбачев, В.А. Шкред; 5-е издание, стереотипное. Перепечатка с 4-го издания. – М: ООО ИД «Альянс», 2007.- 256 с.

4 Зубкова, Н.В. Методическое указание к экономическому обоснованию курсовых и дипломных работ по совершенствованию технологических процессов механической обработки деталей (для студентов специальностей 120100 / Н.В. Зубкова,– Тольятти: ТГУ, 2015, 46 с.

5 Михайлов, А.В. Методические указания для студентов по выполнению курсового проекта по специальности 1201 Технология машиностроения по дисциплине «Технология машиностроения» / А.В. Михайлов, – Тольятти, ТГУ, 2005. - 75 с.

6 Нефедов, Н.А. Дипломное проектирование в машиностроительных техникумах: Учеб. Пособие для техникумов 2-е изд. перераб. и доп./ Н.А. Нефедов, 76 - М.: Высш. Школа, 1986-239 с.

7 Нефедов, Н.А. Сборник задач и примеров по резанию металлов и режущему инструменту Учеб. Пособие для техникумов по предмету "Основы учения о резании металлов и режущий инструмент" 4-е изд. перераб. и доп. / Н.А.. Нефедов, - М., Машиностроение, 1984 г.- 400 с.

8 Справочник технолога - машиностроителя. В 2-х кн. Кн. 1/ А.Г. Косилова [и др.]; под ред. А.М. Дальского [и др.]; - 5-е изд., перераб. и доп. - М: Машиностроение-1, 2001 г., 912 с.

9 Станочные приспособления: Справочник. В 2-х кн. Кн. 1./ Б.Н. Вардашкин; под ред. Б.Н. Вардашкина [и др.]; - М.: Машиностроение, 1984.  
17 Таймингс, Р. Машиностроение. Режущий инструмент. Карманный справочник. Пер. с англ. 2-е изд. Стер./ Р. Таймингс, – М.: Додэка-XXI, 2008, - 336 с.

10 Алейников Михаил Владимирович, Томсен Оскар Александрович, Алейников Константин Владимирович); Патентообладатель(и): Алейников Михаил Владимирович, Алейников Константин Владимирович. Полезная модель к патенту; Заявка: 2010107468/22, 02.03.2010; Дата начала отсчета срока действия патента: 02.03.2010; Опубликовано: 27.05.2010 Бюл. № 15.

11 Алейников Михаил Владимирович, Томсен Оскар Александрович, Алейников Константин Владимирович. Патентообладатель(и): Алейников Михаил Владимирович (RU). РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ, ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ, ПАТЕНТАМ И ТОВАРНЫМ ЗНАКАМ; МПК В23С 1/02 (2006.01); Заявка: 2009117760/22, 13.05.2009; Дата начала отсчета срока действия патента: 13.05.2009; Опубликовано: 10.09.2009 Бюл. № 25.

12 Изотов Кирилл Александрович, Канатов Алексей Владимирович, Кулаков Антон Алексеевич. Патентообладатель(и): федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Российский государственный университет им. А.Н. Косыгина (Технологии. Дизайн. Искусство). РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ, (51) МПК В23С 1/06 (2006.01), ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ. Заявка: 2018117687, 14.05.2018; Дата начала отсчета срока действия патента: 14.05.2018 Дата

регистрации: 20.12.2018 Приоритет(ы): Дата подачи заявки: 14.05.2018  
Опубликовано: 20.12.2018 Бюл. № 35; Список документов, цитированных в  
отчете о поиске: RU 166772 U1, 10.12.2016. SU 315513 A1, 01.10.1971. RU  
86514 U1, 10.09.2009. RU 152324 U1, 20.05.2015. US 7665200 B1, 23.02.2010.  
CN 102773529 A, 14.11.2012.

13 Вайнштейн Игорь Владимирович, Ковалев Алексей Евгеньевич,  
Аверьянов Евгений Владимирович. ОПИСАНИЕ ПОЛЕЗНОЙ МОДЕЛИ К  
ПАТЕНТУ; РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ, ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА ПО  
ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ. Патентообладатель(и):  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования "Московский государственный технологический  
университет "СТАНКИН" (ФГБОУ ВО "МГТУ "СТАНКИН") (RU); Заявка:  
2016119394, 19.05.2016; Дата начала отсчета срока действия патента:  
19.05.2016 Дата регистрации: 30.05.2017; Приоритет(ы): (22) Дата подачи  
заявки: 19.05.2016; Опубликовано: 30.05.2017 Бюл. № 16; Список  
документов, цитированных в отчете о поиске: RU 63729 U1, 10.06.2007;RU  
99736 U1, 27.11.2010;SU 1013128 A1, 23.04.1983; RU 2151029 C2,  
20.06.2000;US 2004121890 A1, 24.06.2004. CN 201470957 U, 19.05.2010.

14 Смирнов Владимир Алексеевич, Петрова Лина Николаевна, Сулацкая  
Елена Юрьевна, Сюськина Юлия Львовна. РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ,  
ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ  
СОБСТВЕННОСТИ, ОПИСАНИЕ ПОЛЕЗНОЙ МОДЕЛИ К ПАТЕНТУ.  
Заявка: 2011107050/02, 24.02.2011; Дата начала отсчета срока действия  
патента: 24.02.2011; Приоритет(ы): Дата подачи заявки: 24.02.2011;  
Опубликовано: 10.12.2011 Бюл. № 34. Патентообладатель(и):  
Государственное образовательное учреждение высшего профессионального  
образования "Южно-Уральский государственный университет" (ГОУ ВПО  
"ЮУрГУ");

15 Панов Сергей Сергеевич, Беленов Александр Александрович, Мазеин Петр Германович. РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ, ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ, ПАТЕНТАМ И ТОВАРНЫМЗНАКАМ; ОПИСАНИЕ ПОЛЕЗНОЙ МОДЕЛИ К ПАТЕНТУ. Заявка: 2010130914/02, 23.07.2010; Дата начала отсчета срока действия патента: 23.07.2010; Опубликовано: 27.11.2010 Бюл. № 33. Патентообладатель(и): Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования "Южно-Уральский государственный университет" ГОУ ВПО "ЮУрГУ".

16 Юркевич Владимир Васильевич; РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ, ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ, ПАТЕНТАМ И ТОВАРНЫМЗНАКАМ; ОПИСАНИЕ ПОЛЕЗНОЙ МОДЕЛИ К ПАТЕНТУ. Заявка: 2010128339/02, 09.07.2010, Дата начала отсчета срока действия патента: 09.07.2010; Опубликовано: 20.10.2010 Бюл. № 29. Патентообладатель(и): Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования "Московский Государственный Технологический Университет "СТАНКИН"

17 Головий Владимир Николаевич; РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ, ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ, ПАТЕНТАМ И ТОВАРНЫМЗНАКАМ. ОПИСАНИЕ ПОЛЕЗНОЙ МОДЕЛИ К ПАТЕНТУ; 2009142256/22, 16.11.2009, Дата начала отсчета срока действия патента: 16.11.2009; Конвенционный приоритет: 24.11.2008 UA U200813526; Опубликовано: 10.08.2010 Бюл. № 22. Патентообладатель(и): Головий Владимир Николаевич.

18 Куликов Константин Николаевич, Дзедобоев Игорь Русланович; РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ, ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ, ПАТЕНТАМ И ТОВАРНЫМЗНАКАМ. ОПИСАНИЕ ПОЛЕЗНОЙ МОДЕЛИ К ПАТЕНТУ;

Заявка: 2005122156/12, 13.07.2005; дата начала отсчета срока действия патента: 13.07.2005; дата публикации заявки: 27.01.2007; опубликовано: 27.06.2007 Бюл. № 18; Адрес для переписки: 127254, Москва, Огородный проезд, 5, офис 348, ООО "Торговый Дом "ГРАНДЕКОР", гендиректору Д.М. Сабирзянову. Патентообладатель(и): Куликов Константин Николаевич, Дзедобоев Игорь Русланович.

19 Колесов И.М. Основы технологии машиностроения: Учебник для машиностроительных вузов. - М. : Машиностроение, 1997. - 592 с., ил.

20 Справочник технолога - машиностроителя. / Под ред. А.Г. Косиловой, Р.К. Мещерякова. - М. : Машиностроение, 1985. Т.1 - 656 с., Т.2 - 496 с.

21 Анурьев В.И. Справочник конструктора - машиностроителя. В 3-х т. - М. : Машиностроение, 1982. - 736 с.

22 Круглов Г.А. Специальные технологические процессы: Учебн. пособ. - М. : МГТУ «Станкин», 1997. - 188 с.

23 Колесов И.М. Основы технологии машиностроения: Учебник для машиностроительных вузов. - М. : Машиностроение, 1997. - 592 с.

24 Анурьев В.И. Справочник конструктора - машиностроителя. В 3-х т. - М. : Машиностроение, 1982. - 736 с.

25 Круглов Г.А. Специальные технологические процессы: Учебн. пособ. - М. : МГТУ «Станкин», 1997. - 188 с.

26 Технология машиностроения (специальная часть) / А.А. Гусев, Е.Р. Ковальчук, И.М. Колесов и др. - М. : Машиностроение, 1986.- 480 с.

27 Технологичность конструкции изделия: Справочник / Т.К. Алферова и др.; Под общ. ред. Ю.Д. Амирова. - М.: Машиностроение, 1990. -768 с., ил.

28 Журавлев В.Н., Николаев О.И. Машиностроительные стали: Справочник. - М. : Машиностроение, 1981. - 391 с.

29 зуборезные, горизонтально-расточные, резьбонакатные и отрезные станки: Общемашиностроительные нормативы режимов резания для технического нормирования работ на металлорежущих станках. Изд. 2-е, перераб. и доп. - М. : Машиностроение, 1974, ч.2 - 200 с.

30 Обработка металлов резанием: Справочник технолога / А.А. Панов и др. Под общ. ред. А.А. Панова. - М. : Машиностроение, 1988. - 736 с.

31 Проектирование технологических процессов механической обработки в машиностроении: Учеб. пособие / В. В. Бабук, В. А. Шкред, Г. П. Кривко, Л. И. Медведев; Под. ред. В. В. Бабука. - : Высш. шк., 1987, с. 255.

32 Режимы резания металлов: Справочник. / Под ред. Ю.В. Барановского. - М. : Машиностроение, 1972. - 407 с.

33 Режимы резания труднообрабатываемых материалов: Справочник / Я.Л. Гуревич и др. - М. : Машиностроение, 1986.- 240 с.

34 Режущий инструмент. Альбом. 4.1. / Под ред. В.А. Гречишникова. - М. : МГТУ «Станкин», 1996. - 348 с.

35 Режущие инструменты, оснащенные сверхтвердыми и керамическими материалами и их применение: Справочник / В.П. Жедь и др. - М. : Машиностроение, 1987. - 320 с.

36 Справочник инструментальщика. / И.А. Ординарцев и др. - Л.: Машиностроение, 1987. - 846 с.

37 Справочник металлиста. В 5-ти т. Т.1. Под ред. С. А. Черновского, В. Ф. Рещикова. М.; Машиностроение, 1976, с. 768.

38 Технологические процессы машиностроительного производства. Альбом в 3-х ч. – М: МГТУ «Станкин», 1993.

39 Базров, Б.М. Основы технологии машиностроения: Уч. / Б.М. Базров. - М. : Инфра-М, 2019. - 492 с.

40 Безъязычный, В. Основы технологии машиностроения: Учебник / В. Безъязычный. - М. : Машиностроение, 2013. - 568 с.

41 Бурцев, В.М. Технология машиностроения. В 2-х т.Т. 1. Основы технологии машиностроения: Учебник для вузов / В.М. Бурцев. - М.: МГТУ им. Баумана, 2011. - 478 с.

42 Горбачевич, А.Ф. Курсовое проектирование по технологии машиностроения: Учебное пособие для вузов / А.Ф. Горбачевич, В.А. Шкред. - М. : Альянс, 2015. - 256 с.

43 Горохов, В.А. Основы технологии машиностроения и формализованный синтез технологических процессов. В 2-х т. Основы технологии машиностроения и формализованный синтез технологических процессов: Учебник / В.А. Горохов. - Ст. Оскол: ТНТ, 2012. - 1072 с.

44 Горохов, В.А. Основы технологии машиностроения. Лаб. практи.: Учебное пособие / В.А. Горохов, Н.В. Беляков, Ю.Е. Махаринский. - М. : Инфра-М, 2016. - 688 с.

45 Горохов, В.А. Основы технологии машиностроения. Лабораторный практикум: Учебное пособие / В.А. Горохов, Н.В. Беляков, Ю.Е. Махаринский. - М. : Инфра-М, 2016. - 688 с.

46 Зубарев, Ю.М. Динамические процессы в технологии машиностроения. Основы конструирования машин: Учебное пособие / Ю.М. Зубарев. - СПб. : Лань, 2018. - 212 с.

47 Иванов, А.С. Курсовое проектирование по технологии машиностроения: Учебное пособие / А.С. Иванов, П.А. Давыденко, Н.П. Шамов. - М. : ИЦ РИОР, НИЦ Инфра-М, 2012. - 280 с.

48 Ильянков, А.И. Основные термины, понятия и определения в технологии машиностроения: Справочник: Учебное пособие / А.И. Ильянков. - М. : Академия, 2018. - 288 с.

49 Клепиков, В.В. Основы технологии машиностроения: Учебник / В.В. Клепиков, А.Г. Схиртладзе, В.Ф. Солдатов. - М.: Инфра-М, 2018. - 224 с.

50 Мельников, А.С. Научные основы технологии машиностроения: Учебное пособие / А.С. Мельников, М.А. Тамаркин и др. - СПб. : Лань, 2018. - 420 с.

51 Никифоров, А.Д. Современные проблемы науки в области технологии машиностроения. / А.Д. Никифоров. - М. : Высшая школа, 2006. - 392 с.

52 Папенова, К.В. Основы технологии машиностроения (для бакалавров) / К.В. Папенова. - М. : КноРус, 2013. - 288 с.

53 Скворцов В.Ф. Основы технологии машиностроения: Учебное пособие / Скворцов В.Ф. . - М. : Инфра-М, 2016. - 320 с.

54 Суслов, А.Г. Основы технологии машиностроения (для бакалавров) / А.Г. Суслов. - М. : КноРус, 2018. - 384 с.

55 Самодельный ЧПУ станок [Электронный ресурс] – URL: <http://homecnc.ru/> (дата обращения 23.04.2017).

56 «Мастерской Инструмент, приспособления и мастерская » Станки ЧПУ (CNC)» Тема: Станок ЧПУ - своими руками. Стоит ли заниматься? [Электронный ресурс] – URL:

<http://forum.woodtools.ru/index.php?topic=39849.0> (дата обращения: 02.10.2018).

57 Производство и продажа фрезерно-гравировальных станков и комплектующих к ним [Электронный ресурс] – URL: <https://cnc-tehnologi.ru/> (дата обращения: 18.02.2019).

58 Сервотехника. Когда нужна точность [Электронный ресурс] – URL: <http://servotechnica.ru/catalog/type/brand/serie/index.pl?id=202> (дата обращения: 04.01.2019).

59 Станки с ЧПУ и комплектующие [Электронный ресурс] – URL: <https://purelogic.ru/> (дата обращения: 22.12.2018).

60 Сообщество владельцев 3D-принтеров [Электронный ресурс] – URL: <https://3dtoday.ru/> (дата обращения: 11.11.2017).

61 Форум Каменский Станкостроительный Завод. Всё по станкам чпу и не только [Электронный ресурс] – URL: <https://777russia.ru/forum/viewtopic.php?id=549> (дата обращения: 16.06.2018).

62 ЧПУ Моделист станки с ЧПУ для хобби и бизнеса [Электронный ресурс] – URL: <https://cncmodelist.ru/> (дата обращения: 13.10.2017).

63 3D репликатор. Настройка [Электронный ресурс] – URL: <http://www.3dreplicator.ru/> (дата обращения: 07.08.2017).

64 Thingiverse Featured [Электронный ресурс] – URL: <https://www.thingiverse.com/> (дата обращения: 14.09.2018).

65 Блог 8 Про АйТи и около айтишные темы Восстанавливаем Arduino Nano [Электронный ресурс] – URL: <http://did5.ru/arduino/vosstanavlivaem-arduino-nano.html> (дата обращения: 17.05.2017).

66 Информационно-аналитический электронный журнал [Электронный ресурс] – URL: <http://planetacam.ru/college/learn/4-2/> (дата обращения: 27.11.2018).

67 О нашем агентстве – будущее уже наступило [Электронный ресурс] – URL: <http://www.3dpulse.ru/about/> (дата обращения: 10.12.2018).

68 Новости аддитивных технологий [Электронный ресурс] – URL: <http://3d.globatek.ru/blog/> (дата обращения: 02.04.2018).

69 ЧЕРТЕЖИ СТАНКОВ ЧПУ 3D Модели станков. Бесплатные чертежи → Чертеж станка ЧПУ №80.0 [Электронный ресурс] – URL: <https://777russia.ru/forum/viewtopic.php?id=554> (дата обращения: 23.08.2018).

70 КЛАССИФИКАТОР ВЫПУСКАЕМОЙ ПРОДУКЦИИ [Электронный ресурс] – URL: <https://777russia.ru/> (дата обращения: 11.11.2017).

71 Сборка блока управления для станка с ЧПУ. Часть 1. Запуск двигателей [Электронный ресурс] – URL: <https://www.youtube.com/watch?v=91gpA1qS-yE> (дата обращения: 15.08.2018).

72 Список форумов «Предложения покупки/продажи/услуг «Продано» [Электронный ресурс] – URL: <http://www.cnc-club.ru/forum/viewtopic.php?f=19&p=263740&t=10843> (дата обращения: 09.10.2018).

73 Будущее здесь. Роботобаза [Электронный ресурс] – URL: <https://robotbaza.ru/> (дата обращения: 10.10.2018).

74 КАК СОБРАТЬ САМОДЕЛЬНЫЙ ФРЕЗЕРНЫЙ СТАНОК С ЧПУ + ЧЕРТЕЖИ И СХЕМЫ! [Электронный ресурс] – URL: <https://www.stankoff.ru/blog/post/87> (дата обращения: 17.01.2019).

75 Строим самодельный фрезерный ЧПУ станок [Электронный ресурс] – URL: <https://vseochpu.ru/samodelnyj-chpu-frezernyj-standok/> (дата обращения: 22.12.2018).

76 Сообщества› Сделай Сам› Блог› Создание ЧПУ станка с нуля своими руками. [Электронный ресурс] – URL: <https://www.drive2.ru/c/2141798/> (дата обращения: 11.12.2018).

77 Станок ЧПУ своими руками схема чертежи [Электронный ресурс] – URL: <http://studvesna73.ru/07/23/5612/> (дата обращения: 14.09.2019).

78 Обучение ЧПУ – есть вечерние группы! [Электронный ресурс] – URL: <https://intech-stanki.ru/obuchenie-chpu/> (дата обращения: 08.07.2017).

79 EASY CNC (самодельные ЧПУ машины) [Электронный ресурс] – URL: <https://vk.com/club154603846> (дата обращения: 06.05.2018).

80 Сборка механики самодельного ЧПУ станка [Электронный ресурс] – URL: <https://www.youtube.com/watch?v=eOoxAm3qI2s> (дата обращения: 11.04.2019).

81 Поставщик мини станков с ЧПУ и аксессуаров [Электронный ресурс] – URL: <https://www.mini-stanki.ru/> (дата обращения: 19.11.2018).

82 Комплексные 3D решения [Электронный ресурс] – URL: <https://3dtool.ru/> (дата обращения: 21.06.2017).

83 СТАНКИ ЧПУ STEEPLINE [Электронный ресурс] – URL: <https://steepline.ru/> (дата обращения: 46.10.2018).

84 Выбор шпинделя. Воздушное или водяное охлаждение? [Электронный ресурс] – URL: <http://www.cnc-club.com/forum/viewtopic.php?f=152&t=10605> (дата обращения: 25.01.2019).

85 ЧПУ часть 2 Станина – CNC - ЧПУ [Электронный ресурс] – URL: <https://www.youtube.com/watch?v=MjKBf5EJ8m0> (дата обращения: 14.03.2019).

86 Фрезерный станок с ЧПУ. Сборка механики. Cnc mill. Assembly mechanics. [Электронный ресурс] – URL: <https://www.youtube.com/watch?v=qjx1RRG91Fc> (дата обращения: 28.01.2019).

87 ЧПУ 2x2 метра v2 [Электронный ресурс] – URL: <https://www.youtube.com/watch?v=ТycQTJurZew> (дата обращения: 12.02.2019).

88 Строим новый ЧПУ Фрезер (алюминиевый профиль) часть №3 [Электронный ресурс] – URL: [https://www.youtube.com/watch?v=R2O\\_NwA\\_X4A](https://www.youtube.com/watch?v=R2O_NwA_X4A) (дата обращения: 26.03.2019).

89 ЧПУ станок 1,7x1,3 метра [Электронный ресурс] – URL: <https://www.youtube.com/watch?v=v9WYhiQIKYI> (дата обращения: 09.02.2019).

90 Фрезеровка деталей для 3D принтера на ЧПУ [Электронный ресурс] – URL: <https://www.youtube.com/watch?v=FKvJ1gXoePs> (дата обращения: 10.05.2019).

91 Строим новый ЧПУ Фрезер (алюминиевый профиль) часть №1 [Электронный ресурс] – URL: [https://www.youtube.com/watch?v=BqlCcM10shE&index=1&list=PL9qc7XK\\_QOTK-X7N5vhAagvB08WXSTG18](https://www.youtube.com/watch?v=BqlCcM10shE&index=1&list=PL9qc7XK_QOTK-X7N5vhAagvB08WXSTG18) (дата обращения: 05.01.2019).

92 3D принтер своими руками. Механика [Электронный ресурс] – URL: <https://www.youtube.com/watch?v=0F0VIj0JOJo> (дата обращения: 15.08.2017).

93 Самодельный 3д принтер. Качай STL файлы деталей.  
Big 3d printer [Электронный ресурс] – URL:  
<https://www.youtube.com/watch?v=NnKeVHEdYzc> (дата обращения:  
10.08.2017).

94 Шпиндель 2.2кВт (водянка) против 1,5.кВт (воздушник).  
Кто громче? fb04 - 15 [Электронный ресурс] – URL:  
<https://www.youtube.com/watch?v=WАНKldA4cKg> (дата обращения:  
21.04.2019).

95 КОНСТРУКЦИОННЫЙ ПРОФИЛЬ И СОЕДИНИТЕЛЬНЫЕ  
ЭЛЕМЕНТЫ [Электронный ресурс] – URL: <https://soberizavod.ru/> (дата  
обращения: 20.04.2019).

96 Как собрать самодельный фрезерный станок с ЧПУ + Чертежи и  
схемы! - Блог Станкофф.RU [Электронный ресурс] – URL:  
<https://za.pinterest.com/pin/540291286528878147/> (дата обращения:  
08.03.2019).

97 Фрезерно-гравировальный станок с ЧПУ 6090 с  
асинхронным шпинделем [Электронный ресурс] – URL:  
<https://zaxis.ru/stanki/frezernye/gravirovalny-stanok-vozmozhnosti/cnc6090.html>  
(дата обращения: 11.02.2018).

# ПРИЛОЖЕНИЕ А

## Почётная грамота



## ПРИЛОЖЕНИЕ Б

### Благодарственное письмо





## **ПРИЛОЖЕНИЕ Г**

### **Справка о принятии статьи к публикации**