

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ
ФЕДЕРАЦИИ
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего
образования
«Тольяттинский государственный университет»

Институт машиностроения

(наименование института полностью)

Кафедра «Промышленная электроника»

(наименование)

11.03.04 Электроника и нанoeлектроника

(код и наименование направления подготовки/специальности)

Электроника и робототехника

(направленность (профиль)/специализация)

**ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА
(БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА)**

на тему Система управления малогабаритным лазерным станком с ЧПУ

Обучающийся

Т. А. Баушин

(Инициалы Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель

к.т.н., доцент, А. А. Шевцов

(ученая степень (при наличии), ученое звание (при наличии), Инициалы Фамилия)

Консультант

к.т.н., доцент, Д. Г. Левашкин

(ученая степень (при наличии), ученое звание (при наличии), Инициалы Фамилия)

Тольятти 2025

Аннотация

Тема выпускной квалификационной работы: «Система управления малогабаритным лазерным станком с ЧПУ».

Общий объем выполненной бакалаврской работы составил 52 страниц, используется 13 таблицы, 19 рисунков, библиографических источников – 20. Графическая часть содержит 6 листов формата А1.

В бакалаврскую работу входит введение, два раздела, и итоговое заключение.

В первом разделе производится обзор технологии, и выбор схематичного решения. Производится описание принципов работы блока управления.

Во втором разделе определяются параметры используемых компонентов, и объясняется выбор необходимых элементов для разработки. Приводятся базовые характеристики каждого компонента, для определения показателей надёжности и энергопотребления системы.

Проведён электрический расчёт для определения соответствия мощности источника питания имеющейся нагрузке.

Определение показателей надёжности необходимо для оценки эксплуатационных свойств продукта, понимания ресурсоёмкости и продолжительности безотказной работы устройства.

Разработка электрической принципиальной схемы устройства, блок-схемы алгоритма работы, написание программного кода и технологической карты контроля работоспособности необходима для создания, ремонта и обслуживания устройства.

Расчёт стоимости устройства даёт возможность оценить экономический эффект от внедрения данной разработки.

Изготовление прототипа станка позволяет протестировать устройство.

В заключении подведены итоги проведенной работы.

Abstract

The topic of the final qualifying work: "Control system of a small-sized CNC laser machine".

The total volume of the bachelor's work was 52 pages, 13 tables, 19 figures, and 20 bibliographic sources are used. The graphic part contains 6 sheets of A1 format.

The bachelor's thesis includes an introduction, two sections, and a final conclusion. The first section provides an overview of the technology and a choice of a schematic solution. The principles of operation of the control unit are described.

The second section defines the parameters of the components used, and explains the selection of the necessary elements for development. The basic characteristics of each component are given to determine the reliability and energy consumption of the system.

An electrical calculation has been performed to determine whether the power supply corresponds to the available load.

The determination of reliability indicators is necessary to assess the operational properties of the product, to understand the resource intensity and uptime of the device.

The development of an electrical schematic diagram of the device, a block diagram of the operation algorithm, writing a program code and a technological health monitoring card is necessary for the creation, repair and maintenance of the device.

Calculating the cost of the device makes it possible to assess the economic effect of the implementation of this development.

Making a prototype of the machine allows you to test the device.
In conclusion, the results of the work carried out are summarized.

Содержание

Введение	5
1 Обзор технологии	6
1.1 Обзор принципа работы лазерного станка с ЧПУ	6
2 Опытно-экспериментальная часть.....	10
2.1 Конструкторский раздел.....	10
2.1.1 Обзор компонентной базы для сборки лазерного станка с ЧПУ	10
2.1.2 Электрический расчет узла лазерного станка с ЧПУ	19
2.1.3 Расчет надёжности узлов	22
2.1.4 Разработка электрической принципиальной схемы лазерного станка с ЧПУ	27
2.1.5 Программирование контроллера ESP 32	31
2.2 Технологический процесс сборки оборудования.....	36
2.2.1 Разработка технологической карты контроля работоспособности блока управления лазерного станка с ЧПУ	36
2.3 Расчет стоимости изделия лазерный станок с ЧПУ.....	37
2.4 Изготовление прототипа лазерного станка с ЧПУ	41
Заключение	46
Список используемой литературы.....	48
Приложение А.....	50

Введение

Развитие промышленных технологий и оборудования для обработки материалов включает активно развивающуюся лазерную резку и гравировку, ставшую ключевым элементом многих отраслей промышленности. Центральное место в этом процессе занимают лазерные станки с ЧПУ, обеспечивающие высокоточное изготовление изделий из разнообразных материалов. Разработка таких станков представляет собой важную и актуальную задачу, учитывая их широкое применение – от рекламного производства до обработки металла и древесины. Их использование позволяет существенно снизить затраты на обработку, повысить эффективность и качество выпускаемой продукции. Целью данной работы является исследование процесса разработки лазерного станка с ЧПУ. Для ее достижения планируется использовать комплекс методов: анализ научных источников, проектирование устройства, оценку результатов лазерной обработки и подбор необходимых компонентов.

Создание лазерного станка с ЧПУ – сложная инженерная задача, требующая участия специалистов различных профилей и учета факторов, таких как: тип и мощность лазерной трубки, выбор системы управления и программного обеспечения.

Помимо проработки базовых элементов станка, необходимо проработать повышение качества обработки материалов, для этого предлагается добавить в конструкцию систему автоматической регулировки высоты головки, которая позволит снизить процент брака.

Результаты исследований по выпускной квалификационной работе применяются для создания, перепроектирования или модернизации существующих установок, что подтверждает актуальность и перспективность исследований в данной области.

1 Обзор технологии

1.1 Обзор принципа работы лазерного станка с ЧПУ

Принципиальная схема, представлена на Рисунке 1. Основой схемы лазерного станка с ЧПУ является контроллер AWC7813, выбранный из-за высокой скорости обработки данных, наличия удобных интерфейсов для подключения обвязки и внешних управляющих устройств. Подключение к компьютеру возможно двумя способами, по интерфейсу USB или Ethernet. Также данный контроллер имеет на своём борту вход для подключения USB Накопителя, что позволяет работать с устройством в автономном режиме без подключения к ПК. Такая опция позволяет работать с большим количеством станков одновременно, и запускать на каждом станке свою программу из памяти. [12]

При загрузке программы управления в станок посредством USB носителя или кабельного соединения, можем приступить к подготовке станка к работе – занулению инструмента и регулировке фокусного расстояния линзы. В состав управляющей головки входят: Цилиндрический корпус с зеркальным отражателем, сопло с закреплённой внутри фокусирующей линзой и датчиком расстояния, шаговый двигатель (M4) с винтовой передачей для выставления расстояния. Механическая схема представлена на Рисунке 2. Выставление фокусного расстояния необходимо для обеспечения качественной резки материала по всей его толщине. Перемещение рабочей головки станка по координатам X и Y осуществляется с помощью шаговых двигателей (M1, M2, M3) управляющимися драйверами двигателя DM542. На перемещение оси Y используется два двигателя для повышения точности и недопущения перекоса портала станка. [14]

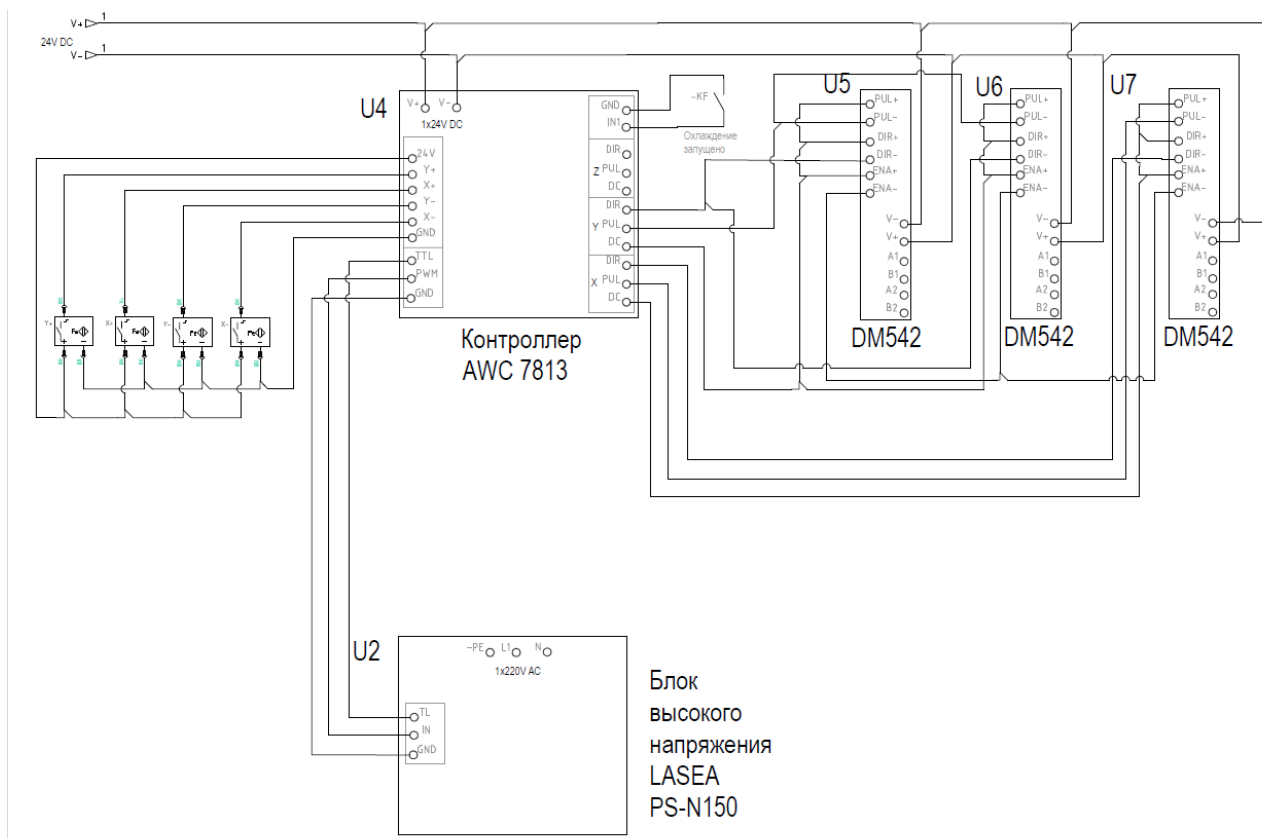


Рисунок 1 –Принципиальная схема лазерного станка с ЧПУ

Ключевым преимуществом шаговых двигателей является высокая точность перемещения, что позволяет перемещать узлы станка в необходимую точку с точностью до 0.1мм. Рабочее поле станка составляет 2200x1300мм. Управление шаговыми двигателями происходит за счёт 3 драйверов DM542, их преимущество заключается в высокой точности, они поддерживают различные режимы микро-шагового управления, что позволяет достичь высокой точности позиционирования. Помимо этого, благодаря микрошаговому управлению они обеспечивают плавную работу двигателей, что снижает уровень шума и вибраций. Это важно для снижения вредных производственных факторов, при установке большого количества оборудования или работе в помещении маленькой площади.

Данные драйверы имеют широкий диапазон питающего напряжения (20-48в) и в данной схеме напрямую питаются от блока питания +24В.

В качестве источника лазерного излучения используется лазерная трубка Co2 SPT130, подключенная к источнику высокого напряжения Lasea Ps-N150.

С помощью персонального компьютера передаётся G-Код на контроллер, посредством одного из протоколов связи или USB накопителя. Контроллер его расшифровывает и передаёт сигналы на модули управления. Драйверы шаговых двигателей оси передают на них импульсные сигналы для управления движением. С помощью аналогового выхода контроллера передаётся управляющий сигнал на высоковольтный преобразователь, который передаёт соответствующий уровень высоковольтного сигнала на лазерную трубку.

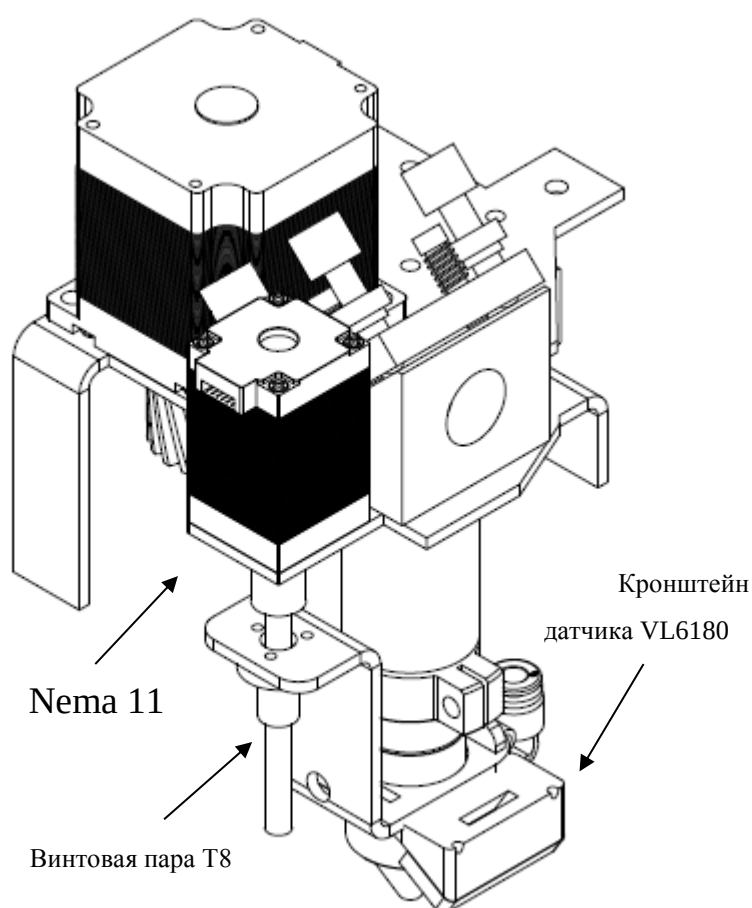


Рисунок 2 – Механическая схема устройства

Вывод по разделу. В ходе анализа схмотехнических решений учитывались ключевые аспекты: соответствие техническим требованиям, функциональные характеристики устройства и его интеграция в систему. Основным принципом выбора оптимального решения выступал комплексный подход, направленный на достижение баланса между эксплуатационными характеристиками, надежностью, экономической эффективностью и технологической сложностью реализации. В данном разделе был рассмотрен принцип работы лазерного станка с ЧПУ, основой которого является контроллер AWC7813, обеспечивающий высокую скорость обработки данных. Важным преимуществом контроллера является возможность автономной работы через USB-носитель, что позволяет управлять несколькими станками одновременно без прямого подключения к ПК. Таким образом, рассмотренная схема демонстрирует высокую точность, гибкость управления и эффективность работы лазерного станка с ЧПУ, что делает его пригодным для использования в промышленных и производственных условиях.

2 Опытно-экспериментальная часть

2.1 Конструкторский раздел

2.1.1 Обзор компонентной базы для сборки лазерного станка с ЧПУ

При разработке оборудования, предназначенного для профессионального использования, важным фактором становится выбор основных компонентов. Ключевым фактором при выборе здесь является надёжность, функциональность и гибкость в использовании. [5]

Лазерный станок с ЧПУ состоит из следующих частей: контроллер, импульсный блок питания, драйверы шагового двигателя, высоковольтный преобразователь, шаговые двигатели, микроконтроллер, датчик расстояния.

Управляющим устройством лазерного станка с ЧПУ является контроллер фирмы Tgocen AWC7813. Основные технические характеристики представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Технические характеристики микроконтроллера AWC 7813

Название параметра	Значение параметра
Питание	24В 3А
Число осей управления	3 (X, Y, Z)
Число лазерных головок	1
Поддержка лазера	CO2
Управление мощностью лазера	ШИМ 0-100% (+- 0,1%)
Точность	0,01 мм
Интерфейсы	Ethernet (RJ45),USB
Поддерживаемые графические форматы	G-код, PLT, DST, DSB, UD5, BMP, JIF, JPG, PNG, AI, SVG, PDF, DXF и т. д.
Программное обеспечение	LaserCAD

Он был выбран благодаря широкому функционалу и удобному интерфейсу данного контроллера, а также высокой надёжности системы. Ниже представлены таблицы с основными характеристиками составных элементов блока управления лазерным станком с ЧПУ.

Импульсный блок питания S 360-24 выбран из расчёта максимальной нагрузки всех подключенных элементов. Технические характеристики представлены в Таблице 2.

Таблица 2 – Технические характеристики блока питания S 360-24

Наименование параметров	Значение
Входное напряжение	110-220 В AC
Выходное напряжение	24 В DC
Максимальный ток	14.5 А
КПД	90-95%
Корпус	215*114*49мм

Драйвер шагового двигателя DM542 выбран благодаря возможности использования микро-шагового управления, что позволит выполнять движения узлами станка с необходимой нам точностью. Технические характеристики представлены в таблице 3.

Таблица 3 – Параметры драйвера шагового двигателя DM542

Наименование параметров	Значение	
	Мин.	Макс.
Выходной ток, А	0.71	4.2
Напряжение питания, В	24	48
Деление шага	1:2	1:128
Частота входного сигнала, кГц	7	16
Корпус	112 * 87 * 34 мм	

Блок высокого напряжения LASEA PS-N150. Блок снабжен выносным LCD дисплеем, который отображает информацию о параметрах работы блока и трубки, а также сигнализирует об ошибках, в случае их возникновения. Устройство генерирует начальный импульс, необходимый для активации газовой смеси в лазерной трубке. Они обеспечивают надёжное и бесперебойное создание лазерного излучения. Благодаря использованию современных электронных компонентов и принудительному воздушному охлаждению, эти блоки представляют собой современное и надёжное устройство с КПД до 90 % и сроком службы до 10 000 рабочих часов. Технические характеристики представлены в таблице 4.

Таблица 4 – Параметры преобразователя интерфейса LASEA PS-N150

Наименование параметров	Значение
Напряжение питания, В	90-250 АС
Макс. входная мощность, Вт	900
Макс. входной ток, А	10
Макс. выходное напряжение, кВ	55
Макс. Выходной ток, мА	38
Наработка на отказ, ч	≥10000
Корпус	330x144x104 мм

Датчик LJ12A3-4-Z/BX — индуктивный концевой выключатель для позиционирования металлических объектов или контроля дистанции до них. Активация происходит при попадании металла в зону чувствительности, принцип действия основан на детектировании изменений магнитного поля внутренней катушки.

При монтаже чувствительный элемент ориентируется на контролируемую область. Датчик крепится в отверстие Ø12 мм (глубиной ≤37.5 мм) с помощью двух комплектных гаек и шайб. Герметичная

конструкция допускает эксплуатацию в агрессивных средах. Дистанция срабатывания — 4 мм. Состояние срабатывания (объект обнаружен) визуализируется красным светодиодом на заднем торце.

Выходная схема: NPN транзистор, нормально открытый контакт (НО).

Технические параметры представлены в таблице 5.

Таблица 5 – Характеристики индуктивного датчика LJ12A3-4-Z/BX

Наименование параметров	Значение
Напряжение питания	6-36 В DC
Ток	0.02 А
Полярность выхода	NPN
Состояние выхода	нормально открытый
Дистанция срабатывания	4 мм
Корпус	12х62 мм

Лазерный датчик расстояния VL6180x

Для решения задачи по определению расстояния в диапазоне от 20 до 120мм был подобран модуль оптического датчика на базе VL6180x, который представлен на рисунке 3, с обвязкой для работы по шине данных i2c. Данная обвязка обеспечит без проблемное подключение и обмен данных с контроллером.

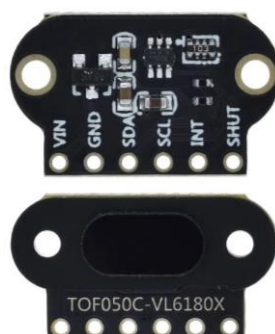


Рисунок 3 – Датчик TOF050C-VL6180x

Данные датчики представлены в 3 исполнениях, с максимальным расстоянием от 0.5 до 4м, в нашем случае подойдёт датчик с маркировкой TOF 050C с диапазоном от 20 до 500мм и обеспечивает точность до 1мм. Основным преимуществом данного датчика является его маленький габаритный размер и высокая точность на маленьких расстояниях относительно ультразвуковых датчиков. Технические характеристики представлены в таблице 6.

Таблица 6 –характеристики лазерного датчика расстояния VL6180x

Наименование параметров	Значение
Напряжение питания	3-5 В
Ток потребления	0.04 А
Шина данных	I2C
Угол измерения	25 °
Минимальное расстояние измерения	20 мм
Максимальный диапазон измерения	500 мм
Точность	1 мм
Температурный диапазон	–20 – +70 °С
Корпус	0805, 0603

Контроллер ESP 32. Для управления системой был выбран микроконтроллер на базе ESP32, который представлен на рисунке 4.

Ключевым преимуществом при выборе микроконтроллера его высокая производительность, наличие на своём борту шин данных i2c, высокоскоростных входов, выходов, небольшие габариты и удобный стандартизированный интерфейс подключения Usb – Type C. Напряжение питания 3.3 в соответствует рабочему напряжению датчика расстояния и подойдёт для управления приводом двигателя. Также контроллер оснащён интерфейсами bluetooth и WIFI, которые при необходимости могут быть использованы для отправки показаний о работе станка и сбора статистики. Технические характеристики представлены в таблице 7. [20]

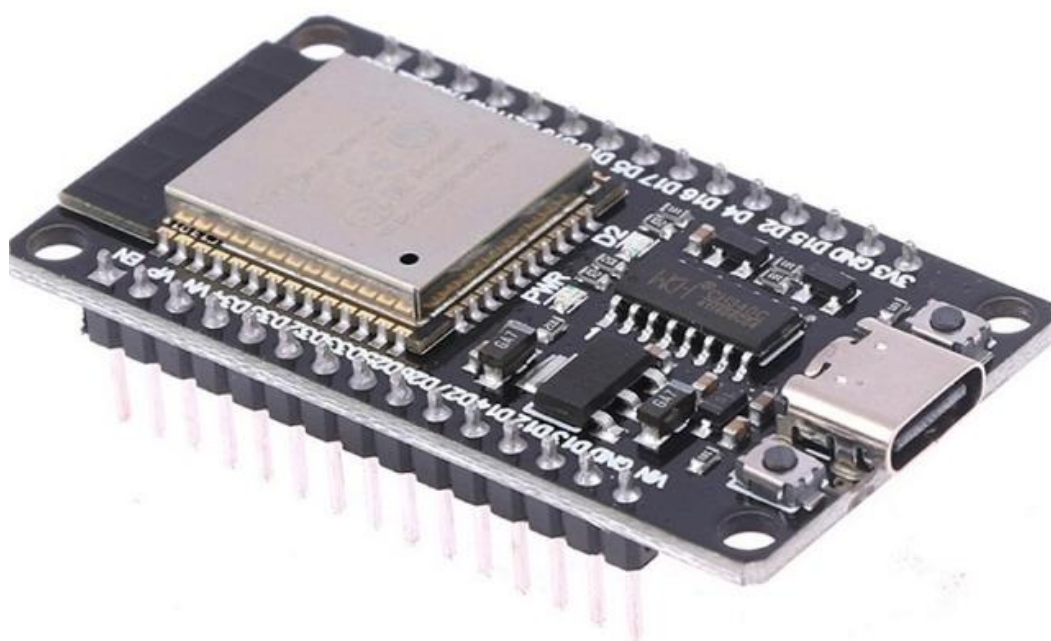


Рисунок 4 – микроконтроллер ESP 32

Таблица 7 – Технические характеристики микроконтроллера ESP 32

Наименование параметров	Значение
Питающее напряжение	3.3 В
Ток	0.12А
Поддерживаемые интерфейсы	UART, SPI, SDIO, I2C, PWM, I2S, IR, АЦП, ЦАП.
Порт ввода-вывода	22 шт
Температурный диапазон	–20 – +85 °С
Корпус	52*29*15 мм

Для решения задачи по перемещению лазерной головки с закреплёнными на ней датчиком расстояния, общей массой около 120г. по цилиндрической направляющей при помощи винтовой пары (Рисунок 2) , не требуется большая мощность двигателя, но при этом важна точность перемещения и возможность фиксации в заданном положении, поэтому в данном случае выбор был сделан в сторону шагового двигателя NEMA 11. Технические характеристики представлены в таблице 8. [18]

Таблица 8 – Параметры шагового двигателя NEMA 11

Наименование параметров	Значение
Модель	28HS45-0804A-001
Число фаз	2
Угловой шаг	1,8°
Ток, А	0,8
Сопротивление/ фаза, Ом	7,8
Индуктивность/фаза, мГн	5,4
Момент удержания, кгс*см	1,2
Корпус	25*25*32 мм

Драйвер А4988, изображённый на рисунке 5, это модуль управления биполярного шагового двигателя. Преобразующий сигналы контроллера в импульсное управление обмотками двигателя. [7]

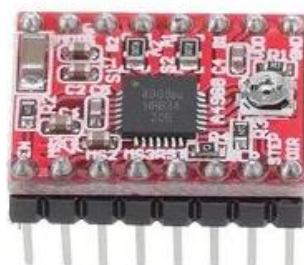


Рисунок 5 – Драйвер а4988

Технические характеристики представлены в таблице 9.

Таблица 9 – Параметры драйвера А4988:

Наименование параметров	Значение
Напряжение питания силовой части	8-35 В
Напряжение логического управления	3.3-5 В
Максимальный ток двигателя	2000 мА
Температурный диапазон	-55 + -150 °С
Корпус	QFN-28

Мотор NEMA 23, изображённый на рисунке 6, это биполярный шаговый двигатель, предназначенный для точного перемещения узлов оборудования на заданное расстояние. Технические характеристики представлены в таблице 10.



Рисунок 6 – Двигатель NEMA23

Таблица 10 – Технические характеристики двигателя NEMA 23:

Наименование параметров	Значение
Модель	57NM56-3004A
Число фаз	2
Угловой шаг	0,9°
Ток, А	3
Сопротивление/ фаза, Ом	0,9
Индуктивность/фаза, мГн	3,5
Момент удержания, кгс*см	10
Корпус	57*57*56 мм

Грамотный подбор элементной базы представляет собой ключевой фактор при разработке электронных устройств, оказывающий комплексное влияние на их эксплуатационные и экономические показатели. Оптимальный выбор компонентов позволяет: существенно сократить производственные издержки, улучшить технические характеристики изделия, минимизировать массогабаритные параметры конструкции. Кроме того, правильно подобранная элементная база способствует повышению таких важнейших параметров, как надежность функционирования и долговечность эксплуатации устройства.

2.1.2 Электрический расчет узла лазерного станка с ЧПУ

Проведем расчет для проверки нагрузки на импульсный блок питания, с помощью которого питаются драйвера управления шаговыми двигателями, контроллер и прочая периферия. Схема цепи питания изображена на рисунке 7. [8]

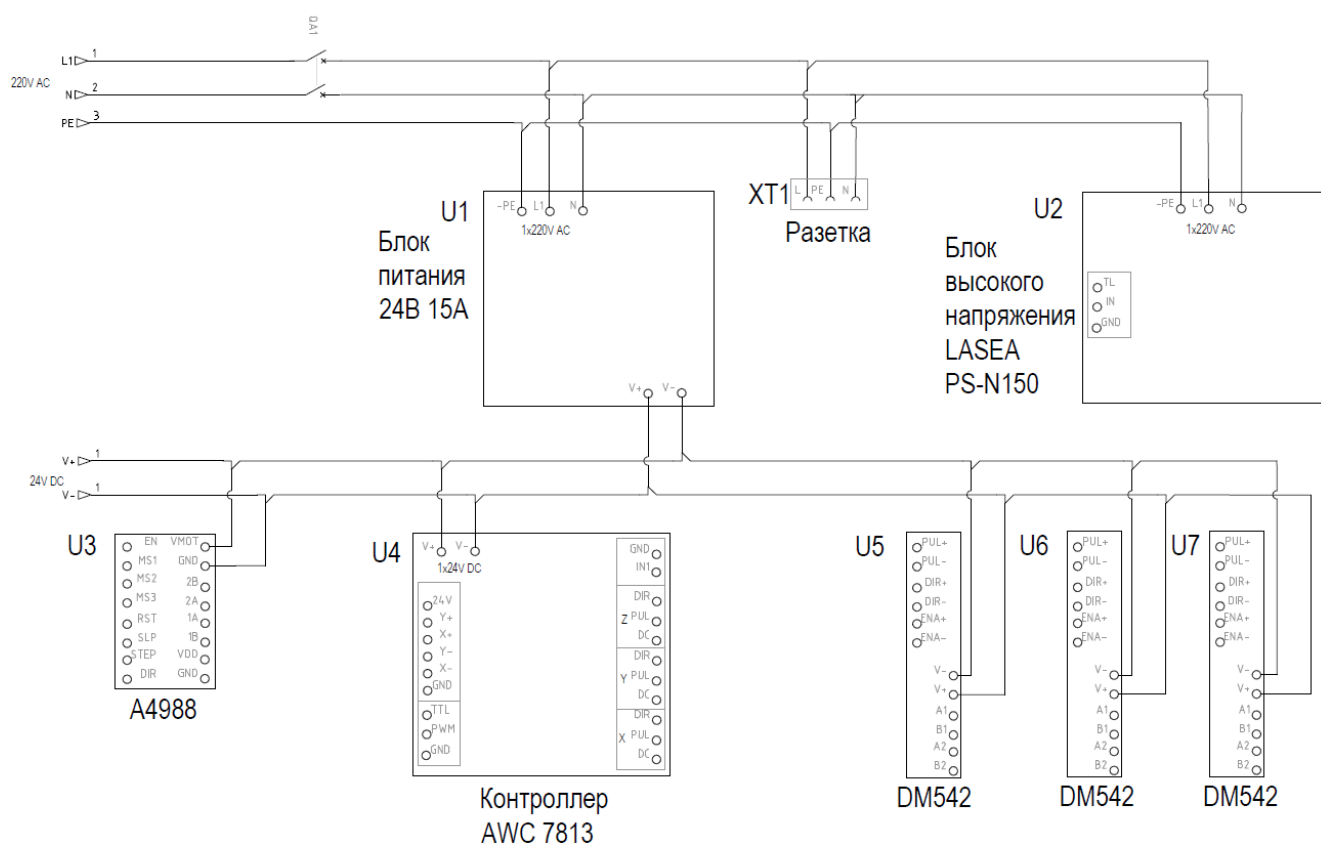


Рисунок 7 – Схема цепи питания

Таблица 11 - Расчет энергопотребления устройства:

Компонент	Напряжение	Кол- во	Ток на ед. (А)	Суммарный ток (А)	Мощность (Вт)
Контроллер Trosen AWC7813	24 В	1	0.21	0.21	5.0
Драйвер DM542 (двигатели)	24 В	3	2.80	8.40	201.6
Концевой датчик LJ12A3-4-Z/BX	24 В	4	0.02	0.08	1.9
Преобразователь 24 В → 5 В	24 В	1	0.32	0.32	7.7
Драйвер A4988 (двигатель)	24 В	1	0.8	0.8	19.2
Итого по 24 В:				9.81	235.4
5 В (логика/периферия)					
Драйвер DM542 (логика)	5В	3	0.10	0.30	1.5
Драйвер A4988 (логика)	5В	1	0.01	0.01	0.05
Датчик VL6180х	5 В	1	0.04	0.04	0.2
Микроконтроллер ESP32	5 В	1	0.12	0.12	0.6
Итого по 5 В:				0.47	2.35
Всего:					237.75 Вт

Итоговые характеристики:

- Общая мощность: 237.75 Вт;
- Требуемый блок питания 24 В;
- Минимальная мощность: 275 Вт (рекомендуется запас 15-20%);
- Ток: ≥ 10.5 А (с учетом пусковых токов и запаса).

Вывод по разделу. Электрические расчёты нагрузки позволили определить критические параметры системы. Проведённый анализ показал, что импульсный блок питания S 360-24 (24В DC, 15А, 360Вт) оптимально соответствует установленным требованиям благодаря: точному соответствию выходных характеристик, высокому КПД (93%), встроенной защите от перегрузок, широкому диапазону рабочих температур, компактными габаритами.

2.1.3 Расчет надёжности узлов

Ключевой характеристикой любого изделия (устройства, механизма, системы) считается его надежность. Это понятие отражает способность продукта стабильно функционировать, сохраняя заданные параметры в течение всего срока службы при различных условиях (эксплуатация, хранение, перевозка).

Надежность – фундаментальная составляющая качества. Ее уровень оценивается через показатели надежности, количественно выражающие отдельные аспекты этого свойства.

Наработка – это период или объем работы, выполненный объектом за конкретный интервал времени.

Безотказность – свойство системы поддерживать исправность на протяжении установленного периода эксплуатации или определённого количества выполняемых операций.

Долговечность – характеристика технического средства, позволяющая сохранять функциональность (при проведении планового технического обслуживания и восстановительных работ) до момента достижения критического износа. После этого этапа дальнейшая эксплуатация становится технически невозможной, экономически нецелесообразной или требует затрат, превышающих стоимость замены объекта. [9]

Ремонтопригодность – свойство, облегчающее проведение профилактики и ремонта для выявления причин сбоев и восстановления функций.

Работоспособность – возможность техники выполнять свои задачи в заданных условиях. Ее снижают неисправности (поломки, износ, коррозия). Поддержание высокого уровня работоспособности требует регулярного ТО, замены изношенных элементов и устранения неполадок.

Неисправность – состояние, при котором объект не соответствует требуемым характеристикам.

Отказ – событие, приводящее к полной или частичной утрате работоспособности устройства.

Срок службы – период, в течение которого техника функционирует без серьезных отказов и значительного ухудшения характеристик. Хотя производитель указывает этот срок, фактическая длительность зависит от условий эксплуатации, качества компонентов, обслуживания и интенсивности использования.

Технический ресурс – общая продолжительность эксплуатации изделия от начала использования (или после капитального ремонта узлов) до достижения предельного состояния. [19]

Расчёт показатель надежности представлен в таблице 12.

Расчет показателей надежности лазерного станка с ЧПУ

Система считается последовательной: отказ любого узла приводит к отказу всего устройства. [6]

- Интенсивность отказов (λ) измеряется в FIT (1 FIT = 10^{-9} отказов/час).

- Вероятность безотказной работы (P) рассчитана за 1000 часов.

Формула для узла:

Для узлов с несколькими компонентами (например, 3 двигателя NEMA23):

$$\lambda_{\text{сумм}} = \lambda_{\text{одного}} \times \text{количество} \quad (1)$$

$$P_{\text{узла}} = e^{-(\lambda_{\text{сумм}} \times 10^{-9} \times 1000)} \quad (2)$$

$$P_{\text{системы}} = \prod P_{\text{узлов}} = 0.999995 \times 0.999991 \times \dots \times 0.999997 \approx 0.999310 \quad (3)$$

Таблица 12 - Расчет показателей надежности

Тип ЭРЭ	Количество	λ одного узла	Суммарная λ узла	Вероятность безотказной работы (P) за 1000 часов
Контроллер Trocen AWC7813	1	50	50	0.999995000
Драйвер шагового двигателя DM542	3	90	90	0.999991000
Концевой датчик LJ12A3-4-Z/BX	4	20	80	0.999992000
Двигатель NEMA23	3	100	300	0.999700000
Блок питания LASEA PS-N150	1	80	80	0.999992000
Лазерный датчик VL6180x	1	40	40	0.999996000
Драйвер A4988	1	20	20	0.999998000
Микроконтроллер ESP32	1	30	30	0.999997000

Суммарная надежность системы	690	0.999310 (99.931%)
------------------------------	-----	--------------------

Расчёт наработки:

$$T_0 = \frac{1}{\lambda_{\epsilon}} \quad (4)$$

$$T_0 = \frac{1}{28,669892 * 10^{-6}} = 34879,8$$

Вероятность безотказной работы в течении 1000 часов:

$$P(t) = e^{-\lambda_{\epsilon} * t} \quad (5)$$

$$P(t) = 2,72^{-28,66989 * 10^{-6} * 1000} = 0,97$$

Оценка надежности блока управления лазерного ЧПУ станка показала его высокий уровень. Важно отметить, что при работе без простоев отказ устройства прогнозируется лишь спустя 4 года и более.

Заданный в ТЗ уровень надежности достигается комплексно: оптимальной разработкой схемы и конструкции, тщательным подбором компонентов под условия эксплуатации, выбором и соблюдением технологии производства, а также правильной эксплуатацией.

Методы повышения надежности делятся на универсальные и специфические. Универсальные (применяемые на этапе проектирования): максимальное упрощение схемотехники, выбор высоконадежных и унифицированных элементов, обеспечение легкого ремонта. [10]

Специфические методы:

Эксплуатация на пониженных режимах: Элементы критичной аппаратуры работают при нагрузках 50-80% от номинала.

Предварительная тренировка: Выдержка элементов под рабочими параметрами перед монтажом снижает число ранних отказов.

Введение резерва: Создание параллельных цепей или узлов для подстраховки на случай отказа.

Чаще используется общее резервирование. При постоянном резервировании (резерв активен всегда) отпадает необходимость в переключателях, но надежность резервных элементов падает, а параметры схемы искажаются. Резервирование замещением (резерв включается при отказе) требует детекторов неисправности и коммутаторов, но сохраняет параметры схемы и надежность резерва (при "холодном" резерве), а также позволяет одному резерву обслуживать несколько основных элементов.

Резервные элементы классифицируются по режиму ожидания:

Холодный резерв (ненагруженный): без питания.

Теплый резерв (облегченный): С пониженным питанием.

Горячий резерв (нагруженный): В полной готовности, под полной нагрузкой.

Учитывая рост габаритов, веса и стоимости, резервирование оправдано только после использования других методов.

Сохранение проектной и производственной надежности в эксплуатации требует неукоснительного следования инструкциям.

Исследования причин отказов РЭА показали:

Почти половина (43%) – следствие проектных ошибок.

Треть (30%) – результат нарушений в эксплуатации.

Пятая часть (20%) – вызвана производственными дефектами.

7% – причины не выявлены.

Вывод раздела: Анализ надежности является важным этапом разработки технически сложного оборудования, так, как полученные в результате расчётов значения позволяют установить оптимальные технические характеристики изделия, являющиеся важным параметром при подборе оборудования. Проведение таких расчетов позволяет разрабатывать оборудование, соответствующее требованиям потребителя в области надёжности и расчётного срока службы.

2.1.4 Разработка электрической принципиальной схемы лазерного станка с ЧПУ

Проектирование электрической схемы выполнялось в специализированной САПР AutoCAD Electrical, которая представляет собой мощный инструмент для разработки электронных устройств. Рабочий процесс включал несколько последовательных этапов: создание нового проекта в среде AutoCAD Electrical, выбор стандартов проектирования, в данном случае IEC60617, размещение электронных компонентов согласно перечню элементов, Выполнение электрических соединений между элементами, программный комплекс AutoCAD Electrical обладает рядом преимуществ: интуитивно понятный интерфейс, функция автоматического создания спецификации, инструменты ручной трассировки соединений, обширная компонентная база (более 130 000 элементов), гибкие возможности импорта/экспорта данных. Среда разработки изображена на рисунке 8. [11]

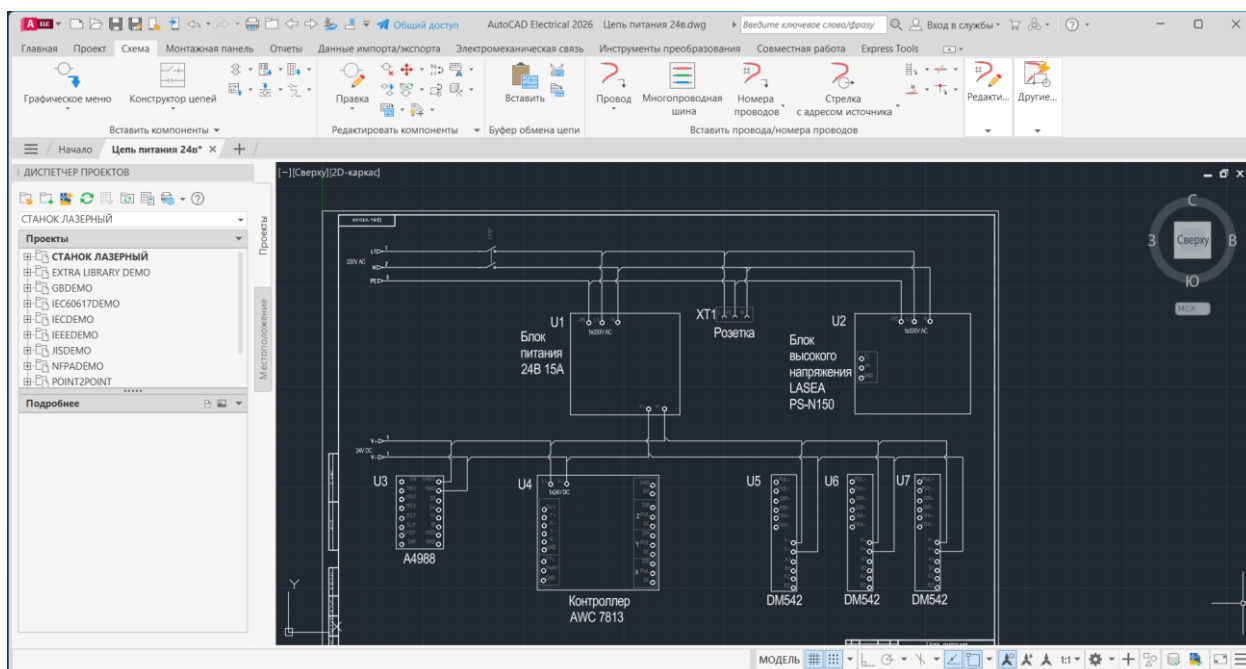


Рисунок 8 – Разработка принципиальной схемы лазерного станка с ЧПУ

Центральным управляющим элементом системы выступает Контроллер AWC 7813 (рисунок 9), который обеспечивает обработку поступающих с компьютера G-кодов, преобразуя их в управляющие сигналы для драйверов шаговых двигателей. Через блок высокого напряжения микроконтроллер управляет работой лазерного модуля, одновременно контролируя и визуализируя процесс обработки с помощью пульта оператора. [16]



Рисунок 9 – Контроллер AWC7813

Система позиционирования (рисунок 10), включающая три независимых привода для лазерной головки и рабочего стола, получает высокоскоростные импульсные сигналы от микроконтроллера, обеспечивая точное перемещение исполнительных механизмов. [17]

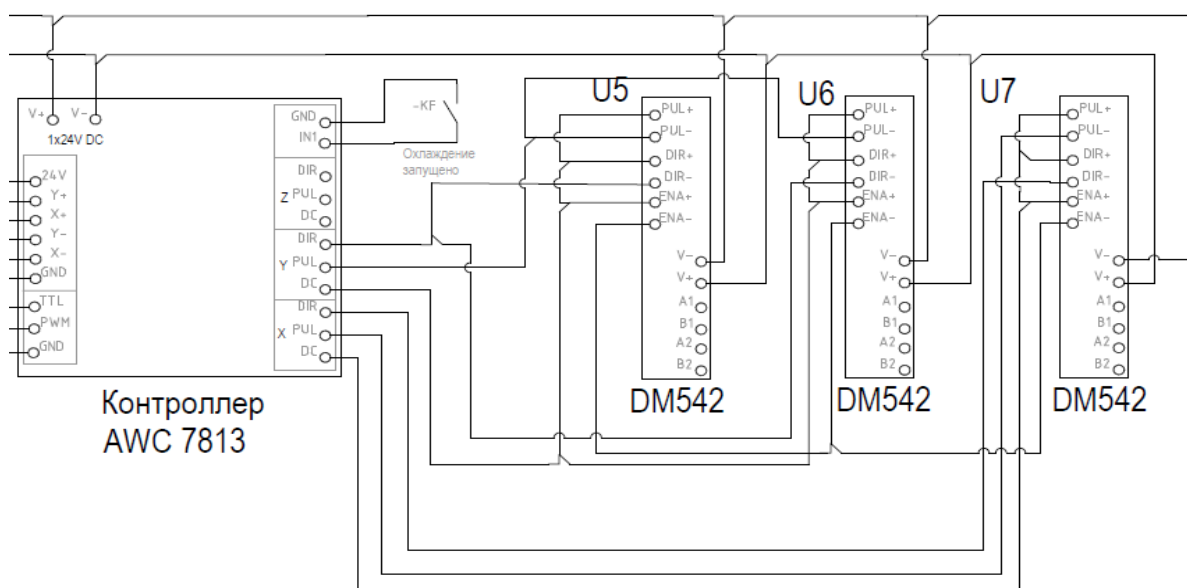


Рисунок 10 – Драйвера двигателя DM542 и контроллер

Блок высокого напряжения (рисунок 11) питается от 220 В, и генерирует напряжение до 55 кВ с необходимым током, регулируемым ШИМ сигналом с контроллера. Так же у него есть отдельный источник стабилизированного питания на 5В. [4]

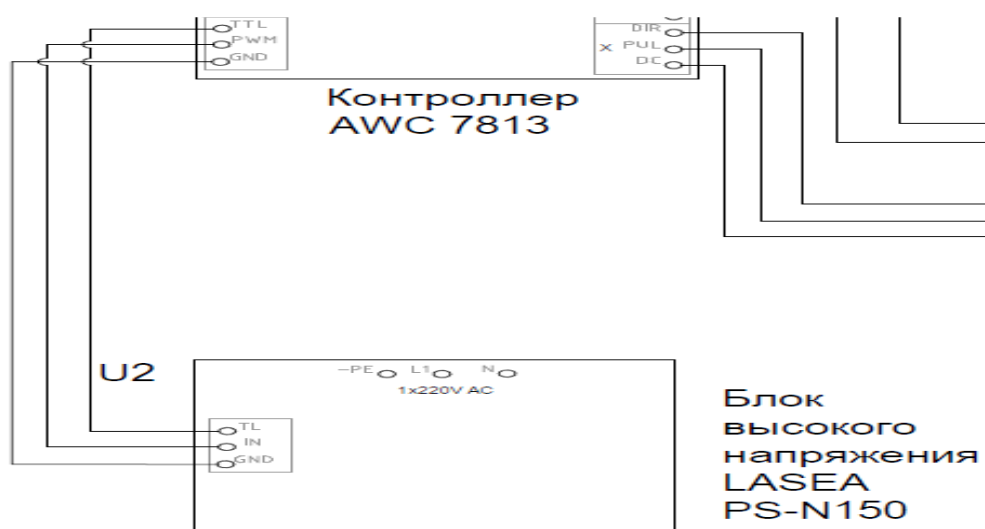


Рисунок 11 – Блок высокого напряжения с контроллером

С помощью схемы, изображенной на рисунке 12 происходит регулировка высоты лазерной головки относительно материала.

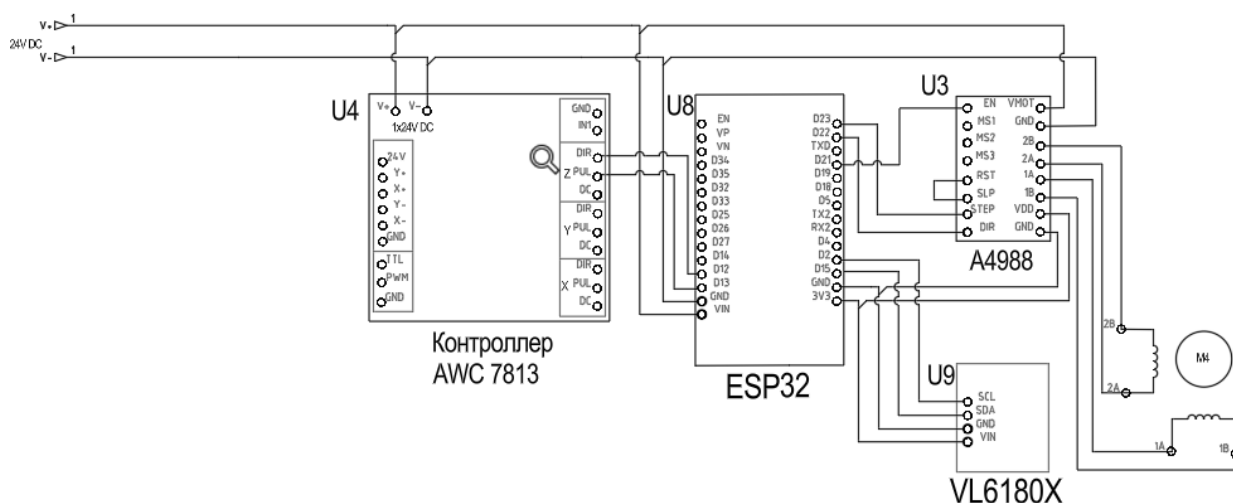


Рисунок 12 – Модуль регулировки высоты

Вывод по разделу. Разработанная электрическая принципиальная схема позволяет выполнять обработку материала с требуемым качеством и точностью, устройство имеет удобный интерфейс и выполнено из надёжных компонентов.

2.1.5 Программирование контроллера ESP 32

Перед началом написания программы, необходимо определить алгоритм работы устройства, для этого создадим блок-схему, описывающую основные действия при выполнении программы. Схема представлена на рисунке 13.

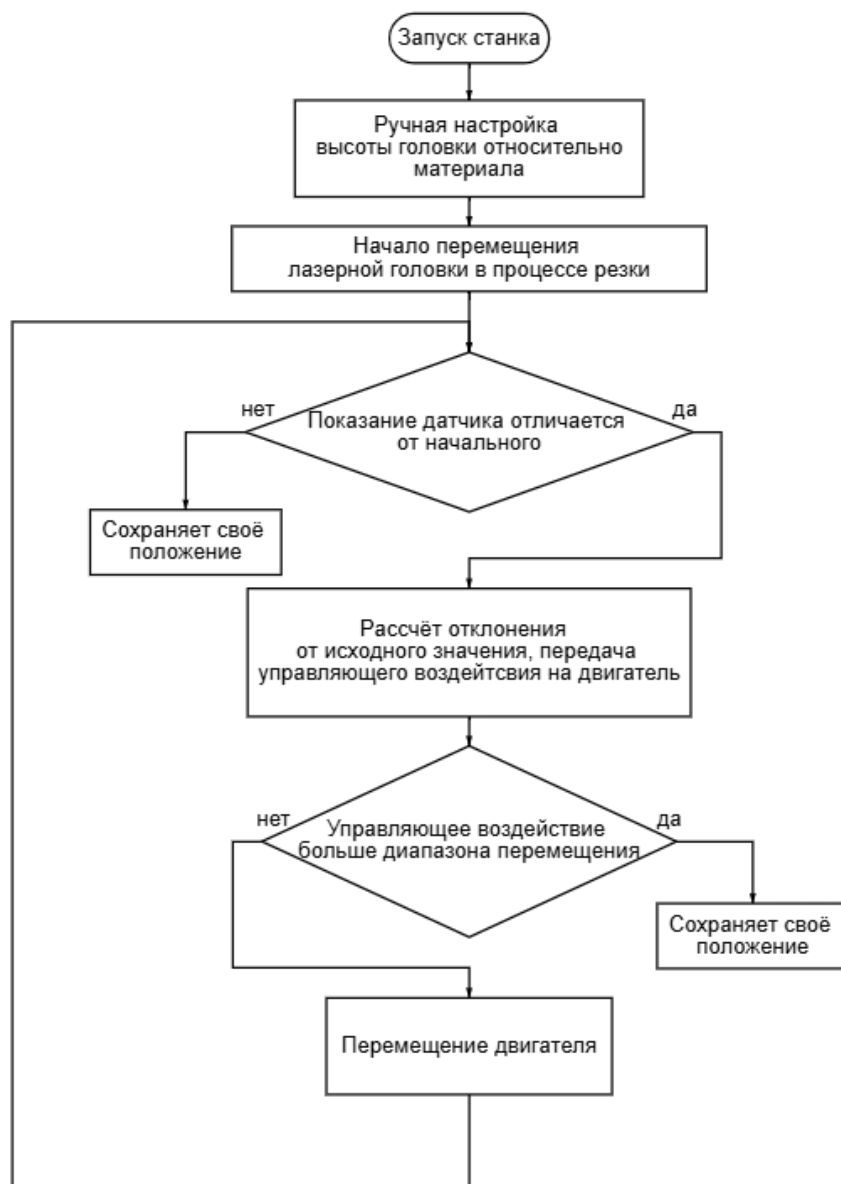


Рисунок 13 – Блок схема алгоритма программы

Разработка программы для контроллеров ESP 32 для выполнения регулировки положения лазерной головки в зависимости от показаний датчика расстояния производится в среде разработки Arduino IDE. Для её корректной работы необходимо добавить данную плату в диспетчере устройств.

Добавление библиотек: для работы программы с устройствами необходимо добавить в код библиотеки для соответствующих устройств, сделать это можно через менеджер библиотек встроенным поиском или импортировать ZIP файл библиотеки. Для данного проекта нам потребуется:

- Adafruit_VL6180X.h Для работы датчика расстояния;
- Wire.h Для реализации шины i2c;
- ESP32Encoder.h Для обработки входных сигналов с внешнего контроллера;
- GyverStepper2.h Для управления драйвером двигателя;
- EEPROM.h Для реализации энергонезависимой памяти;
- TimerMs.h Для опроса датчика через определённый интервал времени.

Далее приведён пример кода управляющей программы:

```
#include <Wire.h>
#include <Adafruit_VL6180X.h>
#include <GyverStepper2.h>
#include <EEPROM.h>
#include <TimerMs.h> //Для опроса сенсора
// (период, мс), (0 не запущен / 1 запущен), (режим: 0 период / 1 таймер)
TimerMs tmr(80, 1, 1);
#include <ESP32Encoder.h> ESP32Encoder encoder;
#define step 4
#define dir 2
#define EncPinA 23
#define EncPinB 18
// Настройки шагового двигателя
```



```

GStepper2 stepper(200, step, dir); // 200 шагов на оборот, пины подключения
Adafruit_VL6180X sensor = Adafruit_VL6180X();
float currentDistance;
float previousDistance = 0;
const float limitDistance = 120.0; // Лимит расстояния
const float kp = 1.0; // Пропорциональный коэффициент
const float kd = 1.0; // Дифференциальный коэффициент
float prev_error = 0;
const int eepromAddress = 0; // Адрес в EEPROM для хранения значения
расстояния
void setup() {
  Serial.begin(9600);
  Wire.begin();
  ESP32Encoder::useInternalWeakPullResistors = puType::up;
  encoder.attachSingleEdge(EncPinA, EncPinB);
  if (!sensor.begin()) {
    Serial.println("Failed to find VL6180X sensor.");
    while (1);
  }
  // Восстановление последнего сохраненного расстояния из EEPROM
  previousDistance = EEPROM.readFloat(eepromAddress);
  Serial.print("Last saved distance: ");
  Serial.println(previousDistance);
  tmr.setPeriodMode(); //Запуск таймера
  stepper.setRPM(30); // Установите скорость двигателя (обороты в минуту)
}
void loop() {
  if (tmr.tick()){ //Запуск таймера
    // Читаем расстояние

```

```

currentDistance = sensor.readRange();
if (currentDistance < limitDistance) {
// Выводим значение на Serial Monitor
Serial.print("Distance: ");
Serial.println(currentDistance);
// Пропорциональное управление
int error = currentDistance - previousDistance;
float derivative = (error - prev_error) / dt; // дифференциальное управление
// Проверяем, изменилось ли расстояние
if (error != 0) {
int steps = kp * error + kd * derivative; // Пропорциональная ошибка
stepper.move(steps); // Перемещаем шаговый двигатель
prev_error = error;
previousDistance = currentDistance; // Сохраняем текущее значение как
предыдущее
EEPROM.put(eepromAddress, previousDistance); // Сохраняем в EEPROM
}
}
else {
Serial.println("Distance exceeds limit, no movement.");
}
if (status == VL6180X_ERROR_NONE) {
Serial.println("Ошибок нет");
}
if ((status >= VL6180X_ERROR_SYSERR_1) && (status <=
VL6180X_ERROR_SYSERR_5)) {
Serial.println("System error");
}
else if (status == VL6180X_ERROR_ECEFAIL) {

```

```

Serial.println("ECE failure");
}
else if (status == VL6180X_ERROR_SNR) {
Serial.println("Signal/Noise error");
}
else if (status == VL6180X_ERROR_RAWUFLOW) {
Serial.println("Raw reading underflow");
}
else if (status == VL6180X_ERROR_RAWOFLOW) {
Serial.println("Raw reading overflow");
}
else if (status == VL6180X_ERROR_RANGEUFLOW) {
Serial.println("Range reading underflow");
}
else if (status == VL6180X_ERROR_RANGEOFLOW) {
Serial.println("Range reading overflow");
}
}
}
}

```

Для реализации управления двигателем был применён пропорционально -дифференциальный регулятор, который в зависимости от величины изменяемого значения регулирует момент управления двигателем, чем больше ошибка, тем больше управляющий момент на двигатель. Также за счёт наличия дифференциальной составляющей снижается вероятность возникновения колебательных процессов. Также реализован блок проверок на ошибки датчика расстояния. В случае несоответствия значения или нестандартной работы, в терминал будет выведено сообщение об ошибке.

2.2 Технологический процесс сборки оборудования

2.2.1 Разработка технологической карты контроля работоспособности блока управления лазерного станка с ЧПУ

Технологическая карта (ТК) — это нормативный документ, регламентирующий выполнение конкретного технологического процесса или технического обслуживания объекта [1].

Разработка и внедрение ТК необходимы при: высокой сложности операций, наличии спорных моментов в работах, требовании точного расчета эксплуатационных затрат. Как правило, ТК разрабатывается индивидуально для каждого объекта (в табличной форме), хотя возможен учет схожих моделей. Составлением ТК занимаются технические службы предприятия; документ утверждается его руководителем. Производители оборудования и специализированные институты разрабатывают ТК для всех видов работ по изготовлению оборудования.[13] Пример технологической карты представлен в Приложении А.1.

Вывод по разделу: Карта контроля определяет последовательность действий при проверке устройства. Итогом работы является документ, содержащий инструкции по контролю и диагностике платы управления, а также перечень инструментов и приборов, необходимых для устранения неисправностей.

2.3 Расчет стоимости изделия лазерный станок с ЧПУ

Расчет стоимости устройства включает в себя оценку затрат на компоненты, материалы, труд и другие расходы, связанные с разработкой и производством устройства. Для расчета стоимости устройства необходимо определить все затраты и затем сложить их вместе, чтобы получить общую стоимость устройства. Количество и список элементов определяются по принципиальной электрической схеме, приложенной к выпускной квалификационной работе. [15]

Расчет стоимости компонентов представлен в таблице 19:

Таблица 13 - Расчет стоимости компонентов

Наименование	Модель	Количество	Цена за шт. (руб.)	Сумма (руб.)
Контроллер	Trocen AWC 7813	1	21 900	21900
Импульсный блок питания	S 360-24	1	3 520	3 520
Драйвер шагового двигателя	DM542	3	6 840	20520
Блок высокого напряжения	LASEA PS-N150	1	42 350	42350
Концевой индуктивный датчик	LJ12A3-4-Z/BX	4	357	1428
Лазерный датчик расстояния	VL6180x	1	245	245
Контроллер	ESP 32	1	525	525
Драйвер	A4988	1	215	215

Продолжение таблицы 13

Шаговый двигатель NEMA 11	28HS45-0804A-001	1	1560	1560
Шаговый двигатель NEMA 23	57HM56-3004A	3	2670	8010
Платы расширения для коммутации	DRV8825	1	350	350
Клеммная колодка	ESP32	1	510	510
Кабельная продукция	ПУГВ	15	20	300
Наконечники кабельные	НШВИ	100	2	200
2 поз. переключатель	IEK AC-22	1	325	325
Вилка электрическая	250в16а	1	60	60
Итого:				102 018

Стоимость компонентов взята с учётом транспортных затрат на перемещение до места изготовления оборудования. Их размер примерно равен 10%. [2]

Далее нам необходимо рассчитать стоимость оборудования с учетом заработной платы электромонтажника по монтажу, подключению, проверки оборудования после выполненных работ. Трудоемкость установки зависит от сложности фиксации и подключения компонента. Стоимость работ электромонтажника представлены в таблице 14.

Таблица 14– Стоимость работ электромонтажника

Вид работ	Тариф, (руб./ч.)	Количество	Итог, руб.
Сборка электрошкафа	500	6	3000
Сборка пульта управления	500	1	500
Электромонтаж на оборудовании	600	8	4800
Общий итог:			8300

Заработная тарифная плата составляет 8300.

Производственные затраты:

$C_{\text{цех.р.}} = \text{ЗП осн} \cdot dd, \text{руб.}$

$C_{\text{цех.р.}} = 8300 \cdot 2,5 = 20750 \text{ руб.}$

Далее рассчитаем цеховую себестоимость устройства.

Она состоит из суммы стоимости основных материалов, стоимости комплектующих, заработной платы сотрудника и цеховые косвенные доходы.

$C_{\text{цех}} = C_{\text{мат.тр.}} + \text{ЗП осн} + C_{\text{цех.р.}}, \text{руб.}$

$C_{\text{цех}} = 102018 + 8300 + 20750 = 131068 \text{ руб.}$

Общехозяйственные затраты включают расходы на общее управление производством.

$C_{\text{общ}} = \text{ЗП осн} \cdot dd, \text{руб.}$

$C_{\text{общ}} = 8300 \cdot 2 = 16600 \text{ руб.}$

Производственная себестоимость:

$C_{\text{произ}} = C_{\text{цех}} + C_{\text{общ}}, \text{руб.}$

$C_{\text{произ}} = 131068 + 16600 = 147668 \text{ руб.}$

Общая себестоимость:

$$C_{\text{пол}} = C_{\text{произ}} \cdot 0.05 + C_{\text{произ}}, \text{руб}$$

$$C_{\text{пол}} = 7383.4 + 147668 = 155051,4 \text{ руб.}$$

Оптовая цена устройства:

$$C_{\text{опт}} = C_{\text{пол}} + C_{\text{пол}} \cdot 0,2, \text{руб}$$

$$C_{\text{опт}} = 155051,4 + 31\,010,28 = 186\,061,68 \text{ руб.}$$

Оптовая цена печатной платы по результатам расчетов составила 186 061,68 руб. [3]

Вывод по разделу. Стоимость устройства рассчитывается, исходя из стоимости его составных компонентов и сложности монтажа. Точный расчет стоимости оборудования позволяет оценить экономическую выгоду от производства устройства и определить его рыночную стоимость, в последствии поняв потенциал развития данного направления.

2.4 Изготовление прототипа лазерного станка с ЧПУ

Процесс изготовления станка с ЧПУ состоит из нескольких важных этапов, первым является проработка конструкции оборудования, выбор кинематической схемы, в нашем случае был выбран вариант с установкой лазерной трубки на станине, закрытой защитными кожухами. Передача лазерного луча происходит посредством системы зеркал, луч отражаясь, попадает на фокусирующую линзу, которая производит концентрацию луча и выполняет обработку. При данной схеме возможно перемещение фокусирующей линзы по высоте. Стол жёстко зафиксирован относительно станины. Электрошкаф зафиксирован на станине в правой части станка. Эскиз конструкции приведён на рисунке 14.

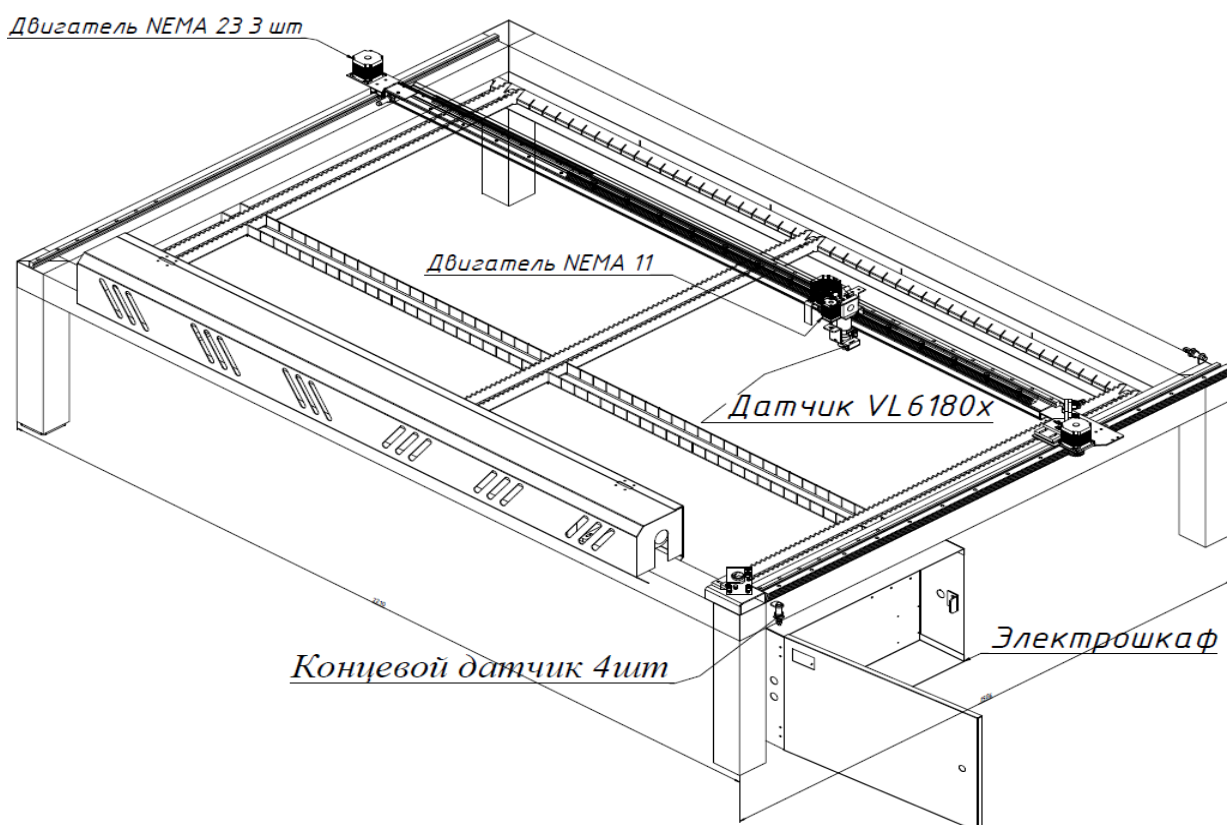


Рисунок 14 – Эскиз общего устройства лазерного станка

Провода подводятся к своим узлам посредством гибких каналов, расположенных по направлениям перемещения подвижных частей станка. Портал лазерной головки выполнен из квадратной профильной трубы 60*40*5 для повышения жёсткости и снижения веса подвижной конструкции. Общий вид станка представлен на рисунке 15.

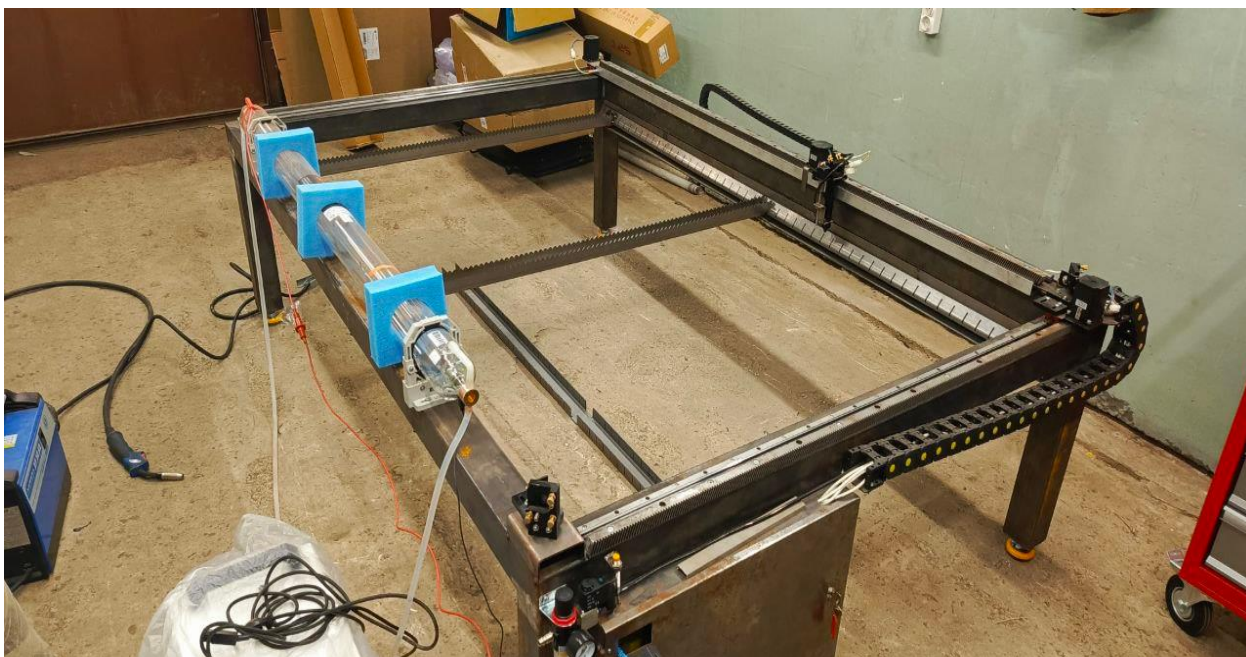


Рисунок 15 – Прототип лазерного станка с ЧПУ

Для регулировки положения фокусирующей линзы за основу был взят механизм механической фокусировки с зеркальным элементом. Изготовлен кронштейн, включающий в себя элементы крепления двигателей каретки перемещения и самого элемента фокусировки. На подвижную часть смонтирована пластина для фиксации лазерного датчика и винтовой гайки. [4]

Двигатель пета 11, за счёт зафиксированной на валу винтовой пары, производит перемещение подвижной части в зависимости от показаний датчика расстояния. Эскиз данного элемента приведён на рисунке 16.

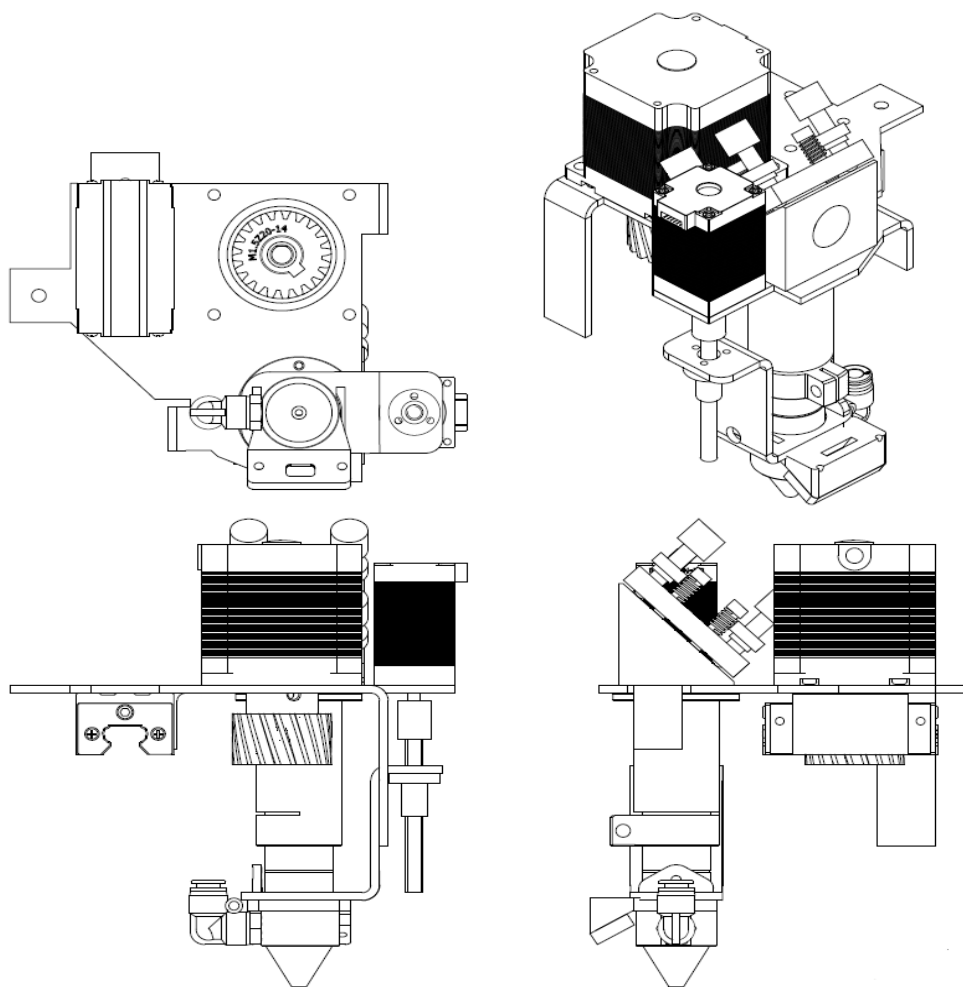


Рисунок 16 – Эскиз узла перемещения линзы по высоте.

Электронные компоненты в шкафу зафиксированы на болтовые соединения. Посередине проходит кабельный канал для аккуратной разводки проводов. Электрические соединения выполнены с помощью соединительных колодок, все кабеля обжаты в наконечники «НШВИ» для обеспечения надёжной фиксации. Все блоки имеют разъёмные колодки для возможности быстрой замены в случае выхода из строя. На корпусе расположен переключатель для возможности быстрого отключения питания от сети. Общий вид электрошкафа представлен на рисунке 17.



Рисунок 17 – Общий вид электрошкафа

Панель оператора для удобства использования сделана переносной, корпус выполнен из листового металла и имеет в основании увеличенную опору для обеспечения устойчивого положения при работе. На задней панели имеются 2 разъёма для подключения устройства к компьютеру. Конструкция пульта представлена на рисунке 18.

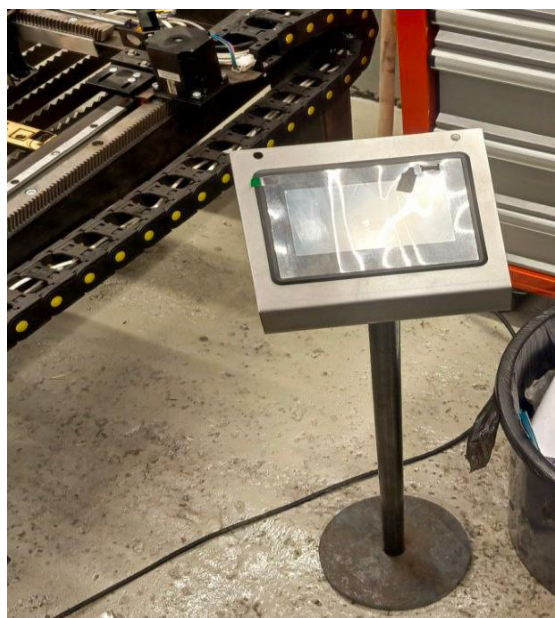


Рисунок 18 – Панель оператора

После проведения всех испытаний на работоспособность системы необходимо обработать детали от возникновения коррозии, Станина станка обрабатывается алкидной эмалью, содержащей ингибиторы коррозии. Остальные детали станка окрашиваются методом нанесения порошкового полимерного покрытия, который хорошо защищает детали станка от внешних воздействий. Все поверхности трения, такие как линейные направляющие, зубчатая передача, винтовая передача, должны быть покрыты смазкой марки «Литол 24», для снижения трения и увеличения ресурса работы. Пример обработки на прототипе лазерного станка представлен на рисунке 19.



Рисунок 19 – Пример нанесения гравировки на лазерном станке

Заключение

Разработанный лазерный станок с ЧПУ представляет собой современную автоматизированную систему, построенную на микроконтроллерном управлении и состоящую из четырех основных функциональных блоков. Центральным элементом системы является персональный компьютер, выполняющий функции интерфейса управления и настройки параметров обработки. Компьютер передает управляющие команды на микроконтроллерный блок, который выступает в роли "мозга" системы, обрабатывая поступающие данные и генерируя управляющие сигналы для остальных компонентов. Третий ключевой блок - лазерная головка с прецизионной системой позиционирования, обеспечивающая высокоточную обработку материалов. Четвертый блок включает в себя драйверы шаговых двигателей и сами биполярные шаговые двигатели, которые обеспечивают точное перемещение рабочего инструмента по заданным координатам.

В процессе разработки был выполнен комплексный анализ схемотехнических решений, позволивший оптимизировать архитектуру системы управления. Конструкторский раздел работы включал тщательный подбор элементной базы, проведение точных электрических расчетов основных узлов, а также расчет показателей надежности, что гарантирует стабильную работу устройства в различных условиях эксплуатации. Особое внимание было уделено разработке принципиальной электрической схемы и топологии печатной платы, что обеспечило компактность и технологичность конструкции.

Технологический аспект разработки включал создание подробной технологической документации и методик контроля работоспособности, что

особенно важно для последующего серийного производства и обслуживания оборудования. Экономический анализ продемонстрировал конкурентоспособность разработки, а расчет себестоимости подтвердил экономическую целесообразность проекта.

Графическая часть работы наглядно демонстрирует все аспекты разработки: от принципиальных электрических схем и сборочных чертежей до структурной схемы системы и 3D-визуализации готового устройства. Особого внимания заслуживает разработанная схема подключения и демонстрационные материалы, показывающие устройство в работе.

Результатом проведенной работы стало создание полностью функционального лазерного станка с ЧПУ, соответствующего всем требованиям технического задания. Устройство сочетает в себе высокую точность обработки, надежность работы, экономическую эффективность и современные технические решения. Разработанная система управления на базе микроконтроллера обеспечивает гибкость настроек и возможность дальнейшей модернизации. Проект успешно демонстрирует комплексный подход к созданию автоматизированного оборудования, объединяющий теоретические исследования, инженерные расчеты и практическую реализацию, что открывает перспективы для дальнейшего развития и совершенствования системы.

Список используемой литературы

1. Алексеев А.А. Электро- и пожарная безопасность при выполнении электромонтажных работ. 2013. С.160.
2. Асаул А.Н., В. Н. Старинский. Оценка стоимости машин и оборудования: Учебное пособие / Под ред. д.э.н., проф. А.Н. Асаула. СПб.: «Гуманистика». 2005. С.208.
3. Баскакова, О.В. Экономика предприятия (организации): учебник для студентов бакалавриата / О. В. Баскакова, Л. Ф. Сейко. Москва, 2018. С.369.
4. Зайчик М.Ю., "Основы электроники". Минск, 2020. С. 69.
5. Колосков Е. В., "Основы радиоэлектроники". 2014. С.105-118.
6. Марпл Р.Б. - "Основы теории надежности". 1970. С. 560.
7. Новиков М. В., "Основы электротехники и электроники". 2016. С.98-112.
8. Овсянников Н. И. Кремниевые биполярные транзисторы: Справ. пособие. — Мн.: "Высшая школа", 1989. С. 302.
9. Панова А.С. Правовое обеспечение качества и безопасности товаров: вопросы теории и практики : монография. Москва, 2020. С.336.
10. Рембеза А.А. - "Методы обеспечения надежности и безопасности в сложных технических системах" 2010.С.224.
11. "Руководство пользователя по Autocad Electrical". [Электронный ресурс]. URL: https://help.autodesk.com/view/ACAD_E/2024/RUS/ (Дата обращения: 16.06.2025)
12. Семенов Б. Ю., "Системотехника радиоэлектронных устройств". 2010. С.13-25.
13. Сибикин Ю. Д. Электробезопасность при эксплуатации электроустановок промышленных предприятий. 2012.С.224.

14. Хоровиц П., Хилл У. Искусство схемотехники: В 3-х томах = The Art of Electronics: Second Edition (© Cambridge University Press, 1980, 1989) / Пер. с англ.: Б. Н. Бронина, И. И. Короткевич, А. И. Коротова, М. Н. Микшица, Л. В. Поспелова, О. А. Соболевой, К. Г. Финогенова, Ю. В. Чечёткина, М. П. Шарапова. — Изд. 4-е, переработанное и дополненное. — М.1993.С.255.
15. Чуев И.Н. Экономика предприятия: Учебник. 2010. С. 416.
16. Altium Designer Secrets Revealed: A Comprehensive Guide to the World's Leading PCB Design Software by Steven S. Wong (2016).
17. Altium Designer: The Complete Beginner's Guide by Robert Curry (2018).
18. Razavi, Design of Analog CMOS Integrated Circuits, McGraw-Hill, 2002, pp. 213-264
19. S. M. Sze, "Semiconductor Devices: Physics and Technology," 3rd ed., Wiley, 2007, Chapter 2
20. Sedra, Smith, Microelectronic Circuits, 5th ed., Oxford University Press, 2004, pp. 515-549

Приложение А

Технологическая карта контроля работоспособности блока управления лазерного станка с ЧПУ

Таблица А.1 - технологическая карта контроля работоспособности

1.1 Объект контроля	
1.1.1 Разработал	Баушин Т.А.
1.1.2 Контролируемое устройство	Лазерный станок с ЧПУ
1.2. Размеры контролируемого устройства	
1.2.1 Длина	2210 мм
1.2.2 Ширина	1504 мм
1.2.3 Высота	670мм
1.3. Общая информация о сборке устройства	
1.3.1 Общее количество электронных компонентов	21 шт
1.3.2 Сечение подводящего кабеля	ПУГВ 3*1.5
Напряжение питания (АС)	220 В
Потребляемая мощность	<400 W

Продолжение таблицы А.1

3. Оборудование для проверки работоспособности электросхемы	
3.1 Отвёртка индикаторная	КВТ НИО-02Т
3.2 Мультиметр цифровой	Mastech 8239c
4. Проверка работоспособности электросхемы	
4.1 Провести визуальный осмотр	- Провести осмотр узлов и соединений оборудования, не допускаются наличие оголённых проводов, незафиксированных разъёмов и соединений. Все узлы станка должны быть жёстко закреплены.
4.2 Проверка отсутствия короткого замыкания	-включить мультиметр, убедится в том, что устройство обесточено от сети. Установить мультиметр в режим прозвонки, проверить отсутствие замыканий на цепи 220в, 24в и 5в.
4.2 Проверка исправности блока питания.	-Подключить устройство в сеть, перевести переключатель сети в положение – Вкл, проверить индикаторной отвёрткой наличие питающей фазы. Проверить мультиметром наличие постоянного выходного напряжения 24в.
4.3 Проверка исправности блока управления.	- После подключения питания, проверить работоспособности блока управления. Выполнить проверку перемещения узлов станка, исправность блока высокого напряжения

Продолжение таблицы А.1

5. Проверка направления отражающих зеркал	
5.1 Калибровка тока блока высокого напряжения	- Установить регулятор мощности на значение 10%, произвести подачу напряжения, убедиться в соответствии значения тока параметрам лазерной трубки.
5.2 Настройка зеркал	- Провести регулировку зеркал, для этого выставить в плоскости каждого зеркала бумажный лист, и посредством регулировочных винтов выставить зеркала так, чтобы при подаче напряжения центр луча попадал в центр каждого зеркала.
6. Условия проведения контроля	
6.1 Место проведение контроля	- Необходимо обеспечить рабочее место переменным напряжением 220В, для обеспечения работы устройства;
6.2 Обеспечение правил индивидуальной защиты	- рабочий должен быть обеспечен спецодеждой, спец. обувью и средствами индивидуальной защиты