

Кафедра «Электроника и робототехника»

«ДОПУЩЕН К ЗАЩИТЕ»

Зав. кафедрой \_\_\_\_\_

(ученая степень, звание, Ф.И.О.)

« \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 201\_\_ г.

(подпись)

ДИПЛОМНАЯ РАБОТА

На тему: «Разработка цифровой системы управления гравитационной установкой»

Специальность 5В071600 - «Трибостроение»

Выполнил (а) Тоткин Валерий Валерьевич Группа ПС-15-3  
(Ф.И.О.)

Научный руководитель доцент, к.т.н., Байкенов Б.С.  
(ученая степень, звание, Ф.И.О.)

Консультанты:

по экономической части:

доцент, к.э.н., Бекмиева А.Н.

(ученая степень, звание, Ф.И.О.)

А.Н.

(подпись)

«29» 05

2019 г.

по безопасности жизнедеятельности:

профессор, д.т.н., Трикозко Н.Т.

(ученая степень, звание, Ф.И.О.)

Н.Т.

(подпись)

«29» 05

2019 г.

Нормоконтролер:

к.т.н., доцент Биталиев Т.О.

(ученая степень, звание, Ф.И.О.)

Т.О.

(подпись)

«7» 06

2019 г.

Рецензент:

(ученая степень, звание, Ф.И.О.)

« \_\_\_\_\_ »

201\_\_ г.

(подпись)



Некоммерческое акционерное общество  
«АЛМАТИНСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ЭНЕРГЕТИКИ И СВЯЗИ»

Институт Космической инженерии и телекоммуникации

Кафедра Электроники и робототехники

Специальность 5В071600 - Приборостроение

**ЗАДАНИЕ**

на выполнение дипломного проекта

Студенту Готыкину Валерию Валерьевичу  
(Ф.И.О.)

Тема работы Разработка цифровой системы управления гравировальной установкой

Утверждена приказом по университету № 124 от «26» октября 2018 г.

Срок сдачи законченного проекта « 7 » 06 2019 г.

Исходные данные к проекту (требуемые параметры результатов исследования (проектирования) и исходные данные объекта): прибор

- для лазерной гравировки узлами
- габариты не более 200 x 100 x 300
- масса не более 2 кг.
- температура среды от +20 до +30 градусов Цельсия
- микроконтроллер серии AVR
- калеваний и вибраций поверхности нет

Перечень вопросов, подлежащих разработке в дипломном проекте, или краткое содержание дипломного проекта:

- анализ и исследование лазерных гравировщиков
- изучение и описание принципа работы граверов
- разработка схемы управления гравировальным прибором
- создание программного обеспечения устройства
- рассмотрение вопросов охраны труда и БЖД
- расчет технико-экономической эффективности



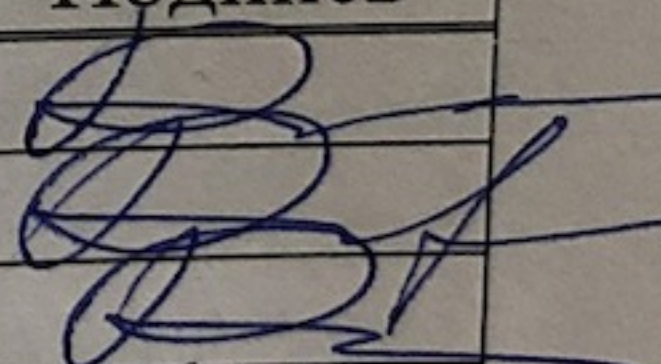
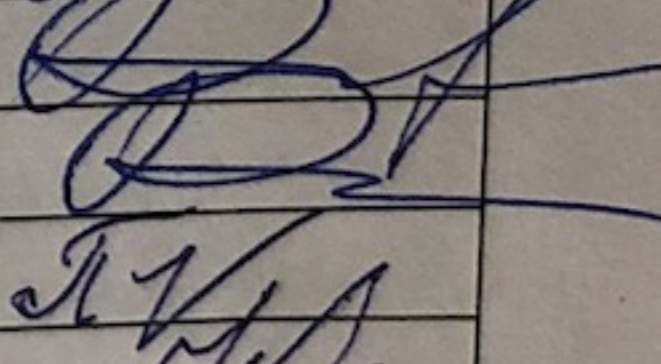
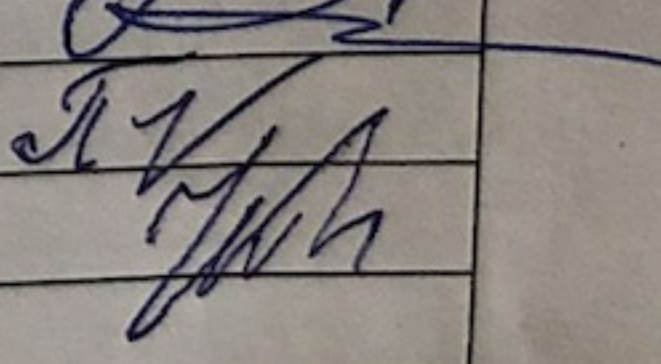
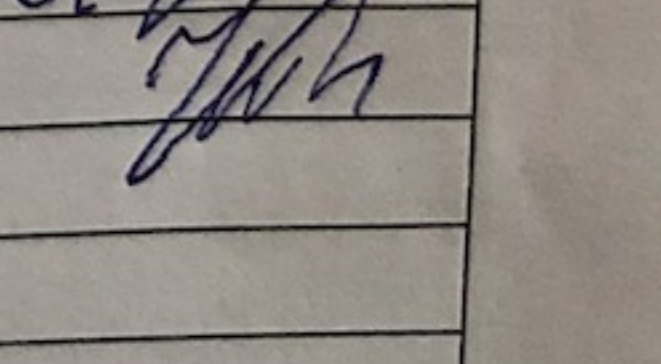
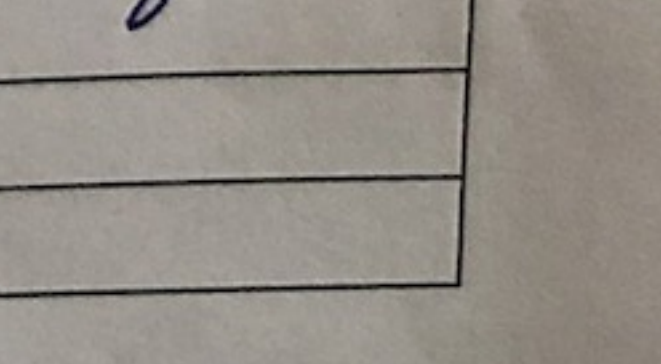
Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

- 1) Технологическая схема станка
- 2) Структурная схема системы управления
- 3) Принципиальная схема системы управления
- 4) Алгоритм программы управления
- 5) Программа управления
- 6) Внешний вид готового изделия
- 7) Расчет срока изготовления станка

Основная рекомендуемая литература:

1. Гладун Б. Т. Физические процессы при лазерной обработке материалов. - М.: Машиностроение, 2010-2080.
2. Григорьев А. Т. Основы лазерной обработки материалов. - М.: Машиностроение, 2011-3011.
3. Рыкалин Н. Н. Лазерная обработка материалов. - М.: Машиностроение, 2015-2961.

Консультации по проекту с указанием относящихся к ним разделов проекта

Раздел	Консультант	Сроки	Подпись
Технологич. часть	Байкенов Б. С.	15.02 - 28.02	
Конструктор. часть	Байкенов Б. С.	1.03 - 31.03	
Графическое обесп.	Байкенов Б. С.	1.04 - 14.04	
Экономич. часть	Бекмешева А. Ч.	30.04 - 9.05	
Охрана труда	Приходько Н. Г.	15.04 - 29.04	



### График подготовки дипломного проекта

[illegible]

Дата выдачи задания « 5 » января 2019 г.

Заведующий кафедрой

(подпись)

(Ф.И.О.)

# Научный руководитель работы

(подпись)

(Ф.И.О.)

Задание принял к  
исполнению студент

(подпись)

(Ф.И.О.)



## Андатпа

Бұл тезис жобасы әртүрлі материалдарды және беттерді суретке түсіру мүмкіндігімен портативті лазерлі гравироверді дамытуға бағытталған. Лазерлі гравирлеудің түрлі жүйелерін талдау жүргізілді, контроллерді, қозғалтқыштарды, тірек конструкцияларын, лазерлік модульдерді және бағдарламалық қамтамасыз етуді іріктеу жүргізілді. Жобаның техникалық шешімі техникалық-экономикалық негіздемені растайтын тест үлгісі ретінде жасалды.

## Аннотация

Дипломная работа посвящена разработке портативного лазерного гравера с использованием различных материалов и поверхностей обработки. На основе анализа систем лазерной гравировки осуществлен выбор контроллера, мини-моторов, несущей конструкции, лазерного модуля и программного обеспечения. Проект выполнен в виде прототипа, техническое решение которого подтверждено технико-экономическим обоснованием.

## Annotation

This thesis project aims to develop a portable laser engraver with the ability to engrave a variety of materials and surfaces. An analysis of various laser engraving systems has been carried out, a selection of a controller, motors, support structure, laser modules and software has been made. The project is designed as a test sample, the technical solution of which is confirmed by a feasibility study.

## СОДЕРЖАНИЕ

Введение	7
1 Технологическая часть	8
1.1 Постановка задачи	8
1.2 Обзор и особенности лазерных систем гравировки	8
1.3 Применение, свойства и принцип работы лазерных граверов	12
1.4 Обзор мини лазерных граверов	15
1.5 Правила эксплуатации лазерного гравера	16
2 Конструкторская часть	18
2.1 Микроконтроллер как основной элемент	18
2.2 Преобразователь USB в UART	24
2.3 Электродвигатели и опорная система	25
2.4 Лазер	27
2.5 Питание и подключение	29
3 Программное обеспечение	34
3.1 Среда разработки программы	34
3.3 Программа для гравировки	37
4 Безопасность жизнедеятельности	41
4.1 Расчет вредных факторов в ходе эксплуатации лазера	41
4.2 Расчет границы безопасной зоны	43
4.3 Расчет вентиляции	46
5 Техничко-экономическое обоснование	48
5.1 Трудоемкость разработки ПП	49
5.2 Расчет затрат на разработку ПП	52
5.3 Определение договорной цены ПП	56
5.4 Оценка эффективности внедрения программных средств	57
Заключение	61
Список литературы	62
Приложение А	63

## ВВЕДЕНИЕ

Актуальность работы состоит в том, чтобы разработать портативный станок для лазерной гравировки, который совместит в себе простоту использования, компактность и полностью автоматизированный процесс гравировки. Данный гравировщик можно будет устанавливать на любые поверхности, также проводить гравировку на разного рода материалах и изделиях. И также благодаря автоматизированной системе управления воспроизводить любые изображения.

Исходя из этого, практическая польза данного устройства заключается в возможности любым человеком с помощью данного прибора наносить лазерную гравировку на нужные ему поверхности и материалы благодаря простоте использования и автоматизированной системе управления.

Целью данной дипломной работы является разработка портативной гравировальной установки, и создание программного обеспечения на основе микроконтроллера для автоматизированной работы.

В настоящее время все шире используются разные виды обработки всевозможных материалов вроде гравировки лазером. Также могут гравироваться изображения как текстовые, так и в виде рисунка. Данный метод отличается лучшим качеством получаемых изображений, выверенными мельчайшими деталями. Нанесенный лазером рисунок, полностью сохраняет точность и качество, которое было у оригинального изображения. Гравировка лазером может выполняться на различного рода материалах и изделиях. Таких как металлы (железо, металл, сплавы, алюминий), пластмассы, поверхности окраски, деревянные изделия, резина, картон и т.д. Универсальность технологии определяется и в отношении материалов, которые можно быть гравировать. Дерево, пластик, камень, стекло, металл, бумага. Изображение получится одинаковым. Гравировать можно как разного рода сувениры, ювелирные изделия, сотовые телефоны. За результат не придется беспокоиться, потому что технология не нанесет увечий материалу или изделию.

Таким образом, нужно создать устройство, которое будет универсальным в плане применения как на различных материалах так и поверхностях, при этом чтобы оно обладало достаточной мощностью для качественной гравировки и небольшими размерами для удобства использования, а также полностью автоматизированной системой, чтобы каждый человек лишь при наличии компьютера или ноутбука смог пользоваться этим прибором.

В ходе выполнения данной дипломной работы должны быть решены вышесказанные задачи.

# **1 ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ**

## **1.1 Постановка задачи**

Проектируемый прибор должен быть компактным, иметь возможность устанавливаться на различного рода поверхности по желанию пользователя. Также мощность лазера должна быть достаточна для гравировки большинства материалов (кроме металлов) с качественно нанесенным изображением. Также программное обеспечение для работы устройства должно быть простым и понятным пользователю, чтобы при наличии ноутбука или стационарного компьютера с операционной системой Windows любой пользователь мог использовать устройство. Максимальный размер изображения 80x80 мм. Также в результате прожига материала нужно образуется едкий дым, поэтому нужно также установить вентилятор на выдув для безопасной работы.

Чтобы реализовать проект нужно произвести обзор уже существующих устройств подобного рода.

## **1.2 Обзор и особенности лазерных систем гравировки**

Создание такого устройства как лазер, совершило передовую революцию в науке и технике, а также во многих других отраслях. За два десятка лет после их возникновения формировались абсолютно новые фундаментальные и прикладные направления физической оптики, оптическая и квантовая электроника, и нелинейная оптика. В настоящее время трудно представить ни современные фундаментальные исследования, ни решение каких-либо технических и технологических задач без лазеров. Лазеры представляют собой генераторы когерентного излучения в оптическом диапазоне, принцип которых основан на индуцированном излучении квантовых систем – различных атомов, ионов, молекул, находящихся в состояниях, существенно отличающихся от состояний термодинамического равновесия. Лазеры, как и мазеры, генераторы и усилители СВЧ диапазона, являются еще квантовыми генераторами (усилителями), так как поведение участвующих в их работе частиц говорится в законах квантовой механики. Основным отличием лазеров от всех других источников света, представляющих собой по сути дела источники оптического шума, является большие значения когерентности лазерного излучения. С появлением лазеров в оптическом диапазоне появились источники излучения, идентичные привычным в радиодиапазоне генераторам когерентных сигналов, которые могут успешно использоваться для целей связи и передачи информации, а по многим своим свойствам - направленности излучения, полосе распространяемых частот, низкому уровню шумов, концентрации энергии во времени и т.д. - превосходящие обычные устройства радиодиапазона.



Лазерным лучом называется монохроматическое когерентное вынужденное излучение, возникающее в активной среде под действием внешнего возбуждающего фактора. В физическом принципе, это явление основано на способности вещества испускать фотон определённой энергии при столкновении атома с другим когерентным фотоном без его поглощения. Образующиеся при этом эти лишние фотоны являются носителями лазерного луча.

Принципиальная схема лазерного излучателя включает в себя активную среду и источник внешней энергии. Генерацию лазерного луча можно описать так: источник энергии служит для «накачки» активной среды (например, рубинового кристалла) извне фотонами определённой энергии. Эти фотоны выбивают из атомов вещества активной среды своих аналогов, но сами при этом не поглощаются. Оптический резонатор (в обычном случае — два параллельных зеркала) дополнительно насыщает активную среду, заставляя одинаковые фотоны многократно сталкиваться с атомами и поддерживать возникновение новых фотонов. Одно из зеркал резонатора в частых случаях является полупрозрачным оно и пропускает фотоны в сторону оптической оси в результате узконаправленного лазерного луча.

По способу выполнения разнообразие лазеров довольно обширно. Чаще всего лазеры различают также по виду активной среды (твёрдотельные, газовые, полупроводниковые). По типу возбуждающей энергии (с постоянной мощностью или импульсные), по размерам и мощности, по назначению и т. д.

Компенсированный лазерный луч обладает достаточной концентрацией энергии для проникновения в материал заготовки. Под воздействием луча материал в зоне обработки может расплавляться, испаряться, воспламеняться или другим образом изменять свою структуру, фактически исчезая. В таком случае процесс обработки похож на механическое резание с той лишь разницей, что режущий инструмент заменён на луч, а отходы материала не отводятся в виде стружки, а испаряются. При достаточном уровне мощности (и/или небольшой толщине материала), лазерный луч способен осуществлять сквозную резку. При меньшей мощности — выжигать на поверхности чёткий след (узор гравировки).

Главным достоинством лазерной обработки является очень тонкий срез при меньшей области вмешательства в материал (в том числе с минимальной температурной нагрузкой и деформацией), благодаря чему обработка заготовки осуществляется с очень высоким качеством. Кроме того, лазер способен обрабатывать практически любые конструкционные материалы и заготовки различных форм и габаритных размеров (в том числе тончайшие или мягкие, не поддающиеся из-за этого обработке фрезой — например, бумагу, резину, полиэтилен и пр.).

Преимущества технологии лазерной обработки в сравнении обработкой резанием привели к появлению лазерных гравировальных установок. Действием и структурой данные машины очень схожи с фрезерными установками [1].



Система оптики станка включает в себя систему из лазерной трубки, отражающих зеркал и головки излучателя с фокусирующей линзой. Трубка содержит сложную «многослойную» конструкцию и, составляет также в себе активную среду (для современных станков — газовую смесь CO<sub>2</sub>, азота и гелия). При подаче внешнего напряжения (через повышающий трансформатор) в газовой среде появляется лазерный луч. Система зеркал и фокусирующая линза головки излучателя переводит луч на поверхность материала. Движение головки излучателя над заготовкой дает возможность вести обработку согласно готовому алгоритму по самым сложным (двух- или трёхмерным) траекториям. Для охлаждения лазерной трубки продумана циркуляция жидкости (воды) в специальных магистралях под управлением внешнего насоса.

Лазерные установки нашли свое успешное применение в различных отраслях и широким спектром материалов. Например: металлы, дерево, пластик, кожа и т.д. Но эти устройства, в зависимости от спецификации, имеют ряд особенностей и специализаций в применении их в эксплуатации с изделиями различных параметров.

Таким образом, на устройствах для лазерной гравировки можно проводить обработку с такими материалами как:

- а) пластик;
- б) дерево, материалы из древесины;
- в) металлы, их сплавы;
- г) композит;
- д) искусственные, полудрагоценные камни;
- е) оргстекло.

Причем данные изображения могут быть как углубленными, так и выпуклыми, и также их можно сделать в виде простого рисунка, имеющего вдавленные линии, а можно сделать в виде рельефного штампа.

К таким изображениям относят, например:

- а) орнамент;
- б) рисунок;
- в) логотипы;
- г) различные надписи.

Благодаря системам гравировки можно воспроизводить как 2D так и 3D изображения. Гравирование на станках ЧПУ производится с предельной точностью, работают на достаточно высоких скоростях и изображения получаются очень высокого разрешения. Проводить гравировку на этих устройствах намного проще, они позволяют достичь высокого уровня точности, хорошего результата при достаточно больших скоростях. При этом главное при этом правильный выбор устройства, зависящий от вида используемого материала и способа его обработки [2].



Примеры 2D и 3D изображений полученных с помощью лазерного гравера представлены на рисунках 1.1 и 1.2.



Рисунок 1.1 – 3D изображение



Рисунок 1.2 – 2D изображение



### 1.3 Применение, свойства и принцип работы лазерных граверов

Теперь рассмотрим применение и свойства лазерных граверов. Гравировальные устройства лазерного типа обладают наибольшей популярностью на современном производстве, связанные с операциями резки, гравировки. Подобными станками ЧПУ можно применять с любыми разными материалами. Использоваться они могут с металлическими изделиями и неметаллическими, проводя при этом операции резки, гравировка на поверхностях этих материалов.

Основными преимуществами данных станков являются:

- а) отлично справляется при изготовлении разных деталей с острыми углами, в отличие от фрезерных установок;
- б) высокая скорость обработки позволяет дать возможность справиться с большими объемами работ очень быстро;
- в) можно применять в качестве устройства для работ с резиновыми изделиями;
- г) не нужно плотно фиксировать все заготовки при функционировании лазера;
- д) нет контакта с поверхностью изделия, что дает возможность их применения для обрабатывания даже очень хрупких материалов [3].

Что касается комплектации лазерных граверов, то самые передовые из них состоят из:

- а) линейно-рельсовые направляющие представляют сложный профиль из 2-4 бороздок;
- б) материнские платы;
- в) подъемный стол обеспечивает возможность выполнять гравирование большого размера;
- г) оптика с применением различных длиннофокусных линз с использованием цинка;
- д) компрессор;
- е) ромбовидный стол, значительно повышающий качество резки, потому что лучи лазера не отражаются только на материале;
- ж) системы охлаждения;
- з) крепежи для излучателя нужны, чтобы надежно зафиксировать лазерную трубку;
- и) лазерный указатель определяет необходимую зону лазерной гравировки [4].

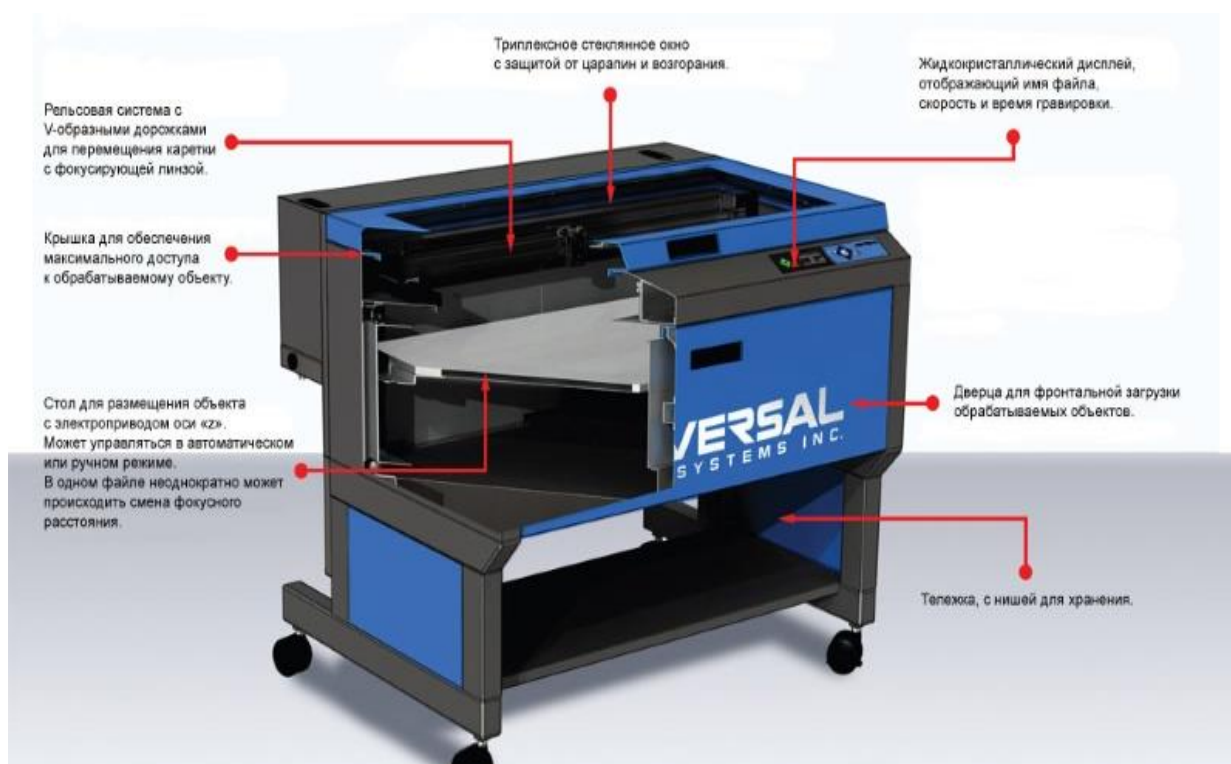
Такие гравировальные станки становятся все более популярными и востребованными не зависимо от вида работ и изделий для обработки. И причина эта кроется именно в возможности предоставления пользователю бесконтактной лазерной обработки, которая имеет свои неоспоримые преимущества, среди которых тонкая миллиметровая резка, аккуратность выполненных швов, отсутствие пыли, стружек во время гравировочных работ, доступная стоимость, легкость в управлении, обработка большого количества



разных материалов. Пример станков подобного типа представлен на рисунках 1.3 и 1.4.



Рисунок 1.3 – Универсальный гравировальный станок



Рельсовая система с V-образными дорожками для перемещения каретки с фокусирующей линзой.

Крышка для обеспечения максимального доступа к обрабатываемому объекту.

Стол для размещения объекта с электроприводом оси «z». Может управляться в автоматическом или ручном режиме. В одном файле неоднократно может происходить смена фокусного расстояния.

Триплексное стеклянное окно с защитой от царапин и возгорания.

Жидкокристаллический дисплей, отображающий имя файла, скорость и время гравировки.

Дверца для фронтальной загрузки обрабатываемых объектов.

Теплоход, с нишей для хранения.

Рисунок 1.4 – Описание профессионального лазерного гравера



Обеспечивает стабильную работу аппарата и предотвращает износостойкость лазерных труб система охлаждения, которая бывает:

а) водяной, состоящей из замкнутого контура и множества трубочек с циркулирующей по ним воде;

б) воздушной, из вентиляторов;

в) водно-воздушная.

Основной частью является стол, от параметров которого зависит возможность гравировки материалов различной структуры, потому что одним из основных параметров служит расстояние от лазера до изделия. Область поля определяется в миллиметрах и указывает на возможные размеры изделий. Гравер на автоматической основе имеет соответствующее управление высотой стола, может комплектоваться дополнительным вращающимся элементом для резки изделий различной формы. Простые модели обладают ручной регулировкой положения площадки изделия, делая работы сложнее.

Пример автоматического компактного лазерного гравера представлен на рисунке 1.5.



Рисунок 1.5 – Компактный лазерный гравер



## 1.4 Обзор мини лазерных граверов

Теперь проведем анализ мини - граверов, проект которого нам и предстоит осуществить. При использовании дома можно обойтись и самой простой и обычной настольной версии лазерного гравировального станка. Основные признаки заключаются в портативности и удобстве эксплуатации.

Пример обычного мини - лазерного гравера представлен на рисунке 1.6.

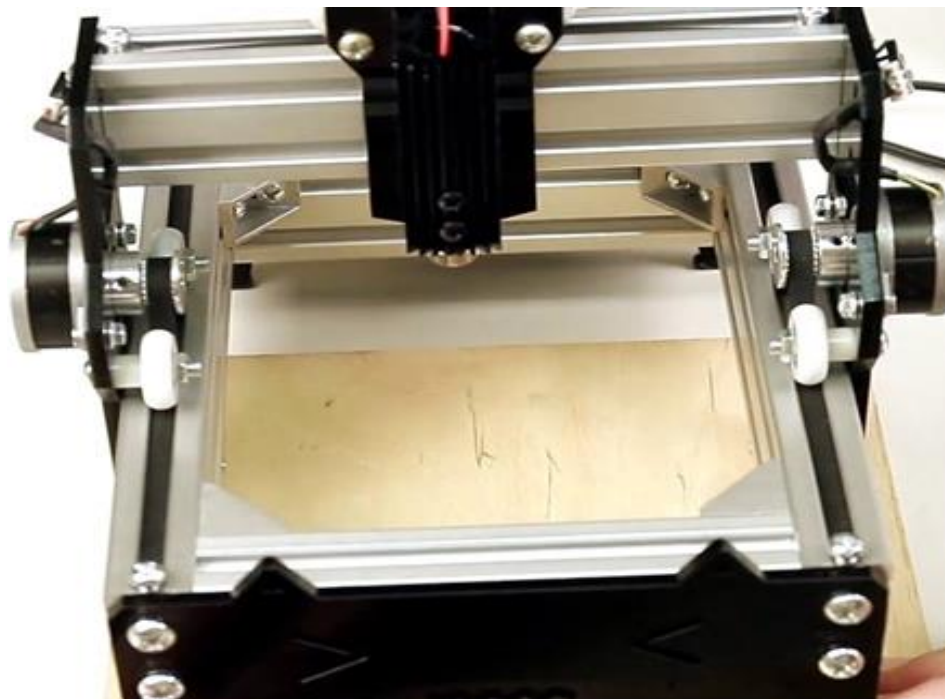


Рисунок 1.6 – Мини лазерный гравер

Мини-гравер состоит из следующих элементов:

- а) лазер для гравировки;
- б) оптический резонатор;
- в) опорная каретка от DWD для фиксации и опоры всей конструкции;
- г) рама с направляющими движения;
- д) система охлаждения;
- е) двигатель;
- ж) стол и корпус с защитными покрытиями;
- з) система подключения к питанию и к компьютеру.

Основные минусы мини-граверов заключаются в неспособности их выдерживать большие нагрузки из-за простого программного обеспечения.

Мини - лазерный гравер – лучший вариант для работы в домашних условиях. Главное сделать правильный выбор оборудования. Стоит учитывать следующие моменты: цель покупки, требования к объему работ, форма и размер изделий, вид, параметры материалов, качество наносимого рисунка уровень мастерства работника и т.д.



## 1.5 Правила эксплуатации и безопасности при использовании лазерного гравера

Для того обеспечить бесперебойную работу достаточного уровня, необходимо учитывать такие параметры станков:

- а) площадь рабочего поля;
- б) мощность луча;
- в) время эксплуатации газовой трубки;
- г) бесперебойность работы;
- д) качество линзы;
- е) параметры оптической системы;
- ж) систему охлаждения;
- з) функции автофокусировки;
- и) вспомогательные средства;
- к) совместимость оборудования с компьютером;
- л) вентиляция помещения.

При использовании дома или обеспечения потребностей малого бизнеса достаточно приобрести недорогие аппараты. Таким оборудованием можно обучаться работе, отрабатывать навыки, а даже начинать выполнять небольшие заказы [5].

Пример работы лазерного гравера представлен на рисунке 1.7.



Рисунок 1.7 – Работа лазерного гравера



Стоит иметь в виду при работе на лазерном гравировальном станке, что нужно соблюдать правила безопасности. Лазерное излучение пагубно влияет на глазные ткани. Поэтому чтобы выполнять гравировку дома по металлу, пластмассам, дереву и прочим материалам, необходимо учитывать минимальные требования к установке, а также беречь глаза от прямого контакта с лазером. Также нужно учитывать параметры оборудования: достаточное свободное место в рабочей зоне, без загромождений, хорошая вентиляция помещения, защита от пыли, задымленность, а также хорошее проветривание помещения.

Гравер открывает перед мастером интересные возможности: от создания сувениров до дорогих украшений; от маркировки на деталях до личных марок; от индивидуальных заказов до массового производства. Высокий уровень квалификации и правильное оснащение обеспечат стабильный доход в течение длительного времени. Именно поэтому данная технология пользуется большой популярностью.



## 2 КОНСТРУКТОРСКАЯ ЧАСТЬ

### 2.1 Контроллер

Система управления нашим устройством микропроцессорная, то есть, центральным элементом является контроллер, который будет управлять всей системой, принимать и обрабатывать сигналы с датчиков и выполнять еще целый ряд различных задач. Популярность ARM-микроконтроллеров растет. Рынок их постоянно увеличивается, поскольку 32-битные решения по стоимости приближаются к 8-битным, но в то же время обеспечивают большую производительность.

Главное достоинство ARM-микроконтроллеров, допустим, разработчик выбрал в качестве платформы это ядро, возможность осуществить переход от одного решения к другому независимо от производителя. На сегодняшний день STMicroelectronics предлагает три вида на базе ядра ARM7, первый семейство ARM9 - микроконтроллеров и одно семейство на базе ядра ARM Cortex-M3. В таблице 2.1 показаны все самые основные отличительные характеристики ARM7 и ARM9 микроконтроллеров, и также в области использования этих контроллеров [14].

STM32 является микроконтроллером, построенным на ядре ARM Cortex-M3. Это ядро имеет много преимуществ, но его главное преимущество сегодня - это универсальность. За два года Cortex-M3 стал отраслевым стандартом.

В разработке данного ядра принимала участие такая компания как STMicroelectronics, и они одни из первых предложила решения на базе Cortex-M3. Архитектура этого представлена на рисунке 2.1.

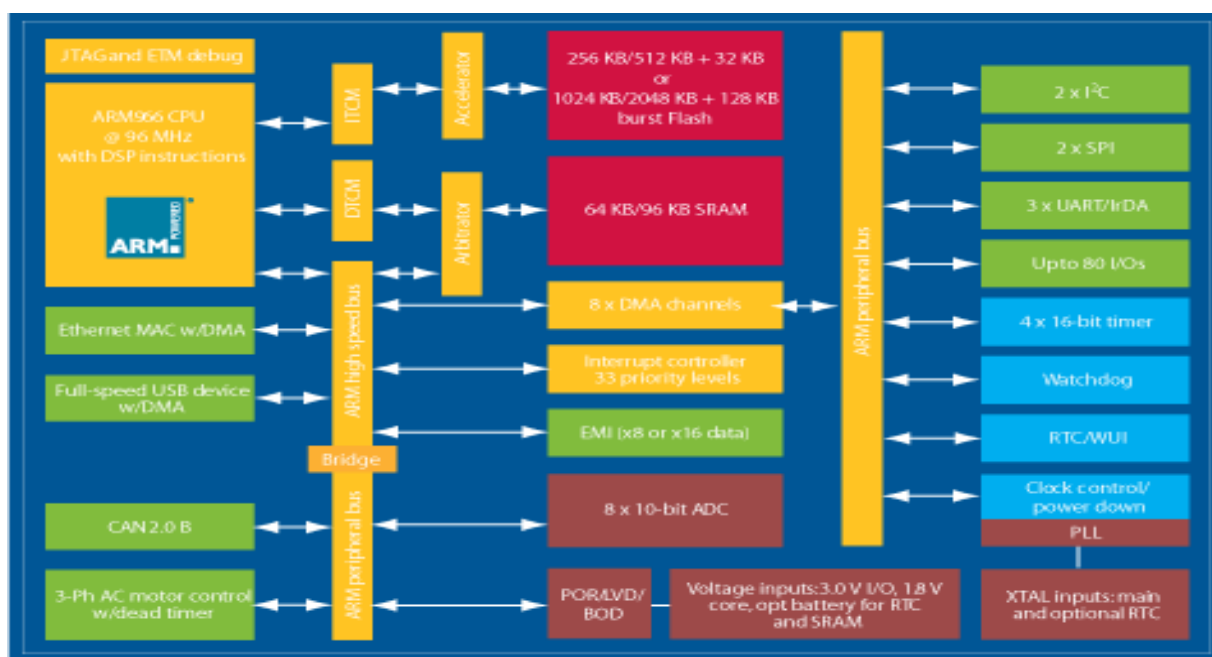


Рисунок 2.1 – Архитектура микроконтроллеров семейства STM32



Таблица 2.1 – Характеристики ARM7

Семейство		Особенности	Основные приложения
STR710	ARM7, до 45 MIPS	— большая RAM (64 КБ)	Промышленность, потребительские товары: GSM, GPS, Bluetooth®, DAB/DBM hostprocessor, трехфазные измерители мощности, автоматические выключатели, считыватели банковских карт, кассовые аппараты.
	от 3,0 до 3,6 В	— до 4 UART	
	от -40 до 85°C	— Интерфейс внешней памяти	
		— Периферийные устройства содержат CAN, USB, 4xUART и SC-интерфейс (ISO7816)	
STR730	ARM7, до 32 MIPS	— до 20 таймеров	Тахографы, также измерители мощности, регистраторы данных, UPS, банкоматы, машиностроение, промышленность.
	от 4,5 до 5,5 В	— 3 CAN, 4 UART	
	от -40 до 85°C или	— множество портов ввода- вывода (112)	
	до 105°C	— Периферийные устройства содержат 3xCAN, 4xUART, и до 20 таймеров, 16 DMA	
STR750	ARM7, до 54 MIPS	— высокая интеграция	Подходит для многих приложений общего назначения, приводы общего назначения и с векторным контролем: USB- устройства, бесщеточные двигатели, UPS, системы аварийной сигнализации, автоматизация производства, автоматические выключатели, инверторы, медицинское и портативное оборудование..
	от 3,0 до 3,6 В или	— управление/связь	
	от 4,5 до 5,5 В	— надежность и низкое энергопотребление	



В нашей сборке будет использован контроллер STM32F103C8T6. Данный контроллер является основным для этой компании. Контроллеры именно этой серии дали возможность многим разработчикам уйти от решений на 8-битных ядрах. STM32F0, STM32F1 и STM32F3 – являются базовыми сериями. Данные микроконтроллеры являются и обладают наиболее рациональными характеристиками и также в свою очередь являются среди всех самыми сбалансированным соотношением производительности, а также и по энергопотреблению и цене.

В нашем устройстве используется именно микроконтроллер Stm32 а не Arduino, поскольку она не способна обеспечить заданного уровня производительности для данного прибора. По сравнению с Arduino, stm32 имеет ряд неоспоримых преимуществ по сравнению с остальными, как в скорости выполнения программ, так и в гораздо большем объеме памяти, а также частоте работы самого контроллера.

В таблице 2.2 представлены характеристики плат.

Таблица 2.2 – Сравнительные характеристики плат Arduino и STM32

Характеристики	STM32F1	ArduinoNano
Частота контроллера, МГц	72	16
Программная память, кБайт	64	32
Система питания, В	3.3	5
ОЗУ, кБайт	20	2
USB 2.0	да	нет
DMA	да	нет
CAN	да	нет
RTC	да	нет
UART	3	1



Платы STM32 могут быть прошиты в среде разработки Arduino, хоть это и не лучшее решение. Следует помнить, что таким образом вы урезаете функционал, используете множество костылей и сами себе же стреляете в колено. При переходе, это достаточно полезный нюанс, позволяющий более плавно осваивать все прелести. Семантика C99 может не прийтись по душе первые недели, оттого лучше найти транслятор, ибо среда Arduino полностью уничтожает смысл покупки иного микроконтроллера [15].

Основные параметры этого контроллера представлены в таблице 2.3. Блок схема данного контроллера изображена на рисунке 2.2.

Таблица 2.3 – Параметры контроллера STM32F103C8T6

ЦПУ: Ядро	Cortex-M3
ЦПУ: F,МГц	от 0 до 72
Память: Flash,Кбайт	64
Память: RAM,Кбайт	20
I/O (макс.),шт.	37
Таймеры: 16-бит,шт	4
Таймеры: Каналов ШИМ,шт	18
Таймеры: RTC	Да
Интерфейсы: UART,шт	3
Интерфейсы: SPI,шт	2
Интерфейсы: I <sup>2</sup> C,шт	2
Интерфейсы: USB,шт	1
Интерфейсы: CAN,шт	1
Интерфейсы: DMA,шт	12
Аналоговые входы: Разрядов АЦП,бит	12
Аналоговые входы: Каналов АЦП,шт	10
V <sub>CC</sub> ,В	от 2 до 3.6
I <sub>CC</sub> ,мА	150
T <sub>A</sub> ,°C	от -40 до 105



Внешний вид контроллера STM32F103C8T6 представлен на рисунке 2.3:

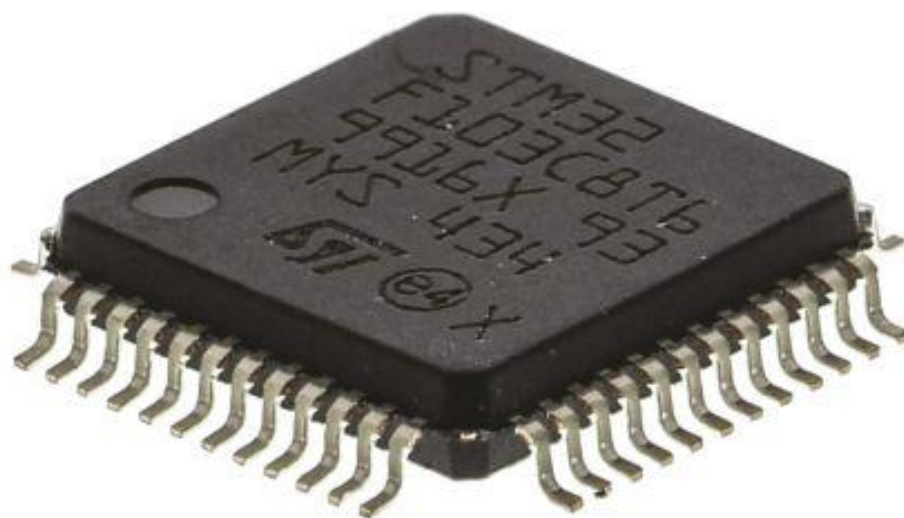


Рисунок 2.3 – Контроллер STM32F103C8T6

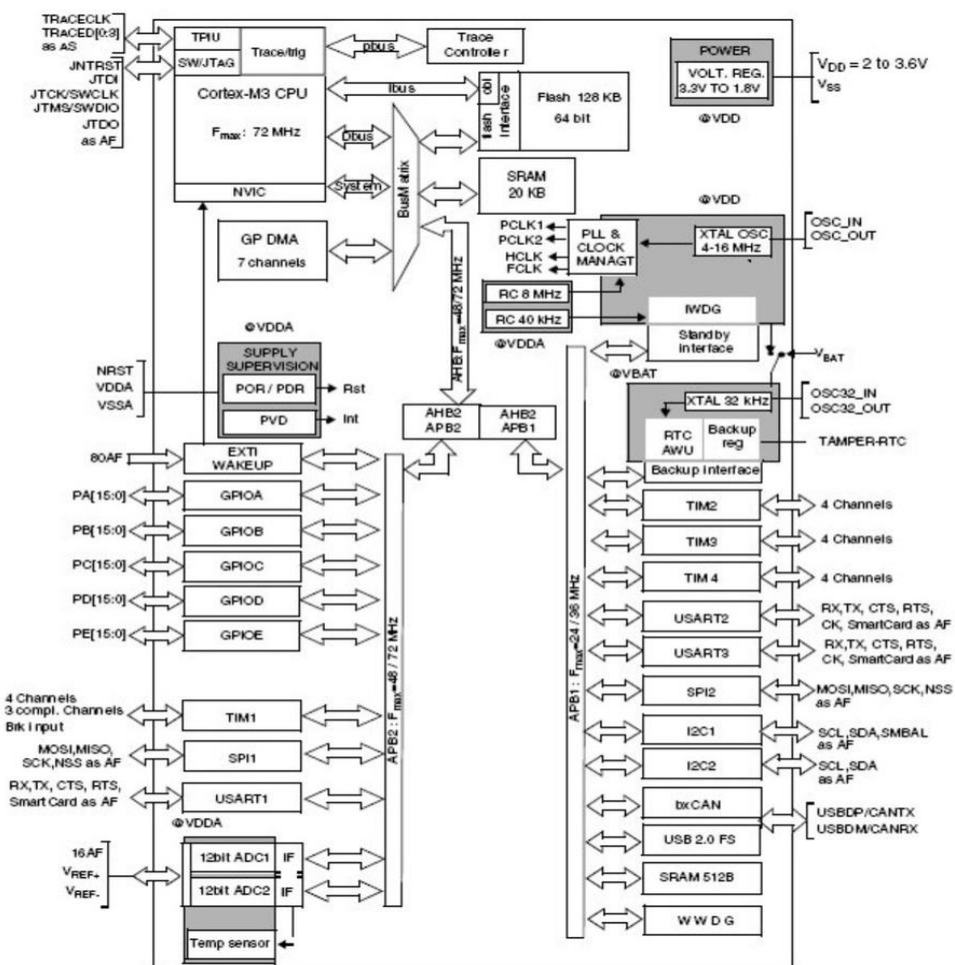


Рисунок 2.2 – Блок схема контроллера STM32F103C8T6



Примером отладочной платы для контроллера может быть плата BluePill. Отладочная плата BluePill (рисунок 2.4) на базе STM32, которая опережает своего конкурента ArduinoNano как по цене так и по параметрам.

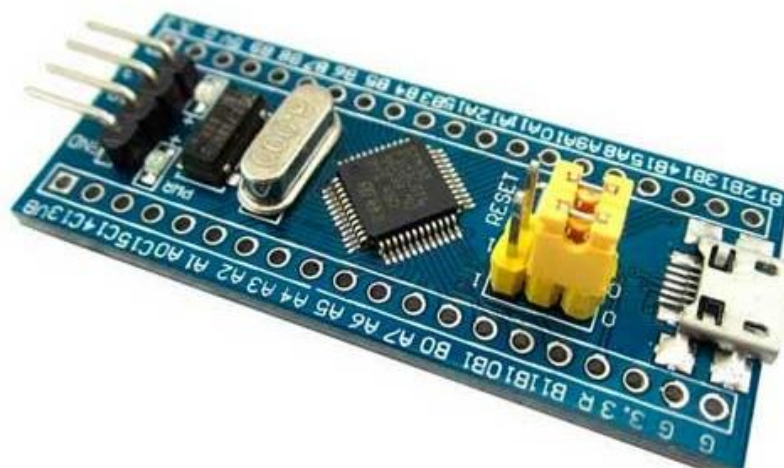


Рисунок 2.4 – Плата BluePill

Распиновка платы BluePill представлена на рисунке 2.5.

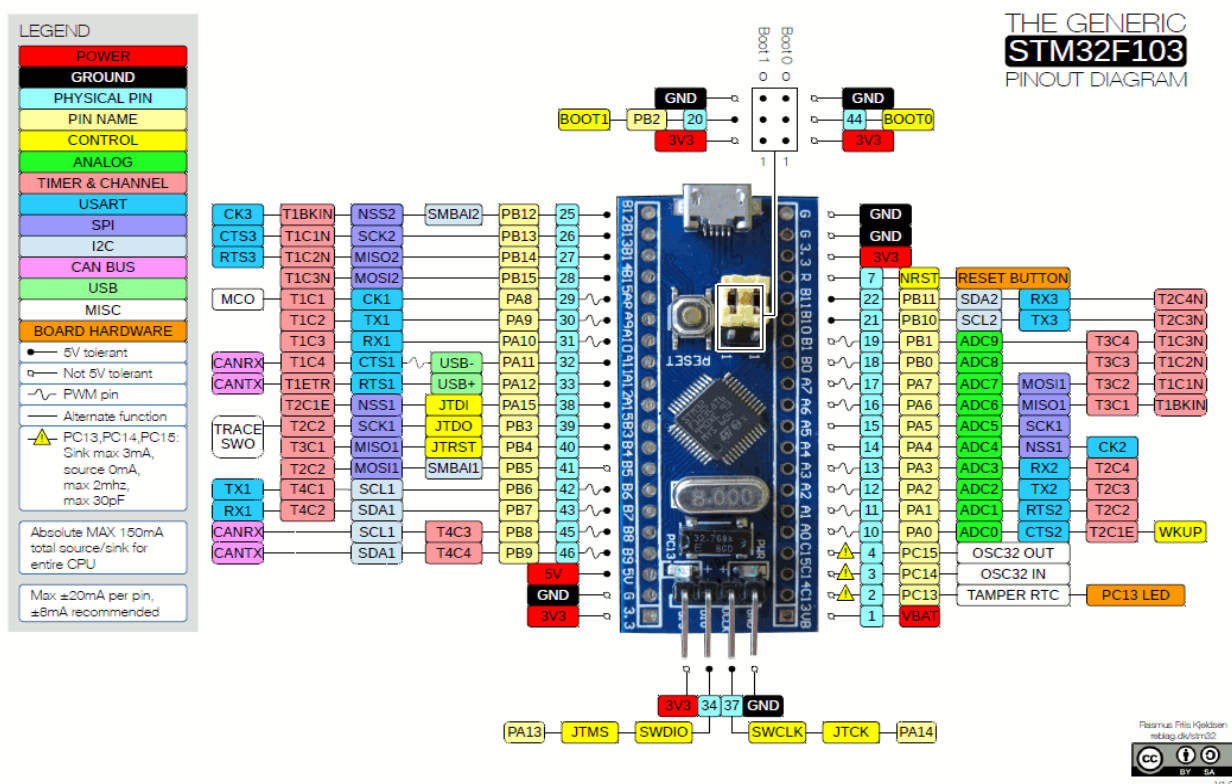


Рисунок 2.5 – Распиновка платы BluePill



## 2.2 Преобразователь интерфейса USB в UART

Для нашего проекта нам понадобится переходник с USB на UART, чтобы подключить нашу плату к компьютеру. Стоит помнить, что STM32, это 3.3 В логика, совместимость с 5-ти вольтовой не гарантируется, поэтому рекомендовано использовать USB to UART, у которого есть возможность выбора режимов работы с 3.3/5В логикой. Поэтому используем переходник на CH340G (рисунок 2.6).

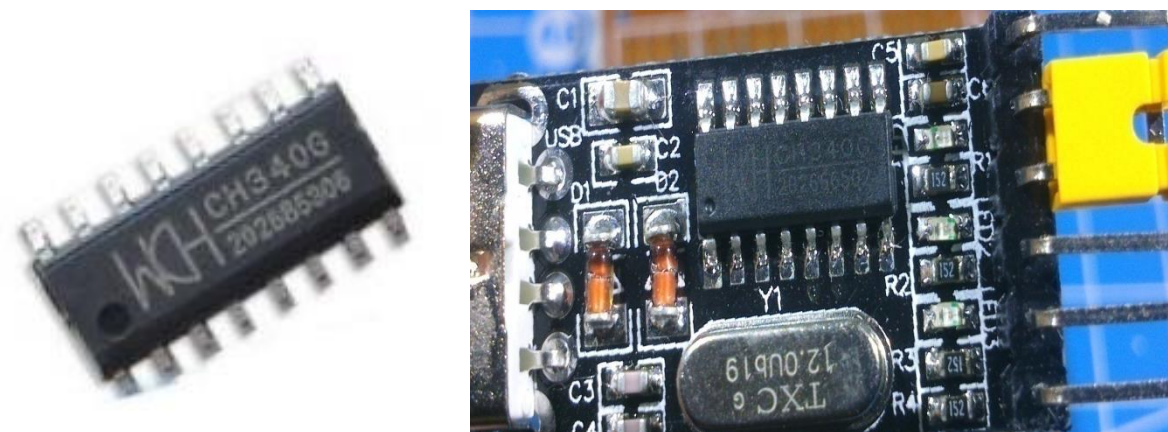
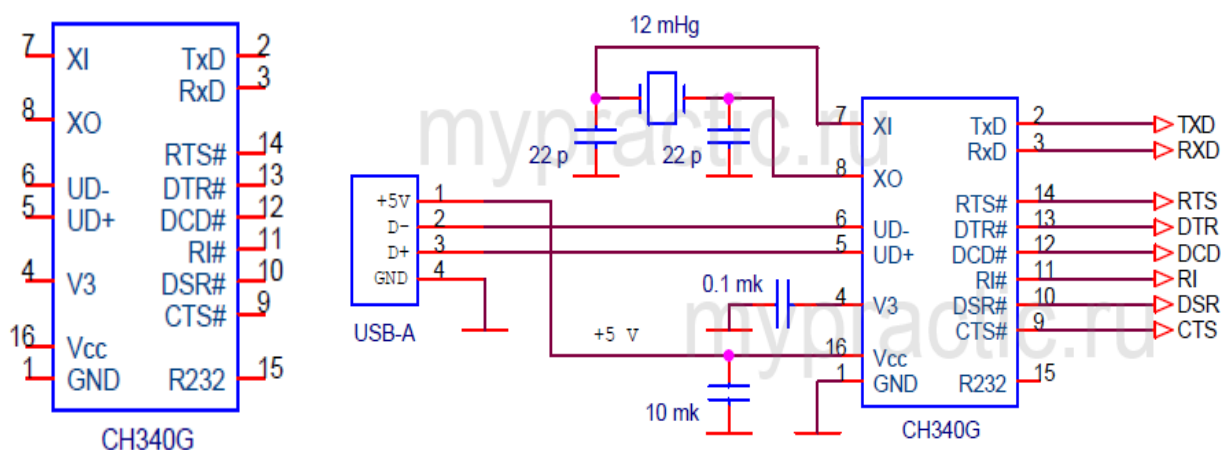


Рисунок 2.6 – Переходник на CH340G

Данный модуль предназначен для преобразования интерфейса USB в UART. Дает возможность создать на компьютере дополнительный UART порт. Применение именно этого модуля обусловлено низкой ценой микросхемы, а также удобный корпус SO-16. Маленький корпус с небольшим числом выводов и минимум внешних компонентов значительно облегчают использование модуля. Также стоит отметить, что данный модуль поддерживает скорость USB, имеет все нужные выводы и интерфейсы

Назначение выводов и схема подключения к плате представлены на рисунке 2.7:





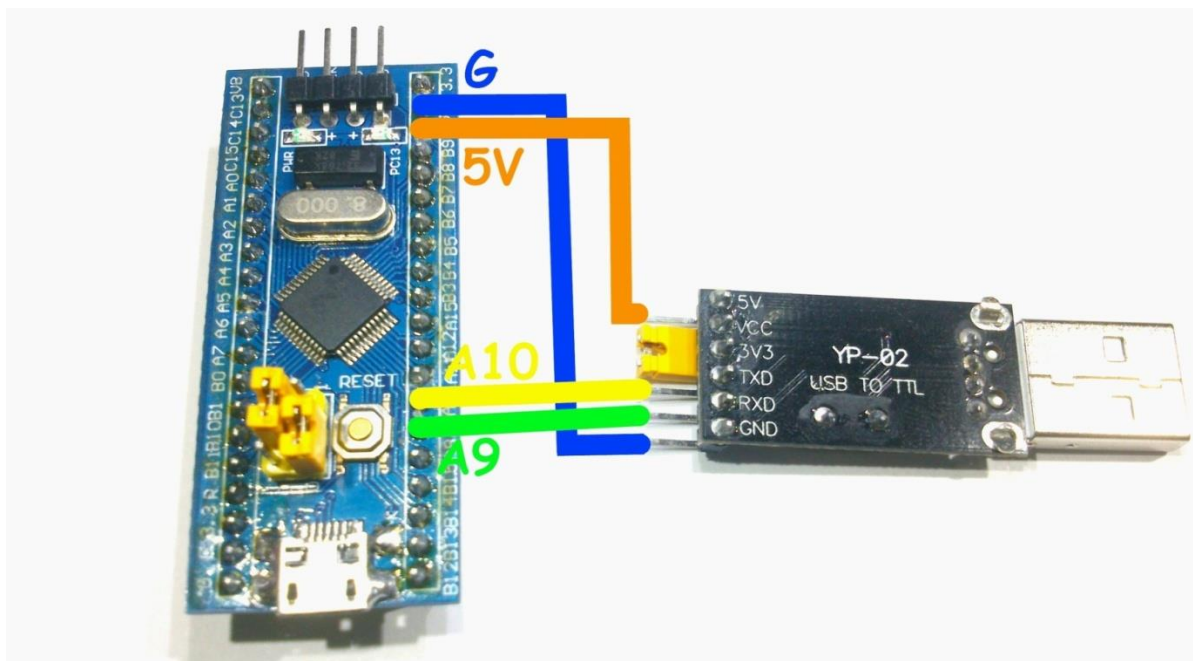


Рисунок 2.7 – Назначение выводов и схема подключения к плате

### 2.3 Выбор двигателей, лазера и опорной системы

В качестве двигателя и опорного механизма послужили 2CD-ROM дисководы. Они были полностью разобраны, была удалена вся оптика и плата находящаяся на механизме (рисунок 2.8).

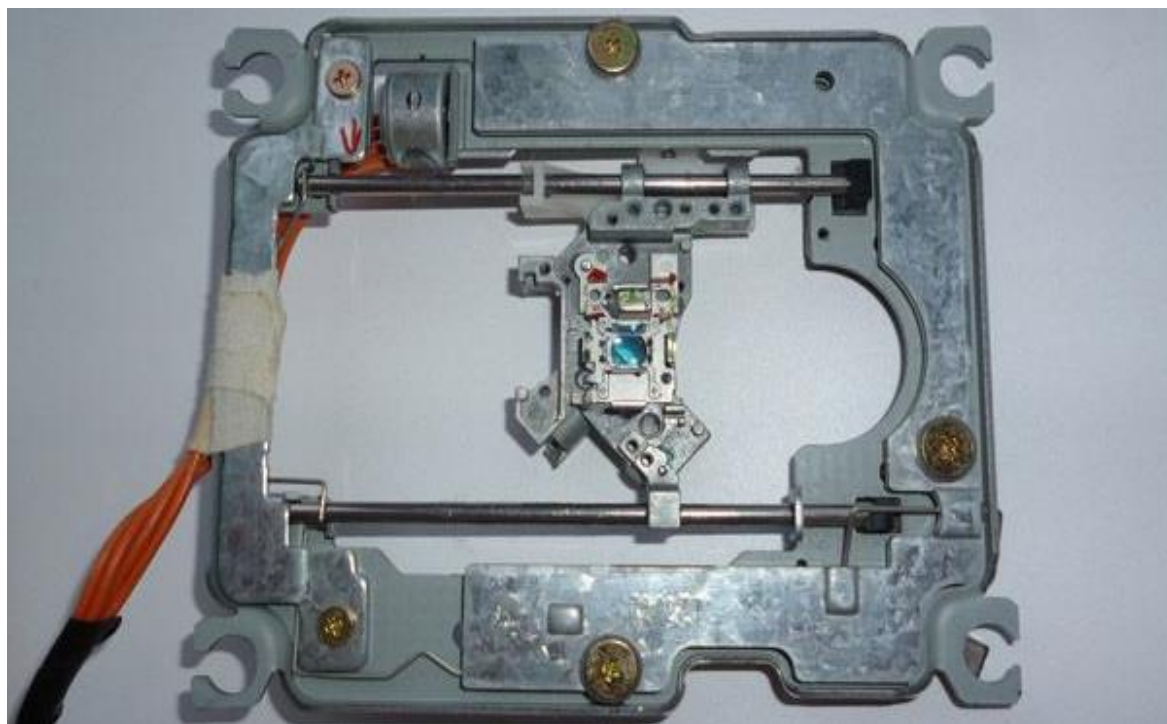


Рисунок 2.8 – Разобраный CD-ROM



Из 2 таких CD-ROM нам понадобится шаговые двигатели и опорные каретки для крепления лазера. Далее мы должны отрезать шлейф, идущий от шагового двигателя, и припаять провода (рисунок 2.9).

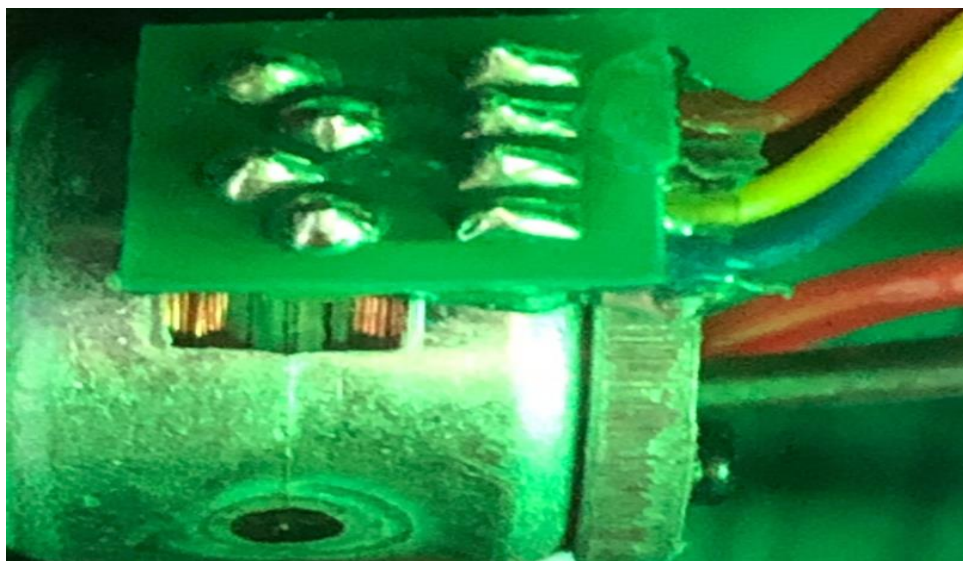


Рисунок 2.9 – Шаговый двигатель

Также нужно обе направляющие каретки вмонтировать в корпус. Корпус в свою очередь был выбран с учетом непосредственной установки на рабочую поверхность и встроенной системой охлаждения (рисунок 2.10).

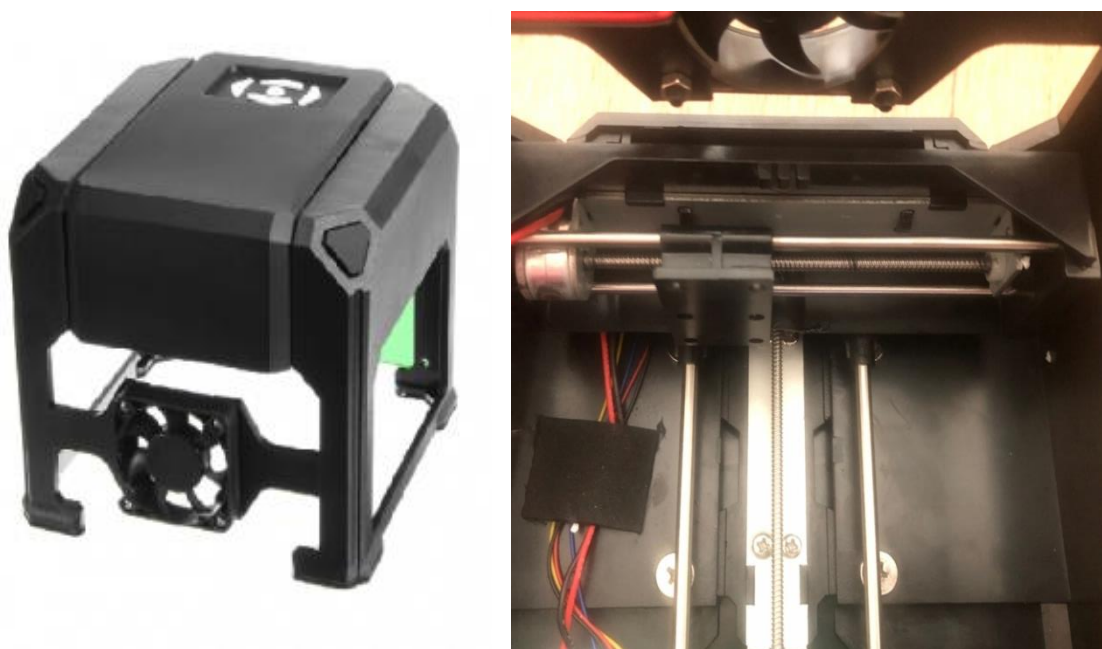


Рисунок 2.10 – Корпус с каретками



В качестве драйвера двигателя был взят TC118S. Он способен обеспечить все необходимые параметры для шаговых двигателей и является оптимальным решением (рисунок 2.11).



Рисунок 2.11 – Драйвер шагового двигателя TC118S

## 2.4 Лазер

Теперь нам нужно выбрать самую важную часть нашего устройства – лазер. Для начала разберемся, что такое лазер. Лазеры - это квантовые генераторы, излучающие инфракрасное излучение. Слово лазер представляет аббревиатуру выражения: Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation, что означает усиление света в результате индуцированного или, как иногда называют, вынужденного излучения квантов. Лазер включает в себя активную среду, системы накачки - источника напряжения и оптического резонатора. Устройство лазера представлено на рисунке 2.12.



Рисунок 2.12 – Устройство лазера



Твердотельные лазеры. Эти лазеры используют лазерное вещество, которое распределено в твердой основе. Эти лазеры занимают одно из первых мест в лазерной индустрии. В начале, в качестве рабочей среды использовался кристалл розового рубина. Данные лазеры отличаются простотой использования и довольно большой конечной мощностью. Особенностью является непостоянство мощности. Ее составляют отдельные пики активности [18].

В свою очередь полупроводниковые лазеры состоят из нескольких слоев полупроводникового материала, скрепленного совместно. Диод называется лазерным, если излучающий свет, с оптической емкостью для усиления излучаемого света от люфта в стержне полупроводника. Их можно настроить, меняя прикладываемый ток, температуру или любое магнитное поле. Как раз лазер такого рода мы и будем использовать [19].

Теперь рассмотрим основные параметры лазеров. К ним относятся длина волны, мощность и рабочее напряжение. По идее, длина волны излучения, то есть, фактически, цвет луча. Например, 405 нм– фиолетовый; 445 нм– синий; 532 нм– зеленый; 650 нм– красный; 808 нм - инфракрасный (осторожно, невидимый). Далее самый важный параметр – это мощность лазера. Мощность излучения в луче. Определяет способность лазера жечь и опасность лазера. Что касается выбора лазера, то нам нужно выбирать от 400нм и мощностью от 1Вт, чтобы хватило на большинство материалов. Также нужен радиатор для лазера, из-за повышенных температур во время работы. Таким образом по заданным требованиям нам подходит лазерная головка 1000 МВт 405nm Blueviolet (рисунок 2.13).



Рисунок 2.13 – Лазерная головка и радиатор



Данный лазер поставляется с платой управления, питается она от напряжения 4.5 В...5 В., максимальная потребляемая мощность 1,5 Вт (излучаемая соответственно меньше). Таким образом, для защиты лазерного диода и управления его яркостью требуется регулируемая схема тока. Простейшая схема питания для лазерных диодов (рисунок 2.14).

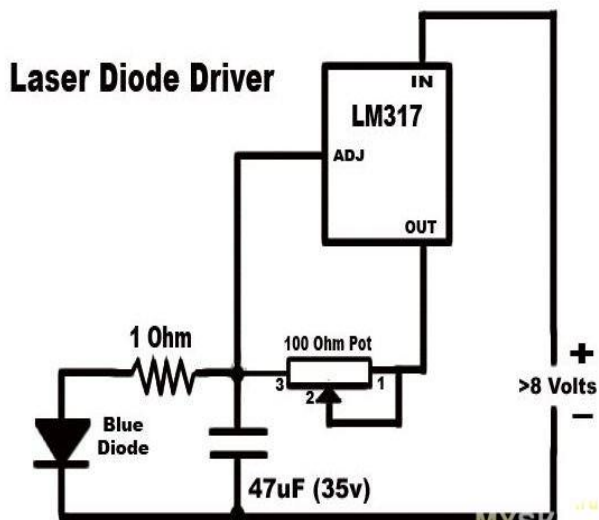


Рисунок 2.14 – Схема подключения и плата управления лазером

### 2.3 Питание и подключение

Для удобства использования и портативности была использована плата с распаянными на ней контроллером STM32F103C8T6, модулем CH340 и драйверами двигателя TC118S (рисунок 2.15).

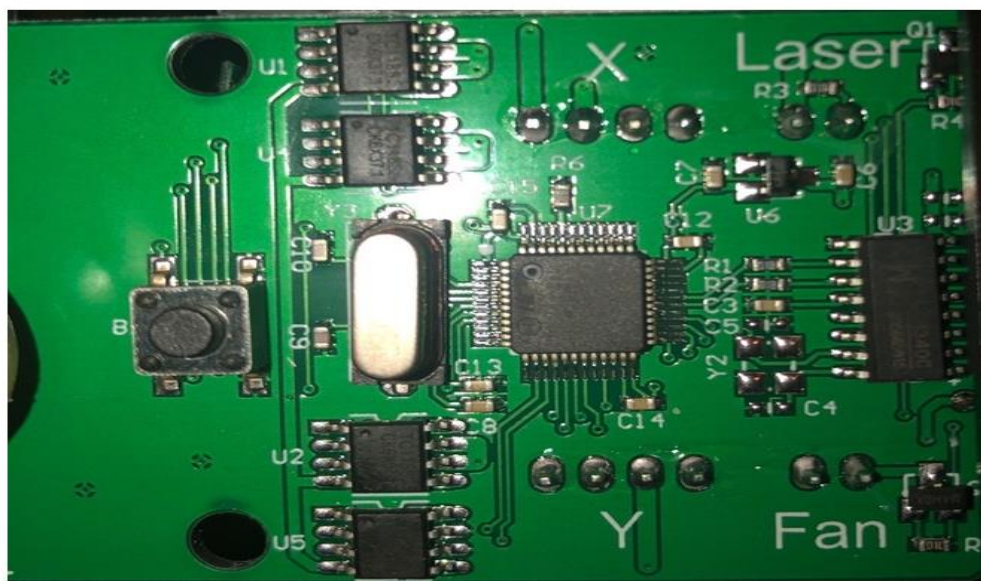


Рисунок 2.15 – Плата управления



Также установлен конденсатор на 1500 $\mu$ F; 10V. И в качестве источника питания используется блок питания AC-DC 5 В, 2 А. Надежный импульсный блок питания 0520 предназначен для питания электронных устройств постоянным стабилизированным напряжением 5 вольт. Качественный и надежный источник питания, имеет прочный пластмассовый корпус и гибкий провод. Выход блока питания имеет защиту от короткого замыкания. Может применяться для зарядки аудио плееров, планшетов, электронных книг, модемов, роутеров и т.п. Малогабаритный и невесомый (рисунок 2.16).

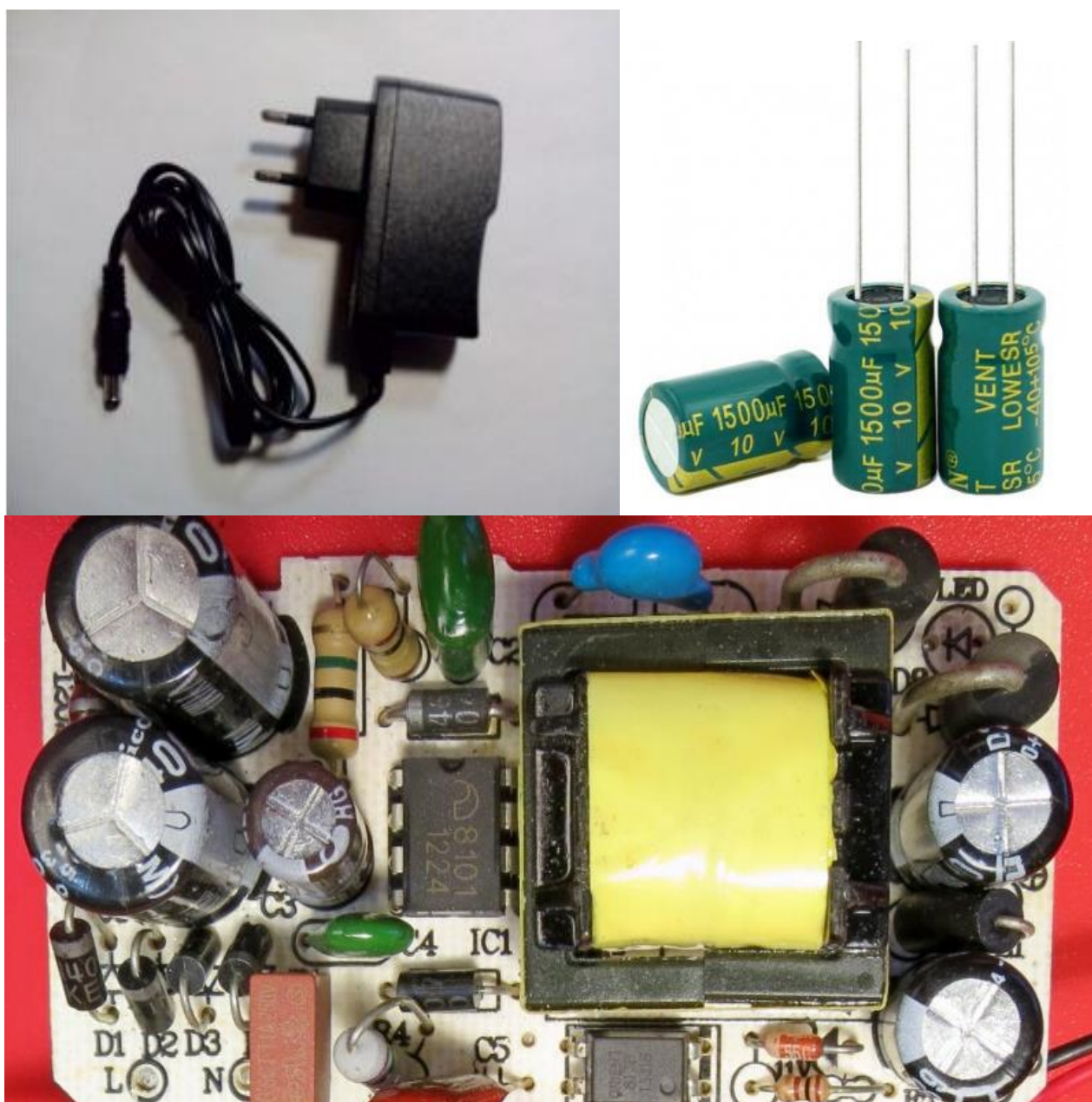


Рисунок 2.16 – Блок питания и конденсатор

Теперь нужно произвести подключение всех частей и смонтировать все в корпус. Для этого используются направляющие валы, на которые устанавливаются каретка с закрепленным лазером. Главное отличие данного



лазерного гравера — это специальный литой пластиковый корпус (а не акриловая резка-конструктор) с установленными «длинными» каретками. Поэтому рабочей поверхностью является непосредственно область, на которую устанавливается гравер, а не как в аналогах, рабочей областью у которых является только опорная часть.

Процесс монтажа показан на рисунке 2.17.

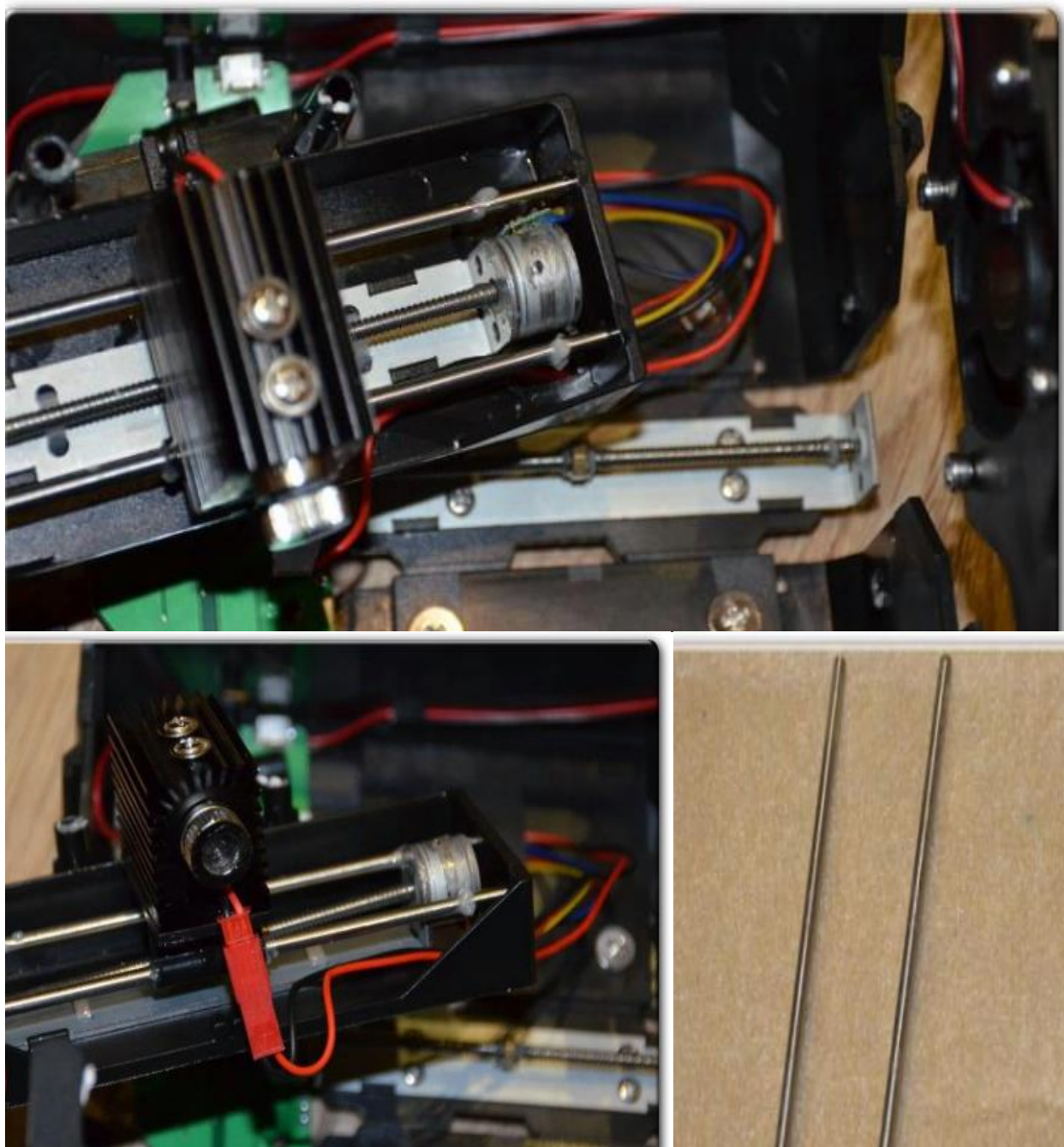


Рисунок 2.17 – Монтаж в корпус



Теперь нам нужно подключить все к плате управления и к питанию. Подключение происходит по следующей схеме (рисунок 2.18).

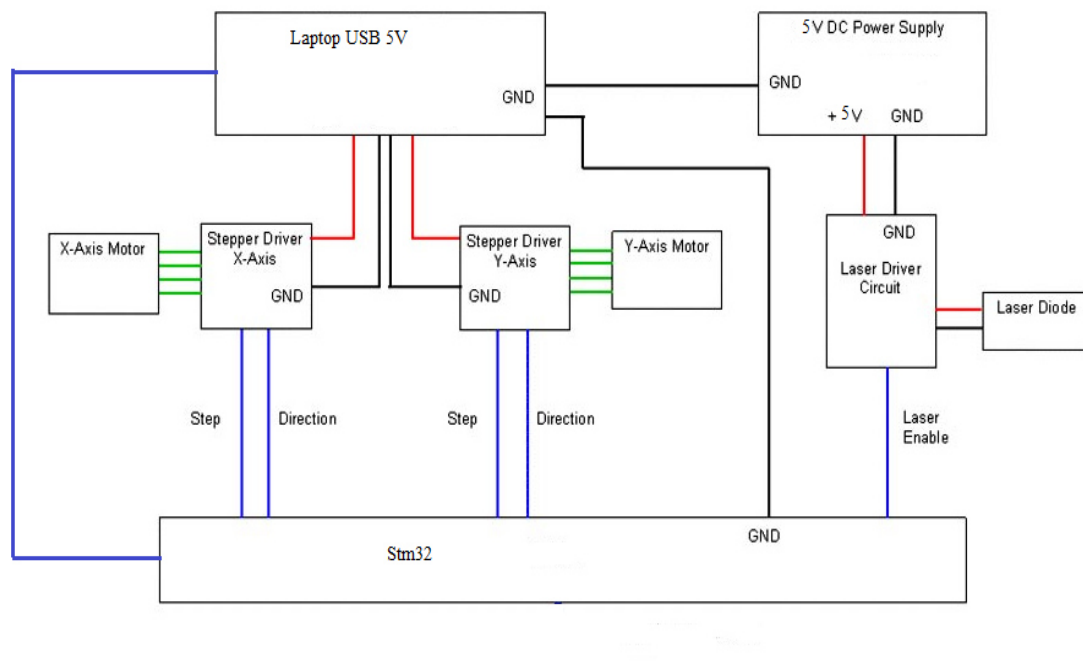


Рисунок 2.18 – Схема подключения

Таким образом, производим подключение проводов от шаговых двигателей CD-ROM к разъемам от драйверов на плате, подключаем питание лазера и питание вентилятора. Устанавливаем плату управления и подключаем питание. Общий вид устройства представлен на рисунке 2.20, а структурная схема представлена на рисунке 2.19.

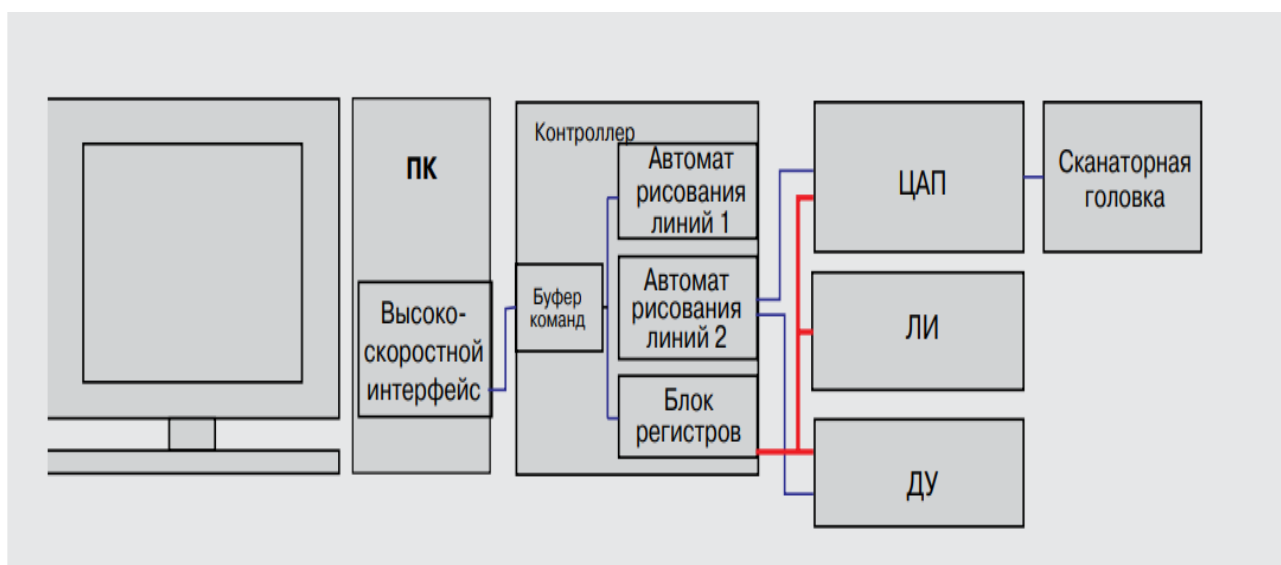


Рисунок 2.20 – Структурная схема



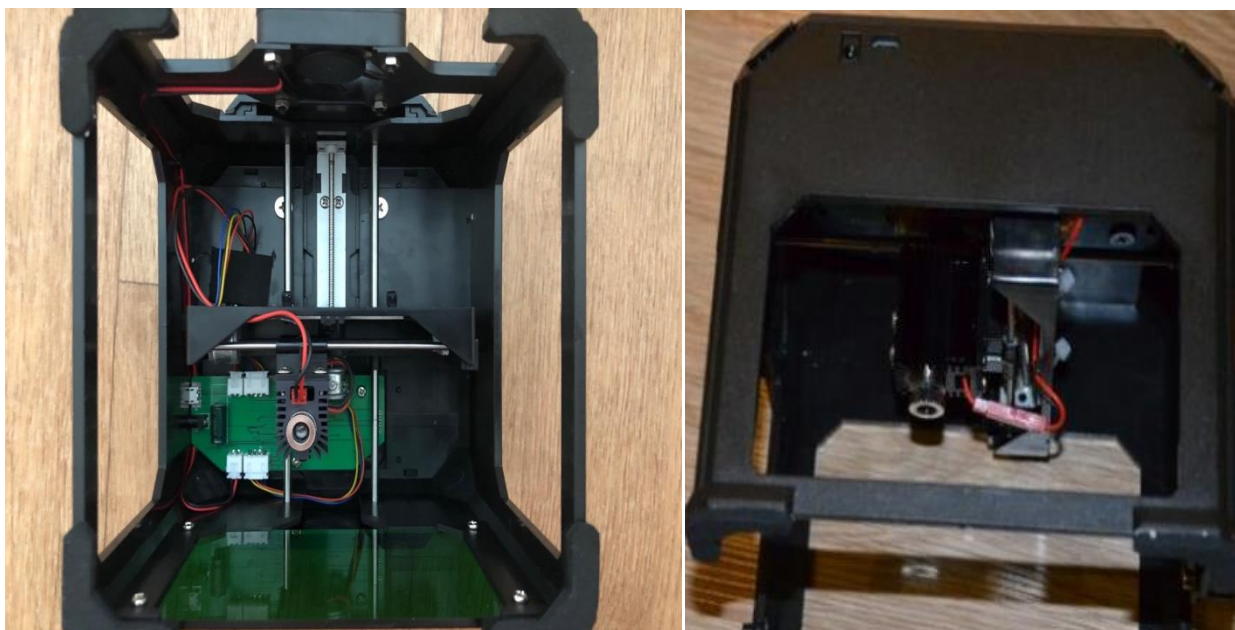


Рисунок 2.20 – Общий вид устройства

Алгоритм работы следующий. Вначале подключается питание лазера и платы через USB к компьютеру. Далее устанавливается драйвер управления и программа для гравировки. Потом в программе для гравировки задается рисунок и редактируется по желанию. Далее нужно сфокусировать лазер по размеру пятна. Размер пятна лазерного луча может быть скорректирован с различным фокусным расстоянием. Небольшое пятно объектив для гравировки высокого разрешения. Большое пятно линзы используются для нижней резолуции гравюры, но для векторной резки, он является лучшим выбором. Стандартная конфигурация нового оборудования, 2.0 дюймовый объектив. Размер пятна в середине, для различных случаев. Далее запускается процесс гравировки, контроллер обрабатывает данные и передает их драйверам двигателя и плате управления лазером, вследствие чего и происходит движение кареток и жжение лазера. После окончания отключить лазер от программы.



## 3 Программная часть

### 3.1 Среда разработки программы

Управление гравировальным станком, а именно шаговыми двигателями, драйверами, лазером и остальными частями автоматики станка осуществляется при помощи специального языка программирования, G-кода, считываются интерпретатором системы ЧПУ.

Программное обеспечение требует наличие специализированного языка G-кода, поэтому код программы будет написан на языке C++ и будет использован в среде разработки ArduinoIDE.

Так как в нашем устройстве используется контроллер семейства stm32, напрямую подключить к программе ArduinoIDE его не получится. Так как порог вхождения для stm32 достаточно высок в качестве программы было решено использовать ArduinoIDE, поскольку она достаточно проста и имеет ряд преимуществ.

Приступим к подготовке платы, для работы с Arduino IDE. Первое что необходимо сделать — залить в микроконтроллер специальный загрузчик, который позволит прошивать плату через аппаратный USB, причём прямо из среды разработки. Для этого нам и нужен преобразователь USB в UART Ch340, драйвер для которого нам необходимо установить (рисунок 3.1).

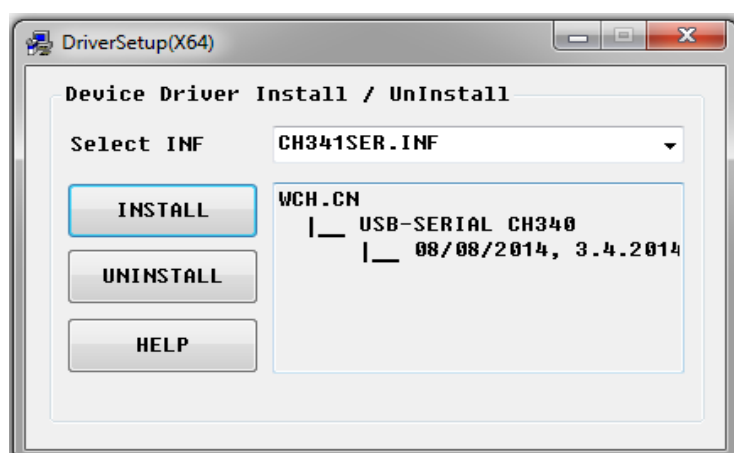


Рисунок 4.1 – Установка драйвера для CH340

Теперь нужно скачать, установить и запустить программу Flash Loader Demonstrator. Выбираем номер COM-порта нашего переходника. Так как микроконтроллер новый, на него никто ничего не записывал (разумеется кроме самого производителя), то тут по умолчанию стоит защита от чтения, программа нас предупреждает, что если нажать кнопку «Removeprotection», Flash память будет очищена, то есть если бы там была какая-то прошивка — она удалится. Так как моя отладочная плата основана на микроконтроллере STM32F103C8 — здесь доступно 64 Кбайт Flash памяти, есть ещё



STM32F103CB микроконтроллер, где в два раза больше Flash. Скачиваем файл для прошивки в папку и открываем его. После всех настроек прошивки загрузчика, если все было сделано правильно, тогда мы увидим зелёный свет. Программа с ее параметрами и настройками представлена на рисунке 4.2.

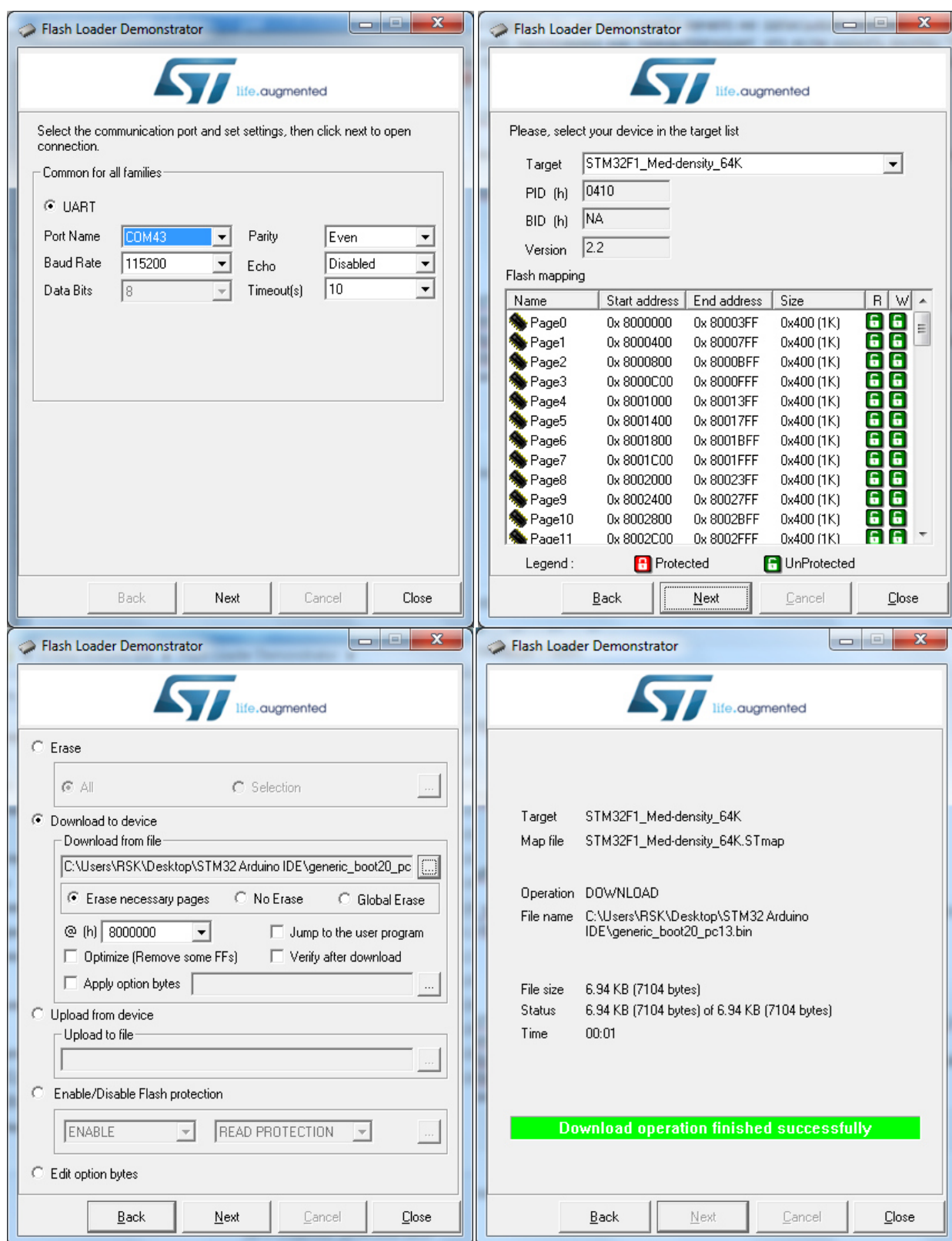


Рисунок 4.2 – Настройка и прошивка для stm32



Также надо скачать, для среды разработки Arduino IDE, специальное STM32 ядро. Разархивируем эти файлы в папку программы Arduino\hardware программы Arduino IDE. Нужно ещё установить драйвера на плату. Заходим в папку »Мои Документы\Arduino\hardware\Arduino\_STM32\drivers\win, и запускаем от имени администратора файл «install\_drivers.bat». Теперь запускаем программу Arduino IDE. И устанавливаем ядро для платы Arduino Due. Далее заходим Инструменты, Плата, «Generic STM32F103C», дальше Variant: «STM32F103C8 (20k RAM. 64k Flash)», UploadMethod: «STM32duino bootloader», Порт — номер COM-порта платы. И наша плата готова к прошивке и программированию в среде разработки Arduino IDE (рисунок 4.3).

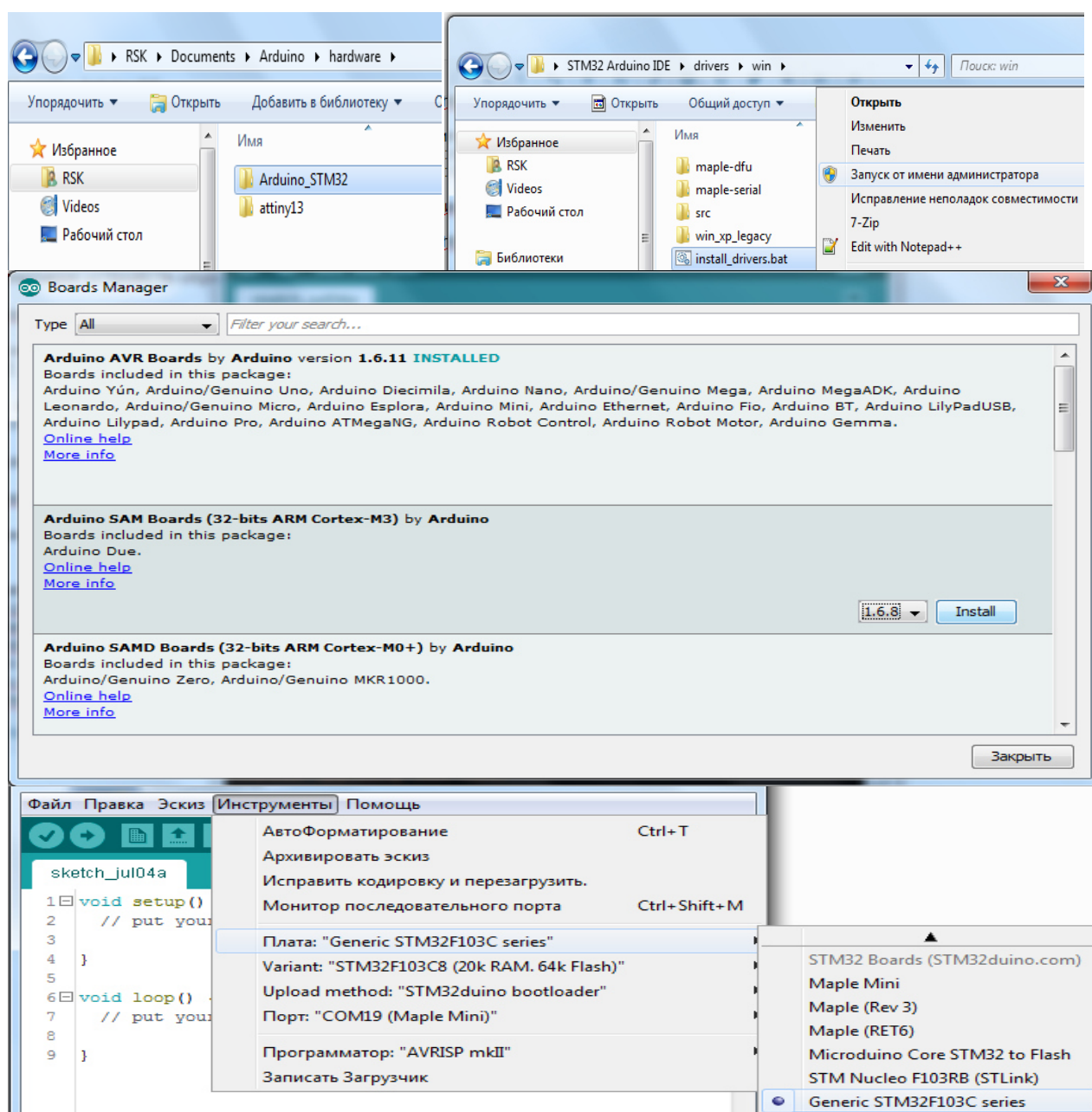


Рисунок 4.3 – Настройка stm32в Arduino IDE



Далее нам нужна Прошивка GRBL 1.1. Скачиваем ее и загружаем архив в библиотеку Arduino. После чего мы должны открыть пример grblUpload в программе и загрузить его в наш контроллер (рисунок 4.4) [17].



Рисунок 4.4 – Пример grblUpload

Теперь для начала работы нам необходима программа для формирования G-кода. В качестве данной программы будет использована Grbl Laser engraving machine.

### 3.2 Программа для гравировки

Программа Grbl Laser engraving machine прекрасно подходит как для формирования G-кода так и для редактирования изображения, загрузки файла и управления процессом гравировки. В программе имеется большое количество разнообразных функций, также она очень удобна в управлении и понятна в использовании. Чтобы начать гравировку нужно открыть файл изображения на USB-накопителе, выбрать изображение и перетащить его на программную платформу. Подключить гравер и нажмите кнопку



подключения, когда индикатор загорится зеленым, это означает, что подключение завершено (если нет, проверьте, правильно ли подключен соединительный шнур или установлен драйвер рисунок 4.5).

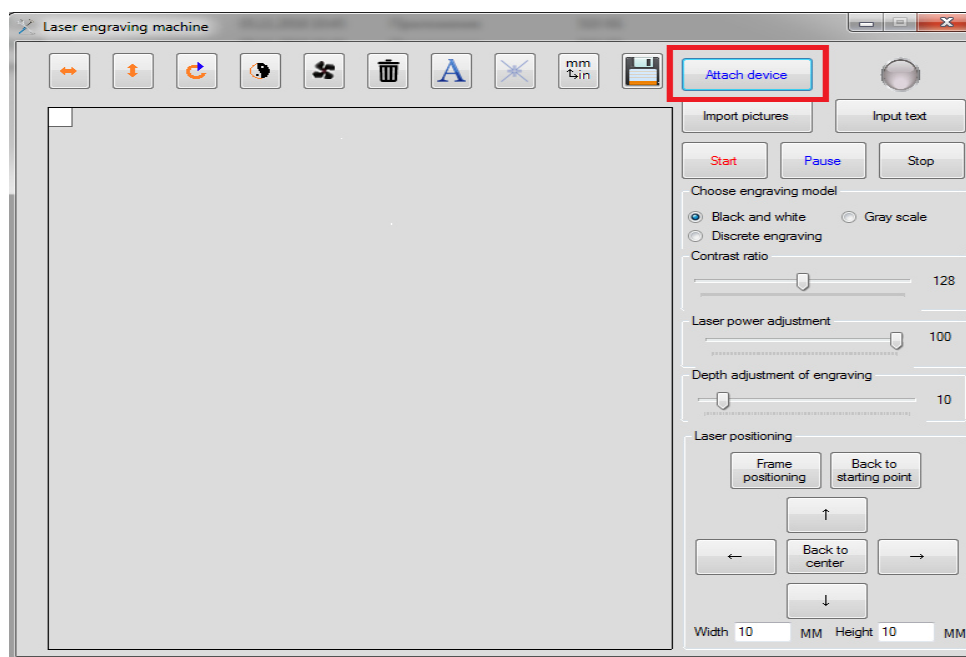


Рисунок 4.5 – Вид программы и подключение устройства

Сначала нужно проверить, правильно ли размещено изображение, затем с помощью клавиши со стрелкой отрегулировать положение изображения (или просто перетащите изображение), а затем начните гравировать. Frame position покажет область на которой будет изображение (Рисунок 4.6).

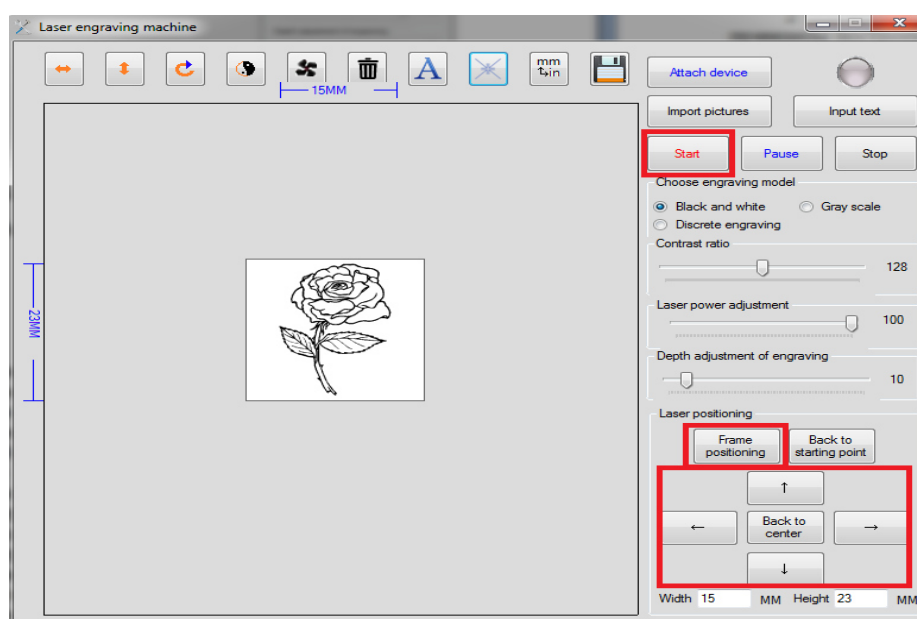


Рисунок 4.6 – Регулировка изображения



Также можно вводить текст и редактировать его. Когда появится белое поле ввода, вы можете ввести текст, перетащить белое поле, чтобы переместить положение текста, или перетащить поле в нижнем правом углу, чтобы увеличить поле ввода текста. Также в левом верхнем углу находится полоса прокрутки, которая может увеличивать и сужать изображение. Над панелью инструментов находятся кнопки редактирования изображений и кнопки, нажимая которые, вы можете перевернуть изображения влево, вправо, вверх и вниз, повернуть изображения на 90 градусов по часовой стрелке или поменять черно-белое изображение, запустить или выключить вентилятор, очистить изображения (Рисунок 4.7).

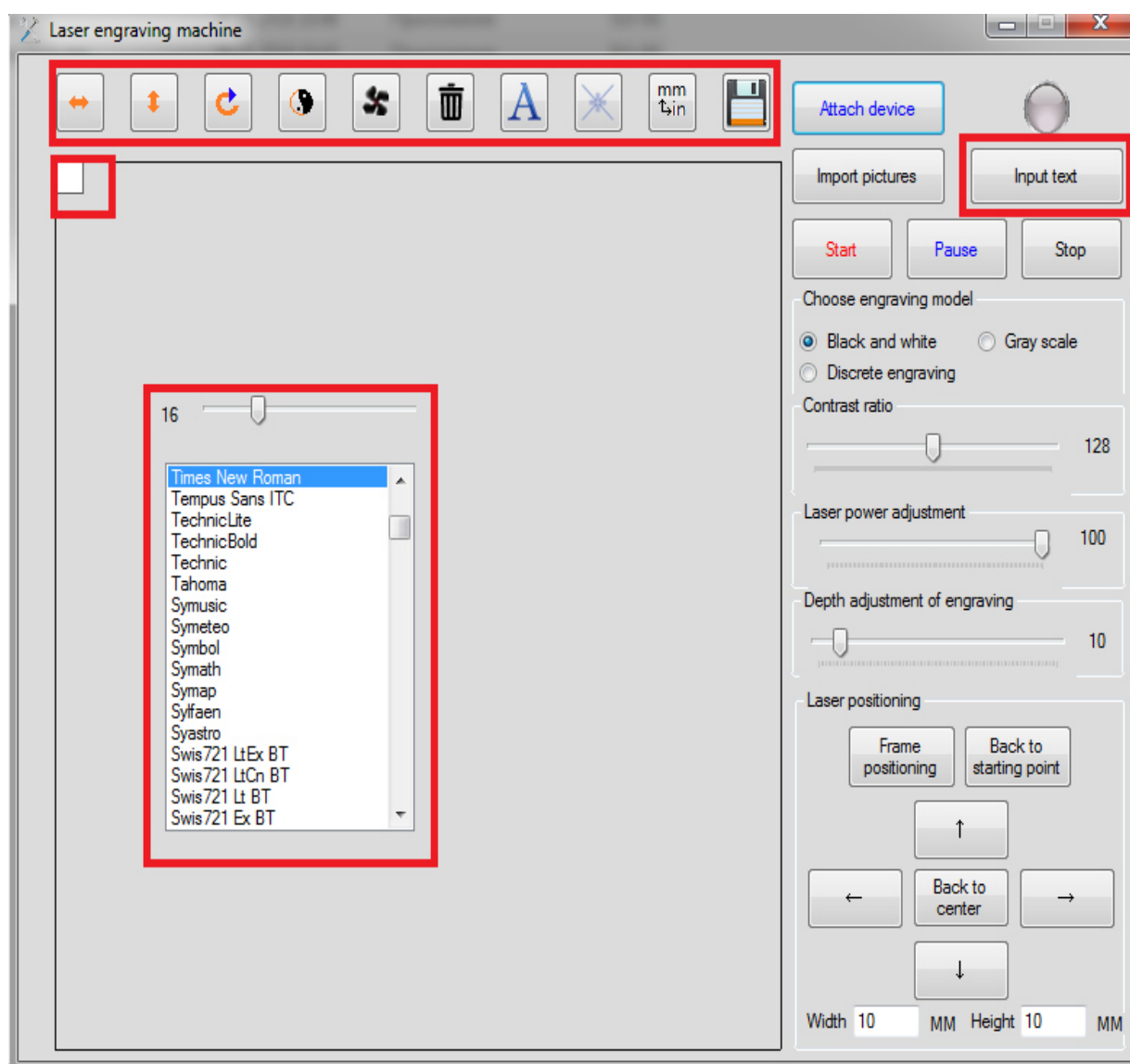


Рисунок 4.7 – Параметры текста и настройки

Также в программе существует 3 вида эффектов: черно-белая, дискретная модель, серая модель. Также в программе есть возможность регулировки мощности лазера, контрастности гравировки и глубины лазера

или иначе говоря задержки лазера при гравировке (рисунок 4.8).

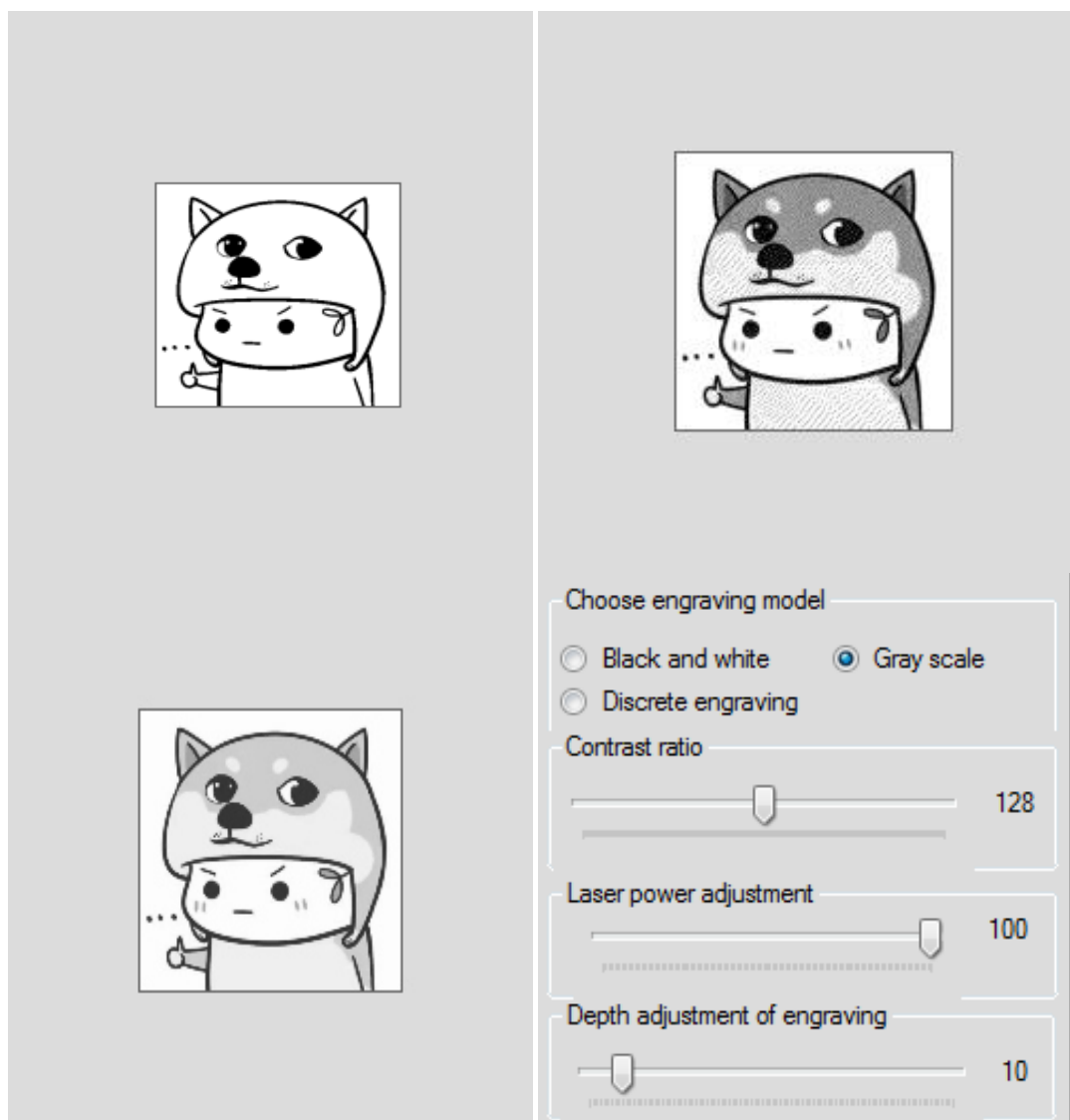


Рисунок 4.8 – Параметры эффектов и мощности

Также в программе можно прерывать гравировку нажав на “Pause” а также вернуть в начальное положение. По окончании гравировке нужно отключить прибор от программы.



## **4 БЕЗОПАСНОСТЬ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ**

Безопасность жизнедеятельности (БЖД) — это наука, представляет собой область научных знаний, изучающая опасности угрожающие человеку и разрабатывающие способы защиты от них в любых условиях обитания человека [16].

В данном проекте опасным является лазерный станок и его влияние на организм человека.

Целью данного раздела дипломного проекта является исследование вредных производственных факторов при работе с лазерными гравировальными станками, определение методов и средств защиты условий труда, выполнение расчета безопасного расстояния и вентиляции.

### **4.1 Анализ опасных и вредных факторов эксплуатации лазера на рабочем месте.**

Гравировальный станок – это сложный прибор, который применяется для резки, шлифовки и обработки различных твердотельных изделий и поверхностей, состоящий из различных электрических и электронных узлов. Для безопасной работы с ЧПУ станком необходимо изучить общие правила эксплуатации станков.

К самостоятельной работе на лазерном оборудовании допускаются лица, имеющие специальное образование или прошедшие обучение для работы с оборудованием, прошедшие инструктажи по технике безопасности, пожарной безопасности, стажировку на рабочем месте, проверку знаний требований охраны труда.

Не давать возможности контакты в ходе работы с отражающими металлами, а также материалами, чувствительными к высокой температуре и выделяющими токсичные вещества (например, ПВХ, АБС-смолы, полихлоропрен).

Не хранить легковоспламеняющиеся вещества (спиртосодержащие, бензин) вблизи оборудования [6].

Обеспечить наличие огнетушителя CO<sub>2</sub>. Не использовать порошковые огнетушители, т.к. они могут повредить деталям лазера.

Опасными факторами для работающего на оборудовании могут быть:

- а) невидимый лазерный пучок, выпускаемый лазерной трубкой;
- б) токоведущие провода с нарушенной изоляцией;
- в) прямой луч лазера;
- г) отраженный луч лазера.

Работник - очевидец происшествия должен немедленно сообщить своему непосредственному руководителю о любом несчастном случае, происшедшем на производстве, ситуации, которая создает угрозу жизни и здоровью людей.

В случае нарушения требований настоящей инструкции работник

привлекается к дисциплинарной, а в соответствующих случаях – к материальной и уголовной ответственности в порядке, установленном законодательством Республики Казахстан [7].

При эксплуатации и разработке лазерных установок необходимо учитывать также возможность взрывов и пожаров при попадании лазерного излучения на горючие материалы.

Биологические эффекты воздействия лазерного излучения на организм определяются механизмами взаимодействия излучения с тканями (тепловой, фотохимический, ударно-акустический и др.) и зависят от длины волны излучения, длительности импульса (воздействия), частоты следования импульсов, площади облучаемого участка, а также от биологических и физико-химических особенностей облучаемых тканей и органов.

Лазерное излучение с длиной волны от 380 до 1400 нм наибольшую опасность представляет для сетчатой оболочки глаза, а излучение с длиной волны от 180 до 380 нм и свыше 1400 нм - для передних сред глаза. Поэтому нужно использовать защитные очки (рисунок 4.1):



Рисунок 4.1 – Защитные очки

Предельный угол - соответствует максимальному угловому размеру источника, при котором последний еще может рассматриваться как точечный.

Для определения предельного угла  $\alpha_{\min}$  можно использовать формулу:

$$\alpha_{\min} = \sqrt{\frac{4 \cdot E'_z \cdot \cos \theta}{\pi \cdot L_e'}} , \quad (4.1)$$

где  $\theta$  - угол между направлением визирования и нормалью к поверхности;

$E'_z$  - энергетическая освещенность на роговице глаза, равная ПДУ



для коллимированного излучения;

$Le'$  - энергетическая яркость поверхности, равная ПДУ для диффузно отраженного излучения [8].

Энергетическая экспозиция - физическая величина, определяемая интегралом облученности по времени. Энергетическая экспозиция определяет общее количество энергии излучения, падающей на единицу поверхности за время  $t$ , и определяется выражением:

$$H_9 = \int_0^t E_9(t) dt. \quad (4.2)$$

Угловой размер источника излучения - данная величина, которая в большинстве случаев определяется по формуле:

$$\alpha = \frac{2}{l} \sqrt{\frac{S_0 \cdot \cos \theta}{\pi}}, \quad (4.3)$$

где  $S_0$  - площадь;

$l$  - расстояние от источника до точки наблюдения;

$\theta$  - угол между направлением визирования и нормалью к поверхности источника.

Энергетической освещенностью ( $E$ ) является значение поточного излучения, приходящегося на единицу поверхности приемника. Из заданной интенсивности излучения, освещенность будет изменяться пропорционально косинусу угла между направлением потока излучения и нормалью к поверхности, на которую приходится поток [9].

## 4.2 Расчет границы безопасной зоны

Лазерно-опасная зона (ЛОЗ) – это расстояние, на котором лазерное излучение представляет опасность согласно ПДУ. Расчеты зоны ЛОЗ зависят от длины волны излучения.

Для расчета вводят безразмерный параметр  $U_p$ , равный:

$$U_p = \frac{r^2}{0,16} U_n, \quad (4.4)$$

где  $r_z$  - радиус зрачка глаза, см;

$U_n$  - безразмерный параметр, вычисляемый по формуле:

$$U_n = \frac{W_o}{\left(\pi \cdot r^2 \cdot H_{пдв}(\tau_u) \cdot k_2\right)}, \quad (4.5)$$

где  $W_o$  - энергия, генерируемая лазером за время однократного воздействия, Дж

$H_{пдв}$  - предельно допустимый уровень энергетической экспозиции для различных длин волн в зависимости от длительности одиночного импульса излучения, Дж/см<sup>2</sup> (табл. 4.3);

$K_2$  - значения коэффициента в зависимости от частоты повторения импульсов и длительности серии импульсов приведены в таблице 4.1.

Таблица 4.1- Поправочный коэффициент  $K_2$

Время импульсов $\tau$ , с	Частота повторения импульсов $f$ , Гц						
	До 2	Св. 2 до 10	Св. 10 до 50	Св. 50 до 100	Св.100 до 250	Св. 250 до 500	Св. 500 до 1000
0,1	1	$5,7 \cdot 10^{-1}$	$3,9 \cdot 10^{-1}$	$2,9 \cdot 10^{-1}$	$1,6 \cdot 10^{-1}$	$8,4 \cdot 10^{-2}$	$3,3 \cdot 10^{-2}$
1,0	1	$3,8 \cdot 10^{-1}$	$2,6 \cdot 10^{-1}$	$1,9 \cdot 10^{-1}$	$1,1 \cdot 10^{-1}$	$5,5 \cdot 10^{-2}$	$2,2 \cdot 10^{-2}$

Радиус зрачка зависит от фоновой освещенности роговицы глаза  $E_{\phi}$ . Значение  $r_z$  можно определить по следующим данным таблицы 4.2.

Таблица 4.2 – Параметры радиуса зрачка и фоновой освещенности

$E_{\phi}$ , лк	$10^{-2}$	$4 \cdot 10^{-1}$	8	100	$2 \cdot 10^3$	$3 \cdot 10^4$	$3 \cdot 10^5$
$r_z$ , см	0,4	0,35	0,3	0,25	0,2	0,15	0,1

При значении безразмерного параметра  $U_p \geq 4 \cdot 10^{-6}$  границу ЛОЗ вычисляют по формуле:

$$R(\theta) = r \cdot \sqrt{U_p \cdot \cos \theta}. \quad (4.6)$$

При  $U_p < 4 \cdot 10^{-6}$  расчет границы ЛОЗ проводят по формуле:



$$R(\theta) = 5 \cdot 10^{-4} \cdot r \cdot U_p \sqrt{\cos \theta} . \quad (4.7)$$

Таблица 4.3 энергетической экспозиции  $H_{ПДУ}(\tau_u)$ , Дж/см<sup>2</sup>, на глазу от длительности импульсов, а также длины волны излучения  $\lambda$  Угловом размер источника излучения  $\alpha = 10^{-3}$  рад максимальном диаметре зрачка  $d_3 = 0,8$  см[10]

$\tau, c$	$\lambda, \text{мкм}$						
	От 0,4 до 0,42	Св. 0,42 до 0,45	Св. 0,45 до 0,90	Св. 0,90 до 1,10	Св. 1,10 до 1,20	Св. 1,20 до 1,30	Св. 1,30 до 1,40
$10^{-4}$	$9,2 \cdot 10^{-4}$	$5,6 \cdot 10^{-5}$	$3,2 \cdot 10^{-5}$	$4,0 \cdot 10^{-5}$	$9,2 \cdot 10^{-5}$	$2,8 \cdot 10^{-4}$	$9,2 \cdot 10^{-4}$
$10^{-3}$	$1,6 \cdot 10^{-4}$	$9,9 \cdot 10^{-5}$	$5,7 \cdot 10^{-5}$	$7,1 \cdot 10^{-5}$	$1,6 \cdot 10^{-4}$	$5,0 \cdot 10^{-4}$	$1,6 \cdot 10^{-3}$
$10^{-2}$	$3,0 \cdot 10^{-4}$	$1,8 \cdot 10^{-4}$	$1,0 \cdot 10^{-4}$	$1,3 \cdot 10^{-4}$	$3,0 \cdot 10^{-4}$	$9,1 \cdot 10^{-4}$	$3,0 \cdot 10^{-3}$

Таким нужно определить границу ЛОЗ для источника диффузного излучения со следующими характеристиками:

- 1) Излучение с длиной волны – 1,06 мкм;
- 2) Импульс длительностью –  $10^{-3}$  с;
- 3) Импульс с частотой – 100 Гц;
- 4) Серия с длительностью – 1 с;
- 5) Одиночная энергия – 100 Дж;
- 6) Излучение с радиусом – 0,05 см;
- 7) Освещенность  $E_\phi = 100$  лк .

По формулам (4.4) и (4.5) определяем безразмерный параметр –  $U_p$ .

$$U_p = \frac{r^2}{0,16} U_n \quad ; \quad U_n = \frac{W_o}{(\pi \cdot r^2 \cdot H_{ПДУ}(\tau_u) \cdot k_2)}.$$

Теперь необходимо, по таблице 4.1 найти поправочный коэффициент  $K_2 = 1,9 \cdot 10^{-1}$ . Теперь, нужно найти значение ПДУ по таблице 4.3,  $H_{ПДУ}(\tau_u) = 7,1 \cdot 10^{-5}$  Дж/см<sup>2</sup>. Также освещенности  $E_\phi = 100$  лк – радиус по таблице 4.2  $r_3 = 0,25$  см.

$$U_p = \frac{0,25^2}{0,16} \cdot \frac{100}{3,14 \cdot 0,05^2 \cdot 7,1 \cdot 10^{-5} \cdot 1,9 \cdot 10^{-1}} = 3,7 \cdot 10^8.$$

Расчет границы лазерно-опасной зоны проводим по формуле (4.6):

$$R(\theta) = r \cdot \sqrt{U_p \cdot \cos \theta} = 0,05 \cdot \sqrt{3,7 \cdot 10^6 \cdot \cos \theta} = 9,6 \cdot 10^2 \sqrt{\cos \theta}.$$

Максимальный размер границы ЛОЗ равен 9,6 м.

#### 4.4 Вентиляция

Вентиляция помещений – это комплекс мер и решений по обеспечению нормального воздухообмена в рабочих зонах. Вентиляция выполняет главную роль в нормализации воздушной среды, на рабочих местах и в производственных помещениях.

По способу перемещения воздуха вентиляция может быть:

- а) Естественная;
- б) Механическая.

Типы вентиляционных установок:

- а) Вытяжные;
- б) Приточные.

Для вычисления нужного расхода воздуха, мы должны вычесть и рассчитать два значения воздухообмена. А именно по людям и по кратности. После чего, выбрать большее из этих двух значений.

Эффективная вентиляция и кондиционирование производственных помещений рассчитывается по кратности воздухообмена ( $L$ ,  $\text{м}^3/\text{ч}$ ):

$$L = n \times S \times H, \quad (4.8)$$

где  $n$  – кратное число воздухообмена, для нашего помещения  $n=3$ ;

$S$  - площадь помещения,  $30 \text{ м}^2$ ;

$H$  - высота,  $2,5 \text{ м}$ .

По формуле 4.9 произведем расчет эффективной вентиляции:

$$L = 3 \times 30 \times 2,5 = 225 \text{ м}^3/\text{ч}.$$

При расчете учитываются только люди, находящиеся в помещении длительное время. Далее произведем производственную вентиляцию по количеству находящихся в помещении людей ( $L$ ,  $\text{м}^3/\text{ч}$ ) [12]:

$$L = N \times L_{\text{норм}}, \quad (4.9)$$

где  $N$  – количество людей, находящихся в помещении,  $N = 3$  человека;

$L_{\text{норм}}$  – расход на человека,  $\text{м}^3/\text{ч}$ , для помещения  $L_{\text{норм}} = 60 \text{ м}^3/\text{ч}$ .

По формуле 4.9 произведем расчет:

$$L = 3 \times 60 = 180 \text{ м}^3/\text{ч}.$$



Согласно СНиП из двух значений мы должны выбрать большее. Скорость воздуха равна 4 м/с. Теперь по таблице 4.4 рассчитаем параметры вентиляции.

Таблица 4.4 Параметры вентиляции.

Параметры воздуховодов			Расход воздуха (м³/ч) при скорости воздуха:				
Диаметр круглого воздуховода	Размеры прямоугольного воздуховода	Площадь сечения воздуховода	2 м/с	3 м/с	4 м/с	5 м/с	6 м/с
	80×90 мм	72 см²	52	78	104	130	156
Ø 100 мм	63×125 мм	79 см²	57	85	113	142	170
	63×140 мм	88 см²	63	95	127	159	190
Ø 110 мм	90×100 мм	90 см²	65	97	130	162	194
	80×140 мм	112 см²	81	121	161	202	242
Ø 125 мм	100×125 мм	125 см²	90	135	180	225	270
	100×140 мм	140 см²	101	151	202	252	302
Ø 140 мм	125×125 мм	156 см²	112	169	225	281	337

Таким образом, для нашего помещения лучшим решением в плане будет функционировать естественная вентиляция с производительностью не менее 225 м³/ч, с площадью сечения воздуховода 156 см², диаметр воздуховода 140 мм с размером решетки 125×125 мм.

## 5 Технико – экономическое обоснование

Суть данного раздела заключается в оценки экономической эффективности нашего прибора, а именно в эксплуатационном и функциональном периодах. Вычисление всех расходов на приобретение комплектующих, вычисление расходов на создание программного продукта, расчет средств на оплату труда рабочим, определение переменной затраты (электроэнергии), расчет амортизации. Составим таблицу с указанием цен необходимого оборудования (таблица 5.1) [13].

Таблица 5.1 – Список требуемого оборудования

Наименование	Цена (тг.)
STM32F103C8T6 (контроллер)	1600
CH340 модуль	1000
Лазер 1500 мВт и радиатор	8000
2 каретки от CD-ROM	3000
Корпус со стеклом и кулером	4000
Шаговые двигатели и драйверы	2000
Плата управления	1000
Блок питания 5V, 2A	1500
Итого:	22 100

Определим затраты на транспортировку и монтаж. Затраты на транспортировку составят порядка 5-10% от общей стоимости оборудования:

$$З_{тр} = C_{об} \times 0,06. \quad (5.1)$$

Затраты, определенные именно монтажными работами, нужно также рассматривать в пределах 5 - 7 % от общей стоимости применяемого оборудования:

$$З_{м} = C_{об} \times 0,05. \quad (5.2)$$

По формулам (5.1) и (5.2) рассчитаем затраты необходимые для монтажа и транспортировки оборудования:

$$З_{тр} = 22100 \times 0,06 = 1326 \text{ тг.}$$

$$З_{м} = 22100 \times 0,05 = 1105 \text{ тг.}$$



## 5.1 Трудоемкость разработки ПП

Для подсчета трудоемкости разработки ПП составим таблицу, состоящую из всех этапов и видов работ, так же все виды работ необходимо расположить в правильной последовательности.

Таблица 5.1 - Распределение работ по этапам и видам и оценка их трудоемкости

Этап разработки ПП	Вид работы на данном этапе	Трудоемкость разработки АИС, чел.× ч.
1	Ориентировочная подготовка описания задачи	25
2	Составление алгоритма	25
3	Составление блок-схемы	26
4	Разработка программы на языке высокого уровня	45
5	Сборка и тестирование	140
6	Подготовка документации	30
ИТОГО трудоемкость выполнения дипломной работы		291

Расчет трудоемкости ( $t_{тр}$ ) проводится путем сложения затрат труда по отдельным периодам разработки:

$$t_{тр} = t_{оп} + t_{алг} + t_{бл} + t_{сy} + t_{пр} + t_{отл} + t_{док}, \quad (5.3)$$

где  $t_{оп}$  – примерное время описание задачи, чел/час;

$t_{алг}$  – время решения задачи, чел/час;

$t_{бл}$  – разработка схемы и алгоритма, чел/час;

$t_{пр}$  – написание программы, чел/час;

$t_{сб}$  – полная сборка, чел/час;

$t_{док}$  – оформление документации, чел/час.

Для определения трудоемкости используют показатель, являющийся ключевым. Необходимо использовать приблизительное или условное количество команд операторов, используемых в разрабатываемом ПО. Этот показатель позволяет ориентировочно определить сложность программы и объем работ, необходимых на ее создания и время на отладку. В свою очередь это влияет на конечную стоимость программного продукта, обозначается символом «Q» и находится по формуле:

$$Q = q * c, \quad (5.4)$$

где Q – условное число операторов;

q – предполагаемое число операторов зависит от типа, значения данного коэффициента приведены в таблице 5.3;

c – это коэффициент, учитывающий сложность программы и ее новизну (таблица 5.2).

Таблица 5.2 – Предполагаемое число операторов «q»

Тип задачи	Пределы изменений коэффициента
Задачи учета	от 1400 до 1500
Задачи оперативного управления	от 1500 до 1700
Задачи планирования	от 3000 до 3500
Многовариантные задачи	от 4500 до 5000
Комплексные задачи	от 5000 до 5500

По степени новизны ПП делятся на четыре группы:

- а) разработка принципиально новых задач (группа А);
- б) разработка оригинальных программ (группа Б);
- в) разработка программ с использованием типовых решений (группа В);
- г) разовая типовая задача (группа Г).

Таблица 5.3 – Коэффициент сложности и новизны «с»

Язык программирования	Группа сложности	Степень новизны			
		А	Б	В	Г
Высокого уровня	1	1,38	1,26	1,15	0,69
	2	1,30	1,19	1,08	0,65
	3	1,20	1,10	1,00	0,60
Низкого уровня	1	1,58	1,45	1,32	0,79
	2	1,49	1,37	1,24	0,74
	3	1,38	1,26	1,15	0,69

В данном проекте рассматривается программное обеспечение, написанное на языке высокого уровня с использованием типовых решений.

Расчет условного количества команд операторов согласно формуле (5.4):

$$Q = 1500 * 1 = 1500 \text{ (команд)}.$$

Затем определим время, требующееся на каждом этапе создания ПП.

Время, затраченное на предварительную подготовку описания задачи  $t_{оп}$  (фактическое время) в среднем от 3-х до 5-ти дней по 8 часов:

$$t_{оп} = 25 \text{ чел / час}.$$

Необходимое время на разработку алгоритма решения задачи  $t_{алг}$  рассчитываем по формуле:



$$t_{алг} = Q / (50 \times k), \quad (5.5)$$

где  $k$  – коэффициент, характеризующий квалификацию программиста по опыту его работы, выбирается из таблицы 5.4.

Таблица 5.4 – Коэффициент характеризующий квалификацию программиста

Опыт работы	Коэффициент квалификации
До двух лет	0,8
2-3 года	1
3-5 лет	1,1 – 1,2
5-7 лет	1,3 – 1,4
более 7 лет	1,5 – 1,6

Время необходимое для разработки алгоритма рассчитанное по формуле (5.5):

$$t_{алг} = 1500 / (50 * 1) = 30 \text{ чел/час.}$$

Время на разработку блок схемы  $t_{бл}$  определяется таким же образом как  $t_{алг}$  в соответствии с формулой (5.5):

$$t_{бл} = 1500 / (50 * 1) = 30 \text{ чел/час.}$$

Время потраченное непосредственно на написание программы на языке высокого уровня  $t_{пр}$ :

$$t_{пр} = Q * 1,6 / (50 * k). \quad (5.6)$$

Соответственно время, потраченное на написание программы по формуле (5.6) равно:

$$t_{пр} = 1500 * 1,6 / (50 * 1) = 48 \text{ чел/час.}$$

Время для отладки и тестирования программы  $t_{отл}$ :

$$t_{отл} = Q * 4,2 / 50 * k. \quad (5.7)$$

Произведя расчет по формуле (5.7) был получен следующий результат:

$$t_{отл} = 1500 * 4,2 / 50 * 1 = 126 \text{ чел/час.}$$

Время, необходимое на подготовку документации  $t_{док}$ , назначается по факту и ориентировочно составляет от 3-х до 5-ти рабочих дней по 8 часов:

$$t_{\text{док}} = 32 \text{ чел / час.}$$

Исходя из выше изложенного, по формуле (5.3) общая трудоемкость разработки программного продукта составляет:

$$t_{\text{тр}} = 25 + 30 + 30 + 48 + 126 + 32 = 291 \text{ чел/час или 36 чел/дней.}$$

Далее рассчитаем затраты на разработку ПП.

## 5.2 Расчет затрат на разработку ПП

Заработная плата за один рабочий день определяется исходя из месячной оплаты труда, в среднем 22 рабочих дня в месяце. В таблице 5.5 приведены сведения по заработной плате специалистов, задействованных в разработке ПП.

Таблица 5.5– Оклады специалистов

Специалист	Количество человек	Заработная плата в месяц, (тенге)
Программист	1	150000
Итого		150000

Таким образом, заработная плата за один рабочий день составляет:

$$З_{\text{дн}} = 150000/22=6820 \text{ тенге.}$$

Основная заработная плата разработчиков ПО определяется по формуле:

$$З_{\text{осн}} = t_{\text{тр}} * З_{\text{дн}}. \quad (5.8)$$

Основная заработная плата по формуле 5.8 составит:

$$З_{\text{осн}} = 36 * 6820 = 245\,520 \text{ тенге.}$$

Затем определим материальные затраты, необходимые для разработки ПП. Составим таблицу, где будет указана полная смета по затратам на приобретение комплектующих и спорку устройства с учетом актуальных цен на изделия для сборки прибора. Ниже приведена таблица затрат на материальные ресурсы.



Таблица 5.6 - Затраты на материальные ресурсы

Наименование материального ресурса	Единица измерения	Количество израсходованного материала	Цена за единицу, тг.	Сумма, тг.
STM32F103C8T6 (контроллер)	шт	1	1600	1600
CH340 модуль	шт	1	1000	1000
Лазер 1500 мВт и радиатор	шт	1	8000	8000
Каретки от CD-ROM	шт	2	1500	3000
Корпус со стеклом и кулером	шт	1	4000	4000
Шаговые двигатели и драйверы	шт	2	1000	2000
Плата управления	шт	1	1000	1000
Блок питания 5V, 2A	шт	1	1500	1500
Бумага	лист	70	2,58	180
ИТОГО затраты на материальные ресурсы				22 280

Затем определим расходы на электроэнергию. Расходы на электроэнергию вычисляется по формуле:

$$P_3 = M * k_3 * T * C_{\text{кВт-ч}}, \quad (5.9)$$

где  $M$  – мощность ЭВМ, кВт;

$k_3$  – коэффициент загрузки (0.8);

$C_{\text{кВт-ч}}$  – стоимость 1 кВт·ч электроэнергии, тенге/ кВт·ч;

$T$  – время работы, час (292 ч.).

Используя формулу (5.9) были определены расходы на электроэнергию и приведены в таблице 5.7:

$$P_{\text{эл}} = 0.3 * 0.8 * 291 * 16.65 = 1163 \text{ тенге.}$$

Таблица 5.7 - Затраты на электроэнергию

Наименование оборудования	Паспортная мощность, кВт	Коэффициент загрузки	Время работы оборудования разработки ПП, час	Цена эл/э, тенге/кВт-час;	Сумма, тенге
Ноутбук и блок питания	0.3	0.8	291	16.65	1163
ИТОГО затраты на электроэнергию					1163

Накладные расходы, ( $P_{\text{нак}}$ ) и составляют от 40 до 60% от основной заработной платы:

$$P_{\text{нак}} = Z_{\text{осн}} * N_{\text{рн}} / 100\%, \quad (5.10)$$

где  $P_{\text{нак}}$  – накладные расходы на ПП (тенге);

$N_{\text{рн}}$  – норматив накладных расходов -50%.

$$P_{\text{нак}} = 245\,520 * 0.5 = 122\,760 \text{ тенге.}$$

В данном проекте использованы программы находящиеся в общем доступе, что позволило свести графу расходов на специальные программные средства ( $P_c$ ) к нулю. Это среда программирования «ArduinoIDE» и программа для гравировки.

Определим затраты на амортизацию. Рассчитывая амортизацию основных фондов, необходим сложить сумму амортизационных отчислений от стоимости оборудования и программного обеспечения используемое при разработке ПП (таблица 5.7).

Таблица 5.7 – Амортизация основных фондов (ОФ)

Наименование оборудования и ПО	Стоимость оборудования и ПО	Годовая норма амортизации, %	Эффективный фонд времени работы оборудования и ПО, ч/год	Время работы оборудования и ПО для разработки, ч	Сумма, тг
Ноутбук	120000	25%	1850	291	4719
ИТОГО амортизация основных фондов					4719

Общая сумма амортизационных отчислений определяется по формуле:

$$Z_{\text{ам}} = \sum_{i=1}^n \frac{\Phi_i \times H_{\text{Ai}} \times T_{\text{НИРi}}}{100 \times T_{\text{Эфi}}}, \quad (5.11)$$

где  $\Phi_i$  - стоимость i-го оборудования, тг.;

$H_{\text{Ai}}$  - годовая норма амортизации i-го оборудования, %;

$T_{\text{НИРi}}$  - время работы i-го оборудования за период разработки ПП, ч;

$\text{Эф}_i$  - фонд времени работы i-го оборудования за год, ч/год;

i - вид оборудования;

n - количество оборудования.

Согласно формуле (5.11) амортизационные расходы составляют:



$$З_{ам} = \frac{120000 * 25\% * 291}{100\% * 1850} = 4719 \text{тенге.}$$

Дополнительная заработная плата составляет 10 % от основной и рассчитывается по формуле:

$$З_{доп} = З_o * 0.1. \quad (5.12)$$

И составляет:

$$З_{доп} = 245\,520 * 0.1 = 24\,552 \text{ тенге.}$$

Таким образом, фонд оплаты труда составит:

$$З_{фот} = 245\,520 + 24\,552 = 270\,000 \text{ тенге.}$$

Согласно ст. 358 п. 1 НК РК социальный налог равен 9,5% от дохода работника, и рассчитывается по формуле:

$$О_{сн} = (З_{фот} - З_{по}) * 0,095\%, \quad (5.13)$$

где  $З_{по}$ - пенсионные отчисления, которые социальным налогом не облагаются и их доля от фонда оплаты труда составляет 10%:

$$З_{по} = З_{фот} * 0.1. \quad (5.14)$$

Пенсионные отчисления рассчитаны по формуле (5.14) равны:

$$З_{по} = 270\,000 * 0.1\% = 27\,000 \text{ тенге.}$$

Основываясь на вышеперечисленных расчетах и используя формулу (5.13) социальный налог равен:

$$О_{сн} = (270\,000 - 27\,000) * 9,5\% = 23\,085 \text{ тенге.}$$

Определим прочие расходы. В прочие расходы включены: арендная плата за помещение, включая коммунальные услуги, затраты на рекламу и остальные хозяйственные услуги.

Арендная плата за помещение определяется исходя из средней стоимости аренды 1 кв. м. помещения. Площадь арендуемого помещения составляет 20 кв.м. Стоимость аренды 1 кв. м в среднем составляет 8000тг. Из этого следует, что арендная плата составит 160 000тг. Стоимость услуг по предоставлению доступа к сети интернет составляют 5000тг. В реалиях современного мира необходимо рекламировать свой товар. В связи с этим я воспользуюсь услугами рекламного агентства, в стоимость которого входит

показ рекламных баннеров в течении 1 недели в количестве 150 тысяч показов. Цена за оказания услуг рекламного агентства отображена в таблице 5.8.

Таблица 5.8 - Затраты на рекламу

Формат рекламных материалов: баннер (пикселей)	Количество показов (тыс.)	СРМ (тенге)	Продолжительность размещения	Стоимость размещения (тенге)
1200×675	150	700	1 неделя	105 000

Рассчитаем общую сумму прочих затрат:

$$C = 105\,000 + 160\,000 + 5000 = 270\,000 \text{ тг.}$$

На основании полученных данных по отдельным статьям составим смету затрат, в виде таблице, приведенной ниже.

Таблица 5.9- Смета затрат

Статьи затрат	Сумма, тг.
1. Материальные затраты, включая: - материалы; - электроэнергию.	23 443
2. Затраты на оплату труда.	270 000
3. Отчисления на социальные нужды	23085
4. Амортизация основных фондов.	4719
5. Прочие затраты.	270 000
ИТОГО по смете	592 247

### 5.3 Определение договорной цены ПП

Договорная цена ( $C_d$ ) для прикладных ПП рассчитывается по формуле:

$$C_d = Z_{\text{НИР}} \cdot \left( 1 + \frac{P}{100} \right), \quad (5.15)$$

где  $Z_{\text{НИР}}$  - затраты на разработку, тг.;

$P$  - средний уровень рентабельности ПП (20%).

Согласно формуле (5.15) договорная цена составляет:



$$Ц_d = 592\,247 * 1,2 = 710\,696 \text{ тг.}$$

Затем определим стоимость реализации с учетом НДС. На 2019 год ставка НДС составляет 12%.

Цена реализации с учетом НДС рассчитывается по формуле:

$$Ц_p = Ц_{ц} + Ц_d * \text{НДС}. \quad (5.16)$$

Согласно формуле (5.16) цена реализации составляет:

$$Ц_p = 710\,696 + 85\,283 = 796\,000 \text{ тг.}$$

Рассчитав возможные цены, составим таблицу цен на разработку.

Таблица 5.10 – Цены на разработку

Показатели	Условное обозначение	Цены
Материальные затраты	М	22 280
Затраты на оплату труда	З <sub>тр</sub>	270 000
Прочие затраты	З <sub>п</sub>	270 000
Сумма	С	562 280

## 5.4 Оценка эффективности внедрения программных средств

Система показателей, отражающих отношение затрат и результатов, характеризуют эффективность программных средств.

Эффективность внедрения ПС в рабочую деятельность компании просматривается на следующих показателях:

- экономия в течении года в результате использования ПС пользователем для решения конкретных задач;
- годовой экономический эффект, который позволяет сравнить затраты на разработку с результатами, которые были получены в процессе эксплуатации;
- срок окупаемости инвестиций и коэффициент эффективности, необходимых для внедрения ПС.

### 5.4.1 Расчет затрат до внедрения программного средства

Затраты на решение задачи без использования программного средства рассчитываются по формуле:

$$З_{тр} = \Phi З_{П_p} + ОТ_{з/п}, \quad (5.17)$$

где  $\Phi ЗП_p$  – фонд заработной платы в год группы лиц, решающих данную задачу;

$ОТ_{з/п}$  – плата на социальные нужды (9,5%) [9].

Фонд заработной платы работников за год определяется по формуле:

$$\Phi ЗП_p = ЗП_p * N * 12, \quad (5.18)$$

где  $ЗП_p$  – оклад работника, тенге/месяц;

$N$  – количество работников.

Заработная плата программиста составляет 150 000 тг.

Согласно вышеперечисленным формулам фонд заработной платы сотрудников, а также отчисления на социальные нужды составляют:

$$\Phi ЗП_p = 150\,000 * 12 = 1\,800\,000 \text{ тг.}$$

$$ОТ_{з/п} = (\Phi ЗП_p - \Phi ЗП_p * 10\%) * 9,5\% = (1\,800\,000 - 1\,800\,000 * 0,1) * 0,095 = 153\,900 \text{ тг.}$$

Затраты на решение задачи без использования программного средства составляют:

$$З_{тр} = 1\,800\,000 + 153\,900 = 1\,953\,900 \text{ тг.}$$

#### 5.4.2 Расчет затрат после внедрения программного обеспечения

Годовые затраты машинного времени на решение задачи определяются по формуле:

$$З_m = K * q * 12, \quad (5.19)$$

где  $K$  – количество часов использования ПК в месяц;

$q$  – стоимость часамашинного времени (291тенге/час).

С учетом 8 часового рабочего дня, а также 26 рабочих дней в месяц, получаем часы использования ПК в месяц  $K=208$  час. Исходя из этого получим:

$$З_m = 208 * 291 * 12 = 726\,336 \text{ тг.}$$

Скорость печати одного документа 0,1 минута (т.е. 0,0016 часа). Годовые затраты для печати результата с принтера  $K_{печ}$  определяются:

$$З_{п} = t_{п} * N_{з} * q, \quad (5.20)$$



где  $t_{\text{п}}$  – время на печать одного экземпляра;  
 $N_{\text{э}}$  – количество экземпляров в год;  
 $q$  – стоимость часа машинного времени (291 тенге/час).

Учитывая, что в день примерно печатается 4 документа и 26 рабочих дней в месяц, то получим 1248 экземпляров в год.

Исходя из этих данных готовые затраты на печать составят:

$$З_{\text{п}} = 0,0016 * 1248 * 291 = 581 \text{ тг.}$$

Суммарные затраты после внедрения программного продукта определяются по формуле:

$$З_{\text{ом}} = З_{\text{м}} + З_{\text{п}}. \quad (5.21)$$

Подставив значения, получим:

$$З_{\text{ом}} = 726\,336 + 581 = 726\,917 \text{ тг.}$$

#### **5.4.3 Расчет экономии затрат от внедрения разработанной системы**

Экономия затрат от внедрения программного продукта определяется по формуле:

$$\mathcal{E} = З_{\text{тр}} - З_{\text{ом}}, \quad (5.22)$$

где  $З_{\text{тр}}$  – затраты до внедрения системы;  
 $З_{\text{ом}}$  – затраты после внедрения системы.

Подставив значения, получим следующее:

$$\mathcal{E} = 1\,953\,900 - 726\,917 = 1\,226\,983 \text{ тг.}$$

Срок окупаемости программного продукта определяется по формуле:

$$T_{\text{ок}} = C/\mathcal{E}, \quad (5.23)$$

где  $C$  – затраты на разработку и внедрение системы, тенге;  
 $\mathcal{E}$  – экономия затрат от внедрения системы, тенге/год.

Подставив значения, получим:

$$T_{\text{ок}} = 796\,000/1\,226\,983 = 18,5 \text{ (месяца).}$$

Годовой экономический эффект рассчитывается по формуле:

$$\mathcal{E}_{\text{эфг}} = \mathcal{E} - E_{\text{н}} * C, \quad (5.24)$$

где  $\mathcal{E}$  – годовая экономия затрат;

$E_{\text{н}}$  – нормативный коэффициент эффективности капитальных вложений ( $E_{\text{н}} = 0,32$ );

$C$  – затраты на разработку и внедрение системы.

Исходя из этого, годовой экономический эффект составит:

$$\mathcal{E}_{\text{эфг}} = 1\,226\,983 - 796\,000 * 0,32 = 972\,263 \text{ тг.}$$

Исходя из произведенных расчетов, мы определили, что затраты на создание данного ПП составили 796 000 тенге. Данные расходы возможно окупить в срок равный 18,5 месяцев. Годовой экономический эффект составил 972 263 тенге, а годовой программный продукт позволяет нам экономить до 1 226 983 тенге в год, что подтверждает целесообразность внедрения данного программного продукта.



## **ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

В завершении данной дипломной работы, был разработан опытный образец лазерной гравировальной установки, а также разработана цифровая система управления для него. Был произведён полный анализ лазерных гравировальных станков, проанализированы отрасли использования и полностью описан принцип работы данных устройств. Также описаны технические характеристики, классификация и комплектации устройств.

В ходе выполнения были изучены такие аспекты как: принцип работы лазеров, особенности лазерной обработки, цифровые системы управления и свойства лазерных станков. Была выполнена и практическая часть, а именно непосредственно сборка прибора, с теоретическим обоснованием каждого комплектующих, а также отладка и подключение к системе управления. В целях внедрения данного проекта в производство было проведено технико-экономическое обоснование с анализом экономической эффективности проекта, а именно расчета срока окупаемости, затрат на создание и экономический эффект. И в целях безопасного использования был произведён расчёт опасных факторов при эксплуатации. Выполнен расчет минимального расстояния при эксплуатации лазера, а также произведен расчет вентиляции помещения.

Полностью создана система цифрового управления устройством при помощи специальной программы и драйверов устройств.

Поэтому все поставленные задачи для данного проекта были успешно выполнены, и прибор подтвердил свою функциональную и экономическую эффективность.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Гладуш Г.Г. Физические процессы при лазерной обработке материалов. – М.: Машиностроение, 2010. – 208с.
- 2 Григорьянц А.Г. Основы лазерной обработки материалов. – М.: Машиностроение, 2011. – 301с.
- 3 Рыкалин Н.Н. Лазерная обработка материалов. – М.: Машиностроение, 2015. – 296с.
- 4 Григорьянц А.Г., Соколов А.А. Лазерная техника и технология 1988г. -191с.
- 5 Звелто О. Принципы лазеров. - М.: Мир, 1990. - 559 с.
- 6 Рахманов Б.Н., Чистов Е.Д. Безопасность при эксплуатации лазерных установок. М.: Машиностроение, 1981.
- 7 Санитарные нормы и правила устройства и эксплуатации лазеров № 5804-91. М.:1993.
- 8 ГОСТ 12.1.040-83 Система стандартов безопасности труда. Лазерная безопасность. Общие положения.
- 9 Гигиена труда и профилактика профпатологии при работе с лазерами/ В.П. Жохов, А.А. Комарова, Л.И. Максимова и др. М.: Медицина, 1981.
- 10 Кириллов А.И., Морсков В.Ф., Устинов Н.Д. Дозиметрия лазерного излучения. М.: Радио и связь, 1983.
- 11 Кувшинов Ю.Я., Ткаченко Н.В. Прерывистый режим работы систем вентиляции и кондиционирования воздуха // АВОК. – 2011.– № 5.
- 12 Lawrence Т. Системы вентиляции, регулируемые по уровню потребности // АВОК. – № 5.
- 13 А.И. Бекишева. Методические указания к выполнению экономической части дипломных работ для студентов специальности 5В071600 – Приборостроение – Алматы: АУЭС, 2017. – 29 с.
- 14 Попов Р., Микроконтроллеры STM32 «с нуля», журнал «КОМПЭЛ», 2011.
- 15 Ознакомительное руководство по ARM-микроконтроллерам Cortex-M3.URL: ([http://www.gaw.ru/html.cgi/txt/doc/micros/arm/cortex\\_arh/index.htm](http://www.gaw.ru/html.cgi/txt/doc/micros/arm/cortex_arh/index.htm)) (дата обращения 25.05.2019)
- 16 Приходько Н.Г. Основы безопасности жизнедеятельности. Конспект лекций. – Алматы: АУЭС, 2011. – 40 с.
- 17 СайтArduino.ru // [[http://arduino.ru/Arduino\\_environment](http://arduino.ru/Arduino_environment)] / «Среда разработки ArduinoIDE» / [дата обращения: 25.05.2019]
- 18 Елисеев П. Г. Полупроводниковый лазер // под.ред. А. М. Прохорова Физическая энциклопедия. - М.: «Советская энциклопедия», 1988. -Т. 4.
- 19 И.А. Щербаков Твердотельный лазер // под.ред. А. М. Прохорова Физическая энциклопедия. - М.: «Советская энциклопедия», 1988. - Т. 5.



## ПРИЛОЖЕНИЕ А

### Список параметров для настройки программы

Список параметров для программы GrblLaserEngravingMachine представлен на рисунке А.1.

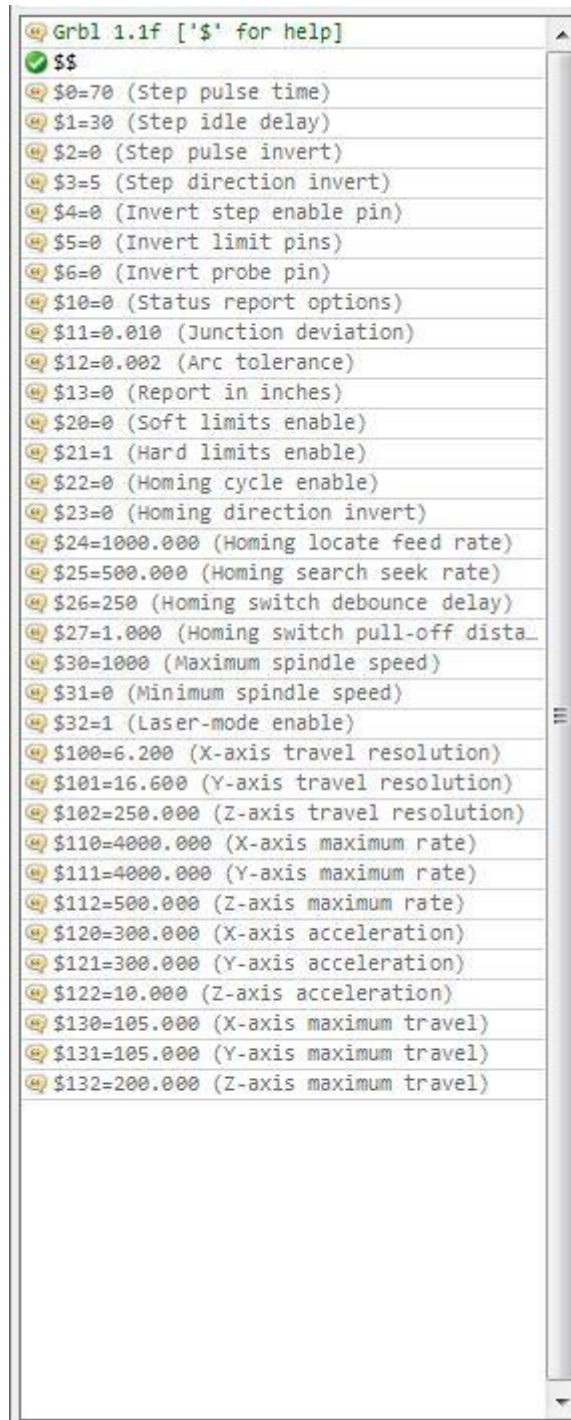


Рисунок А.1 – Настройки программы

Блок схема устройства изображена на рисунке А.2.



Рисунок А.2 – Блок схема устройства