

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)

15.04.05 «Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных производств»

(код и наименование направления подготовки)

«Технология автоматизированного машиностроения»

(направленность(профиль))

**ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА  
(МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ)**

на тему Совершенствование конструкции малогабаритного фрезерного станка с ЧПУ  
центра «Формула Станок»

Студент

П.А. Елисеев

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

Научный

руководитель

к.т.н., доцент, Д.Ю. Воронов

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

Тольятти 2021

## Оглавление

Введение.....	4
Глава 1 Аналитическое исследование по рассматриваемой теме.....	6
1.1 Анализ действующих патентов .....	6
1.2 Литературный обзор функционального назначения фрезерного станка с ЧПУ .....	14
1.3 Обзор производимых фрезерных станков с ЧПУ .....	15
1.4 Конструктивные особенности рассматриваемого оборудования .....	26
Глава 2 Совершенствование конструкции малогабаритного фрезерного станка с ЧПУ.....	33
2.1 Обоснование рациональности предлагаемой разработки.....	33
2.2 Определение концепции фрезерного станка с ЧПУ .....	35
2.3 Разработка методики совершенствования конструкции фрезерного станка с ЧПУ .....	39
2.4 Анализ эффективности предлагаемой разработки .....	41
Глава 3 Проектирование приспособления для рассматриваемого станка ....	43
3.1 Конструктивный расчет предлагаемой конструкции.....	43
3.2 Разработка системы управления малогабаритного фрезерного станка с ЧПУ .....	57
3.3 Обоснование реализации малогабаритного фрезерного станка на современном рынке.....	59
3.4 Технико-экономическое обоснование пути совершенствования .....	63
Глава 4 Обзор и выбор программного обеспечения для 3D фрезерного станка с ЧПУ.....	66
4.1 Создание программ для фрезерных станков с ЧПУ .....	66
4.2 Обзор современных программ управления ЧПУ .....	68
4.3 Особенности программирования фрезерных 3D станков с ЧПУ.....	70
Заключение .....	80
Список используемых источников.....	83

Приложение А Сертификат о публикации статьи в научном журнале «Интернаука».....	92
--	----

## Введение

Не так давно, чтобы обработать деревянные изделия со сложным профилем требовалось использовать вертикальные фрезерные станки, которые работали под копирку. Однако с приходом высоких технологий и создания высокопроизводительных процессоров получили свое развитие фрезер с ЧПУ. Это фрезерный станок, который использует числовое программное управление, проще говоря, станок работающий под управлением компьютера.

Главное отличие фрезеров с ЧПУ от фрезеров, которые работали под копирку - станок работает полностью в автоматическом режиме. В станок загружается нужная программа и он начинает работу без участия человека. Стоит отметить, что станок выполнит заданную ему задачу с высокой производительностью и точностью. Одна и та же программа может выполняться фрезером многократно, при этом будет работать надежно, независимо от станочника [3].

В настоящий момент на рынке стран СНГ и России представлены различные фрезеры с ЧПУ. Исходя из задач, они бывают разные: по структурным схемам, сложностью и стоимостью.

Фрезеры с ЧПУ - это конструктивно сложные механизмы и с каждым годом они увеличивают свою функциональность, при этом усложняется их оборудование, что приводит к увеличению цены за станок. Стоит отметить, что стоимость подобного оборудования принято считать в евро за один квадратный метр площади габаритных размеров. В настоящий момент на рынке средняя цена за станок от европейского производителя составляет порядка 20 тысяч евро за квадратный метр.

Фрезерные станки с ЧПУ незаменимы на мебельном производстве. Данные фрезеры используются для изготовления кухонных фасадов, изголовий. Кроме того, данные станки используются в багетных мастерских, чтобы изготовить багеты, панно и зеркала. Также фрезеры используются для

изготовления сувенирной продукции. С помощью таких станков выполняется гравировка логотипов и надписей на различных поверхностях. Обычно при выборе фрезерного станка учитывается его использование.

Фрезерные 3D станки с числовым программным управлением (ЧПУ) выполняют свою работу согласно заданным координатам, а также по заданному контуру. Программу обработки задает оператор, на такого рода станках современные программы получают широкое применение, в особенности это позволяет выполнять задания любой сложности в кратчайшие сроки. Операторы проходят специальную подготовку, к тому же производители с каждым годом совершенствуют систему управления, которая в свою очередь ставится все более простой в исполнении [9].

Рассмотрим ряд преимуществ фрезерных 3D станков с ЧПУ:

- высокоточная обработка деталей;
- экономическая эффективность трудового ресурса;
- максимально сниженная себестоимость оборудования;
- осуществление серийности обработки деталей любой сложности;
- максимальная производительность оборудования;
- многоцелевое использование станков для различных материалов.

Рассматриваемый станок имеет высокую производительность с минимальными габаритными размерами, компактности данных станков позволят использовать их не только на крупных производственных предприятиях, но также и в домашних целях.

Станок является перенастраиваемым без особых усилий под любое производство, а также выполнения любых деталей это говорит о его многоцелевом использовании.

Целью данной работы является совершенствование малогабаритного фрезерного 3D станка с ЧПУ.

## **Глава 1 Аналитическое исследование по рассматриваемой теме**

### **1.1 Анализ действующих патентов**

Произведем анализ действующего патента по теме исследования. Поиск патентов осуществляем при помощи федерального института промышленной собственности [12].

Фрезерный станок (рисунок 1) состоит из основных деталей, таких как шпиндель, используемый для вращения режущего инструмента, так же имеется рабочий стол, на котором располагаются механизмы перемещения режущего инструмента вдоль осей координат  $X$ ,  $Y$  и  $Z$ , причем шпиндель установлен на механизме перемещения вдоль оси  $Z$ , имеется контроллер для управления перемещением режущего инструмента, датчик тока и частотный преобразователь. При этом управляющий контроллер связан через соответствующие серводрайверы с серводвигателями всех механизмов перемещения режущего инструмента, а также с информационным выходом датчика тока, который своим силовым выходом через частотный преобразователь соединен со шпинделем, вращающим режущий инструмент. При этом частотный преобразователь своим управляющим входом соединен с управляющим контроллером, а силовой вход датчика тока соединен с источником питания станка. Каждый механизм перемещения состоит из основания и подвижной платформы, причем на основании каждого механизма перемещения закреплен серводвигатель этого механизма перемещения. При этом каждый механизм перемещения содержит шариковую передачу, винт которой соединен с валом его серводвигателя, а гайка соединена с подвижной платформой этого механизма перемещения. Достигается получение оптимальной нагрузки на режущий инструмент [12].

Тем самым данный станок является неотъемлемой частью малого промышленного производства.

На подобного рода станках возможно произвести выполнение небольших изделий, в частности ими является сувенирная продукция.

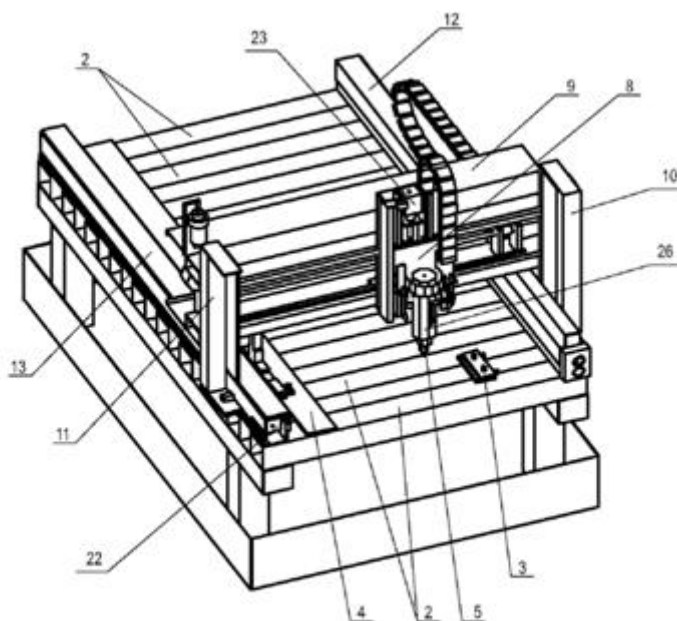


Рисунок 1– Фрезерный станок

Технический результат достигается тем, что управляющий контроллер связан через соответствующие серводрайверы с серводвигателями всех механизмов перемещения режущего инструмента, а также с информационным выходом датчика тока, который своим силовым выходом через частотный преобразователь соединен со шпинделем, вращающим режущий инструмент, при этом частотный преобразователь своим управляющим входом соединен с управляющим контроллером, а силовой вход датчика тока соединен с источником питания станка [12].

При этом каждый механизм перемещения состоит из основания и подвижной платформы, причем на основании каждого механизма перемещения закреплен серводвигатель этого механизма перемещения, при этом каждый механизм перемещения содержит шарико-винтовую передачу, винт которой соединен с валом его серводвигателя, а гайка соединена с

подвижной платформой этого механизма перемещения; при этом левый и правый механизмы перемещения вдоль оси  $Y$  размещены с левой и правой стороны рабочего стола и ориентированы вдоль рабочего стола параллельно друг другу, причем указанные механизмы выполнены каждый в виде основания, жестко закрепленного на рабочем столе, подвижной платформы и серводвигателя; механизм перемещения вдоль оси  $X$  закреплен на подвижных платформах правого и левого механизмов перемещения вдоль оси  $Y$ , при этом механизм перемещения вдоль оси  $X$  дополнительно содержит левую и правую вертикальные несущие стойки, причем левая вертикальная несущая стойка своим нижним торцом жестко закреплена на подвижной платформе левого механизма перемещения вдоль оси  $Y$ , а правая вертикальная несущая стойка своим нижним торцом жестко закреплена на подвижной платформе правого механизма перемещения вдоль оси  $Y$ , при этом левая сторона основания механизма перемещения вдоль оси  $X$  закреплена с возможностью вертикального перемещения на левой вертикальной несущей стойке, а правая сторона основания механизма перемещения вдоль оси  $X$  закреплена с возможностью вертикального перемещения на правой вертикальной несущей стойке; в свою очередь, на подвижной платформе механизма перемещения вдоль оси  $X$  жестко закреплено основание механизма перемещения вдоль оси  $Z$ , содержащего подвижную платформу, на которой закреплен шпиндель режущего инструмента [12].

Произведем анализ действующего патента по теме исследования [13].

Полезная модель (рисунок 2) относится к области фрезерования, в частности к фрезерно-гравировальным станкам, выполняющим фрезерно-сверлильно-гравировальные работы при изготовлении разнообразных изделий из цветных металлов, пластиков, стеклотекстолита и других материалов.

Известны станки, предназначенные для выполнения гравировки и 3-х координатной обработки, в состав которых входит корпус-основание, в



верхней части которого расположен неподвижный стол станка, на котором устанавливаются обрабатываемые заготовки, фрезерная головка, которая перемещается относительно стола по трем координатам по взаимно перпендикулярным направляющим. Перемещения производятся по программам с использованием электродвигателей и ходовых винтов с гайками, причем электронный блок управления в этих станках выполнен в виде отдельного блока или размещен в корпусе-основании станка.

Конструктивное выполнение узлов, обеспечивающих перемещения по трем координатам, а также отсутствие прижима листовой заготовки в месте ее обработки, приводит к изготовлению изделий, не отвечающих требованиям, предъявляемым к их качеству [13].

Наиболее близким по технической сущности к заявляемой полезной модели является станок. Такой станок содержит основание, на котором закреплен неподвижно стол для размещения на нем обрабатываемой заготовки, на основании горизонтально закреплены направляющие перемещения по координате  $Y$ , по которым перемещаются стойки, на которых над столом закреплены направляющие. Такие устройства состоят из ходовых винтов с полукруглой резьбой и гаек с перекатывающимися внутри замкнутого контура шарикоподшипниками. [13].

Станок снабжен пылесосом для защиты окружающей среды и оператора от пыли и стружки во время работы станка.

Управление станком осуществляется с помощью контроллеров шаговых двигателей, управляемых микропроцессором, который получает управляющие команды от ЭВМ [13].

Использование в устройствах перемещения шаро-винтовых пар винт-гайка, состоящих из ходовых винтов с полукруглой резьбой и гаек с перекатывающимися внутри замкнутого контура шарикоподшипниками, требует периодической замены смазки и защиты от попадания пыли и стружки, а также такая конструкция приводит к возникновению люфта в процессе эксплуатации за счет развальцовки каналов шариками, что снижает

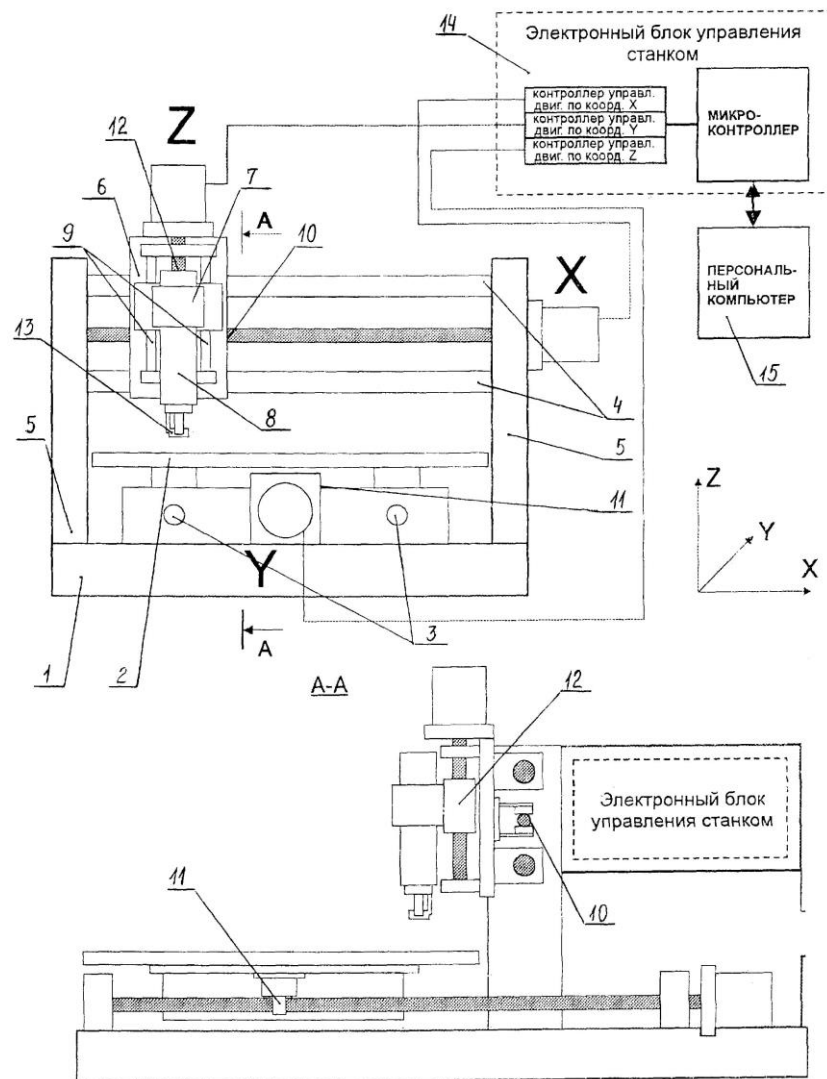


Рисунок 2 – Фрезерно-гравировальный станок

точность прецизионного перемещения инструмента. В этом станке устройство прижима обрабатываемой заготовки захватывает большую часть поверхности обрабатываемой заготовки, что приводит к различной глубине фрезерования при обработке заготовок, размер которых соизмерим с площадью прижима [13].

Также этот станок не обеспечивает регулировку глубины фрезерования в процессе работы, при работе станка необходимо постоянное использование средств сбора пыли и стружки, что создает повышенный шум при работе, а загрязнение узлов станка нарушает процесс работы.

Предлагаемой полезной моделью решается задача создания такого фрезерно-гравировального станка, который позволял бы изготавливать изделия высокого качества, за счет обеспечения точного прецизионного перемещения инструмента, локального прижима заготовки в совокупности с электронным контролем глубины фрезерования при эксплуатации станка в обычных помещениях без специальной защиты от пыли узлов перемещения станка, что позволяет отказаться от использования дополнительных средств постоянного сбора пыли.

Конструктивное решение механизмов перемещения по координатам X, Y в виде ходовых винтов с трапециевидной резьбой, взаимодействующих с специальной гайкой, выполненной в виде секторов с резьбой, подпружиненных для обеспечения постоянного прижима к резьбе ходового винта, а также выполнение резьбы секторов гайки, с величиной первоначального захода резьбы секторов гайки в резьбу винта, составляющей  $1/3$  часть величины глубины резьбы винта, обеспечивают постоянный прижим выступов резьбы секторов гайки к трапециевидным впадинам резьбы винта, что позволяет исключить люфт при работе механизмов и обеспечивает их длительную работу [13].

При попадании пыли и стружки на винт выступы резьбы секторов гаек счищают пыль и стружку с резьбы винта, благодаря этому нет необходимости защищать узлы перемещения от пыли и грязи.

Усилие прижима секторов к винту рассчитано на определенные режимы фрезерования, при превышении которых происходит раскрытие секторов гайки, что предохраняет станок от поломок. Кроме того, для удобства сборки и настройки станка сектора гайки могут быть раскрыты поворотом эксцентрика, установленного между ними.

Сектора гайки могут быть выполнены из материала с низким коэффициентом трения, например, из капролона, что обеспечивает работу узла перемещения без смазки.

Конструктивное решение прижимного устройства станка обеспечивает локальность прижима заготовки, что в совокупности с программным учетом рельефа заготовки из листового материала позволяет фрезеровать на одинаковую глубину.

Станок снабжен прозрачным защитным кожухом, который ослабляет уровень шума, возникающего при работе станка, а также предотвращает распространение пыли и стружки в окружающую среду.

Таким образом, конструктивное решение станка позволяет изготавливать изделия высокого качества, за счет обеспечения точного прецизионного перемещения инструмента, локального прижима заготовки в совокупности с электронным контролем глубины фрезерования [13].

Настольный портальный сверлильно-фрезерный станок/робот (рисунок 3) компьютерным управлением. Технический результат - расширение функциональных возможностей предлагаемого устройства путем обеспечения его работы в режиме станка для соответствующей обработки деталей и в режиме технологического робота для сборки и/или сортировки готовых изделий [14].

К недостаткам данного устройства относятся ограничения по функциональности, а именно, невозможность осуществлять автоматизированную сборку и сортировку изделий, т.е. использовать его в качестве технологического робота для освоения разделов проектирования, моделирования, программирования, наладки и эксплуатации роботизированных устройств и стендов для автоматизированной сборки узлов и автоматизированной сортировки изделий при подготовке конструкторов, технологов-программистов, наладчиков и операторов оборудования с ЧПУ [14].

Недостатком указанного устройства являются ограничения по его функциональности, а именно, невозможность осуществлять автоматизированную сборку и сортировку изделий, т.е. использовать его в

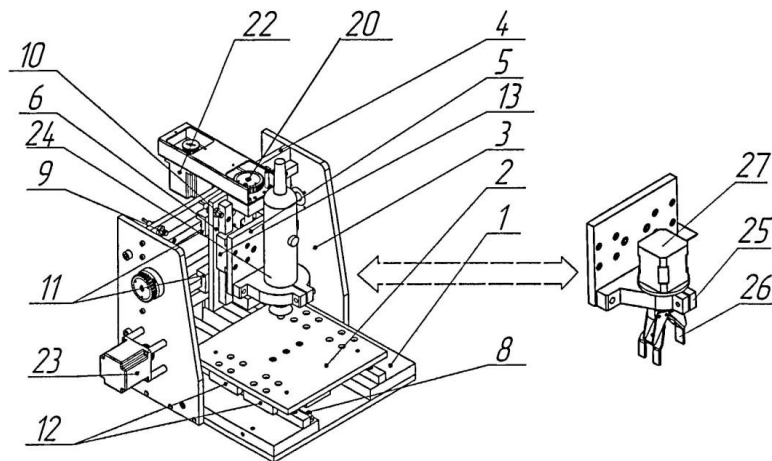


Рисунок 3 – Настольный порталный сверлильно-фрезерный станок/робот компьютерным управлением

учебном процессе в качестве технологического робота для освоения разделов проектирования, моделирования, программирования, наладки и эксплуатации роботизированных устройств и стендов для автоматизированной сборки узлов и автоматизированной сортировки изделий при подготовке конструкторов, технологов-программистов, наладчиков и операторов оборудования с ЧПУ. Это снижает функциональные возможности данного устройства по обеспечению подготовки кадров и обеспечению изучения и моделирования автоматизированной сборки и сортировки изделий.

Задачей, на решение которой направлена данная полезная модель, является создание настольного порталного сверлильно-фрезерного станка/робота, который был бы лишен указанных недостатков [14].

Технический результат - расширение функциональных возможностей предлагаемого устройства путем обеспечения его работы в режиме станка для соответствующей обработки деталей и в режиме технологического робота для сборки и/или сортировки готовых изделий, обеспечивая необходимую жесткость несущей системы станка/робота. При установке в кронштейн 25 сменного схвата 26, привод 27 сменного схвата подключается

к специальному разъему блока управления 7, по командам управляющей программы схват 26 захватывает деталь и перемещает ее в заданное для сборки или сортировки положение на рабочем столе 2 станка/робота.

Наличие кронштейна с посадочным отверстием под сменные сверлильно-фрезерные головки и сменные схваты обеспечивает возможность установки или сменной сверлильно-фрезерной головки для обработки детали, или сменного схвата с губками под зажим деталей круглого или призматического сечения. Наличие схвата обеспечивает работу устройства в качестве технологического робота для сборки и/или сортировки изделий, расширяя функциональные возможности устройства в качестве средства обучения по проектированию, моделированию, программированию и наладке станков с ЧПУ и роботизированных стандов для автоматизированной сборки узлов и автоматизированной сортировки изделий [14].

## **1.2 Литературный обзор функционального назначения фрезерного станка с ЧПУ**

Компьютерные технологии существенно облегчили жизнь современному человеку. С недавнего времени они стали активно внедряться на предприятиях. Например, станки с ЧПУ для фрезеровки разных поверхностей. Они позволяют быстро и эффективно обрабатывать большие участки даже самых сложных поверхностей, практически без привлечения человека.

Фрезерная обработка на станках с ЧПУ открывает широкие возможности для бизнеса. Области применения такого оборудования многогранны. Вот несколько наглядных примеров, которые доказывают многофункциональность этих устройств:

Мебельное производство. Наиболее популярными являются именно 3Д фрезерные станки с ЧПУ по дереву. С их помощью изготавливают лестницы оригинальной формы и узорами. Фрезеруют кухонные фасады, производят

различные кронштейны и декор. Особым спросом пользуется изготовление эксклюзивной мебели, которая выделяется красивой 3D резьбой и декором.

Изготовление приборов. При помощи такого оборудования можно создавать формы из стеклопластика, термовакуумную упаковку, электронные платы. Вертикально-фрезерный станок с ЧПУ позволяет изготовить приборные панели, архитектурные прототипы и макеты [56].

Эксклюзивное оформление интерьера – еще один способ применения такого оборудования. С его помощью можно вырезать и обработать подоконники, перегородки, столешницы, элементы лестниц, каминов и др. Примечательно то, что на фрезерно-гравировальном станке с числовым программным управлением всю эту продукцию можно изготовить из натурального или искусственного камня.

Это лишь некоторые способы применения данного оборудования.

Такое оборудование позволяет производить обработку практически любого материала, начиная от мягких структур, таких как поролон или ткань, и заканчивая трудно поддающимися обработке металлами, таких как нержавейка [57].

При смене режимов работы, в зависимости от обрабатываемого материала, оборудование не требует проводить особых наладочных и тестовых процессов своими руками. Достаточно программно внести изменения и станок сделает перенастройку самостоятельно.

### **1.3 Обзор производимых фрезерных станков с ЧПУ**

Фрезерные 3D станки с числовым программным управлением, так же широко известны как гравировальные классифицируются по своему конструкторскому исполнению. Основное их назначение - это обработка поверхностей минимальной глубины.

Подобные станки разделяются на:

– консольные станки;

– бесконсольные станки.

Особенность консольных станков заключается в том, что обрабатываемая деталь перемещается вместе с рабочим столом станка, стол перемещается по вертикальным и горизонтальным направляющим. Вертикальные направляющие расположены на станине станка, а горизонтальные на консоли станка, а также на салазках.

Обработка детали на такого рода станках производится в различных плоскостях, главный аргумент обработки - это расположение шпинделя [66].

Рассматривая устройство бесконсольных станков можно сразу же обратить внимание на то, что такие станки не имеют подвижного стола, устройства резания перемещается вместе со шпиндельным узлом в трех направлениях, а точнее по трем осям X, Y, Z.

Положением шпинделя управляет компьютер, программа которого задает направление шпинделя по заданному маршруту обработки. Шпиндель оснащен отдельным электродвигателем [67].

Данные станки производят обработку различных по твердости и вязкости материалов, разделяем их по группам:

- заготовки различных металлов;
- заготовки из дерева;
- заготовки из стекла;
- заготовки из различных каменных пород.

Рассмотрим основные возможности бесконсольных фрезерных 3D станков. Основной особенностью данных станков как было сказано ранее является неподвижный рабочий стол, на поверхности стола имеются фигурные пазы для крепления заготовок болтами с шайбами, крепление производится при помощи пневматического оборудования.

На подобном станке выполняются:

- нанесение гравировочных надписей;
- нанесение узоров на мебель;
- выполнение надписей и фигур из пластика;



– нарезка плат.

Для нанесения надписей и узоров фреза совершает перемещение по заданной программе по основным осям X и Y. В порядке обработки заготовки станок изменяет глубину резания, контур обработки, все изменения выполняются согласно программе управления станком. Дополнительным оборудованием станка в процессе обработки является промышленный пылесос. Промышленный пылесос не является стационарным устройством станка и возможность применения может быть безграничной, назначение пылесоса - это удаление стружки с рабочего стола станка [67].

Габаритный размер стола обычно не превышает 1200 мм, данный размер применяется для станков обработки пластика и камня, для деревообрабатывающих предприятий, а также мебельного производства применяются станки большего габаритного размера.

Для обработки металлических заготовок наиболее рационально применять консольные станки. Такие станки обеспечивают наибольшую точность в обработке заготовок различных металлов от чугуна до цветных металлов и сплавов.

Станина данного станка имеет внушительные размеры, поэтому вибрации на таких станках гасятся за счет станины. Шпиндель закрепляется неподвижно. Перемещение детали осуществляется по оси Z на консоли, по осям X и Y вместе со столом [52].

Специальным устройством крепления заготовки к станку используются:

- стол с магнитным нанесением;
- пневматический зажим;
- механическое закрепление, через пазы при помощи шпилек.

На рынке основные страны, выпускающие фрезерные 3D станки с ЧПУ: Россия, Китай, Германия, Япония;

Отметим наиболее популярных производителей фрезерный 3D станков с числовым программным управлением:

- Kami.
- RuStan;
- GCC Jaguar;
- Hyundai Wia;
- Redwood;
- Zenitech;
- JCC.

Среди большого количества моделей фрезерных 3D станков с ЧПУ, особой популярностью пользуются некоторые известные модели, о которых ниже дана основная информация [59].

Рассмотрим каждый станок в отдельности, с описанием назначения и основных функций.

Фрезерно-гравировальные станки с ЧПУ представляют класс легких настольных фрезерных 3D станков с ЧПУ.

Настольные фрезерные станки Alfa можно использовать в мебельном, рекламном, сувенирном, модельном производствах и т.п. Для изготовления простых и сложных элементов из различных материалов в 2 и 3 плоскостях.

Литая станина обеспечивает идеально ровную рабочую поверхность, исключает деформации в процессе эксплуатации.

Устанавливается шпиндель 800Вт с водяным охлаждением. Крепление для шпинделей диаметром 65мм.

Фрезерный станок имеет рабочий стол, покрытый алюминиевым профилем с Т - образными пазами, в которые вставляются съемные винтовые прижимы материала [60].

Механическая часть фрезерного станка построена на трехфазных шаговых двигателях, они обеспечат высокую скорость работы, а управляющие контроллеры двигателей обеспечат высокую точность до 102400 микрошагов на оборот.

Перемещение по осям X, Y, Z осуществляется, шарико-винтовой передачей (ШВП), по цилиндрическим направляющим.

Поставляется с контроллером NC Studio, устанавливаемый в PCI слот ПК. Все управление станком осуществляется из управляющей программы с подключенного компьютера. Удобно визуально контролировать процесс работы в управляющей программе. Возможна комплектация беспроводным пультом управления. Совместимость со всеми популярными CAD системами: Type 3, ArtCAM, Wentai, NC Studio и пр [34].

Таблица 1 – Технические характеристики Alfa 3040

Модель	Alfa 3040
Рабочее поле, мм	385 x 315
Тип столешницы	с T - образными пазами
Ход шпинделя по оси Z, мм	90
Мощность шпинделя, Вт	800
Производитель, охлаждение шпинделя	GDZ, водяное охлаждение
Контроллер	NCStudio
Точность позиционирования, мм	0,05
Тип двигателей	Шаговый двигатель
Скорость передвижения, мм/мин	до 4000
Скорость гравировки, мм/мин	до 4000
Электропитание	220В, 50Гц, 1 фаза, до 1,2кВт
Размеры, мм	750 x 800 x 710
Вес нетто, кг	76

Богатый выбор дополнительных опций универсальной серии Artis M позволяет собрать станок исключительно под задачи заказчика без переплаты за ненужные комплектующие. Вполне вероятно, что будет достаточно базовой комплектации [70].

Станина фрезерного станка выполнена из стальных балок прямоугольного сечения, соединения сварные, сварка полностью исключает деформацию при транспортировке и эксплуатации, в отличие от болтовых соединений, геометрия идеально выверена в заводских условиях.

Портал фрезера выполнен из профилированного алюминия увеличенной жесткости. На фрезерный станок устанавливаются 2 типа шпинделей: шпиндели воздушного охлаждения, или шпиндели с водяным



Рисунок 4 – Общий вид Alfa 3040

охлаждением. Шпиндели подбираются с запасом мощности под требуемые задачи, для работы на максимальных скоростях. Отсутствие водяного охлаждающего контура и водяных трубок у шпинделей воздушного охлаждения делает систему проще и надежней. Водяное охлаждение необходимо или при повышенном пылении обрабатываемого материала, или подаче ОЖ в зону реза, или при продолжительной работе шпинделей, т.к. эффективность теплоотдачи у системы с водяным охлаждением выше чем у воздушной. В случае выбора шпинделя с водяным охлаждением - станок комплектуется соответствующей системой охлаждения (чиллером).

Фрезерный станок имеет рабочий стол, покрытый алюминиевым профилем с Т - образными пазами, в которые вставляются съемные винтовые прижимы материала, и защитным пластиком (жертвенник). Все модели можно оснастить вакуумным столом от 1 до 8 отдельных вакуумных зон в зависимости от габаритов, при оснащении вакуумной столешницей - вакуумные насосы в комплекте [71].

Механическая часть фрезерного станка построена на трехфазных шаговых двигателях (ось Y - 2 шт., ось X - 1 шт., ось Z - 1 шт.), двигатели Leadshine с крутящим моментом до 86 кгс\*см обеспечат высокую скорость

работы, а управляющие контроллеры двигателей Leadshine обеспечат высокую точность до 102400 микрошагов на оборот. Возможна установка серводвигателей, что увеличит скорость перемещения в 2-3 раза, уменьшит шум, и сделает позиционирование еще точнее.

Перемещение по осям X и Y осуществляется косой зубчатой рейкой по линейным направляющим HIWIN, ширина 20мм. Применение 2 приводов и двигателей портала по обоим краям рабочего стола исключает возможное заклинивание или люфт портала, что нередко бывает на дешевых станках с приводом только на одной стороне портала. Вертикальное перемещение шпинделя по оси Z, осуществляется по двум линейным направляющим HIWIN, ширина 20мм, одним двигателем, шарико-винтовой парой (ШВП). При высокой нагрузке устанавливается система автоматической смазки направляющих [71].

Таблица 2 – Технические характеристики Artis 1325M

Модель	Artis 1325M
Рабочее поле, мм	1300 x 2500
Тип столешницы	с T - образными пазами
Ход шпинделя по оси Z, мм	200
Мощность шпинделя, Вт	3000
Производитель, охлаждение шпинделя	GDZ, воздушное охлаждение
Контроллер	DSP RichAuto A11
Точность позиционирования, мм	0,01
Тип двигателей	Шаговые двигатели
Скорость передвижения, мм/мин	до 36000
Скорость работы, мм/мин	до 25000
Электропитание	380В, 50Гц, 3 фазы, до 8кВт
Размеры, мм	1450 x 2800 x 1250
Вес нетто, кг	1090

В базовом комплекте с фрезерным станком поставляется профессиональный автономный DSP контроллер RichAuto A11 - пульт управления. Контроллер обладает энергонезависимой памятью, позволяет работать без подключения ПК. Совместимость со всеми популярными CAD системами: Type 3, ArtCAM, Wentai, NC Studio и пр [71].



Рисунок 5 – Общий вид Artis 1325M

3D фрезер Solidcraft CNC-4060 Z13 Mark II [66].

В обновленной версии Mark II (рис. 6) теперь стальной жесткий корпус, увеличенная мощность и высота по оси Z, что дает возможность решать более сложные и разнообразные задачи. Увеличенная мощность станка в 2,2 кВт позволяет обрабатывать более жесткие материалы [66].



Рисунок 6 – Общий вид SolidCraft CNC-4060 Z13 Mark II

Станок оснащен USB-портом, что обеспечивает его подключение к компьютеру и контроль работ с помощью управляющей программы (Ncstudio и Mach 3) или напрямую. Также для направляющих используется шариковый винт, поэтому снижен уровень шума, при этом разрешение на хорошем уровне [56].

3D фрезер AMAN 2030 800W. Программное обеспечение станка (рис. 7) совместимо с операционными системами, стоящими на обычных компьютерах и поддерживает различные форматы графики. Купив в дополнение поворотное устройство, можно заниматься полноценной четырех-осевой обработкой [33].



Рисунок 7 – Общий вид 3D фрезер AMAN 2030 800W

Используемые материалы:

- дерево
- пластик
- оргстекло
- ДСП, МДФ, фанеру

– легкие металлы (медь, алюминий латунь).

ПО совместимо с ОС Windows, а также с различными популярными графическими форматами [43].

Профессиональная серия для производителей мебели Artis HF - это тяжелые станки для раскроя ЛДСП, МДФ, фанеры, ЛХДФ, ЛДВП, ДВПО и прочих листовых материалов, в том числе по технологии Нестинг (Nesting). Возможность установки CCD-камеры контурной резки позволяет также использовать эту серию для производства рекламы, при больших объемах заказов. Усиленная станина позволяет устанавливать мощные шпиндели до 6кВт для скоростного раскроя материалов, а вакуумный стол надежно зафиксировывает материал на рабочей столешнице. Серводвигатели обеспечивают непревзойденную точность и скорость раскроя. Комплектация в базе оснащена стружкоудалителем и автоматической смазкой направляющих. Рекомендуются шпиндели с водяным охлаждением в замкнутом контуре с чиллером на хладагенте. Использование такого чиллера позволяет эффективно охладить теплоноситель ниже температуры в помещении и справиться с нагревом шпинделя при интенсивной эксплуатации [43].

Станина фрезерного станка выполнена из стальных балок прямоугольного сечения, соединения сварные, сварка полностью исключает деформацию при транспортировке и эксплуатации, в отличие от болтовых соединений, геометрия идеально выверена в заводских условиях. Портал фрезера выполнен из профилированного алюминия увеличенной жесткости.

На фрезерный станок устанавливаются 2 типа шпинделей: шпиндели воздушного охлаждения, или шпиндели с водяным охлаждением. Шпиндели подбираются с запасом мощности под требуемые задачи, для работы на максимальных скоростях. Отсутствие водяного охлаждающего контура и водяных трубок у шпинделей воздушного охлаждения делает систему проще и надежней. Водяное охлаждение необходимо или при повышенном пылении обрабатываемого материала, или подаче ОЖ в зону реза, или при



продолжительной работе шпинделей, т.к. эффективность теплоотдачи у системы с водяным охлаждением выше чем у воздушной. В случае выбора шпинделя с водяным охлаждением - станок комплектуется соответствующей системой охлаждения (чиллером) [43].

Фрезерный станок имеет вакуумный стол до 8 отдельных вакуумных зон в зависимости от габаритов - вакуумные насосы в комплекте.

Механическая часть фрезерного станка построена на серводвигателях (ось Y - 2 шт., ось X - 1 шт., ось Z - 1 шт.), серводвигатели Leadshine с обратной связью работают в 2-3 раза быстрее моделей на шаговых двигателях, обеспечивают высочайшую точность реза.

Перемещение по осям X и Y осуществляется косой зубчатой рейкой по линейным направляющим HIWIN, ширина 20мм. Применение 2 приводов и двигателей портала по обоим краям рабочего стола исключает возможное заклинивание или люфт портала, что нередко бывает на дешевых станках с приводом только на одной стороне портала. Вертикальное перемещение шпинделя по оси Z, осуществляется по двум линейным направляющим HIWIN, ширина 20мм, одним двигателем, шарико-винтовой парой (ШВП). При высокой нагрузке устанавливается система автоматической смазки направляющих [44].

В базовом комплекте с фрезерным станком поставляется профессиональный автономный DSP контроллер RichAuto A11 - пульт управления. Контроллер обладает энергонезависимой памятью, позволяет работать без подключения ПК. Совместимость со всеми популярными CAD системами: Type 3, ArtCAM, Wentai, NC Studio и пр.

Используемые материалы.

- дерево, пластик, оргстекло, ПВХ;
- композитные материалы, ДСП, ДВП, МДФ, фанера;
- легкие металлы (дюраль, алюминий, латунь, медь);
- программное обеспечение.

Таблица 3 - Технические характеристики Artis 1325HF

Модель	Artis 1325HF
Рабочее поле, мм	1300 x 2500
Тип столешницы	Вакуумный стол
Ход шпинделя по оси Z, мм	200
Мощность шпинделя, Вт	4500 (до 6000 - ОПЦИЯ)
Производитель, охлаждение шпинделя	GDZ, водяное охлаждение (воздушное - ОПЦИЯ)
Контроллер	DSP RichAuto A11
Точность позиционирования, мм	0,01
Тип двигателей	Серводвигатели
Скорость передвижения, мм/мин	до 72000
Скорость работы, мм/мин	до 50000
Электропитание	380В, 50Гц, 3 фазы, до 8кВт (220В, 50Гц, 1 фаза - ОПЦИЯ)
Размеры, мм	1450 x 2800 x 1250
Вес нетто, кг	1390



Рисунок 8 – Общий вид станка Artis 1325HF

В комплекте со станком поставляется лицензионное программное обеспечение: Type3 Software/France, ArtCAM, Ucam и т.д [34].

#### 1.4 Конструктивные особенности рассматриваемого оборудования

Фрезерные 3D станки с ЧПУ – это оборудование, которое используется для создания надписей и изображений на каменной, металлической

поверхности, изготовления объемных рисунков. С его помощью выполняют нанесение изображений на памятники и статуи, создают именные и уличные таблички, другие изделия [33].

На рисунке 9 представлено устройство 3D фрезера с ЧПУ.

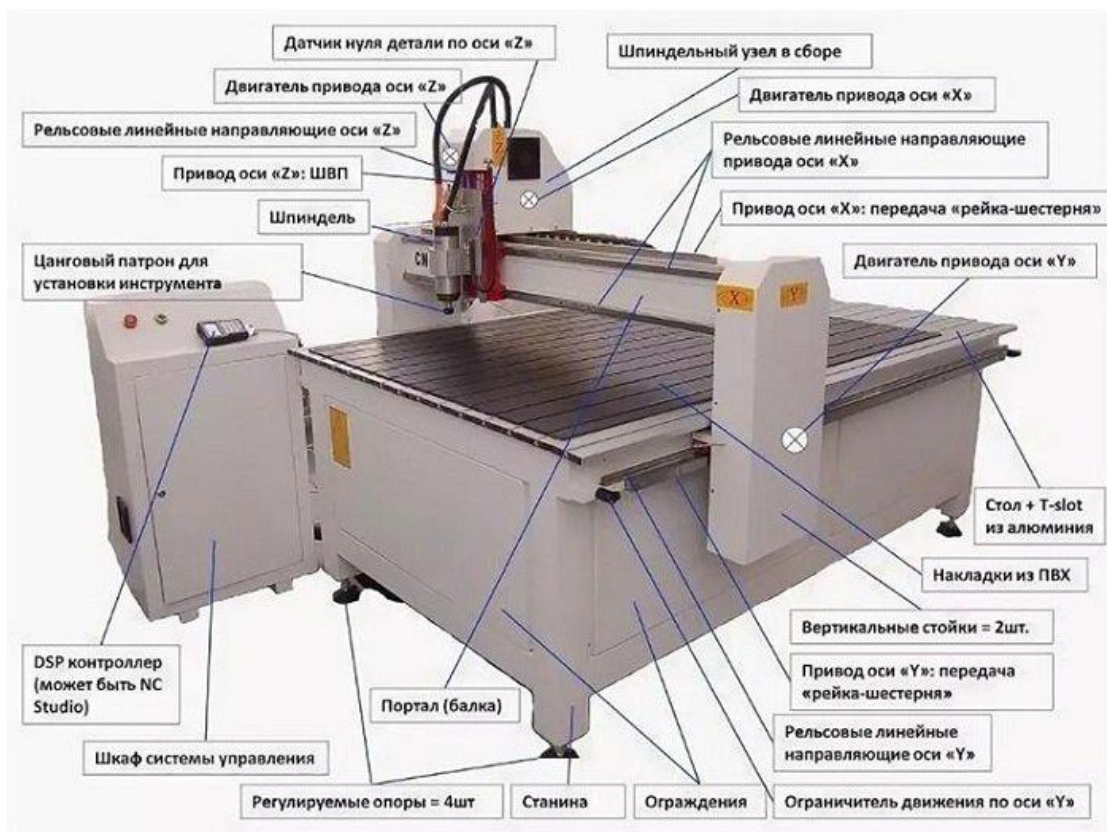


Рисунок 9 – Устройство 3D фрезера с ЧПУ

Основными элементами станка являются режущие детали, обводной датчик и следящий профиль, считывающий оригинальное изображение или текст, который необходимо перенести на основу.

Фрезерное оборудование отличается конструктивными особенностями, типом режущего элемента, стоимостью и функционалом. На отечественном рынке можно найти устройства как зарубежных, так и российских фирм-производителей [54].

Основная классификация техники подразумевает разделение по типу воздействия: Ударно-гравировальный. Этот метод подразумевает

механическое воздействие; изображение будет перенесено с высокой степенью точности, но скорость обработки обычно ниже.

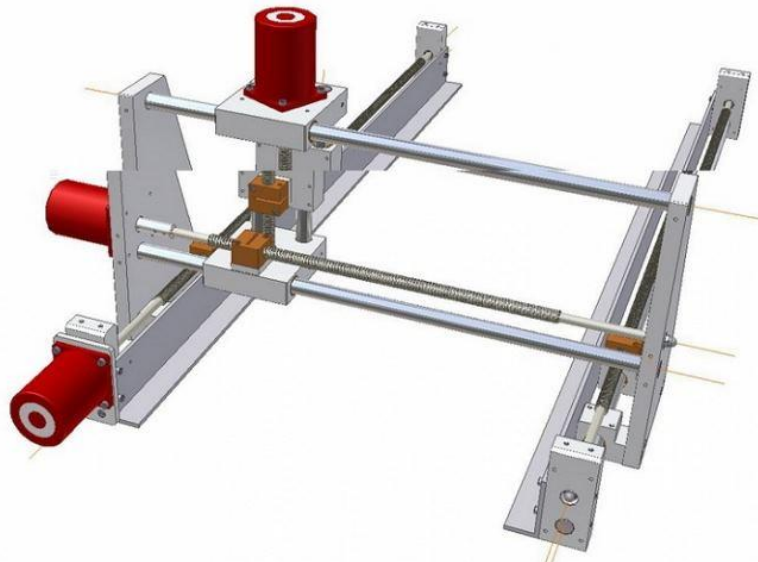


Рисунок 10 – Схема каркаса и расположения двигателей в портальном фрезерном станке с ЧПУ

Различные модели станков могут иметь рабочую зону размером 30 на 40, 50 на 60 или 60 на 120 см. При выборе необходимо учитывать габариты основы, на которой будет производиться гравировка. Кроме того, по конструкции станки могут быть компактными, напольными и настольными, от этого зависит и их стоимость [55].

Волоконные граверы. В них используются световоды волоконного типа, они отличаются повышенным сроком службы и экономичным расходом энергии. Такие модели используют для гравировальных работ по миниатюрным заготовкам, поскольку они имеют крайне малый диаметр лазерного пятна. Сами устройства считаются портативными ввиду скромных размеров.

Для гравировки именных табличек, дощечек, призовых и наградных изделий, ювелирной и сувенирной продукции чаще используются фрезерные станки с гравировальной функцией. При необходимости обработки крупных

предметов применяют промышленные модели с увеличенной рабочей поверхностью. Для работы станка используется компьютер и соответствующее программное обеспечение: это необходимо для запуска техники, выбора режима работы и настроек [44].

Фрезерные 3D станки должны оснащаться широким выбором фрез – элементов для обработки заготовок. Существуют фрезы для гравировки небольших узоров и букв.

Для обработки больших площадей могут использоваться алмазные наконечники, которые применяют для механической гравировки. Обработка заготовки может потребовать использования полировочных, шлифовочных фрез. Выбор комплектующих деталей целиком обусловлен спектром работ оборудования и степенью их сложности [43].

Фрезерные 3D станки с ЧПУ.

Для большого объема работы, выполнения сложной гравировки на небольших предметах могут применяться гравировальные станки с ЧПУ или числовым программным управлением, представленного на рисунке 11.

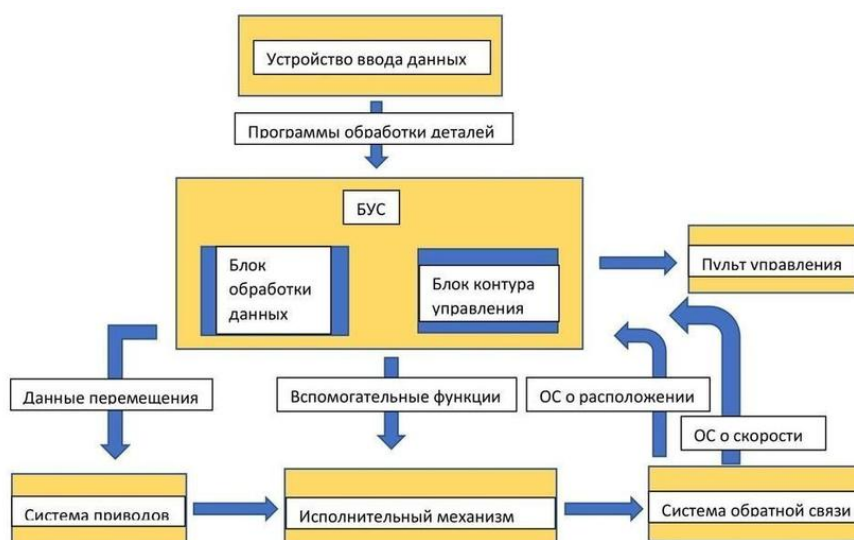


Рисунок 11 – Схема устройства фрезерного станка с ЧПУ

К преимуществам оборудования с ЧПУ следует отнести:

- повышенную производительность;

- абсолютную точность в переносе изображения или надписей;
- возможность выполнения трехмерной гравировки;
- проведение работы со сложными по форме изделиями такими, как рамки, кольца, сувенирные товары и другие предметы.

Современные устройства, например, модель «Миртелс Комби», применяются для гравировки на камнях средней и малой твердости, то есть для мрамора, базальта, габбро-диабазы и ряд других. Стоимость станков зависит от производителя, функциональности и ценовой политики конкретных поставщиков [68].

Фрезерные 3D станки по металлу используются для создания плоских и объемных изображений. Такое оборудование обычно оснащается несколькими видами несъемных головок.

Фрезерные 3D станки данного вида имеют широкий диапазон настроек: это связано с различными характеристиками твердости разных видов металла. Для обработки крупных деталей рекомендуются станки с кареткой подвижного типа, а работа с небольшими заготовками может выполняться на оборудовании со сдвижным основанием.

Промышленные фрезерные 3D станки обычно оснащены функцией ЧПУ, поэтому подходят для серийного и массового производства однотипной продукции [69].

Промышленные агрегаты отличает:

- повышенный срок эксплуатации;
- устойчивость к внешним факторам и условиям работы;
- большое количество настроек и совместимость с насадками различного типа.

Промышленные гравировальные станки имеют большие габариты. Это оборудование используют крупные производства, имеющие достаточную площадь для установки. Цена промышленных моделей начинается от 100-150 тысяч рублей.

Настольные фрезерные 3D станки приобретают частные мастера, небольшие мастерские по гравировальным работам и компании, работающие с мелкой продукцией.

Данные модели имеют компактные размеры, могут оснащаться различными видами фрез и насадок, просты в обслуживании и ремонте. Стоимость мини-гравировальных станков начинается от 20-25 тысяч рублей.

С помощью небольших станков можно гравировать следующие виды продукции:

- сувениры (брелоки, жетоны, ручки и другие предметы);
- небольшие именные таблички, номера на дверь;
- ключи.

Проектированием и выпуском такого оборудования занимаются крупные компании, которые специализируются на производстве промышленных агрегатов и приспособлений.

Детали для сборки изготавливаются станочным методом, сборка на большинстве современных заводов автоматизирована частично или полностью [41].

Кроме различных видов гравировальной техники, производители предлагают муфельные печи, используемые для прогрева заготовок перед непосредственной обработкой, комплектующие детали и расходные материалы для обслуживания.

При выборе поставщика необходимо обратить внимание на спектр дополнительных услуг.

Многие компании, занимающиеся производством и продажей станков:

- предлагают сервисное обслуживание;
- проводят установку и запуск оборудования;
- выполняют ремонт любой сложности.

На продукцию должны предоставляться сертификаты качества и гарантийные документы. В среднем срок гарантии от производителя составляет 1-3 года в зависимости от конкретной модели станка [44].

## **Выводы по главе 1**

Проводя патентное исследование по теме работы, изучили назначение и основные функциональные особенности фрезерных станков с ЧПУ.

Фрезерные станки с ЧПУ позволяют обрабатывать различные виды материалов, таких как:

- керамических заготовок;
- заготовок из дерева;
- заготовок из черного и цветного металла;
- заготовок из камня;
- заготовок из пластика.

Основа обработки материала состоит в алгоритме выполнения операция на станке. В данной главы представлены основные операции, выполняемые на станке.

Фрезерный станок может выполнять следующие функции:

- фрезеровка;
- точение по заданным параметрам;
- расточка деталей;
- зенкерование;
- шлифовка;
- нанесение гравировки.

Для обработки деталей так же практикуется использование 3D фрезерных станков с ЧПУ. Во второй части данной главы произведен обзор выпускаемых станков в России. Стоит отметить, что данные станки выпускаются небольшим количеством.

В данной работе предлагается модернизация фрезерного 3D станка с ЧПУ. Для определения основных направлений темы в третьей части главы представлено описание основных деталей станка и их описание.



## **Глава 2 Совершенствование конструкции малогабаритного фрезерного станка с ЧПУ**

### **2.1 Обоснование рациональности предлагаемой разработки**

Фрезерный 3D станок с ЧПУ представляет собой универсальное устройство для обработки разных материалов.

Индивидуальность станков с числовым программным управлением заключается в их особенности работы, а именно, работая по заданной программе на станке создают объемные заготовки и изображения. Конструктивное исполнение и заданная программа напрямую зависит от группы обрабатываемых материалов [32].

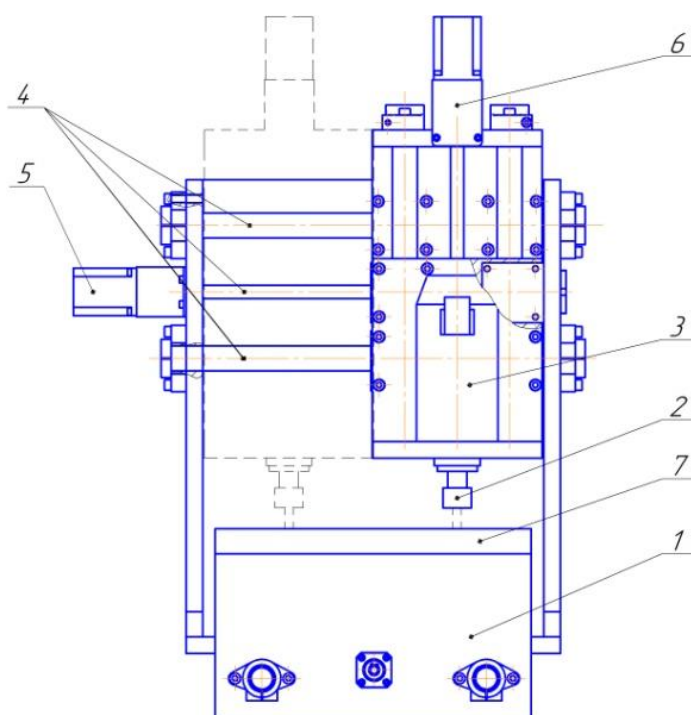
В качестве объекта исследования принимаем фрезерный 3D станок с ЧПУ предназначенный для учебно-практических занятий. Данный станок рассматривается как объект модернизации.

Любая модернизация оборудования имеет определенный смысл в качестве рациональности дальнейшего его использования, для определения рациональности требуется провести анализ рассматриваемого станка, а именно его конструкционных особенностей.

Рассматриваемый станок сконструирован на основе неподвижного стола, инструмент перемещается в трех осях: X, Y, Z относительно заготовки. Данное компоновочное решение позволяет снизить нагрузку на ось Y, тем самым увеличив: ресурс привода оси, точность позиционирования инструмента и обработки заготовки [32].

«Одним из самых главных недостатков данного станка является неподвижность рабочего стола. Подвижность стола требуется не для выполнения операции с заготовкой на станке, а для подачи, удобства крепления заготовки, возможности смещения центра заготовки или же оперирования во время работы [6].»

На рисунке 12 представлена схема рассматриваемого фрезерного станка с ЧПУ.



1 – Опора передняя; 2 – Шпиндель; 3 – Электродвигатель; 4 – Рейки передвижения рабочего органа; 5 – Привод продольного движения; 6 – Привод поперечного движения; 7 – Рабочий стол

Рисунок 12 – Схема фрезерного станка с ЧПУ

Основные характеристики трехкоординатного-малогабаритного станка с ЧПУ:

1. размер рабочей зоны: 287x194x133мм
2. точность позиционирования: 20-50 мкм
3. обороты шпинделя: 0-18 000 об/мин
4. количество программируемых координат: 3

Портальные станки имеют ряд преимуществ. Оборудование отличается такими параметрами:

1. быстрым действием;
2. устойчивостью к высоким динамическим нагрузкам;

3. мощным приводом главного движения и подач;
4. сохранением высокой точности и надежности во время работы;
5. экономией рабочей зоны.

Основной задачей подвижного рабочего стола будет являться его перемещение вперед и назад, для вывода изготовленной детали, и подачи заготовки [31].

Модернизация рассматриваемого станка является актуальной задачей в условиях домашней мастерской, а также для выполнения гравировальных работ, которые обычно не выполняются с помощью промышленных машин для фрезеровки.

«Тем самым рациональность предложенной модернизации является полностью оправданной. Начиная предложение по модернизации рабочего стола путем осуществления его подвижности вперед и назад, можно этим не ограничиваться, данную тему можно развивать и далее, осуществить возможность кругового вращения стола, или же угловое смещение. Тема является рациональной при ее реализации [6].»

## **2.2 Определение концепции фрезерного станка с ЧПУ**

Мини ЧПУ-станок – отличная возможность для тех, кто только пытается освоить возможности подобного оборудования. С такой компактной техники нередко развиваются полноценные предприятия различного масштаба. Благодаря такому оборудованию реализуют свои первые шаги многие специалисты, желающие вывести свое хобби на новый уровень. Такие гравировальные аппараты покупают начинающие предприниматели. Но первые шаги при поддержке высоких технологий даже в небольшом формате позволяют наладить мелкосерийное производство при незначительных затратах [21].

И наверняка многие хотели бы попробовать сделать эти шаги. Но недостаток информации (а проще говоря, неизвестность) и неуверенность останавливает часть потенциальных покупателей такой техники. И наша задача – стать лучом света в этом темном царстве неведения. Поэтому мы и предлагаем Вашему вниманию материал о том, что может домашний мини ЧПУ-станок и какую продукцию можно выпускать при помощи таких аппаратов.

Преимущества мини-станка с ЧПУ.

Эпоха, когда ЧПУ-оборудование было доступно только самым крупным предприятиям и состоятельным покупателям, давно минула. Сегодня свои силы в производстве сувенирной, рекламной, ювелирной и другой продукции с помощью такой техники может попробовать почти любой желающий [24]. И выбор именно компактного оборудования для гравировки вполне объясним. Его делают чаще всего в силу следующих причин:

Доступная цена на мини ЧПУ-станок. Далекое не все начинающие предприниматели обладают большими финансовыми возможностями для приобретения среднего и крупного по размерам оборудования. Купить же миниатюрный домашний аппарат для фрезерования или гравирования заготовок – это решение, что не нанесет существенного урона бюджету;

Отсутствие необходимости в большой производственной площади. Мини гравировальный станок лазерного или ударного типа может использоваться на нескольких квадратных метрах. В отсутствие мастерской производственной площадью может стать отдельный кабинет или даже жилая комната;

Использование более доступного воздушного охлаждения. Ввиду малой мощности шпинделя для фрезерного станка применение дорогой СОЖ для его охлаждения не требуется;

Модульная конструкция аппаратов. Это существенно облегчает сервисное обслуживание, ремонт, а также способствует повышению срока

службы станка в целом. Последнее достигается за счет разнесения рабочей части аппарата от электронного модуля управления на безопасное расстояние;

Быстрое начало работы. От получения аппарата до выпуска первого изделия при наличии навыков, знаний и модели обработки проходит несколько часов [27].

С другой стороны, недостатки компактных станков с числовым программным обеспечением также очевидны:

Ограниченный спектр обрабатываемых материалов. Это связано в первую очередь с твердостью металлов и большинства каменных пород. Многие из них на мини-фрезерном оборудовании обрабатываются неэффективно из-за недостаточной мощности аппарата;

Ограниченный спектр размеров заготовок, с которыми можно работать. Ввиду небольшого размера рабочего стола и четкой высоты размещения портала над ним габаритные заготовки при помощи такой техники обрабатывать весьма затруднительно или невозможно.

Стоит понимать, что мини-станки с ЧПУ являются представителями различных технологий. И от этого напрямую зависит, какую продукцию сможет изготавливать и предлагать своим заказчикам владелец такого аппарата. О производственных возможностях и специфике такой техники мы расскажем далее.

Лазерный гравировальный станок мини-формата. Миниатюрные аппараты лазерной резки и гравировки – современное и многофункциональное оборудование. Обработка поверхности заготовки происходит сфокусированным лучом света. За счет бесконтактного, но высокотемпературного локального воздействия этим аппаратом можно гравировать либо резать материалы, которые при механической обработке являются проблемными. К таковым относятся мрамор, ряд пластиков, тонкая фанера и другие. Кроме того, лазер как инструмент способен выполнять самые тонкие линии на поверхности обрабатываемых заготовок. Толщина

луча составляет 0,2 мм. Подобная точность при работе фрезами пока недоступна [20].

Благодаря специфике технологии, купивший лазерный гравировальный станок мини-формата бизнесмен может изготавливать широкий спектр изделий. Сувениры и рекламную продукцию, выполнять художественную гравировку по камню, дереву, стеклу и пластику, портреты на заказ на различных заготовках, фигурная резка деревянных конструкций, маркировка ткани и кожи – эти и многие изделия могут выполняться даже на миниатюрном лазерном станке с ЧПУ в домашних условиях.

Одним из наиболее современных и перспективных моделей среди всех кандидатур такого типа является станок Миртелс L5060. Ударный гравировальный станок мини-формата.

Специфика технологии аппарата такого типа заключается в гравировке заданного изображения или надписи механическим методом. Ударная алмазная игла с определенным усилием, соответствующим глубине гравировки конкретного материала, опускается на поверхность заготовки. Затем головка перемещается на короткое расстояние, чтобы снова выполнить ударное воздействие в новой точке траектории.

Как правило, домашний мини ЧПУ-станок ударного типа используется для производства элементов рекламной и сувенирной продукции, художественного оформления элементов декора и других несложных задач. К числу такого оборудования относится базовая модель линейки «Леонардо» - станок Миртелс T3040 [22].

Мини фрезерный станок с ЧПУ по дереву, по металлу или стеклу, разумеется, уступает по мощности и производственному потенциалу более крупным образцам такой техники. Да, с их помощью нельзя выточить шестерню или другой стальной элемент. Но для гравировки или обработки заготовки из сплавов цветных металлов мощности и скорости вращения шпинделя такого аппарата вполне хватит.

Именно поэтому в первую очередь такой компактный фрезер применяется для деревообработки и гравировки металлических изделий. Используя такое оборудование, можно придать форму или максимальную индивидуальность стандартным готовым изделиям. Отсюда и сфера применения подобных мини-фрезеров. Это сувенирная продукция, мелкосерийное изготовление наград и шильдов, гравировка надписей на небольших изделиях, отчасти – индивидуальные заказы мебельного производства [22].

### **2.3 Разработка методики совершенствования конструкции фрезерного станка с ЧПУ**

Проанализируем основные возможные передачи для рассматриваемой разработки.

Система передачи фрезерного станка предназначена для передвижения портала по осям X, Y и передвижения шпинделя по оси Z.

Существует два основных вида передачи для станков ЧПУ:

ШВП (шариково-винтовая передача);

ЗРП (зубчато-реечная передача);

ШВП ЧПУ может передвигать портал по осям X, Y или Z и представляет собой разновидность линейного привода, подача по которой осуществляется при помощи винт-гайки. Вал, как правило, стальной, изготовлен из высокоуглеродистых видов стали с беговыми дорожками, по которым и перемещается гайка с помощью шариков. Имеет небольшую скорость обработки и высокую точность (рисунок 13) [65].

Применяется ШВП станок в основном для высокоточной обработки изделий, к примеру, в ювелирной и сувенирной области. Мы чаще всего комплектуем наши станки ШВП HIWIN, т.к. за 12 лет работы в этой области данная система передачи ЧПУ зарекомендовала себя одной из самых надежных [46].

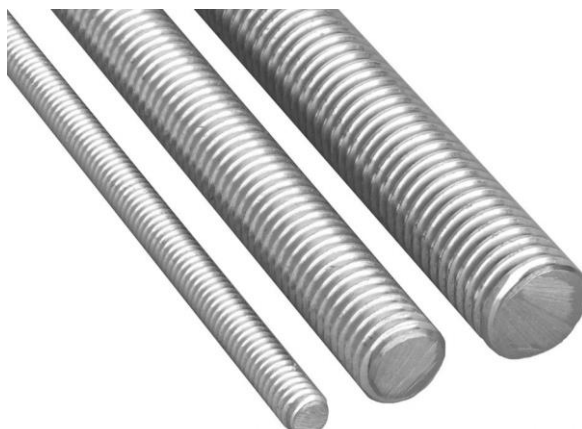


Рисунок 13 – Резьбовая шпилька

Зубчатая рейка на станках ЧПУ передвигает портал по осям X, Y (рисунок 14).



Рисунок 14 – Общий вид рейки

Зубчатая рейка для ЧПУ может работать на высокой скорости и идеально подходит для станков, обрабатывающих изделия больших форматов, где не требуется ювелирная точность. Например, рейка широко используется в ЧПУ для раскроя листового материала (фанера, композит).



## **2.4 Анализ эффективности предлагаемой разработки**

«Эффективность предлагаемой разработки заключается в повышении техники безопасности при работе на станке, а также в совершенствовании технологии обработки заготовок на фрезерных станках с ЧПУ» [6].

«Совершенствование подразумевает закрепление детали всеми возможными способами применимы на типовых фрезерных ЧПУ станках с выдвинутым рабочим столом, что увеличивает практичность использования данного оборудования» [6].

«Также подвижный рабочий стол осуществляет возможность по окончании обработки автоматически выдвинуть деталь от воздействия рабочего органа, для исключения брака» [6].

### **Выводы по главе 2**

В данной главе определили рациональность предлагаемой разработки.

«Рациональность предложенной модернизации является полностью оправданной. Начиная предложение по модернизации рабочего стола путем осуществления его подвижности «вперед» и «назад», можно этим не ограничиваться, данную тему можно развивать и далее, осуществить возможность кругового вращения стола, или же угловое смещение. Тема является рациональной при ее реализации» [6].

Так же проведен анализ возможных видов передач для использования при проектировании подвижного стола, наиболее подходящей выбрана реечная передача.

«Эффективность предлагаемой разработки заключается в повышении техники безопасности при работе на станке, а также в совершенствовании технологии обработки заготовок на фрезерных станках с ЧПУ» [6].

Совершенствование подразумевает закрепление детали всеми возможными способами применимы на типовых фрезерных ЧПУ станках с

выдвинутым рабочим столом, что увеличивает практичность использования данного оборудования.

Мы определили основные направления для увеличения качества предъявляемые к подвижному рабочему столу.

1. Для исключения брака при производстве продукции осуществить возможность по окончании обработки автоматически выдвинуть деталь от воздействия рабочего органа.

2. Конструкция рабочего стола должна быть проста в исполнении и в то же время наиболее универсальна в использовании.

3. Покрытие рабочего стола должно быть стойким к физическим воздействиям, истиранию и вмятинам.

4. Возможность установки дополнительных приспособлений.

## Глава 3 Проектирование приспособления для рассматриваемого станка

### 3.1 Конструктивный расчет предлагаемой конструкции

Производим расчет зубчатых колес и валов для передвижного стола фрезерного 3D станка с ЧПУ.

Материал колеса и шестерни: сталь 25ХГМ, термообработка колеса и шестерни - нитроцементация с закалкой; твёрдость поверхности зубьев – HRC 56...60, сердцевины HRC 32...45.

Расчёт ведём для самой нагруженной зубчатой передачи с вала V на вал VI с передаточным отношением  $i_9 = 0,253$ . Данная передача является прямозубой и состоит из шестерни 1 и колеса 2 с числами зубьев 17 и 67 соответственно. Крутящий момент на валу V =  $T_5 = 691,86$  Нм.

При расчёте параметров шестерни и колеса приписываем индекс 1 и 2 соответственно.

Расчёт ведём согласно методики расчетов деталей машин, применяя расчет валов и зубчатого колеса [5].

Модуль передачи должен удовлетворять условию:

$$m \geq K_m \times \sqrt[3]{\frac{T_5 \times K_f \times Y_{F1}}{Z_1 \times \psi_{bm} \times \sigma_{FP1}}}; \quad (1)$$

где  $k_m$  – вспомогательный коэффициент; для прямозубых передач,  $k_m = 1,3$ ;

$T_5$  – исходный расчётный крутящий момент на шестерне;

$K_f$  – коэффициент нагрузки на шестерни;  $K_f = 1,3$ ;

$Z_1$  – число зубьев шестерни;  $Z_1 = 17$ ;

$Y_{F1}$  – коэффициент, учитывающий форму зуба;  $Y_{F1} = 4,1$ ;

$\psi_{bm}$  – отношение ширины колеса  $b$  к модулю  $m$ ; рекомендуется ширину венца принимать равной 6-10 модулям:  $\psi_{bm} = 10$ ;

$\sigma$  - (сигма) допускаемое напряжение для материала шестерни, МПа.

Допускаемое напряжение на изгиб (МПа)

$\sigma_{FP} = 0,4\sigma_{Flimb} \times k_{FL}$ , где  $\sigma_{Flimb} = 641$  – предел выносливости материала зубьев, МПа определяем согласно ГОСТ 21354-87.

$k_{FL}$  – коэффициент режима нагружения и долговечности, учитывающий влияние режима нагружения на длительный предел выносливости при изгибе.

Коэффициент режима нагружения и долговечности:

$$k_{FL} = m_f \sqrt{\frac{N_{F0}}{N_{FE}}}; \quad (2)$$

где  $m_f$  - показатель кривой усталости;

$N_{F0}$  – базовое число циклов перемены напряжений при изгибе;

$N_{FE}$  – эквивалентное число циклов перемены напряжений. Для зубчатых колёс, подвергаемых улучшению  $m_f = 6$  и  $N_{F0} = 4 \times 10^6$ .

$$N_{FE} = 60 \times n \times t \times \mu_n = 60 \times 140 \times 104 \times 0,125 = 1,2 \times 10^7$$

где  $n$  – частота вращения, мин<sup>-1</sup>;

$t = 104$  – расчетный срок службы передачи, ч;

$\mu_n = 0,125$  для легкого режима нагружения.

Так как  $N_{FE} > N_{F0}$ , то принимаем  $k_{fl} = 1$ .

$$\sigma_{FP} = 0,4 \times 641 \times 1 = 256,4 \text{ МПа,}$$

Модуль передачи:

$$m \geq 13r \sqrt[3]{\frac{691r \cdot 1,3r \cdot 4,1}{17r \cdot 10r \cdot 256,4}} = 5,7 \text{ мм} \quad (3)$$

Принимаем  $m = 6$

Определяем основные геометрические параметры передачи

Делительные диаметры находим по формуле:

$$d_i = m \times z_i, \quad (4)$$

$$d_{w1} = 17 \times 6 = 102 \text{ мм.}$$

$$d_{w2} = 67 \times 6 = 402 \text{ мм.}$$

$$\text{Межосевое расстояние } a_w = \frac{d_1 + d_2}{2} = \frac{102 + 402}{2} = 252 \text{ мм}$$

Диаметр вершин и диаметры впадин зубьев:

$$d_{ai} = d_i + 2 \times m, \quad (5)$$

$$d_{fi} = d_i - 2,5 \times m. \quad (6)$$

Диаметры вершин зубьев:

$$d_{a1} = 102 + 2 \times 6 = 114 \text{ мм}$$

$$d_{a2} = 402 + 2 \times 6 = 414 \text{ мм.}$$

Диаметры впадин зубьев:

$$d_{f1} = 102 - 2,5 \times 6 = 87 \text{ мм.}$$

$$d_{f2} = 402 - 2,5 \times 6 = 387 \text{ мм.}$$

Ширина венца:

$$b_i = m \times \psi_{bm} \quad (7)$$

Ширину венца рекомендуется принимать равной 6-10 модулям [5].

Принимаем  $b_1 = 6 \times 8 = 48 \text{ мм.}$

$$b_2 = 6 \times 10 = 60 \text{ мм.}$$

Проектировочный расчёт на контактную выносливость зубьев.

Расчет выносливости:

$$d_{w1} = K_d \times \sqrt[3]{\frac{T_5 \times k_H}{\psi_{bd} \times \sigma_{HP}^2} \times \frac{u+1}{u}}, \text{ мм} \quad (8)$$

где  $K_d$  – вспомогательный коэффициент;

$K_d = 770$  для прямозубых передач;

$k_H$  – коэффициент нагрузки,  $k_H = 1,3$ ;

$u$  – передаточное число ( $u \geq 1$ );

$\psi_{bd}$  – отношение рабочей ширины венца передачи к начальному

диаметру шестерни,  $\psi_{bd} = \frac{b_1}{d_{w1}} = \frac{48}{102} = 0,47$

Допускаемое контактное напряжение для прямозубых передач:

$$\sigma_{HP} = 0,9 \times \frac{\sigma_{Hlimb}}{S_H}, \quad (9)$$

где  $\sigma_{Hlimb}$  – базовый предел контактной выносливости поверхности зубьев,  $\sigma_{Hlimb} = 1350$  МПа;

$S_H$  – коэффициент безопасности,  $S_H = 1,2$ .

$$\sigma_{HP1} = 0,9 \times \frac{1350}{1,2} = 1012,5 \text{ МПа}$$

Расчет выносливости:

$$d_{w1} = 770 \times \sqrt[3]{\frac{691 \times 1,3}{0,47 \times 1012,5^2} \times \frac{4+1}{4}} = 101,64 \quad (10)$$

Условие выполняется, т.к.  $d_{w1} = 102 > 101,64$  мм.

Проверочный расчёт на выносливость зубьев при изгибе

Удельная расчётная окружная сила (Н):

$$W_{Ft} = \frac{F_{Ft}}{b} \times k_{Fv} \times k_{Fa} \times k_{FB} = \frac{2000 \times T_5}{b \times d_1} \times k_{Fv} \times k_{Fa} \times k_{FB}, \quad (11)$$

где  $F_t$  – расчётная окружная сила, Н;

$b$  – ширина венца по основанию зуба, мм;

$k_{FV}$  – коэффициент, учитывающий динамическую нагрузку в зацеплении, которая возникает вследствие колебаний масс колёс и ударов в зацеплении;

$k_{FB}$  – коэффициент, учитывающий неравномерность распределения нагрузки по ширине венца, которая возникает в следствие погрешностей изготовления колёс, упругих деформаций валов, зазорах в подшипниках;

$k_{Fa}$  – коэффициент, учитывающий при расчёте прямозубых передач распределение нагрузки между зубьями.

Коэффициенты  $k_{FV} = 1$ ;  $k_{FB} = 1,15$ ;  $k_{Fa} = 1$ .

$$W_{Ft1} = \frac{2000 \times 691}{48 \times 102} \times 1 \times 1,15 \times 1 = 324 \text{ Н}$$

Расчётное напряжение изгиба зубьев:

$$\sigma_F = \frac{W_{Ft}}{m} \times Y_F \times Y_E \times Y_\beta, \quad (12)$$

где  $Y_F$  – коэффициент формы зуба,  $Y_F = 4,1$ ;

$Y_E$  – коэффициент, учитывающий перекрытие зубьев:  $Y_E = 1$ ;

$Y_\beta$  – коэффициент, учитывающий наклон зуба,  $Y_\beta = 1$ .

$$\sigma_{F1} = \sigma_{F2} = \frac{324}{6} \times 4,1 \times 1 \times 1 = 221,4 \text{ МПа.}$$

Допускаемое напряжение при расчёте зубьев на выносливость при изгибе:

$$\sigma_{FP} \frac{\sigma_{Flimb}}{S_F} \times K_{Fg} \times K_{Fa} \times K_{Fc} \times K_{x_F} \times K_{FL} \times Y_S \times Y_R, \quad (13)$$

где  $\sigma_{Flimb}$  – длительный предел выносливости зубьев при изгибе,

$\sigma_{Flimb} = 641$  МПа определяем по ГОСТ 21354-87;

$K_{Fg}$  – коэффициент, учитывающий влияние шлифования переходной поверхности зубьев,  $K_{Fg} = 1,1$ ;

$K_{Fa}$  – коэффициент, учитывающий влияние упрочнения переходной поверхности зубьев в результате механической обработки,  $K_{Fa} = 1,3$ ;

$K_{Fc}$  – коэффициент, учитывающий особенности работы зубьев при передаче реверсивной нагрузки,  $K_{Fc} = 0,65$ ;

$K_{xF}$  – коэффициент, учитывающий размеры зубчатого колеса,  $k_{xF} = 1,0$ ;

$K_{FL}$  – коэффициент режима нагружения и долговечности,  $k_{FL} = 1$ ;

$Y_S$  – коэффициент, отражающий чувствительность материала к концентрации напряжений;

$Y_R$  – коэффициент, учитывающий параметры шероховатости переходной поверхности зуба,  $Y_R = 1,2$ ;

$S_F$  – коэффициент безопасности.

Коэффициент  $Y_S$  находим по формуле:

$$Y_S = 1,1 \times m - 0,09 = 1,1 \times 6 - 0,09 = 0,93. \quad (14)$$

Коэффициент безопасности находим по формуле:

$$S_F = S'_F \times S''_F, \quad (15)$$

где  $S'_F$  – коэффициент безопасности, учитывающий нестабильность свойств материала зубчатого колеса и ответственность зубчатой передачи,  $S'_F = 1,75$ ;

$S''_F$  – коэффициент, учитывающий способ получения заготовки,  $S''_F = 1$ ;

$$S_F = 1,75 * 1 = 1,75.$$



$$\sigma_{FP} = \frac{641}{1,75} \cdot 1,1 \cdot 1,3 \cdot 0,65 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1,2 \cdot 0,93 = 379,9 \text{ МПа.}$$

В нашем случае  $\sigma_{FP} = 379.9 \text{ МПа} > \sigma_{Ft} = 221.4 \text{ МПа}$ , т.е. проверка на выносливость зубьев при изгибе выполняется.

Расчёт передачи на контактную выносливость зубьев

Удельную окружную силу находим по формуле:

$$W_{Ht} = \frac{F_{Ht}}{b_w} \times k_{Hv} \times k_{Ha} \times k_{H\beta} = \frac{2000 \times T_5}{b_w \times d_w} \times k_{Hv} \times k_{Ha} \times k_{H\beta}, \quad (16)$$

где  $F_t$  – расчётная окружная сила, Н;

$b$  – ширина венца по основанию зуба, мм;

$k_{Hv}$  – коэффициент, учитывающий динамическую нагрузку в зацеплении,  $k_{Hv} = 1$ ;

$k_{H\beta}$  – коэффициент, учитывающий неравномерность распределения нагрузки по ширине венца,  $k_{H\beta} = 1,15$ ;

$k_{Ha}$  – коэффициент, учитывающий при расчёте косозубых передач распределение нагрузки между зубьями,  $k_{Ha} = 1$ .

$$W_{Ht} = \frac{2000 \cdot 691}{48 \cdot 102} \cdot 1 \cdot 1,15 \cdot 1 = 324,6 \text{ Н.}$$

Расчётное контактное напряжение находим по формуле:

$$\sigma_H = z_H \times z_M \times z_E \sqrt[3]{\frac{W_{Ht}}{d_w} \times \frac{u+1}{u}}, \quad (17)$$

где  $Z_H$  – коэффициент, учитывающий форму сопряженных поверхностей зубьев в полюсе зацепления,  $Z_H = 1,76$ ;

$Z_M$  – коэффициент, учитывающий механические свойства материала сопряженных зубчатых колёс, для колёс из стали  $Z_M = 274$ ;

$Z_\epsilon$  – коэффициент, учитывающий суммарную длину контактных линий.

Коэффициент  $Z_\varepsilon$  определяем в зависимости от коэффициентов торцевого  $\varepsilon_a$  и осевого  $\varepsilon_\beta$  перекрытия:

$$\varepsilon_a = \left[ 1,88 - 3,2 \times \left( \frac{1}{z_1} + \frac{1}{z_2} \right) \right] = \left[ 1,88 - 3,2 \times \left( \frac{1}{17} + \frac{1}{67} \right) \right] = 1,64 \quad (18)$$

Так как передача прямозубая  $\varepsilon_\beta = 0$

Принимаем  $Z_\varepsilon = 0,8$ .

$$\sigma_H = 1,76 \Gamma \cdot 274 \Gamma \cdot 0,8^3 \sqrt{\frac{324}{102} \Gamma \frac{4+1}{4}} = 610,7 \text{ МПа.}$$

Допускаемое контактное напряжение для прямозубых передач:

$$\sigma_{HP} = \frac{\sigma_{Hlimb}}{S_H} \times Z_R \times Z_v \times k_L \times k_{xH} \times k_{HL}, \quad (19)$$

где  $Z_R$  – коэффициент, учитывающий параметр шероховатости поверхностей зубьев,  $Z_R = 1$ ;

$Z_v$  – коэффициент, учитывающий окружную силу  $v$ ,  $Z_v = 1$ ;

$k_L$  – коэффициент, учитывающий влияние смазочного материала,  $k_L = 1$ ;

$k_{HL}$  – коэффициент режима нагружения и долговечности;

$S_H$  – коэффициент безопасности;

$\sigma_{Hlimb}$  – предел выносливости зубьев на контактную выносливость;

Коэффициент режима нагружения и долговечности  $k_{HL}$  определяется по формуле:

$$k_{HL} = m_H \sqrt{\frac{N_{H0}}{N_{HE}}}, \quad (20)$$

где  $m_H$  – показатель кривой усталости;  $N_{H0}$  – базовое число циклов перемены напряжений при изгибе ( $N_{H0} = 120 \times 10^6$ );  $N_{HE}$  – эквивалентное число циклов перемены напряжений.

$$N_{HE} = 60 \times n \times t = 60 \times 45 \times 104 \times 0,125 = 3,375 \times 10^6, \quad (21)$$

где  $n$  – частота вращения,  $\text{мин}^{-1}$ ;  $t = 104$  – расчётный срок службы, ч;  
 $\mu_H = 0,125$  – для лёгкого режима нагружения.

Так как  $N_{HE} < N_{H0}$ , то принимаем по графику  $K_{HL} = 1,4$ .

$$\sigma_{HP} = \frac{1350}{1,2} \times 1 \times 1 \times 1 \times 1 \times 1,4 = 1575 \text{ МПа.}$$

В нашем случае  $\sigma_{HP} = 1575 \text{ МПа} > \sigma_H = 610 \text{ МПа}$ , что удовлетворяет условию.

Основные геометрические параметры зубчатых передач.

Рассчитаем для оставшихся передач модули и основные геометрические параметры. Результаты занесём в таблицу 4.

Таблица 4 – Расчет передач

i	m, мм	Zi	di, мм	dai, мм	dfi, мм	bi, мм
1	2	39	78	82	73	16
2		49	98	102	93	20
3	2.5	48	120	53	41.75	20
4		60	150	65	53.75	25
5	3	44	135	50	36.5	24
6		44	135	50	36.5	24
7		40	120	46	32.5	24
8		57	171	63	49.5	30
9	5	34	170	180	167.5	30
10		54	270	280	257.5	45
11	6	19	114	126	99	48
12	8	16	128	144	113	48
13	5	33	198	208	185.5	45
14		62	372	382	359.5	45
15	6	17	102	114	87	48
16		67	402	414	387	60
17	5	42	210	220	197.5	50
18		42	210	220	197.5	50

Межосевое расстояние найдём по формуле:

$$a_w = \frac{d_1 + d_2}{2} \quad (22)$$

$$\text{Между валами I и II: } a_w = \frac{78+98}{2} = 88 \text{ мм};$$

$$\text{Между валами II и III: } a_w = \frac{120+150}{2} = 135 \text{ мм};$$

$$\text{Между валами III и IV: } a_w = \frac{153+243}{2} = 198 \text{ мм};$$

$$\text{Между валами IV и V: } a_w = \frac{102+402}{2} = 252 \text{ мм};$$

Допуски межосевых расстояний для всех валов определяем по формуле:

$$\Delta = \pm(0.6 \dots 0.7)fa, \text{ мм}, \quad (23)$$

где  $fa$  – предельные отклонения межосевого расстояния по ГОСТ 1643-81, мм.

$$\Delta = \pm(0.6 \dots 0.7) * 0,05 = \pm(0.03 \dots 0.035) \text{ мм},$$

принимаем  $\Delta = \pm 0,035$ .

В результате проектировочного расчёта определяем ориентировочные значения диаметров валов. Этот расчёт ведётся только на кручение по известному крутящему моменту, передаваемому валом. Диаметр выходного конца вала или промежуточного вала под шестерней определяется по формуле:

$$d = \sqrt[3]{\frac{T * 10^3}{0,2[\tau]}}; \text{ мм} \quad (24)$$

где:  $[\tau] = 10-20$  – допускаемое напряжение на кручение  $[\tau] = 15 \dots 25$  МПа.

$$d_1 = \sqrt[3]{\frac{95,5 \text{r } 10^3}{0,2 \text{r } 15}} = 14,7 \text{ мм.}$$

Принимаем 15 из стандартного ряда.

$$d_2 = \sqrt[3]{\frac{116,98 \text{r } 10^3}{0,2 \text{r } 15}} = 33,9 \text{ мм.}$$

Принимаем 35 мм.

$$d_3 = \sqrt[3]{\frac{182,2 \text{r } 10^3}{0,2 \text{r } 20}} = 35,71 \text{ мм.}$$

Принимаем 35 мм.

Проверочный расчёт на статическую прочность.

Расчёт валов имеет специфические особенности, обусловленные конструктивным и кинематическим их исполнением. Для составления расчётной схемы необходимо иметь поперечное расположение валов. В курсовом проекте рассчитываем один вал расчётной кинематической цепи. Рассчитываем вал II [7].

Выполняем расчётную схему:

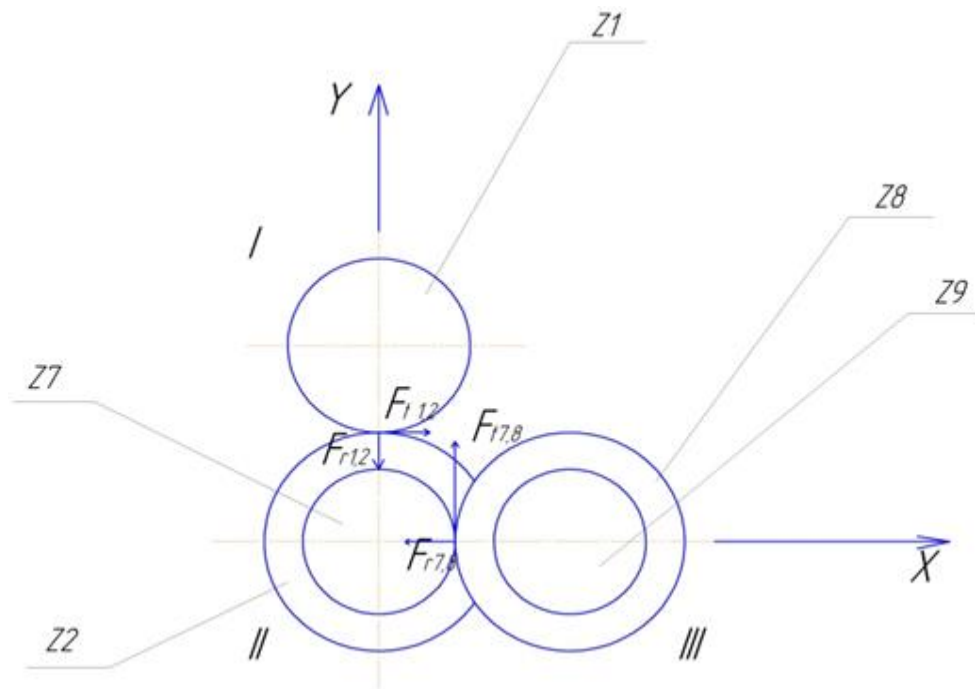


Рисунок 15 – Расчетная схема

С вала I на вал II движение осуществляется через передачу  $Z_1/Z_2$ , с вала II на вал III через передачу  $Z_7/Z_8$ .

Определяем силы в зацеплении.

Окружные силы:

$$F_{t1,2} = \frac{2T_2}{d_{w2}} = \frac{2 \times 116,98}{98} = 2,3 \text{ кН}$$

$$F_{t7,8} = \frac{2T_2}{d_{w8}} = \frac{2 \times 116,98}{171} = 1,36 \text{ кН}$$

Радиальные силы:

$$F_{r1,2} = F_{t1,2} \times \operatorname{tg}\alpha = F_{t1,2} \times \operatorname{tg}20^\circ = 2,3 \times 0,364 = 0,83 \text{ кН}$$

$$F_{r7,8} = F_{t7,8} \times \operatorname{tg}\alpha = F_{t7,8} \times \operatorname{tg}20^\circ = 1,36 \times 0,364 = 0,49 \text{ кН.}$$

$\alpha=20^\circ$  - угол зацепления.

Определяем реакции опор:

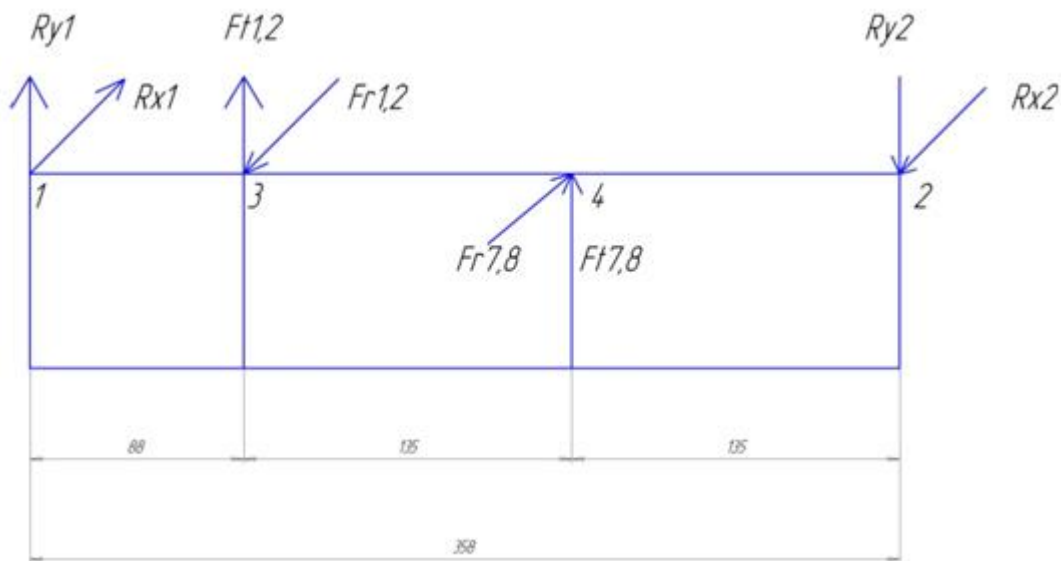


Рисунок 16 – Расчетная схема

Рассматриваем плоскость xz:

$$\Sigma M_1 = 0$$

$$F_{r1,2} \times l_1 - F_{t7,8} \times (l_1 + l_2) + R_{x2} \times (l_1 + l_2 + l_3) = 0;$$

$$R_{x2} = \frac{-F_{r1,2} \times l_1 + F_{t7,8} \times (l_1 + l_2)}{l_1 + l_2 + l_3} = \frac{-0,83 \times 88 + 1,36 \times (88 + 135)}{88 + 135 + 135} = 0,64 \text{ кН};$$

$$\Sigma M_2 = 0$$

$$F_{r7,8} \times l_3 - F_{r1,2} \times (l_2 + l_3) - R_{x1} \times (l_1 + l_2 + l_3) = 0;$$

$$R_{x1} = \frac{-F_{r7,8} \times l_3 + F_{r1,2} \times (l_2 + l_3)}{l_1 + l_2 + l_3} = \frac{-1,36 \times 135 + 0,83 \times (135 + 135)}{88 + 135 + 135} = 0,11 \text{ кН};$$

Рассматриваем плоскость yz:

$$\Sigma M_1 = 0$$

$$F_{t1,2} \times l_1 - F_{r7,8} \times (l_1 + l_2) + R_{y2} \times (l_1 + l_2 + l_3) = 0;$$

$$R_{y2} = \frac{-F_{t1,2} \times l_1 + F_{r7,8} \times (l_1 + l_2)}{l_1 + l_2 + l_3} = \frac{-2,3 \times 88 + 0,49 \times (88 + 135)}{88 + 135 + 135} = -0,26 \text{ кН};$$

$$\Sigma M_2 = 0$$

$$F_{r7,8} \times l_3 - F_{t1,2} \times (l_2 + l_3) + R_{y1} \times (l_1 + l_2 + l_3) = 0;$$

$$R_{y1} = \frac{-F_{r7,8} \times l_3 + F_{t1,2} \times (l_2 + l_3)}{l_1 + l_2 + l_3} = \frac{-0,49 \times 135 + 2,3 \times (135 + 135)}{88 + 135 + 135} = 1,54$$

Определяем изгибающие моменты:

Рассматриваем плоскость xz:

$$M_{3y} = -R_{x1} \times l_1 = -0,11 \times 88 = -9,68 \text{ Н*м};$$

$$M_{4y} = R_{x2} \times l_3 = 0,64 \times 135 = 86,4 \text{ Н*м};$$

Рассматриваем плоскость yz:

$$M_{3x} = R_{y1} \times l_1 = 1,54 \times 88 = 135,52 \text{ Н*м};$$

$$M_{4x} = -R_{y2} \times l_3 = 0,26 \times 135 = 35,1 \text{ Н*м};$$

Определяем эквивалентный момент для сечения с наибольшим изгибающим моментом:

$$M_9 = \sqrt{M_{4x}^2 + M_{4y}^2 + 0,75 \times T_2^2} = \sqrt{35,1^2 + 86,4^2 + 0,75 \times 116,98^2} = 137 \text{ Н*м};$$

Определяем диаметр вала в рассчитанном сечении:

$$d = 100 \sqrt[3]{\frac{M_9}{100 \times [\sigma_u]}} = 100 \sqrt[3]{\frac{137}{100 \times 60}} = 30 \text{ мм}$$

где  $[\sigma_u]$  - 50...60 МПа – допускаемое напряжение при изгибе.

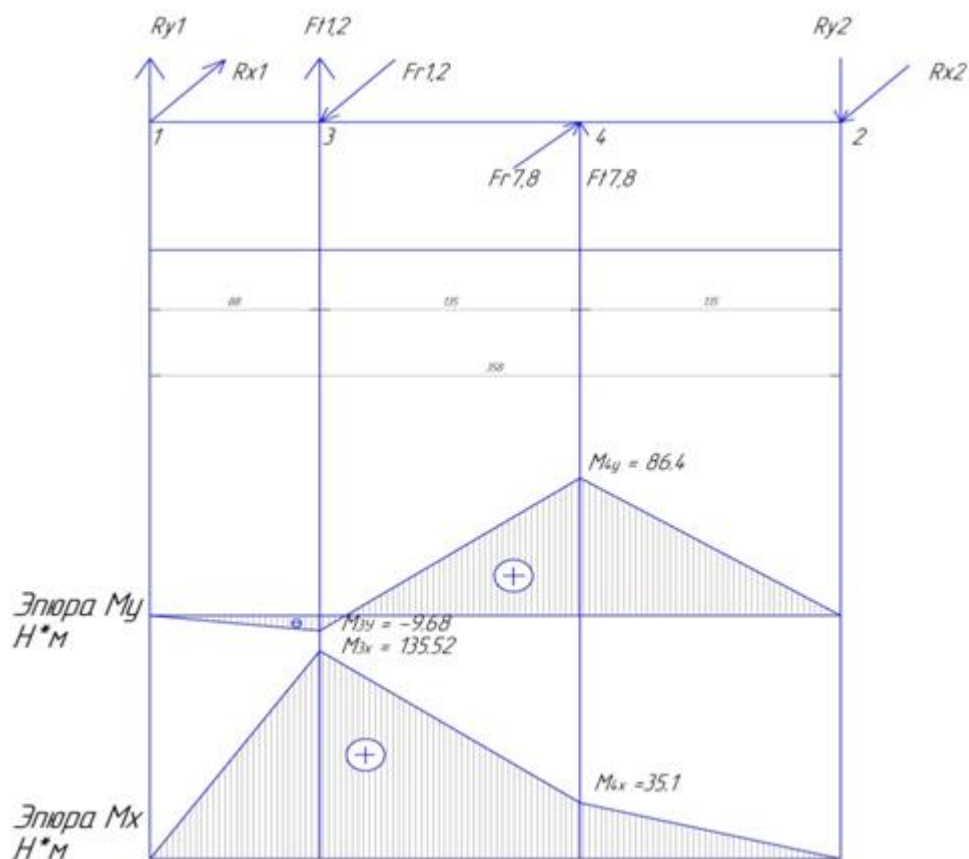


Рисунок 17 – Эпюры изгибающихся моментов

Данный расчет проводится с целью, определения размеров валов для модернизируемого привода рабочего стола. Расчет проводится для трех валов, приводного, ведомого, промежуточного. Такое применение валов, позволяет снизить нагрузку, тем самым увеличить срок их эксплуатации. В результате проектировочного расчёта определяем ориентировочные значения диаметров валов. Этот расчёт ведётся только на кручение по известному крутящему моменту, передаваемому валом.

Определили диаметры валов: приводного 15 мм, для промежуточного 35мм, для ведомого 35 мм.



### **3.2 Разработка системы управления малогабаритного фрезерного станка с ЧПУ**

Для самостоятельной сборки 3D фрезерного станка необходимо выбрать контроллер управления ЧПУ. Контроллеры бывают как многоканальные: 3х и 4х осевые контроллеры шаговых двигателей, так и одноканальные. Многоканальные контроллеры чаще всего встречаются для управления небольшими шаговыми двигателями, типоразмера 42 или 57мм (nema17 и nema23). Такие двигатели подходят для самостоятельной сборки ЧПУ станков с рабочим полем до 1м. При самостоятельной сборке станка с рабочим полем более 1м следует использовать шаговые двигатели типоразмера 86мм (nema34), для управления такими двигателями понадобятся мощные одноканальные драйвера с током управления от 4,2А и выше [14].

Для управления настольными фрезерными станками широко распространены контроллеры на специализированных микросхемах-драйверах управления ШД, например, ТВ6560 или А3977. Эта микросхема содержит в себе контроллер, который формирует правильную синусоиду для разных режимов полушага и имеет возможность программной установки токов обмоток. Эти драйвера предназначены для работы с шаговыми двигателями до 3А, типоразмеры ШД NEMA17 42мм и NEMA23 57мм.

Управление контроллером с помощью специализированных программ управления станком MACH3 или KCAM или Linux EMC2 и других, установленных на ПК. Рекомендуется использовать компьютер с процессором частотой не менее 1GHz и память 1 Гб. Используя ноутбук или ПК с памятью 512Мб рекомендуется провести оптимизацию системы под Mach3.

Для подключения к компьютеру используется параллельный порт LPT(для контроллера с USB интерфейсом порт USB).

С настольным гравировально-фрезерным станком из алюминия CNC-2020AL, в комплекте блок управления с возможностью регулировки оборотов шпинделя, рисунок 1 и 2, блок управления содержит драйвер шаговых двигателей на микросхеме TB6560AHQ, блоки питания драйвера шаговых двигателей ШД и блок питания шпинделя.

1. Один из первых контроллеров управления фрезерными станками с ЧПУ на микросхеме TB6560 был, получивший прозвище - «синяя плата», рисунок 3. Этот вариант платы много обсуждался на форумах, она имеет ряд недостатков. Первый - медленные оптроны PC817, что требует при настройке программы управления станком MACH3, вводить максимально допустимое значение в поля Step pulse и Dir pulse = 15. Вторым это плохое согласование выходов оптопар с входом драйвера TB6560, решается доработкой схемы. Третий - линейные стабилизаторы питания платы и в следствии этого большой перегрев, на последующих платах применены импульсные стабилизаторы. Четвертый - отсутствие гальванической развязки цепи питания. Реле шпинделя 5А, что в большинстве случаев недостаточно и требует применения более мощного промежуточного реле. К достоинствам можно отнести наличие разъема для подключения пульта управления. Этот контроллер в серии станков «Моделист» не применяется [14].

2. Контроллер управления ЧПУ станком, поступивший на рынок после «синей платы», получивший прозвище красная плата.

Здесь применены более высокочастотные (быстрые) оптроны 6N137. Реле шпинделя 10А. Наличие гальванической развязки по питанию. Есть разъем для подключения драйвера четвертой оси. Удобный разъем для подключения концевых выключателей.

3. Контроллер шаговых двигателей с маркировкой TB6560-v2 тоже красного цвета, но упрощенный, нет развязки по питанию. Маленький размер, но и в следствии этого меньше размер радиатора.

4. Контроллер в алюминиевом корпусе. Корпус защищает контроллер от пыли попадания металлических частей, он же служит и хорошим

теплоотводом. Гальваническая развязка по питанию. Есть разъем для питания дополнительных цепей +5В. Быстрые оптроны 6N137. Низкоимпедансные и конденсаторы Low ESR. Нет реле управления включением шпинделя, но есть два выхода для подключения реле (транзисторные ключи с ОК) или ШИМ управления скоростью вращения шпинделя.

5. 4х осевой контроллер фрезерно-гравировального станка с ЧПУ, интерфейс USB.

Данный контроллер не работает с программой MACH3, в комплекте своя программа управления станком.

6. Контроллер ЧПУ станка на драйвере ШД от Allegro A3977

7.Одноканальный драйвер шагового двигателя ЧПУ станка DQ542MA. Этот драйвер может использоваться при самостоятельном изготовлении станка с большим рабочим полем и шаговыми двигателями на ток до 4.2А, может работать и с двигателями Nema34 86mm.

### **3.3 Обоснование реализации малогабаритного фрезерного станка на современном рынке**

Фрезерный 3D станок с ЧПУ – уникальное оборудование.

Если необходимо произвести механическую обработку заготовки по плоскости на малую глубину, для этого потребуется фрезерно-гравировальный станок, который относится к особой категории фрезерного оборудования. При помощи таких станков на поверхности материала можно создавать сложные изображения (в том числе и объемные), производить раскрой заготовки и выполнять другие операции. Режущий инструмент (фреза) при работе погружается в материал на определенную глубину. Если речь идет о станке с ЧПУ, то глубина погружения и траектория реза определяются в предустановленной программе. На таком оборудовании

обработка материала осуществляется в автоматическом режиме с высокой точностью и минимальным процентом брака [18].

Благодаря широкому набору функций такое оборудование считается универсальным, за счет этого оно пользуется большой популярностью как среди крупных промышленных предприятий, так и среди небольших мастерских. Универсальность фрезерно-гравировального станка обеспечивается еще и за счет того, что он способен работать с разными по твердости материалами:

- дерево;
- камень;
- металл;
- пластик.

Тип обрабатываемого материала определяет особенности охлаждения. Например, дерево является достаточно мягким, поэтому для его обработки достаточно приобрести недорогой фрезерно-гравировальный станок с воздушным охлаждением. Для более твердых материалов, как камень или металл, потребуются дорогостоящие модели с жидкостным охлаждением. Для обработки металлических заготовок используется оборудование с мощной станиной, которая способна эффективно гасить вибрацию. Крепление заготовки в этом случае происходит при помощи пневматических, магнитных и механических фиксаторов.

Изготовленные при помощи такого оборудования изделия окружают нас повсюду, так как фрезерно-гравировальные станки используются для изготовления мебели, сувенирной и рекламной продукции, предметов интерьера и многого другого. Сфера применения во многом определяет характеристики оборудования. Например, такие станки могут использоваться для изготовления памятников, в этом случае критически важным является такая характеристика, как мощность шпинделя (ее должно хватать для работы с твердым мрамором и гранитом). Особенности использования

оборудования определяют еще и способ крепления, который может быть механическим или вакуумным [22].

Существует несколько модификаций такого оборудования:

- универсальные – модели отличаются вращающейся поверхностью стола;
- широкоуниверсальные – такое оборудование оснащено вспомогательными головками, у станков рабочий стол может устанавливаться в вертикальном положении (в этом случае шпиндели перемещаются поперек рабочей зоны);
- вертикальные – шпиндель расположен в вертикальном положении;
- горизонтальные – шпиндель установлен горизонтально;
- консольные – режущий инструмент перемещается в вертикальной и горизонтальной плоскости.

Некоторые поставщики промышленного оборудования, стремясь увеличить прибыль и минимизировать издержки, искусственно ограничивают выбор, из-за чего покупатель может не найти подходящего станка.

Ассортимент фрезерно-гравировальных станков по лучшим ценам настолько широк, что у потенциальных покупателей могут возникнуть сложности с выбором оптимальной модели. Чтобы избежать затруднений, мы обеспечиваем профессиональную консультацию и предоставляем помощь в выборе промышленного оборудования с учетом особенностей использования [29].

Промышленное оборудование состоит из нескольких элементов, каждый из них должен работать на высокое качество продукции. Например, выше говорилось, что станок должен иметь массивную станину, чтобы справляться с вибрационными нагрузками. Этот элемент обычно изготавливается из чугуна или других тяжелых сплавов. Для устойчивости к вибрации шпиндель оснащается как минимум тремя подшипниками и надежным креплением.

Качество готовой продукции зависит и от того, за какое количество проходов фрезы она изготавливается, максимально высокое качество можно обеспечить, если изделие изготавливается за один проход, но для этого размеры и площадь рабочего стола должны соответствовать габаритам заготовки. При покупке оборудования не лишним будет обратить внимание и на тип двигателя, так как шаговые двигатели обеспечивают высокую энергоэффективность, а сервоприводы – максимальную скорость обработки.

Тем самым применение 3D фрезерного станка с ЧПУ может осуществляться в любой сфере деятельности, но наиболее актуальная это производство [33].

Применение станков на производстве наиболее актуально для небольших компаний и предприятий, а использование станка может быть как и по дереву так и по металлу.

Разумеется, по сравнению с профессиональным крупногабаритным станком техника мелкогабаритного класса заметно проигрывает в функциональности, выносливости и по ряду других параметров. Тем не менее, у нее есть очевидные преимущества, среди которых:

- Простота обслуживания и эксплуатации. Чем меньше и проще агрегат, тем легче его при необходимости отремонтировать или произвести замену нужной детали.

- Работа от двухфазной сети 220В позволяет использовать технику даже в домашних условиях без необходимости доступа к сети 380В.

- Низкий уровень шума в процессе работы сказывается как на производительности труда, так и на комфорте окружающих, особенно если станок эксплуатируется в домашних условиях.

- Высокая мобильность техники сводит на нет серьезные расходы на транспортировку и хранение техники.

- Возможность при небольшом наборе функций выполнять задачи любой сложности за счет универсальной конструкции станка.

– Доступная цена – один из ключевых плюсов ручных фрезерных станков по металлу.

### 3.4 Технико-экономическое обоснование пути совершенствования

Расчёт экономического эффекта от производства и использования новых средств труда долговременного применения с улучшенными качественными характеристиками за срок их службы производится по формуле:

$$\Delta = \left[ C_1 \times \frac{N_2}{N_1} \times \frac{a_1 + E_n}{a_2 + E_n} + \frac{(I_1 - I_2) - E_n \times (K_2' - K_1')}{a_2 + E_n} - C_2 \right] - N_2, \text{ тыс. руб.} \quad (25)$$

где  $C_1$  и  $C_2$  — приведенные затраты на единицу соответственно базового и нового средства труда (они могут быть заменены ценами на базовую и новую технику); по данным базового предприятия  $C_1 = 15$  тыс. руб.,  $C_2 = 17,8$  тыс. руб. (32,8 тыс. руб. — затраты на модернизацию станка);

$N_1$  и  $N_2$  — годовые объёмы продукции (работы), производимой при использовании единицы базового и нового средства труда в натуральном выражении;

$\frac{N_2}{N_1}$  — коэффициент учёта роста производительности нового средства труда по сравнению с базовым. Поскольку модернизация приведёт к росту производительности станка примерно на 1 %, то этот коэффициент равен 1,01;  $a_1$  и  $a_2$  — доля отчислений от балансовой стоимости на полное восстановление базового и нового средства труда (при укрупнённых расчётах рассчитываются как величины, обратные срокам службы средств труда). Срок службы станка принят 15 лет;

$\frac{a_1 + E_n}{a_2 + E_n}$  — коэффициент учёта изменения срока службы нового средства труда по сравнению с базовым. Поскольку модернизация не приведёт к изменению срока службы станка, то этот коэффициент равен 1;

$E_n$  — нормативный коэффициент эффективности капитальных вложений (0,15);  $(I_1 - I_2)$  — изменение годовых эксплуатационных издержек в результате проведённой модернизации. Проведена оценка экономии эксплуатационных затрат. Она составляет 29100 руб.  $K'_1$  и  $K'_2$  — сопутствующие капитальные вложения потребителя (без учёта стоимости рассматриваемых средств труда) при использовании базового и нового средства труда в расчёте на объём продукции (работы), производимой с помощью нового средства труда. В нашем случае они отсутствуют;  $N_2$  — годовой объём производства новых средств труда в расчётном году в натуральных единицах [66].

Экономический эффект от проведения модернизации одного станка равен:

$$\mathcal{E} = \left[ 15 \times 1,01 \times 1 + \frac{29,1}{\frac{1}{15} + 0,15} - 17,8 \right] \times 1 = 116,3 \text{ тыс. руб.}$$

По проведенным расчетам экономической эффективности от проведенной модернизации получили эффект в размере 116,3 тыс. руб. тем самым это показывает, что проведенная модернизация является эффективной и актуальной.

### **Выводы по главе 3**

В данной главе произведен расчет основных конструкционных деталей модернизируемого стола фрезерного 3D станка с ЧПУ. Основными деталями являются валы и зубчатые колеса, передающие движение рассматриваемого стола.

В первой части произвели расчет валов на статическую прочность, определили наиболее подходящий диаметр валов для модернизации выдвигного стола.



Для надежной работы фрезерного станка с разработанным столом требуется проводить постоянное его обслуживание.

Техническая диагностика оборудования – оценка текущего состояния объекта с целью определения необходимых мероприятий для исключения непредвиденных поломок и ухудшения качества работы оборудования.

Задачи диагностирования оборудования:

- Выявление неполадок оборудования, выяснение их причин, подготовка к ремонту.

- Продление остаточного ресурса. По истечению нормативного срока службы, указанного в паспорте, позволяет значительно продлить срок эксплуатации.

- Оценка технического состояния в процессе монтажа (демонтажа), эксплуатации, ремонта. Позволяет определить степень износа оборудования в целом, так и отдельных его узлов, технические характеристики, риски при монтаже (демонтаже), эксплуатации и ремонте.

- Контроль при приобретении. Снижает риск приобретения бракованного и некачественного устройства.

- Диагностические работы (разовые или по графику) включают в себя профилактический осмотр и выявление возможных дефектов (или необходимости регулировки) узлов и механизмов оборудования.

- Разовые диагностические работы проводятся по факту неисправности.

- Диагностические работы по графику более предпочтительны. Они, как правило, позволяют предотвратить поломку оборудования, а, следовательно, и его длительный простой.

По результатам произвели расчет экономического эффекта разработки подвижного стола, по результатам расчета экономический эффект от модернизации составляет 116,3 тыс. рублей.

## **Глава 4 Обзор и выбор программного обеспечения для 3D фрезерного станка с ЧПУ**

### **4.1 Создание программ для фрезерных станков с ЧПУ**

Современные фрезерно-токарные станки с ЧПУ управляются программным методом. Для их работы необходимо запустить определенный код. Составление программы довольно сложное, этим может заниматься только специализированный программист. Для работы с кодом необходимо иметь соответствующее образование.

Работа программистом ЧПУ довольно сложная и ответственная. Технолог должен владеть специальным языком программирования. В его основе лежит код, который понимают машины. Оператор станка должен пройти не только обучение, но и практику. Профессия появилась довольно давно, поэтому способов овладеть ею много [45].

Стоит отметить, что научиться писать программы для фрезерно-токарных станков самостоятельно невозможно. На производстве может работать только профессионал с соответствующим специальным образованием. Специальная программа позволяет обработать деталь на станке определенным образом. Прописываются материал и технология работы с ним, нужный конечный вид элемента.

Один оператор может работать сразу с несколькими станками, что повышает производительность.

На сегодняшний день для написания программы для станка используются другие программы. Это существенно ускоряет и упрощает процесс, однако, деятельность специалиста все равно сложно назвать простой. Должностные обязанности программиста ЧПУ такие.

Разработка моделей и технических процессов, по которым производятся элементы на станке [45].

Создание, внедрение и настройка программ для ЧПУ.

Отладка кода и контроль работы оборудования.

Контроль за тем, чтобы детали соответствовали требованиям конструктивных документов.

Консультация и обучение других операторов.

Создание архивов с программами. Нужно следить за их сохранностью.

Непосредственное участие в процессе закупки нового оборудования, его первого использования.

Составление технической документации.

Для получения знаний можно поступить в техникум профильного направления. Альтернативой является прохождение курсов подготовки операторов ЧПУ. Последние обычно организуются производствами, которые хотят набрать специалистов. Такое обучение особо хорошо тем, что можно сразу поработать со станками [46].

При обучении в техникуме можно получить основные знания по программированию с CAD и CAM системами. Следует отметить, что выпускники образовательных учреждений могут работать как программистами ЧПУ, так и отладчиками. После окончания обучения специалисты имеют такие навыки.

Работа с использованием AutoCAD.

Знание фрезерно-токарных станков.

Управление всеми технологическими процессами. Понимание основ системы управления станками ЧПУ.

Умение настраивать промышленное оборудование в системе CAM и CAD.

Специалист должен хорошо знать английский язык. Это обязательно для понимания технической документации. В современных техникумах программистов ЧПУ обучают комплексно, поэтому устроиться на работу потом довольно просто. Главное, на производстве не возникает проблем при знакомстве с оборудованием.

## 4.2 Обзор современных программ управления ЧПУ

Программы для ЧПУ гораздо лучше работают в среде Линукс. Существует даже специально созданная для такой деятельности операционная система «CNC Linux». Она оптимизирована для нормальной работы со станком посредством использования порта LPT.

Количество софта для ЧПУ велико. Он различен по своему функционалу и предназначению. Некоторый софт требует наличия мощных ЭВМ. Другие образцы способны работать на менее мощных компьютерах.

Можно выделить следующее программное обеспечение:

«Visual CAD/CAM 2014». Это пакет софта, в состав которого входит программное обеспечение, необходимое для создания управляющих программ для 3-осевых фрезеров. Кроме того, данный пакет содержит средства, визуализирующие процесс обработки;

«Feature CAM 2011». Одна из наиболее известных утилит, которые применяются для моделирования и изготовления изделий сложной конструкции, и технологической оснастки. Автомобильная, аэрокосмическая, машиностроительная и энергетическая отрасли промышленности уже не первый год пользуются данным программным обеспечением;

«Gibbs CAM». Предназначена для двух – пяти осевых фрезеров. При помощи данного программного обеспечения также можно заниматься несколькими видами моделирования (2D, 3D, поверхностное, каркасное и т.д.);

«Art CAM». Лучшая утилита, с помощью которой можно проектировать объемные рельефы. Примечательной особенностью данного ПО является отсутствие необходимости дальнейшей ручной доработки.

Перечисленные выше программы для ЧПУ хорошо справляются со своей работой. Уже не первый год ими пользуются разные предприятия во всем мире [48].

Отдельно стоит упомянуть американское ПО «MATH 3». Оно подходит для разных видов фрезеров, плоттеров и токарных станков. Широко используется как профессионалами, так и любителями [50].

При помощи данной программы для фрезерного станка с ЧПУ можно:

- управлять несколькими координатами (до шести);
- импортировать графические изображения разных форматов напрямую;
- создавать управляющее ПО;
- управлять таким показателем, как частота вращения шпинделя;
- применять ручные генераторы импульсов;
- создавать пользовательские M-коды.

Для использования данного софта необходимо обладать ОС «CNC Linux». В противном случае обеспечить корректную работу ПО не удастся.

Процесс создания программы управления ЧПУ состоит из нескольких этапов. Как пример можно привести создание проекта для резьбы по дереву. Станки ЧПУ программируются в связке программного обеспечения «CAD/CAM», поэтому весь процесс работы будет состоять из трех этапов:

Создание модели изделия. Для этого используются 3D редакторы. Работу выполняют специально обученные дизайнеры, к услугам которых и необходимо будет прибегнуть. Создаваемая модель может в будущем воплощаться в разных масштабах и размерах [51].

Создание управляющей программы. Для этого используется ПО, описанное выше. Готовая модель будущего изделия импортируется в выбранный софт. В соответствии с ее размерами, формой, типом фрез и другими параметрами составляется соответствующее ПО.

Фрезерование. Команды управляющей программы считываются станком, благодаря чему работающие органы устройства перемещаются по заранее созданным координатам, выполняя предписанные действия.

Работа со станком, управляемым при помощи ЧПУ, требует определенных знаний. Однако наличие специального программного обеспечения облегчает эту задачу [51].

Таким образом, работа станков с числовым программным управлением невозможна без специальных программ. Они создаются при помощи отдельного софта. Сегодня существует большое количество такого ПО. Разный софт отличается как по функциональности, так и по требованиям к ЭВМ. Хотя для работы с ПО необходимы определенные знания, многочисленные инструкции облегчают процесс обучения.

### **4.3 Особенности программирования фрезерных 3D станков с ЧПУ**

Для управления автоматизированными обрабатывающими центрами применяется язык программирования, созданный специально для этих целей, — G-Code. Программа генерации G-кодов для станков с ЧПУ была разработана американской компанией Electronic Industries Alliance. В СССР программа была введена стандартом ГОСТ 20999-83 и в технической литературе получила наименование ISO 7-bit (ИСО 7-бит).

Система G-кодов для управления оборудованием с ЧПУ и 3D-принтерами представляет собой высокоуровневый язык. Программа содержит список команд, расположенных в определенной последовательности, и может при необходимости редактироваться в любом текстовом редакторе. Также она открывается в специализированных приложениях G-CodeViewer или Simplify3D.

Алгоритм работы обрабатывающего центра задается набором команд, расположенных в установленном порядке. Программы, созданные на основе джи-кодов для станков с ЧПУ, отличаются жесткой структурой. Отдельные команды группируются в кадры; в некоторых из них команда может быть одна, в других — несколько. Все группы, за исключением первой, в

обязательном порядке нумеруются и начинаются символом номера. Допускается добавление комментариев в круглые скобки [54].

Элементарные команды в кадрах выполняются в один и тот же промежуток времени, но традиционно размещаются в такой последовательности:

- подготовительные,
- установка координат передвижения,
- задание обрабатываемого режима,
- технологические.

У подавляющего большинства интерпретаторов языка G-команд для станков с ЧПУ число элементарных команд в пределах кадра не превышает шести. Они могут быть как модальными, так и немодальными. Первые используются для изменения настроек или параметров, и их действие распространяется на все следующие за ними кадры вплоть до появления другой модальной команды. Соответственно, немодальные команды работают только в пределах своей группы.

Интерпретаторы программного языка, содержащего коды для ЧПУ, сохраняют показатели введенных данных на все время работы алгоритма. Изменение их происходит путем отмены или последующей модальной командой. Это упрощает процесс разработки и делает необязательным задание всех параметров в каждом кадре [60].

Подготовительные программные коды имеют разные функции и управляют различными технологическими операциями. Так, некоторые из них устанавливают линейную или круговую скорость перемещения рабочих органов оборудования, а другие задают режимы обработки детали. С их помощью указываются значения параметров, и осуществляется управление координатными системами: относительной и абсолютной [61].

Для удобства освоения и использования все команды разделены на группы по определенному признаку. Перечислим основные:

- G00–G04 определяют позиционирование инструмента или иных рабочих органов обрабатывающего центра.
- G17–G19 производят изменение рабочих параметров.
- G40–G44 вводят компенсации линейных размеров некоторых узлов и деталей станка.
- G54–G59 отвечают за переключения между разными системами координат.

Полный перечень групп G-кодов можно найти в справочниках по программированию на описываемом языке. Операторы станков с ЧПУ, как правило, изучают такие справочники в полном объеме.

Расшифровка всех G-кодов для ЧПУ дается в таблицах, которые можно найти в профильной учебной и технической литературе. Рассмотрим подробнее наиболее часто используемые команды:

G00. Скоростное позиционирование. Применяется для задания показателей перемещения рабочих органов в исходное положение перед началом работ или перевода их в безопасное положение. Эта команда не используется в процессе обработки заготовок из-за высокой скорости инструмента, поскольку это может привести к повреждению оборудования.

G01. Линейная интерполяция. Оператор управляет движением рабочего органа по прямой, а скорость его перемещения устанавливается при помощи символа F с добавлением двузначных числовых значений. Направление при этом задается литерами X и Y. Запись кода имеет следующий вид: G01 X31 Y75 F45. Отмена действия команды осуществляется операторами G00, G02 и G03.

G02. Вращательное движение по часовой стрелке. Рабочий орган перемещается по сложной траектории, при этом линейная скорость определяется параметром F. Положение дуги, по которой инструмент движется на плоскости, устанавливается параметрами I, J и K.



Полная таблица кодов для ЧПУ содержит порядка 100 позиций с подробными описаниями команд. Выдержки из нее часто приводятся на профильных форумах в обсуждениях специалистов.

Перечисленные G-команды для ЧПУ считаются основными, но наряду с ними при написании программ используются и другие символы. Они имеют следующие значения:

M — вспомогательные функции. С их помощью осуществляется выбор другого инструмента или обращение к процедуре подпрограммы, обеспечение ее запуска или прекращения работы.

S задает параметры перемещения рабочих органов оборудования.

F определяет показателя подачи инструмента.

T, D и H также осуществляют управление инструментом обрабатывающего центра.

Эти команды, помимо буквенных символов, содержат числовые параметры. Они указывают направление и скорость движения рабочих органов фрезерно-гравировальных устройств.

Функционал языка G-кодов для станков с ЧПУ предусматривает возможность циклического выполнения некоторого набора команд, в том числе размещенных в разных частях алгоритма. Такие неоднократно выполняемые последовательности операций называются подпрограммами, а каждая из них реализует заданный сценарий. При этом управление перемещением инструмента производится в системе относительных (инкрементных) координат. Переход к подпрограмме задается специальной командой G90, а выход из нее — G91.

В описании тела подпрограммы обязательно содержатся M-команды для ЧПУ, например, M30 (окончание). После нее допустимо использование команды M02, обозначающей завершение основной программы с именем вида O111 и любым другим аналогичным. Количество выполнений подпрограммы задается необязательным параметром L с числовым

значением, например, L5. Тело обязательно завершается командой M99, предписывающей переход в основную программу.

Система M-кодов для ЧПУ допускает вложение подпрограмм одна в другую по принципу матрешки. При этом вызов вложения осуществляется специальным оператором. Количество уровней определяется конкретной версией программы-интерпретатора [62].

Далее рассмотрим алгоритмы создания программ для получения детали на фрезерном 3D станке по двум направлениям.

Одно из направлений создания программы является ручное программирование создание деталей на фрезерный станках с ЧПУ (рисунок 18).

Данный метод наиболее актуален при проектировании и создании простых деталей [64].

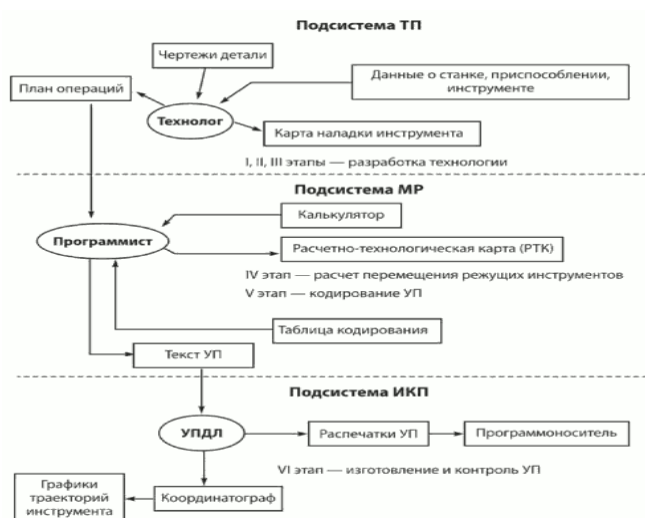


Рисунок 18 – Ручное программирование

Так же существует и автоматизированное программирование станка с ЧПУ (рисунок 19). При автоматизированном программировании число операций составляет бесчисленное множество, поэтому данный метод применяется в основном для сложных деталей с разнообразными переходами [70].



Рисунок 19 – Автоматизированное программирование станка с ЧПУ

Определим поэтапно порядок создания детали на фрезерном 3D станке с ЧПУ.

1. Подготовка 3D-модели, по которой будет производиться фрезеровка.
2. Процесс САМ. Нужно указать станку, как вырезать деталь из тела заготовки: задать размер детали, подобрать инструмент для обработки, указать траекторию движения станка.
3. Загрузка программы обработки в станок с ЧПУ.
4. Запуск станка.

Подготовка управляющей программы для станка с ЧПУ при помощи Mach3.

Задание заготовки

1. Для того чтобы написать ЧПУ программу, нужно перейти из режима DESIGN в режим MANUFACTURE.
2. Задаем заготовку нажатием на строку New Setup в меню SETUP.
3. В меню справа в блоке Model нажимаем на кнопку Body и выбираем тело, которое нужно фрезеровать.

4. Правильно располагаем оси станка. Для этого меняем ориентацию оси Z и выбираем любую плоскость, которая перпендикулярна ей.

5. В меню справа указываем габариты заготовки.

6. Чтобы расположить нижнюю плоскость тела на нижней плоскости заготовки, в поле Model Position выбираем значение Offset from bottom (Z), а в поле Offset выставляем значение «0».

7. Переносим нулевую точку на нижнюю плоскость заготовки. Для этого в меню справа нажимаем на кнопку Vox Point и выбираем нижнюю точку.

Создание инструментов.

1. Переходим в библиотеки инструментов.

2. Создаем библиотеку инструментов.

3. Добавляем нужный инструмент в библиотеку, нажав сначала значок «+», а затем выбрав инструмент.

4. Выполняем настройки инструмента на нескольких вкладках:

General — общая информация об инструменте,

Cutter — размерные характеристики,

Cutting Data — параметры режима фрезерования,

Post Processor — настройка номера инструмента.

5. При необходимости добавляем еще инструменты.

Написание траекторий черновой обработки детали.

1. Для черновой обработки выбираем траекторию Pocket Clearing.

2. Выбираем инструмент для выполнения черновой обработки.

После выбора все его параметры отобразятся в меню справа.

3. В том же меню, на вкладке Geometry, настраиваем область обработки траектории. В строке Machining Boundary меняем значение на Silhouette.

4. Чтобы оставить припуск для чистовой обработки, в строке Tool Containment меняем значение на Tool outside boundary и устанавливаем дополнительный зазор в 2 мм.

5. Параметры на вкладке Height обычно настраиваются автоматически, но в некоторых случаях нужны ручные изменения. Например, если нужно изменить верхнюю или нижнюю границу обработки.

6. На вкладке Passes настраиваем режимы резания и стиль поведения инструмента.

7. На вкладке Linking меняем стиль захода фрезы в материал. После всех настроек нажимаем на кнопку ОК.

Написание траекторий, которые очистят деталь от припуска.

1. В меню 3D выбираем строку Horizontal, после чего в меню справа нажимаем на кнопку ОК. Данная траектория сама вычисляет плоские поверхности на детали и обрабатывает их.

2. Очищаем припуск с внешнего контура детали. Для этого выбираем строку 2D Contour в меню 2D.

3. Фреза выбирается автоматически. Кликаем на вкладку Geometry, выбираем нижний контур детали и нажимаем на кнопку ОК.

4. Проверяем с помощью симуляции, как будет происходить фрезерование. Синие области — это поверхности, на которых остался припуск, а зеленые — поверхности, которые уже обработаны в допуск.

Обработка отверстий, скруглений и фасок

1. Для обработки отверстий выбираем строку Vore в меню 2D и нажимаем на отверстия. При этой операции фреза будет двигаться спирально.

2. Так как в отверстиях есть фаски, выбираем высоту фрезерования вручную и делаем подачу резания меньше.

3. Чтобы делать скругления, используем траекторию Scallop — она находится в меню 3D.

4. Выбираем из библиотеки инструментов сферическую фрезу.

5. В меню справа переходим на вкладку Geometry, на модели обозначаем область скругления двумя контурами и выбираем область с большим количеством скруглений.

6. Ставим галочку в меню рядом с Contact Point Boundary. Она нужна, чтобы фреза обработала самую нижнюю часть скругления.

7. Чтобы фреза не трогала уже обработанную поверхность, ставим галочку рядом с Avoid/Touch Surfaces и выбираем эти поверхности.

8. На вкладке Passes настраиваем шаг чистовой обработки, ставим галочку рядом с Smoothing и нажимаем ОК.

9. Чтобы посмотреть, все ли правильно сделано, запускаем симуляцию.

10. Для обработки фасок на отверстиях нужно использовать ту же траекторию, что и для скругления. Поэтому можно скопировать настройки предыдущей траектории и поменять в них область скругления.

Перевод с языка программы в G-код.

1. Нажимаем на кнопку постпроцесса и в открывшемся окне выбираем станок и его модель. Перед этим нужно выбрать весь этап обработки, а не отдельную траекторию

2. Сохраняем программу на съемном носителе.

Работать со станком нужно в очках и респираторе. Перчатки же можно использовать только при выключенном станке

1. Устанавливаем фрезу в цангу и затягиваем ее ключами.

2. Зануляем фрезу, используя автоматическую таблетку зануления. Для этого подводим фрезу к ней, в программе нажимаем Занулить и убираем таблетку.

3. Зануляем заготовку по осям X и Y. Чтобы это сделать, подводим фрезу к перекрестью диагоналей и обнуляем координаты.

4. Загружаем управляющую программу и запускаем станок.

#### **Выводы по главе 4**

В данной главе рассмотрели наиболее популярное программное обеспечение для управления 3D фрезерным станком с ЧПУ. Все представленное ПО является бесплатным. Скачать программу для ЧПУ

станка можно на официальных сайтах рассматриваемого программного обеспечения. Ознакомились с особенностями софта, чтобы подобрать наиболее подходящий вариант, обладающей необходимой совместимостью с используемым станковым и компьютерным оборудованием.

Для исследуемого станка наиболее подходящим является Mach 3. Для создания и настройки программы обработки деталей на фрезерном 3D станке требуется специальная подготовка. Обучение операторов проводится непосредственно на оборудовании специальными учебными комбинатами или же заводом изготовителем. Обучение оператора работе с оборудованием проходит во время всей процедуры инсталляции, оператору объясняются принципы работы с ПО, возможные ошибки, неисправности и методы их устранения. Каждый этап очень важен и требует должной квалификации и знаний.

Периодически в процессе эксплуатации оборудования происходят чрезвычайные ситуации с программным обеспечением. Это может быть и вирусная атака персонального компьютера (ПК), выход из строя самого ПК, даже случалась кража из производственного помещения, и другие подобного рода проблемы. В таких случаях оборудование остается работоспособным, но абсолютно бесполезным без управляющего программного обеспечения (ПО) [39].

В результате этих проблем возникает необходимость выполнить повторную установку и настройку ПО оборудования. Но что делать, когда нет знаний об установке и настройке ПО, а также нет установочных файлов этого самого ПО. При подобных проблемах возникает вопрос о привлечении специалиста по точной настройке и программы обработки. Специалист проверяет схожесть программы, установленной на ЧПУ, проверяет программу обработки, выполняет перенастройку, а также откатывает программу до начальных настроек.

## Заключение

В заключение следует отметить универсальность рассматриваемых в данной работе станков. Фрезерные 3D станки с ЧПУ получили широкое распространение в области малого и среднего бизнеса в различных отраслях и сферах производства, которые не требуют больших инвестиций и капиталовложения. Для работы на ЧПУ станке необходимы первичные навыки настройки и программирования программы управления обработкой детали, или же достаточно пройти спецкурс. Настольный фрезерный станок занимает мало места и работать на нем можно даже дома или в гараже. Он максимально подходит для стабильного и прибыльного бизнеса, хобби, семейного дела.

Сферы применения гравировального фрезерного станка:

1. Рекламный бизнес: с помощью ЧПУ станка можно изготавливать эмблемы, логотипы, визитки, буквы в объеме и другие элементы наружной рекламы.

2. Макеты для строительных компаний; визуальные инструменты продаж для выставок и презентаций.

3. Мебельное производство: эксклюзивное изготовление фасадов с возможностью создания объемных узоров, рельефов, деталей мебели. Производство столов и стульев.

4. Изготовление дверей, обналичников, балясин.

5. Сувенирные изделия, декоративная продукция. Изобилие товаров и возможностей привели к тому, что стало крайне сложно выбрать, например, подарок человеку. Оригинальные подарки хенд-мейд приобретают особую ценность, гарантируя уникальность каждой вещи.

6. Коптеры, изготовления деталей для радиоуправляемых моделей. Коптер открывает новую сферу своего применения, а именно: доставку. За рубежом к ней прибегает все большее количество почтовых компаний и интернет-магазинов. Услуга набирает популярность и в нашей стране,



поэтому владелец коптера приобретает одну из самых перспективных профессий.

7. Техническое моделирование и конструирование: автомоделирование, авиамоделирование, судомоделирование, моделирование сельскохозяйственных машин.

8. Настольные игры (шахматы, нарды), 3D конструкторы (сборные модели)

9. Для типографии: изготовление клише, штампов, визиток, печатных плат.

10. Ювелирная продукция, гравировка, изготовление восковых моделей (восковка). В основе ювелирного производства лежит технология точного литья по выплавленным восковым моделям. Оборудование с программным управлением позволяет данным способом получать изделия с высокой степенью проработки деталей.

11. Макеты для научно-исследовательских работ и презентаций, например: Макеты поселений на Луне и Марсе.

12. Детали для автомобилей, Фрезеровка деталей RC моделей для драграйсинга.

13. Изготовление кухонной утвари и декоративных ее элементов.

14. Изготовление форм для создания эксклюзивных плиток шоколада, печенья и других кондитерских изделий.

15. Производство топперов. Топпер (topper)- рекламная конструкция или элемент верхней части рекламной конструкции, возвышающийся над размещаемой под ним продукцией. Топпер позволяет выделить рекламируемый товар, фирменный стенд бренда или компании из общего информационного пространства. Сейчас очень популярно использовать различные топперы при организации праздников, юбилеев, дней рождения, свадеб, а также фото и видеосессий. В кондитерских изделиях топпер-верхушка торта, он выглядит более оригинально по сравнению со

стандартными фигурками, например, на свадьбе и будет прекрасной альтернативой классическим статуэткам.

Популярность использования подобного рода станка позволяет изучать данную тему в целях улучшения производительности станка и его надежности. Тем самым определяется актуальность проводимой работы и выполненного анализа.

Для роста уровня развития производства рано или поздно поднимается вопрос о модернизации.

В нашем случае в качестве совершенствования станка предлагается реализовать идею подвижного стола, с индивидуальным приводом, и управлением при помощи ЧПУ станка.

«Эффективность предлагаемой разработки заключается в повышении техники безопасности при работе на станке, а также в совершенствовании технологии обработки заготовок на фрезерных станках с ЧПУ» [6].

«Совершенствование подразумевает закрепление детали всеми возможными способами применимы на типовых фрезерных ЧПУ станках с выдвинутым рабочим столом, что увеличивает практичность использования данного оборудования» [6].

«Также подвижный рабочий стол осуществляет возможность по окончании обработки автоматически выдвинуть деталь от воздействия рабочего органа, для исключения брака» [6].

В результате расчетов произвели выбор приводного механизма, ей является зубчатая рейка. Так же произведен расчет валов для передачи движение поворотному столу от электродвигателя.

В результате проведенной модернизации произвели примерный, потому как расчет является индивидуальным для каждой сферы деятельности, расчет экономической эффективности от внедрения разработки. Экономическая эффективность от внедрения подвижного стола составила 116,3 тыс. рублей.

## Список используемых источников

1. Воронов Д.Ю., Попова Т.Н., Воронова Е.М., Стороженко О.М. Модель организации проектной деятельности студентов технических направлений подготовки в высших учебных заведениях // Цифровые технологии в инженерном образовании: новые тренды и опыт внедрения. Сборник трудов Международного форума. 2020. С. 388-396.

2. Гордеев А.В. Оптимизация технических параметров при решении инженерных задач / А.В. Гордеев, Н.Ю. Логинов. / Вектор науки Тольяттинского государственного университета. – Тольятти: 2015. – № 4 (34). – С. 25-30.

3. 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.

4. 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.

5. 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.

6. 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 110 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.

7. 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.

8. 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");

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

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

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

12. 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.

13. 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.

14. Зубарев, Ю.М. Динамические процессы в технологии машиностроения. Основы конструирования машин: Учебное пособие / Ю.М. Зубарев. - СПб. : Лань, 2018. - 212 с. 115

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

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

17. Левашкин Д.Г. Обеспечение точности базирования сменных узлов призматической формы на основе анализа размерных цепей обработки их базирующих отверстий / Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Машиностроение. – Челябинск: 2015. – Т. 15.№ 2. – С. 5-12.

18. Левашкин Д.Г. Образовательная модель проектно-ориентированной подготовки молодых специалистов инженерно-технических направлений в концепции индустрия 4.0 / Д.Г. Левашкин., Н.Ю. Логинов, А.А. Козлов, В.А. Гуляев / В сборнике: Виртуальное моделирование, прототипирование и промышленный дизайн Материалы IV Международной научно-практической конференции. – Тамбов: 2017. – С. 345-351.

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

20. Михайлов А.В. Основы проектирования технологических процессов машиностроительных производств / А.В. Михайлов, Д.А. Расторгуев, А.Г. Схиртладзе / Старый Оскол: издательство «тонкие наукоемкие технологии» – 2018. – (2-е изд., стер.).

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

22. Попова Т.Н. Проблема защиты интеллектуальной собственности, созданной студентами в рамках проектной деятельности. В сборнике: Управление интеллектуальной собственностью в цифровом обществе. Всероссийская научно-практическая конференция. Москва, 2018. С. 22-24.

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

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

25. Шевелев И.В. Магистерская диссертация. Разработка трёхкоординатного фрезерного станка с ЧПУ центра «Формула Станок». Тольятти, 2019. Журнал «Интернаука» № 13 (189), часть 1, 2021 г. 100

26. Самодельный ЧПУ станок [Электронный ресурс] – URL: <http://homescnc.ru/> (дата обращения 23.04.2021).

27. «Мастерской Инструмент, приспособления и мастерская » Станки ЧПУ (CNC)» Тема: Станок ЧПУ - своими руками. Стоит ли заниматься?

[Электронный ресурс] – URL: 116  
<http://forum.woodtools.ru/index.php?topic=39849.0> (дата обращения:  
02.01.2021).

28. Производство и продажа фрезерно-гравировальных станков и комплектующих к ним [Электронный ресурс] – URL: <https://cnc-tehnologi.ru/> (дата обращения: 18.02.2021).

29. Сервотехника. Когда нужна точность [Электронный ресурс] – URL: <http://servotechnica.ru/catalog/type/brand/serie/index.pl?id=202> (дата обращения: 04.01.2021).

30. Станки с ЧПУ и комплектующие [Электронный ресурс] – URL: <https://purelogic.ru/> (дата обращения: 22.12.2020).

31. Сообщество владельцев 3D-принтеров [Электронный ресурс] – URL: <https://3dtoday.ru/> (дата обращения: 11.12.2020).

32. Форум Каменский Станкостроительный Завод. Всё по станкам чпу и не только [Электронный ресурс] – URL: <https://777russia.ru/forum/viewtopic.php?id=549> (дата обращения: 15.05.2021).

33. ЧПУ Моделист станки с ЧПУ для хобби и бизнеса [Электронный ресурс] – URL: <https://cncmodelist.ru/> (дата обращения: 14.03.2021).

34. 3D репликатор. Настройка [Электронный ресурс] – URL: <http://www.3dreplicator.ru/> (дата обращения: 07.02.2021).

35. Блог 8 Про АйТи и около айтишные темы Восстанавливаем Arduino Nano [Электронный ресурс] – URL: <http://did5.ru/arduino/vosstanavlivaemarduino-nano.html> (дата обращения: 17.05.2021).

36. Информационно-аналитический электронный журнал [Электронный ресурс] – URL: <http://planetacam.ru/college/learn/4-2/> (дата обращения: 27.12.2020).

37. О нашем агентстве – будущее уже наступило [Электронный ресурс] – URL: <http://www.3dpulse.ru/about/> (дата обращения: 10.12.2020).

38. Новости аддитивных технологий [Электронный ресурс] – URL: <http://3d.globatek.ru/blog/> (дата обращения: 02.04.2021).

39. 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: 23.02.2021).

40. КЛАССИФИКАТОР ВЫПУСКАЕМОЙ ПРОДУКЦИИ [Электронный ресурс] – URL: <https://777russia.ru/> (дата обращения: 11.02.2021).

41. Сборка блока управления для станка с ЧПУ. Часть 1. Запуск двигателей [Электронный ресурс] – URL: <https://www.youtube.com/watch?v=91gpA1qS-yE> (дата обращения: 15.01.2021).

42. Список форумов «Предложения покупки/продажи/услуг «Продано [Электронный ресурс] – URL: <http://www.cncclub.ru/forum/viewtopic.php?f=19&p=263740&t=10843> (дата обращения: 09.01.2021).

43. Будущее здесь. Роботобаза [Электронный ресурс] – URL: <https://robotbaza.ru/> (дата обращения: 10.02.2021).

44. КАК СОБРАТЬ САМОДЕЛЬНЫЙ ФРЕЗЕРНЫЙ СТАНОК С ЧПУ + ЧЕРТЕЖИ И СХЕМЫ! [Электронный ресурс] – URL: <https://www.stankoff.ru/blog/post/87> (дата обращения: 17.01.2021).

45. Строим самодельный фрезерный ЧПУ станок [Электронный ресурс] – URL: <https://vseochpu.ru/samodelnyj-chpu-frezernyj-standok/> (дата обращения: 22.12.2020).

46. Сообщества» Сделай Сам» Блог» Создание ЧПУ станка с ноля своими руками. [Электронный ресурс] – URL: <https://www.drive2.ru/c/2141798/> (дата обращения: 11.12.2020).

47. Станок ЧПУ своими руками схема чертежи [Электронный ресурс] – URL: <http://studvesna73.ru/07/23/5612/> (дата обращения: 14.02.2021).

48. Обучение ЧПУ – есть вечерние группы! [Электронный ресурс] – URL: <https://intech-stanki.ru/obuchenie-chpu/> (дата обращения: 08.01.2021).



49. EASY CNC (самодельные ЧПУ машины) [Электронный ресурс] – URL: <https://vk.com/club154603846> (дата обращения: 06.05.2021).
50. Сборка механики самодельного ЧПУ станка [Электронный ресурс] – URL: <https://www.youtube.com/watch?v=eOoxAm3qI2s> (дата обращения: 11.04.2021).
51. Поставщик мини станков с ЧПУ и аксессуаров [Электронный ресурс] – URL: <https://www.mini-stanki.ru/> (дата обращения: 19.01.2021).
52. Комплексные 3D решения [Электронный ресурс] – URL: <https://3dtool.ru/> (дата обращения: 21.02.2021).
53. СТАНКИ ЧПУ STEEPLINE [Электронный ресурс] – URL: <https://steepline.ru/> (дата обращения: 04.03.2021).
54. Выбор шпинделя. Воздушное или водяное охлаждение? [Электронный ресурс] – URL: <http://www.cncclub.com/forum/viewtopic.php?f=152&t=10605> (дата обращения: 25.01.2021).
55. ЧПУ часть 2 Станина – CNC - ЧПУ [Электронный ресурс] – URL: <https://www.youtube.com/watch?v=MjKBf5EJ8m0> (дата обращения: 14.03.2021).
56. Фрезерный станок с ЧПУ. Сборка механики. Cnc mill. Assembly mechanics. [Электронный ресурс] – URL: <https://www.youtube.com/watch?v=qjx1RRG91Fc> (дата обращения: 28.01.2021).
57. ЧПУ 2x2 метра v2 [Электронный ресурс] – URL: <https://www.youtube.com/watch?v=ТусQTJurZew> (дата обращения: 12.02.2021).
58. 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: 26.03.2021).

59. ЧПУ станок 1,7x1,3 метра [Электронный ресурс] – URL: <https://www.youtube.com/watch?v=v9WyhiQIKYI> (дата обращения: 09.02.2021).

60. Фрезеровка деталей для 3D принтера на ЧПУ [Электронный ресурс] – URL: <https://www.youtube.com/watch?v=FKvJ1gXoePs> (дата обращения: 10.05.2021).

61. 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: 05.01.2021).

62. 3D принтер своими руками. Механика [Электронный ресурс] – URL: <https://www.youtube.com/watch?v=0F0VIj0JOJo> (дата обращения: 15.02.2021).

63. Самодельный 3д принтер. Качай STL файлы деталей. Big 3d printer [Электронный ресурс] – URL: <https://www.youtube.com/watch?v=NnKeVHEdYzc> (дата обращения: 10.01.2021).

64. Шпиндель 2.2кВт (водянка) против 1,5.кВт (воздушник). Кто громче? fb04 - 15 [Электронный ресурс] – URL: <https://www.youtube.com/watch?v=WANKldA4cKg> (дата обращения: 21.04.2021).

65. КОНСТРУКЦИОННЫЙ ПРОФИЛЬ И СОЕДИНИТЕЛЬНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ [Электронный ресурс] – URL: <https://soberizavod.ru/> (дата обращения: 20.04.2021).

66. Как собрать самодельный фрезерный станок с ЧПУ + Чертежи и схемы! - Блог Станкофф.RU [Электронный ресурс] – URL: <https://za.pinterest.com/pin/540291286528878147/> (дата обращения: 08.03.2021).

67. Фрезерно-гравировальный станок с ЧПУ 6090 с асинхронным шпинделем [Электронный ресурс] – URL:

<https://zaxis.ru/stanki/frezernye/gravirovalny-standok-vozmozhnosti/cnc6090.html>  
(дата обращения: 11.02.2021).

68. Baranov P.P., Mamychев A.Yu., Plotnikov A.A., Voronov D. Yu., Voronova E.M. Problems of legal regulation of Robotics and Artificial Intelligence in Russia: Some approaches to the solution // Dilemas Contemporaneos Educacion Politica Y Valores. - 2019 - Vol. 6, № SI. - Article number 34.

69. Chuan Li, Diego Cabrera, Fernando Sancho, René-Vinicio Sánchez, Mariela Cerrada, Jianyu Long, José Valente de Oliveira. Fusing convolutional generative adversarial encoders for 3D printer fault detection with only normal condition signals./ Mechanical Systems and Signal Processing. – 2021 – Vol. 147 – P. 107.

70. Loginov N.Yu., Levashkin, D.G., Kozlov, A.A., Gulyaev, V.A. The educational model of project-oriented training of young professionals technical and engineering directions in the concept Industry 4.0. / Engineering education. – 2018 – Vol. 23 – P. 77-82.

71. Loginov N., Levashkin D., Kozlov A., Borovitskaya M., Gulyaev V. The Project-Oriented Educational Model for Training of Young Engineering Professionals on the Example of the Project “CNC-Team” / Proceedings of the 2019 International Conference on Pedagogy, Communication and Sociology - ICPCS 2019 – P. 78-81. – doi: <https://doi.org/10.2991/icpcs-19.2019.18>.

72. Thingiverse Featured [Электронный ресурс] – URL: <https://www.thingiverse.com/> (дата обращения: 14.03.2021).

73. Shaohui Zhang, Xiang Duan, Chuan Li, Ming Liang. Pre-classified reservoir computing for the fault diagnosis of 3D printers./ Mechanical Systems and Signal Processing. – 2021 – Vol. 146 – P. 134

Сертификат о публикации статьи в научном журнале «Интернаука»



Генеральный директор  
Издательство «Интернаука»

И.А. Гулин



09.04.2021  
Москва