

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 Автоматический поворотный стол для съемки Фото-360

Обучающийся

И.В. Борисов

(Инициалы Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель

к.т.н., доцент, М.В. Позднов

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

Консультант

к.ф.н., доцент, М.М. Бажутина

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

Тольятти 2022

Аннотация

Страниц – 56, Рисунков - 36, Таблиц - 6.

Автоматический поворотный стол для съемки фото-360.

Цель работы – разработка и сборка устройства для фотосъемки предметов.

Задачи проекта заключались в аналитическом исследовании технических параметров существующих устройств, конструкторском проектировании, разработке модуля управления, в частности программирования микроконтроллера, а также разработке корпуса для функционирования всей системы.

Работа состоит из шести разделов, в каждой из которых были решены описанные ранее задачи.

В процессе выполнения программирования микроконтроллера была задействована интегрированная среда разработки Arduino IDE. Разработка корпуса проводилась в системе Autodesk Fusion 360.

Степень внедрения – устройство на текущий момент является опытным образцом.

Областью применения данного устройства являются все общественные учреждения, такие как:

- предметные фотостудии
- домашние фотостудии
- мобильные фотостудии
- малые производства

Abstract

Pages - 56, Drawings - 36, Tables - 6.

AUTOMATIC TURNING TABLE FOR SHOOTING PHOTO-360.

The purpose of the work is the development and assembly of a device for photographing objects.

The objectives of the project were to analyze the technical parameters of existing devices, design engineering, development of a control module, in particular microcontroller programming, and development of a case for the operation of the entire system.

The work consists of six sections, in each of which the tasks described earlier were solved.

In the process of programming the microcontroller, the Arduino IDE integrated development environment was used. The hull was developed using Autodesk Fusion 360.

Degree of implementation - the device is currently a prototype.

The scope of this device is all public institutions, such as:

- subject photo studios
- home photo studios
- mobile photo studios
- small productions

Содержание

Введение.....	5
1 Постановка задачи.....	7
1.1 Поиск и анализ технических параметров аналогичных устройств.....	7
1.2 Критерии для разработки.....	12
1.3 Оценка параметров реализуемой установки.....	12
2 Конструкторское проектирование устройства.....	14
2.1 Варианты разработки устройства и его структура.....	14
2.2 Разработка электронной части устройства.....	14
2.3 Разработка корпуса устройства.....	27
3 Выбор микроконтроллера.....	39
4 Разработка алгоритма и управляющей программы.....	43
4.1 Выбор языка и среды программирования.....	43
4.2 Составление блок-схемы программы.....	43
4.3 Написание программы.....	46
5 Сборка готового изделия.....	49
5.1 Печать корпуса устройства на 3D принтере.....	49
5.2 Подключение всех элементов и загрузка программы в микроконтроллер.....	50
6 Финансовая модель устройства.....	53
Заключение.....	54
Список используемых источников.....	55

Введение

В современных реалиях человеку часто приходится совершать покупки. С развитием технологий человек престал ходить в различные магазины и торговые центры для приобретения как повседневных товаров, так и товаров узкоспециализированного назначения. В последние годы люди стали совершать покупки в интернете чаще, чем вживую. Для этого существуют специальные сайты для онлайн-покупок – маркетплейсы.

Но как передать форму, размер, цвет предмета? С этой задачей могут справиться фотографии. Они могут запечатлеть цвет и форму товара. Но в свою очередь недостатком этого способа является то, что покупатель не может понять, как объект выглядит в пространстве. Специально для этой задачи на многих маркетплейсах существует функция «360 фото». С помощью данной опции любой продавец может предоставить 3D-модель своего товара для покупателя.

Но как же делают такие фотографии? Для создания такой модели используют несколько кадров, которые делают с разных ракурсов. Впоследствии эти кадры склеивают в один с помощью специальной программы. Также важным критерием для более плавного отображения склеенных кадров является то, чтобы фотографии были сделаны с одинаковым интервалом относительно друг друга. С решением задачи по съёмке предмета может помочь вращающаяся вокруг своей оси плоская поверхность. Зачастую в качестве этой поверхности профессиональные фотографы используют фотостол 360 градусов.

На рынке в данный момент существует множество моделей данного устройства. Но большинство из них имеют завышенную стоимость или не обладают достаточным функционалом.

Для корректной работы устройство должно обладать автоматической работой. При этом режиме от фотографа требуется только поставить

снимаемый объект по центру вращающейся платформы и запустить программу на установке. Далее с помощью специального датчика программа отправляет сигнал на заранее установленную камеру. Получив этот сигнал, фотоаппарат делает снимок, после чего, сделав паузу платформа поворачивается на определенный угол. После этого процесс повторяется заданное количество раз. Это позволит уменьшить трудозатраты со стороны фотографа и сосредоточить свои усилия на выставлении света и так далее. Также это позволит оптимизировать процесс, что в свою очередь позволит снимать большее количество товаров за то же количество времени. Увеличив количество отснятого материала, специалист способен увеличить доходность процесса при этом не увеличивая время работы.

Также важным параметром в разработке фотостола является его эргономика. Это позволит использовать данное устройство, не прибегая к специальному обучению. Для реализации этого процесса у прибора должны быть внешние элементы управления и окно диалога с оператором.

В данной работе будет представлен процесс разработки устройства, его сборки и написания программы для корректной работы. Итогом работы является цельное устройство для фотосъемки 360 градусов которое отвечает всем требованиям эргономики автоматизации и при этом имеет невысокую стоимость в производстве.

1 Постановка задачи

Перед началом работы были определены задачи, которые были решены при разработке устройства. Ниже описан процесс сравнения с аналогами, произведена оценка параметров и критериев разработки.

1.1 Поиск и анализ технических параметров аналогичных устройств

Для разработки устройства проведено сравнение с аналогами. Так мы поняли какие характеристики будущего проекта стоит учесть в его проектировании.

Произведя поиск информации в Интернете об уже доступных устройствах круговой фотосъемки, было найдено несколько готовых решений для выполнения этой задачи. На основе этих данных составили сравнительную таблицу (таблица №1), в которой сопоставили различные модели по основным параметрам. Ниже приведены параметры устройств, по которым проводилось сравнение:

- Максимальный вес фотографируемого объекта
- Радиус вращающейся платформы
- Стоимость устройства
- Наличие внешних элементов управления и контроля
- Количество кадров за 1 оборот платформы
- Автоматическая съемка
- Вес устройства

Ниже рассмотрим каждый параметр в отдельности, для определения его значения в разработке устройства:

- Максимальный вес фотографируемого объекта

За счет большего максимально допустимого веса объекта съёмки появляется возможность производить фотосъемку массивных предметов.

- Радиус вращающейся платформы.

Это параметр важен, так как зачастую приходится производить съемку крупногабаритных предметов. Платформа с большим радиусом поворотной части позволит снимать крупные объекты.

- Наличие внешних элементов управления позволяет контролировать процесс съемки. Устройства ввода дают возможность запускать устройство с задержкой, что в свою очередь позволяет настроить освещение снимаемой области и выставить предмет в правильном ракурсе. Дисплей на фотостоле может показывать его оператору готовность прибора к работе, а также по завершению съемки выводить статус завершенного цикла.
- От количества кадров за 1 оборот платформы зависит точность готового результата. С помощью элементов управления можно изменять этот параметр в зависимости от поставленной задачи (у разных маркетплейсов различные требования по количеству кадров на товар).
- С помощью автоматической съемки оператор уделяет меньше времени на 1 позицию. Также автоматическая съемка позволяет уменьшить человеческий фактор в фотопроизводстве (человек может пропустить 1 кадр, вследствие чего товар будет сфотографирован с браком).
- Меньший вес установки делает ее более мобильной, что в свою очередь дает возможность использовать прибор вне фотостудии.
- Более низкая стоимость фотостола позволяет снизить себестоимость фотографий для маркетплейсов.

Для составления сравнительной таблицы взяли три поворотных стола от различных производителей, таких как:

- Фотостол (Фотостенд360) PULUZ 30 см. для предметной съемки (рисунок 1)
- Поворотный стол МХ-32 (рисунок 2),
- М-40 Поворотный стол с диском 40 см (рисунок 3).

Рассмотрели характеристики, особенности и описание каждого из круговых фотостолов. Данные были взяты с сайтов производителей.

Ниже представлены фотографии круговых фотостолов (рис. 1-3):



Рисунок 1 - Фотостенд360 PULUZ 30 см

К недостаткам данного фотостола можно отнести отсутствие элементов управления (кнопки выбора фотоаппарата и дисплей). Также устройство не обладает высокой грузоподъемностью, что делает его хуже на фоне конкурентов. У этого устройства отсутствует возможность выбора цвета поверхности, на которой проводится фотосъемка. Фотостенд360 PULUZ не имеет функции автоматической съемки. Единственным плюсом этого устройства является сравнительно невысокая стоимость, что делает ее популярной у предметных фотографов



Рисунок 2 - Поворотный стол MX-32

Данный фотостол имеет внешнее управление, посредством связи с ПК через провод USB. С помощью ПК производится автоматическая съемка. Также у устройства самая большая рабочая поверхность из 3 представленных моделей. Но недостатком модели заключается в завышенной стоимости.



Рисунок 3 - M-40 Поворотный стол с диском 40 см

У фотостола данного типа рабочая поверхность сделана из ПВХ материала, что делает его не износостойчивым. Также как и у первой модели отсутствуют внешние элементы управления и контроля. Достоинством этого

продукта является самая большая грузоподъемность из трех представленных образцов.

Таблица 1 – Сравнительная таблица устройств

Название	Максимальный вес снимаемого объекта	Радиус вращающейся платформы	Стоимость, руб.	Наличие внешних элементов управления	Автоматическая съемка
Фотостенд 360 PULUZ 30 см	10 кг	30 см	4520 руб.	нет	нет
Поворотный стол МХ-32	20 кг	32 см	51000 руб.	нет	да
М-40 Поворотный стол с диском 40 см	30 кг	20 см	5500 руб.	нет	нет

Подводя итог, опираясь на таблицу 1, можем сделать вывод о том, что в основном устройства в данной ценовой категории имеют:

- Завышенную стоимость продукта
- Отсутствуют внешние элементы управления
- Маленький радиус платформы

Часть производителей фотостолов находят компромисс, занижая стоимость устройства посредством использования менее износоустойчивых материалов и отсутствия элементов управления и контроля процесса.

Все это подводит на создание проекта, который полностью будет отвечать удобствам пользования устройством, выделяя себя среди

конкурентов на рынке более низкой стоимостью, широким функционалом и обширной областью применения, не прибегая к использованию некачественных материалов.

1.2 Критерии для разработки

Делая вывод из предыдущего пункта, мы можем сформировать основные критерии, которые нужно учесть при разработке устройства.

Ниже представлены данные критерии:

- Грузоподъемность платформы – максимальный вес снимаемого объекта
- Размер вращающегося диска - максимальный размер снимаемого объекта
- Внешние элементы управления – возможность выбора различных режимов работы
- Автоматическая съемка – возможность работы полного цикла без участия человека
- Способ питания – наличие питания от сети 220В
- Стоимость готового устройства – итоговая стоимость продукта
- Визуальный контроль параметров – наличие внешнего дисплея
- Возможность персонализации устройства – различные режим работы
- Компактность устройства – физические параметры платформы (ширина, высота, глубина и вес)

1.2 Оценка параметров реализуемой установки

Определив основные критерии разработки, перешли к минимальным параметрам, которые нужно реализовать в разрабатываемой установке.

Требования были сформированы, опираясь на параметры аналогов, с целью расширения функционала и повышения конкурентоспособности.

Таблица 2 – минимальные требования к установке

Параметр	Значение
Грузоподъемность	от 3
Радиус платформы	от 0,11 м
Элементы управления	есть
Автоматическая съемка	есть
Способ питания	от сети переменного тока 220 В
Визуальный контроль параметров	ЖК-дисплей 20*4 символов
Возможность выбора режимов	есть
Минимальные габариты установки	0,23 м * 0,23 м * 0,1 м
Вес установки	До 3 кг
Стоимость готового устройства	до 5000 рублей

Выше приведена таблица (таблица 2), в которой определена каждая минимальная величина.

Таким образом в данном разделе поставлены задачи и определены цели выпускной квалификационной работы.

2 Конструкторское проектирование устройства

Определив основные требования к устройству и поняв перечень задач, которые предстояло выбрать перешли к проектированию устройства. В данной главе выполнили разработку электрической части, а также с помощью различных компьютерных программ было произведено моделирование корпуса устройства.

2.1 Варианты разработки устройства и его структура

В первую очередь определили форм-фактор будущего устройства. Взяв за основу аналоги, было принято решение спроектировать круглую полую подставку, в которой расположились все электронные элементы, в том числе и микроконтроллер с двигателем. Над этой платформой находится вращающийся диск, на который устанавливается снимаемый объект.

Далее потребовалось разработать электрическую часть устройства.

В дальнейшем, отталкиваясь от физических параметров электрических элементов было выполнено проектирование корпуса устройства, механических деталей и его вращающихся частей.

Ниже описан процесс разработки и конструирования устройства.

2.2 Разработка электронной части устройства

Для корректной работы и выполнения поставленных задач и целей устройство должно выполнять следующие действия:

- Вращение круговой платформы
- Включение устройства
- Выбор режима
- Передача сигнала на фотоаппарат
- Электропитание всех элементов

2.2.1 Выбор элементов электронной части устройства

Для выполнения этих действий устройство должно иметь следующие элементы:

- Электромотор с драйвером (вращение круговой платформы)
- Кнопка включения (включение устройства)
- Энкодер и ЖК-дисплей (выбор режима)
- Цифровой ИК-передатчик (передача сигнала для спуска затвора фотоаппарата)
- Блок питания (электропитание всех элементов)

Также для соединения всех элементов потребовались провода с изоляцией и термоусадочная оплетка.

Ниже описан процесс выбора каждого элемента.

Электромотор с драйвером.

Для лучшего результата решили использовать шаговый двигатель, так как с помощью него можно задавать определенный угол, на который будет поворачиваться шкив мотора, следовательно и вращающаяся платформа. В случае выбора обычного электромотора не было бы возможности с такой точностью осуществлять поворот платформы, так как в этом варианте пришлось бы программно задавать время поворота, что в свое время не так точно, как программное назначение количества шагов у шагового мотора.

При выборе электромотора опирались на следующие его параметры:

- Угол одного шага
- Напряжение
- Крутящий момент
- Максимальный ток драйвера

- Диаметр мотора
- Высота драйвера
- Вес
- Стоимость мотора с драйвером

Как наиболее подходящие к сравнению были представлены шаговые моторы 28byj-48 (рисунок 4) и Nema 17 [11] (рисунок 5). В таблице 3 выполнили сравнение этих двух моторов.

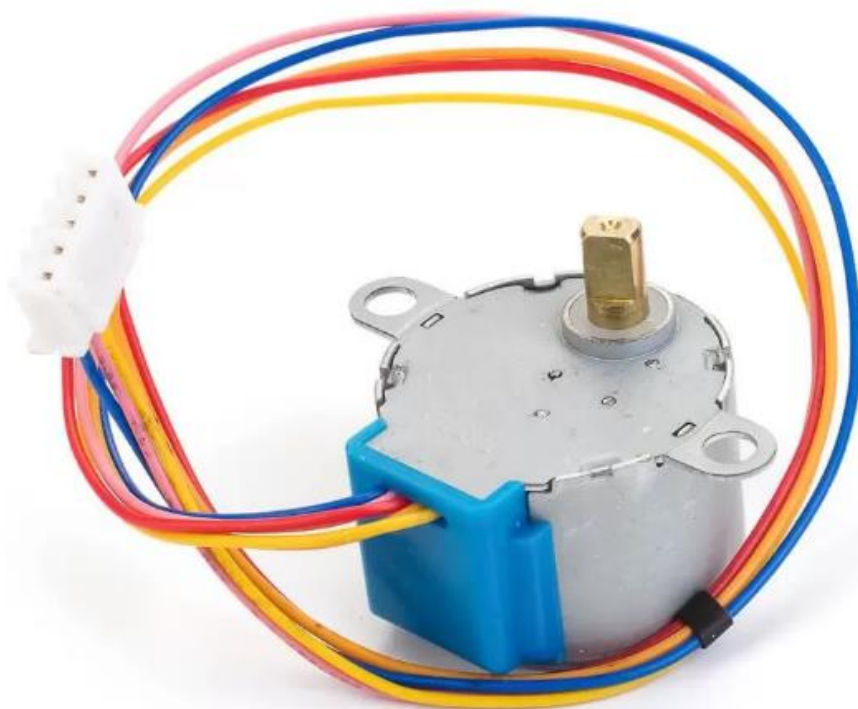


Рисунок 4- шаговый мотор 28byj-48



Рисунок 5 – шаговый мотор Nema 17

Таблица 3 – Сравнение шаговых моторов

	28byj-48	Nema 17
Угол одного шага	5,625°	1,8°
Напряжение	5	4 В
Крутящий момент	450 гр/см	3,2 кг/см
Максимальный ток	500 мА на 1 канал	1,2 А на обмотку
Диаметр мотора	25 мм	42,3 мм
Высота мотора	18 мм	48 мм
Вес	80 гр	350 гр
Стоимость мотора	189 рублей (мотор с драйвером)	1 128 рублей

Из данной таблице сделали вывод, что электромотор Nema 17 имеет более высокий крутящий момент, но в то же время его размеры не

позволят собрать компактное устройство, а также стоимость является слишком высокой.

Сравнив характеристики обоих моторов, решили выбрать шаговый электромотор 28byj-48. Его характеристики позволят выполнить поставленные задачи, а стоимость не является высокой.

В комплекте с шаговым двигателем поставляется драйвер для его работы.

Кнопка включения

Для включения устройства выбрали кнопку с индикацией (рисунок 6). Индикация позволила одновременно сэкономить ресурс ЖК-дисплея и в то же время сигнализировать о подключении устройства питанию.



Рисунок 6 – кнопка включения

ЖК-дисплей

Для индикации состояния процесса, отображения настроек и выбора режима потребовалось использовать устройство вывода информации.

Для этой задачи подошел ЖК-дисплей.

Был выбран дисплей с разрешением 20 символов * 4 строки (рисунок 7), как более информативный в сравнении с дисплеем 16 символов * 2 строки.

Также при выборе дисплея остановились на модели с I2C конвертером [14], так как с ним проще подключить ЖКД к плате управления и требуется меньшее количество проводов и контактов на ней.

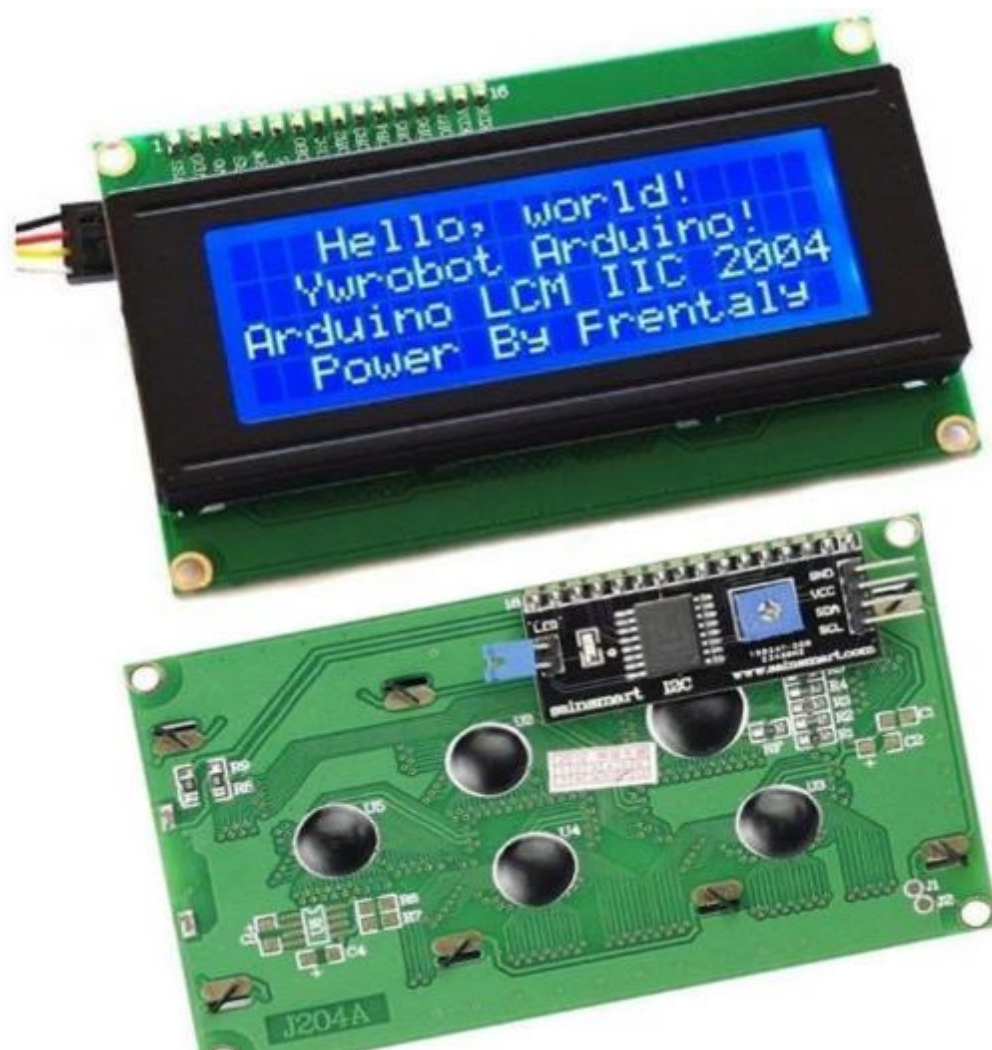


Рисунок 7 – ЖК-дисплей 2004 с модулем I2C

Энкодер

Для взаимодействия с интерфейсом, отображаемым на ЖК-дисплее и для выбора различных пунктов меню потребовалось использовать устройство ввода информации.

В качестве такого устройства был выбран энкодер (рисунок 8), как наиболее компактный и недорогой элемент. Его принцип работы заключается в перемещении по пунктам меню с помощью вращения вокруг собственной оси металлической рукоятки. Рукоятка способна вращаться на 360 градусов, на ее перемещение равное 18 градусам приходится 1 шаг (20 шагов на оборот) [6]. Рукоятку можно вращать как по часовой, так и против часовой стрелки. Это позволяет перемещаться по меню в прямом и обратном направлении. Также энкодер имеет кнопку без фиксации, встроенную в рукоятку, взаимодействие с которой происходит путем нажатия на рукоятку.



Рисунок 8 – Энкодер

Цифровой ИК-передатчик

Для передачи сигнала о спуске затвора фотокамеры требуется устройство, передающее такой сигнал. Сначала определили с помощью какого канала связи камера способна получить такой сигнал. Произведя поиск в Интернете, пришли к выводу, что существует способа передачи сигнала у современных камер:

- С помощью проводного подключения
- С помощью ИК приемника [17]
- С помощью канала Bluetooth

Вариант с проводным подключением не оказался подходящим, так как это ограничивает дистанцию между камерой и фотостолом длиной провода, что в свою очередь не дает возможность использовать эту установку с различными объективами (существуют объективы, у которых достаточно большая минимальная дистанция фокусировки).

Передача сигнала с помощью канала Bluetooth оказалась также нерабочей, так как требует подбирать для каждой камеры собственный пакет данных передаваемый по Bluetooth. А так как этот пакет каждая компания-производитель не публикует в свободном доступе, пришлось также отказаться от этого варианта. Также не все современные камеры поддерживают этот канал связи, а лишь самые новые модели.

Передача сигнала с помощью ИК сигнала оказалась единственно-возможной, так как этот протокол связи удалось найти в сети Интернет [2]. А также этот вариант легче реализуется с точки написания программы [13].

В итоге был выбран IR Transmitter HX-53 (рисунок 9) [22].



Рисунок 9 - IR Transmitter HX-53

Блок питания

Для функционирования всего устройства требуется подать на него питания. Так как все элементы, в том числе и печатная плата питаются от сети постоянного тока с напряжением 5 В, потребовалось использовать блок питания, который выполняет 2 задачи:

- Преобразование переменного тока в постоянный
- Понижение напряжения с 220 В до 5 В

Для этих задач были рассмотрены 2 варианта:

- Внешний блок питания
- Внутренний блок питания

Разберем каждый вариант отдельно.

В качестве внутреннего блока питания был выбран блок Hi-Link HLK-PM03 (рисунок 10).



Рисунок 10 -блок питания Hi-Link HLK-PM03

Его достоинствами являются:

- Небольшие размеры – это позволит разместить его внутри платформы, что в свою очередь уменьшит размеры готового устройства.
- Подключение с помощью любого интерфейса – так как блок не имеет определенного выхода это позволяет припаять любой интерфейс питания к устройству (micro/mini USB, C1 и C2, C5 и C6 и т.д.). В свою очередь это позволит сделать платформу более мобильной, так как в случае утери кабеля питания не составит труда найти подобный в любом магазине.

Недостатки:

- Высокая стоимость (557 рублей)
- Невозможность размещения на одной плате с остальными элементами - высокое входное напряжение делает размещение

блока питания на одной плате с остальными электронными устройствами опасным. Данную проблему можно решить с помощью разработки определённой печатной платы, но это повысит стоимость готового устройства.

— Низкий выходной ток – выходного тока 0.9 А может оказаться недостаточным для питания всей установки.

В качестве внешнего блока был выбран блок питания для ТВ приставок MRM-502 (рисунок 11). Конструктивной особенностью данного устройства является наличие двух вариантов выхода – 5.5 мм и 4.0 мм [9].



Рисунок 11 – блок питания MRM-502

Преимущества:

— Невысокая стоимость (299 рублей)

— Высокий выходной ток – ток в 2А позволит обеспечить питанием все элементы платформы.

— В устройство подается низкое напряжение – это позволит не использовать специальную плату для размещения остальных деталей.

Недостатки:

— Крупные габариты и высокий вес — это значительно увеличивает размеры и вес сборной установки.

— Определенный выходной интерфейс – это обязывает к использованию только этого блока питания, что в свою очередь делает устройство менее мобильным и универсальным.

В итоге было принято решение использовать блок питания MRM-502, как более дешевый и энергоэффективный.

Ниже представлена таблица 4 используемых устройств и их стоимость.

Таблица 4 – используемые электрические элементы и их стоимость

Назначение	Устройство	Стоимость
Вращение платформы	Шаговый двигатель 28byj-48 с драйвером	189 рублей
Включение устройства	Кнопка включения с индикацией	39 рублей
Устройство ввода	Энкодер	123 рубля
Устройство вывода	ЖК-дисплей 2004 с модулем I2C	590 рублей
Передача сигнала на фотоаппарат	Цифровой ИК-передатчик	150 рублей
Питание	Блок питания MRM-502	299 рублей

Итоговая стоимость данных деталей составила 1390 рублей.

2.2.2 Разработка схемы подключения элементов и схемы питания

Для разработки схемы подключения воспользовались макетной платой. Чтобы система была работоспособна потребовалось соединить все ее элементы в одну группу. Выходы всех элементов разбили на 2 группы:

- питание
- логика

Исходя из этого на макетной плате к шине питания подключили 5В постоянного тока и «минус» к шине «земли». Далее подключили все элементы к этим шинам, в том числе и микроконтроллер. Для его подключения соединили выход VIN к положительному контакту шины и выход GND к шине «земли».

Далее используя дискретные контакты на плате, поочередно соединили выходы управления устройств и плату. В итоге получили подключение, изображенное на рисунке 12.

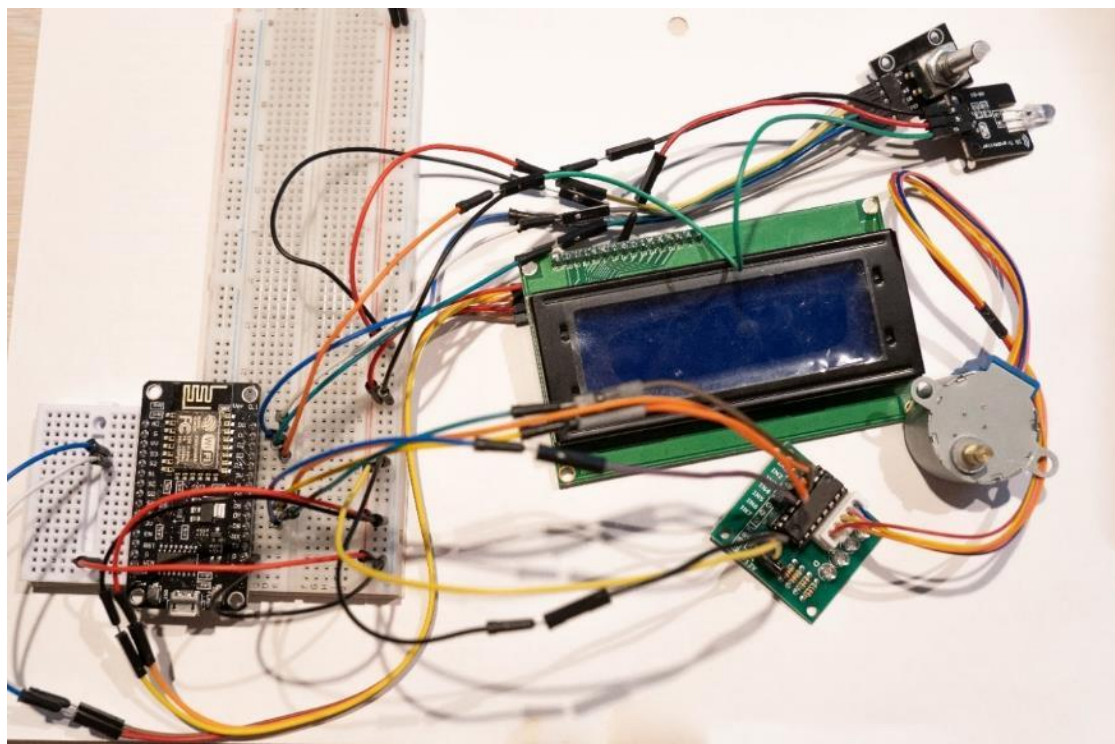


Рисунок 12- подключение элементов к плате.

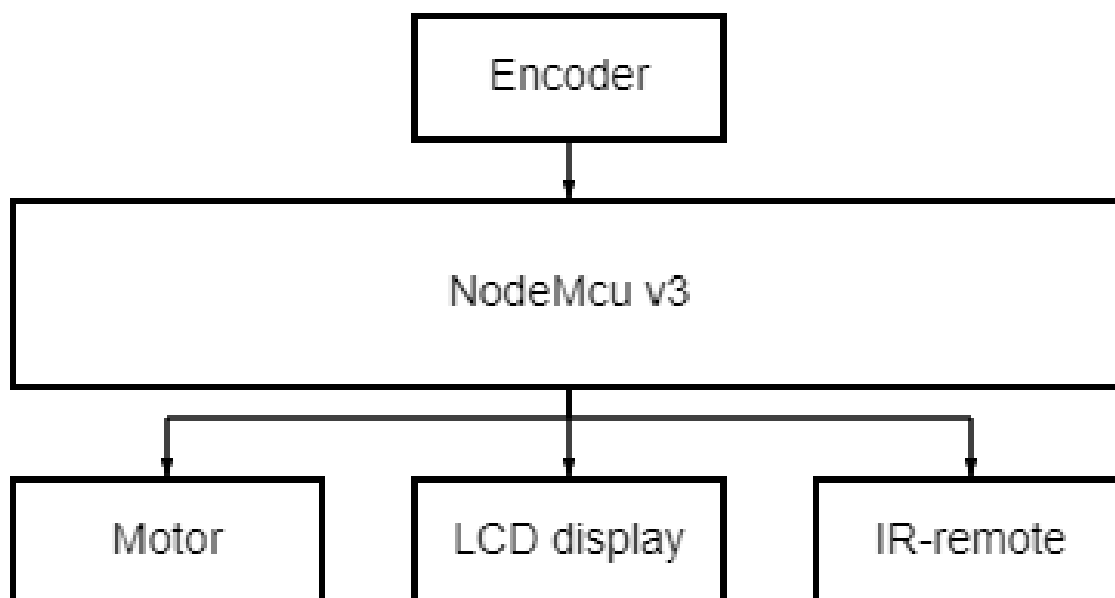


Рисунок 13 – логика подключения элементов

Также на рисунке 13 представлено схематичное изображение подключения элементов и питания.

2.3 Разработка корпуса устройства

Для разработки корпуса устройства потребовалось выбрать программу для 3D-моделирования. Были выбраны 3 программы для сравнения:

- TinkerCad
- Компас 3D
- Autodesk Fusion 360

Выбранные программы сравнивали по 3 критериям:

- наличие удобного интерфейса для работы
- доступность обучающих материалов в Интернете
- возможность построения сложных пространственных фигур

По результату сравнения была выбрана программа Fusion 360, как наиболее подходящая по всем параметрам сравнения.

Для начала работы требовалось скачать установочный файл программы [21]. Для этого зашли на сайт программы и выбрали подходящую версию программы для операционной системы. После этого запустили программу (рисунок 14).



Рисунок 14 – Запуск программы Autodesk Fusion 360

Производитель программы дает 30 дней пробного периода, которым мы воспользовались для построения модели. После запуска программы требовалось усвоить правила пользования основными инструментами и элементами управления.

Для начала проектирования потребовалось установить требуемые критерии для разработки корпуса [16].

Размер конструкции был рассчитан исходя из возможностей печати имеющегося 3D-принтера. Размеры его рабочей поверхности составляют 220мм*220мм*250мм.

Далее определили внешний вид и форму корпуса. На нем имеется передняя панель управления, на которой расположен ЖК-дисплей, ИК-передатчик и энкодер. Для более удобного взаимодействия оператора и прибора решили расположить ЖК-дисплей под углом 45 градусов относительно основания устройства. В связи с этим вся передняя панель управления была расположена под тем же углом. Также этим конструкторским решением удалось уменьшить общую высоту установки.

Для более удобного расположения вращающегося диска и экономии материала пространство под ним было решено сделать в форме цилиндра. Во внутренней части цилиндра расположили все электронные элементы, в том числе и электромотор.

Чтобы привести верхний диск в движение с помощью электромотора в верхнюю крышку (вращающийся диск) была встроена шестерня, внутри которой расположили подшипник для облегчения нагрузки на электромотор и снижения коэффициента трения. В качестве оптимального был выбран подшипник с внутренним диаметром 15мм, внешним диаметром 32мм и высотой 9мм. При выборе подшипника выбирали с максимально большими внешним и внутренним диаметром, но в то же время оставляя место для его расположения внутри конструкции.

Также в нижней части стола потребовалось проектирование оси для расположения на ней подшипника.

Толщину всех стенок конструкции спроектировали в 5 мм, так как таким образом удалось задать необходимую жесткость и прочность конструкции.

При запуске программы создается пустой проект. В центре экрана располагается рабочее поле для построения моделей и фигур (рисунок 15).

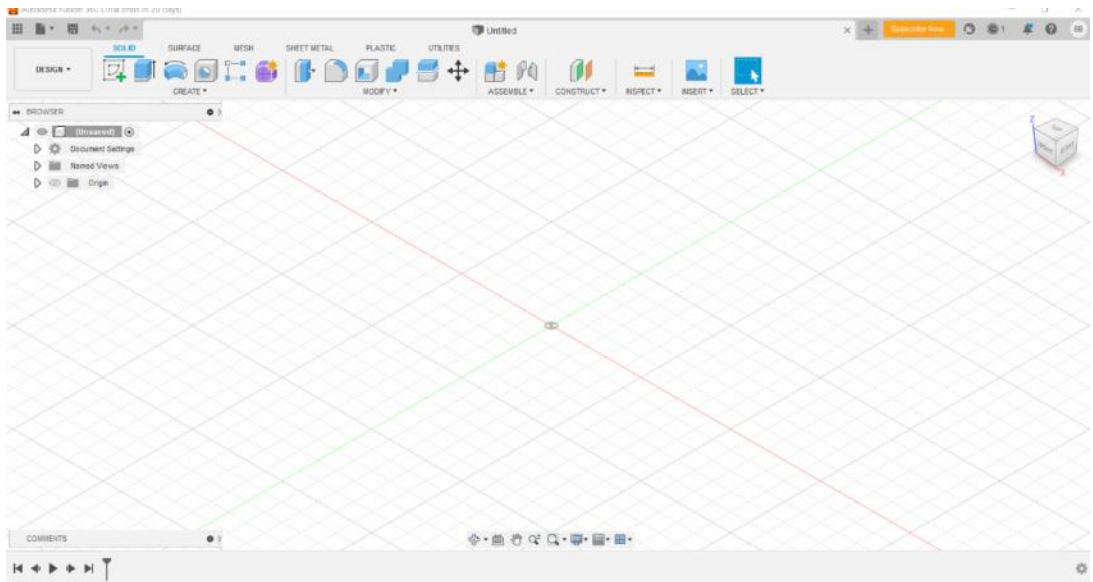


Рисунок 15 – Основной экран Autodesk Fusion 360

Сверху находятся панель инструментов. Из панели инструментов для работы воспользовались вкладкой Solid. Вкладка открывает панель инструментов, которые позволяют работать с объемными фигурами.

Во вкладке Solid нажали на иконку создания плоских фигур (рис. 16). Таким образом создали проекцию корпуса на плоскости XY (рисунок 17).



Рисунок 16 – создание плоской фигуры

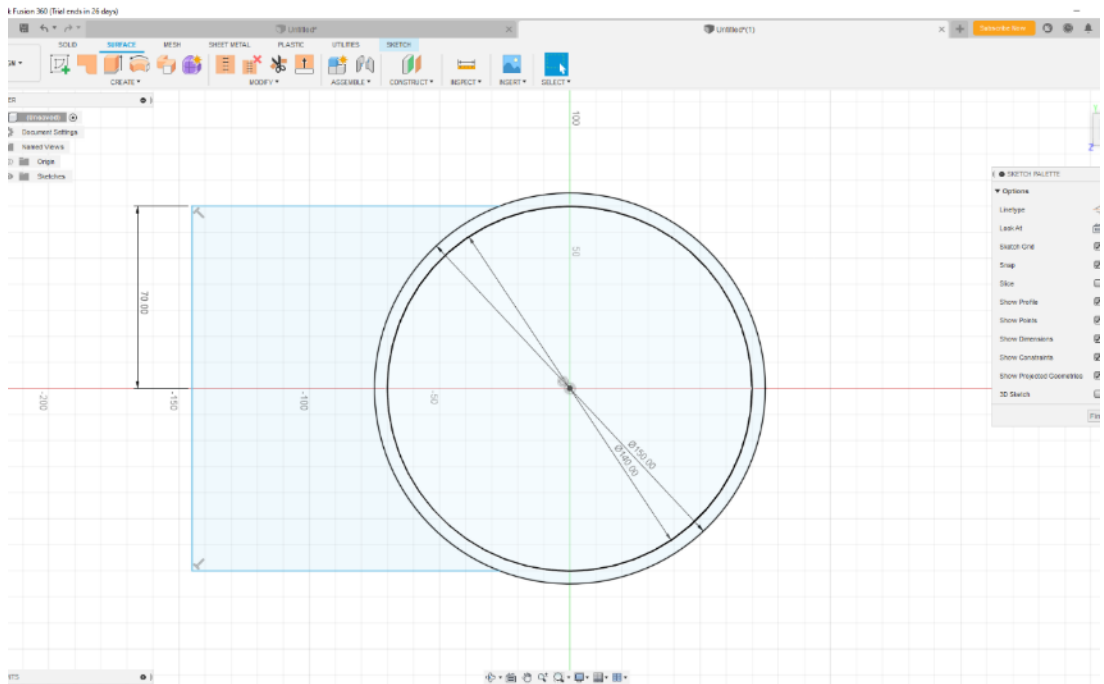


Рисунок 17 – создание плоской фигуры на плоскости XY

Далее нажав правую кнопку мыши и выбрав пункт Extrude, задали высоту наращивания (5мм). Таким образом превратили плоскую фигуру в объемную (рисунок 18).

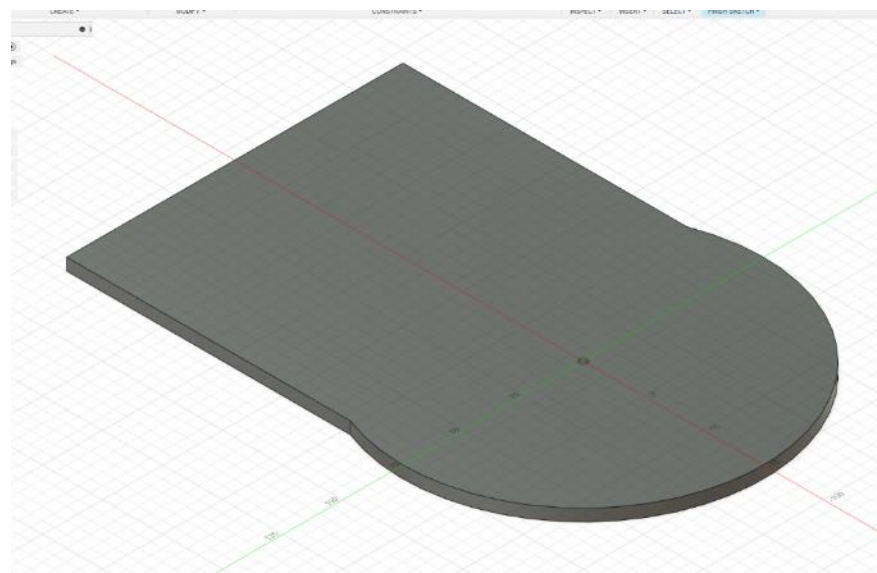


Рисунок 18 - выдавливание основания

После создания основы конструкции подобным образом были спроектированы стенки модели. Для их создания воспользовались методом, который был представлен выше. Единственным отличием являлась выбранная плоскость для построения плоской фигуры. Программа Autodesk Fusion 360 позволяет выбрать не только плоскости XY, XZ и YZ для построения проекции, но и плоскости, образуемые предыдущими построениями. Такая возможность понадобилась для создания отверстия под ЖК-дисплей на передней панели управления (рисунок 19).

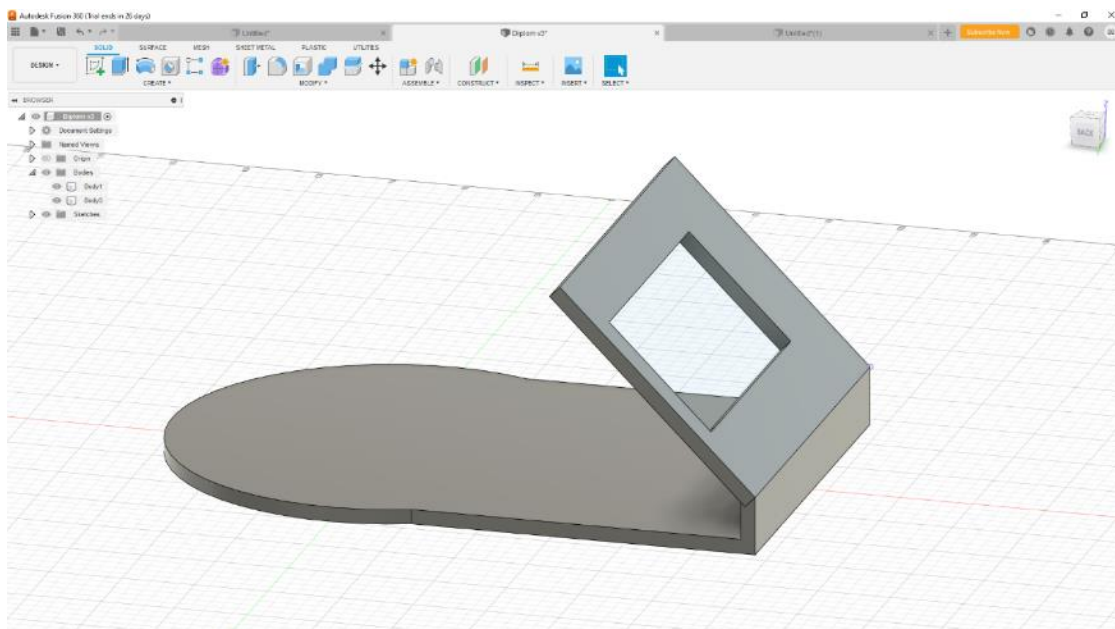


Рисунок 19 – выдавливание отверстия для дисплея

После этого были возведены стенки будущего прибора. Путем создания двух окружностей, чья разница в диаметрах составляет 10 мм ($2 \text{ стенки} \cdot 5 \text{ мм} = 10 \text{ мм}$) и их выдавливания на заданную высоту был создан полый цилиндр (рисунок 20).

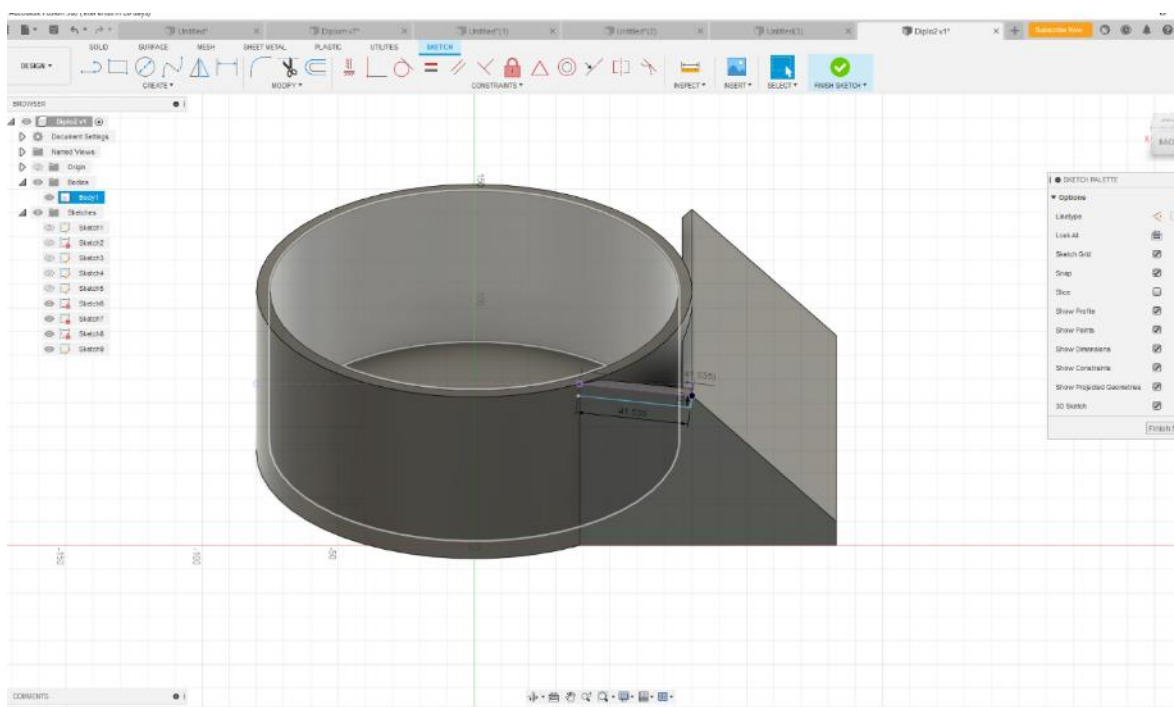


Рисунок 20 - создание полого цилиндра

Далее была выведена поверхность, соединяющая внешнюю окружность цилиндра и переднюю панель управления (рисунок 21). Для удобства печати был задан небольшой угол этой поверхности, так как 3D-принтеру проблематично печатать горизонтальные поверхности без опоры.

После этих действий удалили внутреннюю стенку цилиндра, примыкающую к передней панели (рисунок 22). Это потребовалось для прокладки проводов к элементам управления и ИК-приемнику.

По завершению предыдущего шага выполнили выдавливания отверстий на передней панели под энкодер, ИК-передатчик и ЖК-дисплей. Выдавливание производили построением плоских фигур на плоскости наклонной панели (рисунок 23).

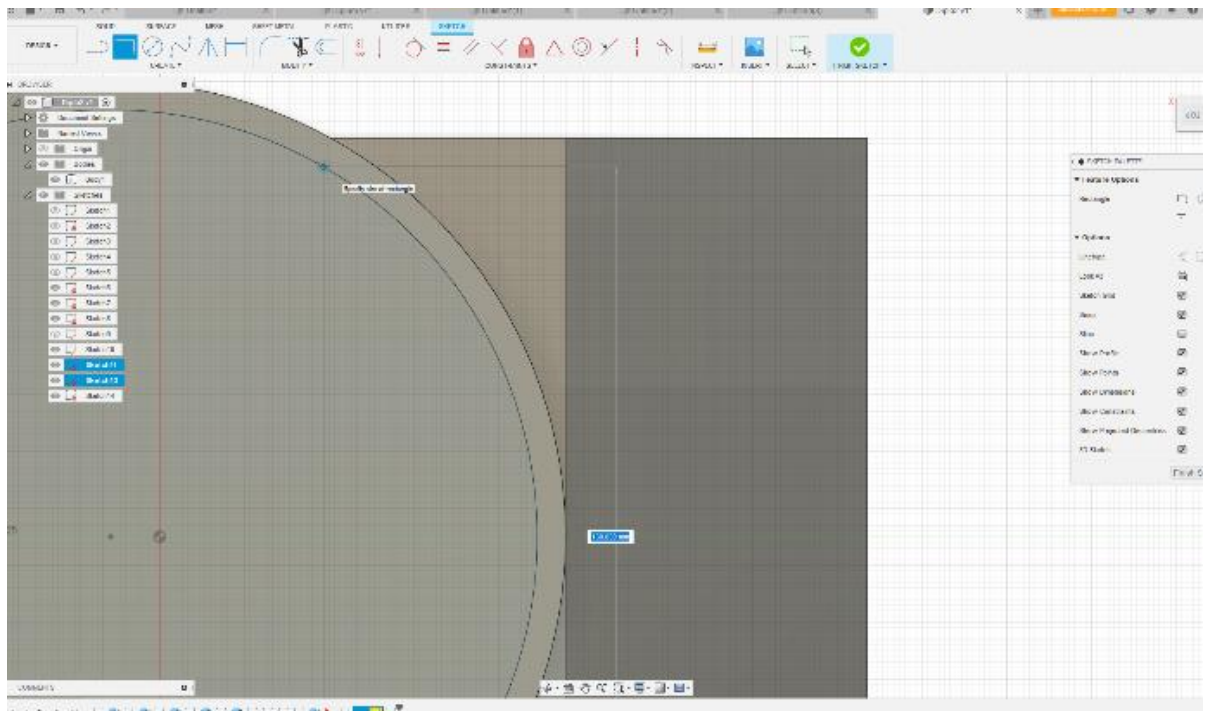


Рисунок 21 – построение поверхности

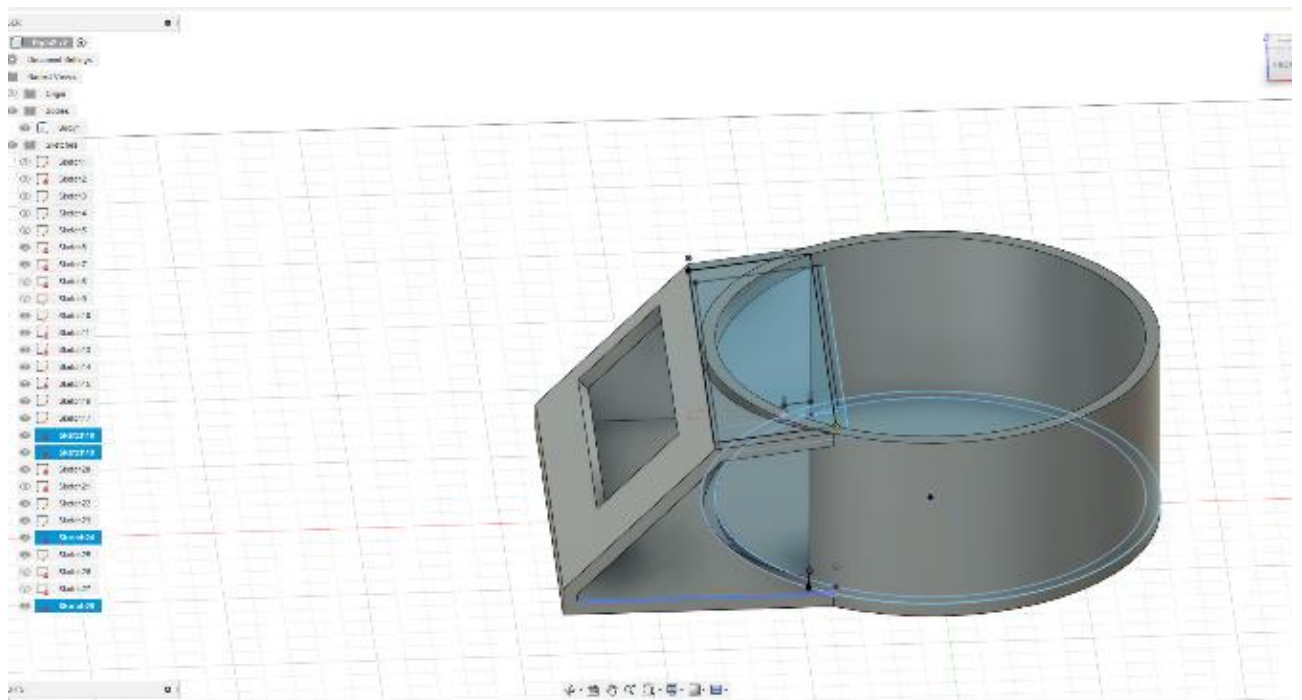


Рисунок 22 – удаление внутренней стенки цилиндра

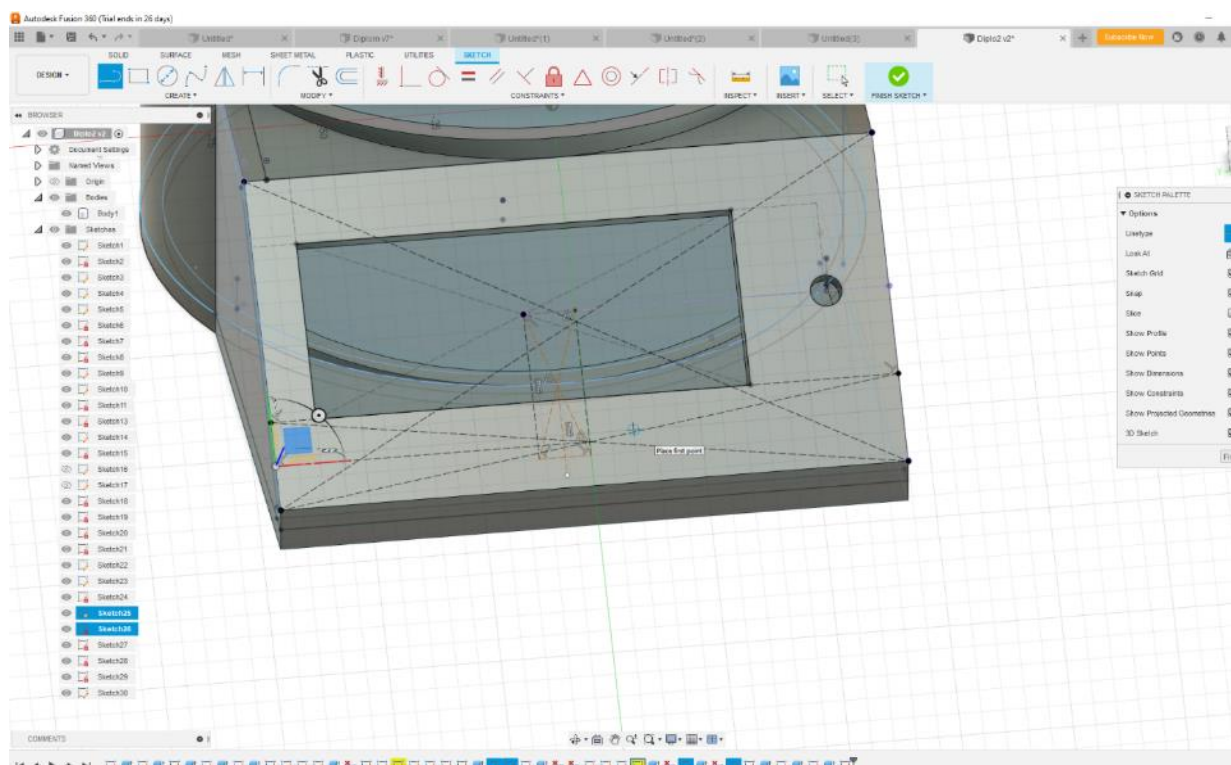


Рисунок 23 – Выдавливание отверстий

В центре цилиндра спроектировали ось для крепления подшипника (рисунок 24)., Высота данной оси зависит от двух факторов: расстояния вращающейся панели от корпуса, высота подшипника. Так как вращающаяся панель должна находиться выше корпуса для стабильного вращения, значение этого расстояния было взято равное двум миллиметрам. Для расчета высоты оси потребовались следующие параметры:

- высота корпуса (97 мм)
- толщина основания (5 мм)
- высота подшипника (9 мм)
- расстояние между корпусом и вращающейся поверхностью (2 мм)

Зная эти данные рассчитали высоту оси. Получили значение равное 88 мм. Высчитав высоту оси, перешли к ее проектированию. Для этого создали окружность с диаметром равным внутреннему диаметру подшипника + 5 мм.

Далее выдавили ось на высчитанную высоту. После в центре верхней окружности создали вторую ось для крепления подшипника. Диаметр оси приняли равный внутреннему диаметру подшипника [8]. А высоту задали из расчета высота подшипника – 4 мм.

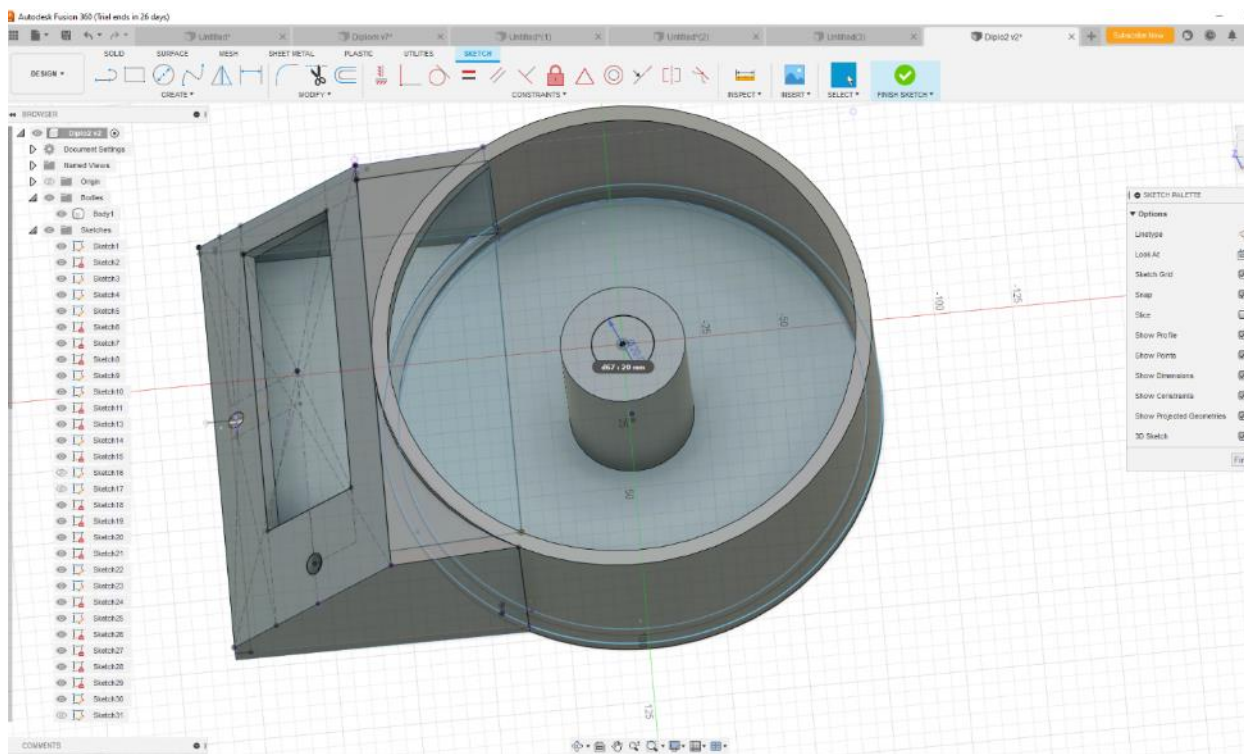


Рисунок 24 – создание оси для крепления подшипника

Далее выполнили выдавливание в корпусе для расположения в нем входа питания и кнопки включения.

Для устойчивости устройства на неровных и влажных поверхностях были выполнены углубления для размещения в них противоскользящих накладок в нижней поверхности установки.

Таким образом спроектировали корпус (рисунок 25) будущего устройства.

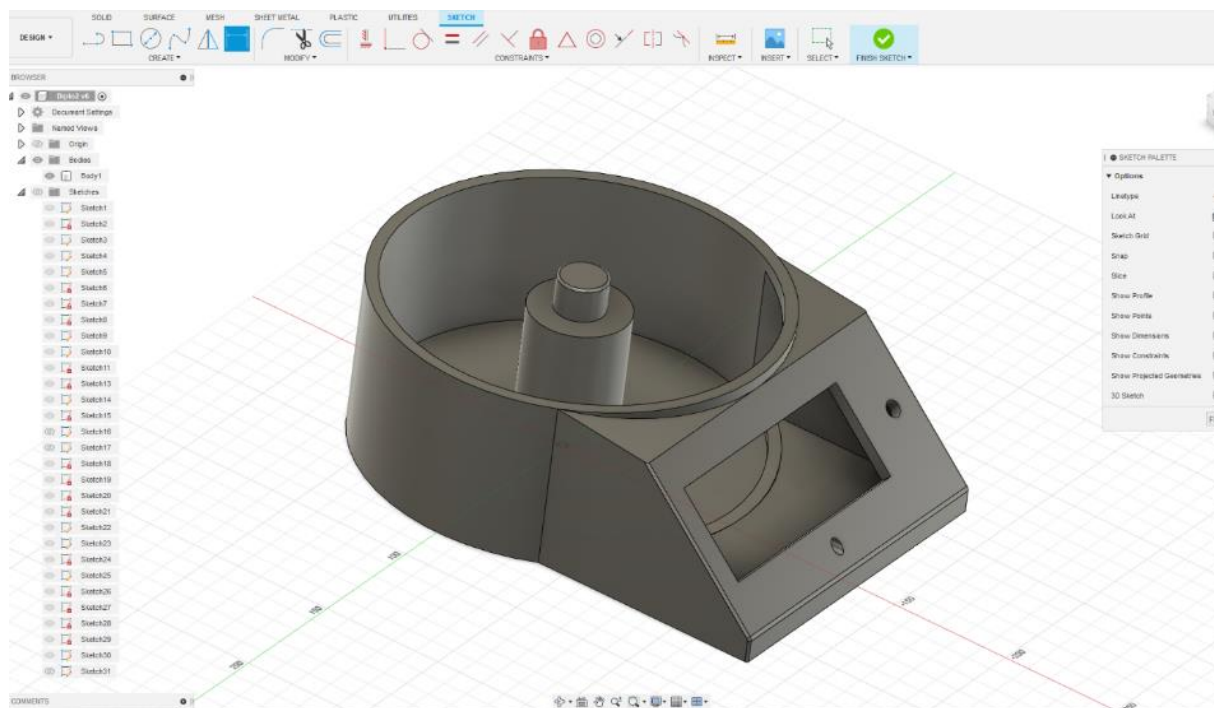


Рисунок 25 – вид готового корпуса

Используя те же инструменты выполнили проектирование вращающейся панели. Задав диаметр, создали окружности и выдавили ее на высоту 5 мм. Для предотвращения попадания инородных предметов и влаги в устройство были спроектированы борта на нижней части модели высотой 5 мм по окружности верхней панели. Далее используя встроенные сценарии проектирования на внутренней поверхности, была спроектирована шестерня.

В качестве сценария был использован Spur Gear расположенный во вкладке UTILITIES (рисунок 26). С помощью этого сценария задаем следующие параметры:

- Module – профиль шестерни
- Number of Teeth – количество зубьев
- Hole Diameter – внутренний диаметр шестерни

Выбранный параметры представлены на рисунке 1.



Рисунок 26- проектирование шестерни

Подобным образом была спроектирована шестерня для электродвигателя. Для корректного соединения шестерней потребовалось задать одинаковые параметры Module. В итоге получили результат, представленный на рисунке 27.



Рисунок 27 – готовая верхняя поверхность и шестерня для двигателя

Таким образом в данном разделе описан процесс проектирования корпуса, а также процесс выбора компонентов устройства.

3 Выбор микроконтроллера.

Для связи всех электрических элементов в единую систему и работы устройства предстояло выбрать микроконтроллер, который будет отвечать всем требованиям для разработки устройства.

При его выборе опирались на несколько критериев, таких как:

- Количество цифровых входов
- Количество цифровых выходов
- Входное напряжение
- Максимальный потребляемый ток
- Частота процессора
- Форм-фактор платы
- Объем памяти для кода
- Объем оперативной памяти

Также важным критерием было достаточное количество справочного материала по работе с этими платами и их программированием.

В целях удешевления готового устройства были выбраны следующие микроконтроллеры:

- NodeMcu v3 (106 рублей)
- Arduino Uno (425 рублей)
- Arduino Nano (432 рубля)

Исходя из документации плат составили таблицу 5, в которой описаны интересующие нас параметры.

Таблица 5 – характеристики плат

	NodeMcu v3	Arduino Uno	Arduino Nano
Количество портов входов-выходов	11	20	14
Входное напряжение	3,7-20 В	7-12 В	7-12 В
Максимальный потребляемый ток	220 мА	200мА	200мА
Частота процессора	80 МГц	16 МГц	16 МГц
Форм-фактор	Печатная плата с выходами «папа»	Печатная плата с выходами «мама»	Печатная плата с выходами «мама»
Объем памяти для кода	64 кб	32 кб	1 кб
Объем оперативной памяти	96 кб	2 кб	2 кб

Сделав вывод о платах по выше представленной таблице, решили использовать плату NodeMcu v3 (рисунок 28), как более совершенную и недорогую в приобретении. Ниже описали эту печатную плату более подробно.

NodeMcu v3 – печатная плата основанная на модуле ESP8266.

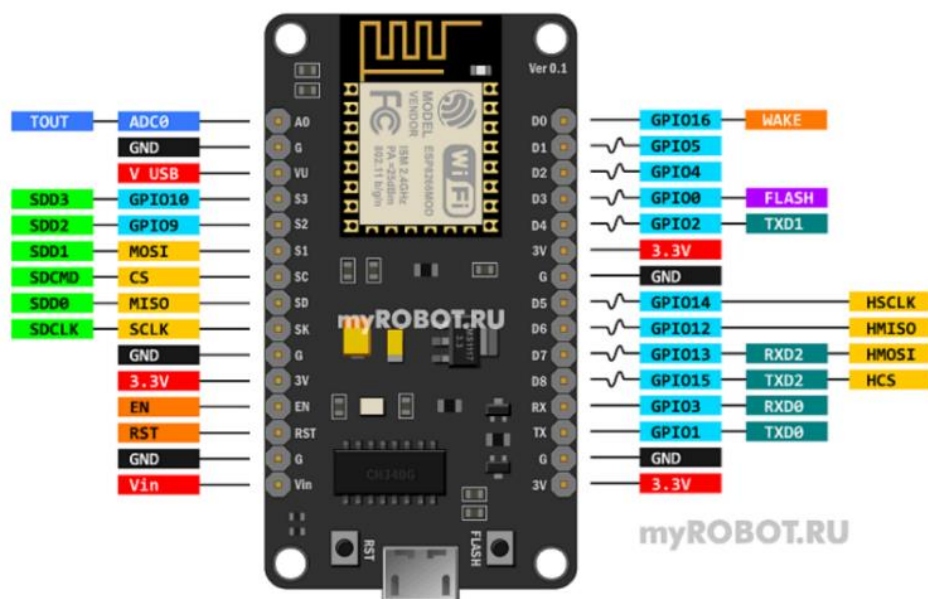


Рисунок 28 – NodeMCU v3 pinout

Размер платы NodeMCU – 6*3 см [24]. Плата является компактной, что позволяет использовать ее в нашем проекте, так как размер корпуса имеет определенные размеры. «Ноги» NodeMCU расположены так, что их с легкостью можно припаять к выводам, ведущим к другим устройствам [3]. На передней стороне платы имеется разъем micro USB, с помощью него в контроллер загружают готовую программу и подают питание от компьютера или любого другого источника питания с напряжением 5В (например powerbank) [20].

Основное место на плате занимает чип ESP8266, на котором установлен микропроцессор с тактовой частотой 80 МГц. Плата имеет 4 мегабайта Flash-памяти.

Для питания платы подается напряжение 5-12 В. Питание можно осуществлять как от micro USB, так и от контакта Vin (от 5В).

Питание платы 5В через выход Vin.

Также для нашего проекта понадобятся следующие входы-выходы:

— GPIO (General Purpose Interput Output) — контакты ввода/вывода общего назначения. Могут быть сконфигурированы как входы или выходы и программно назначены на различные функции.

— RST (Reset) — вывод используется для сброса микроконтроллера ESP8266.

— EN (Chip Enable) — при подаче на контакт сигнала высокого уровня, микроконтроллер ESP8266 переходит в рабочий режим, при сигнале низкого уровня — в режим энергосбережения.

— WAKE - контакт используется для пробуждения чипа ESP8266 из режима глубокого сна (deep-sleep mode).

В этом разделе выбран микроконтроллер для бедующего проектирования всей электрической модели устройства. Выбор производился среди аналогов по основным параметрам. В результате выбран микроконтроллер NodeMcu v3.

4 Разработка алгоритма и управляющей программы модуля управления.

Для работы выполнения заданных действий устройство потребовалось разработать алгоритм работы электронных устройств и написать текст программы. В пунктах приведенных ниже представлен ход выполнения данных задач.

4.1 Выбор языка и среды программирования

В качестве языка программирования был выбран C++. Решающим аргументом в пользу языка было большое количество библиотеки обучающего материала по C++.

Для написания тексты программы использовали стандартную программу Arduino.

4.2 Составление блок-схемы программы

Блок-схема позволяет в графическом варианте составить логику работу программы. Что в свою очередь облегчит дальнейшее написание программы.

Блок-схема, представленная на рисунке 30 описывает следующий сценарий работы:

Пользователь включает питание устройства. Далее выбирает модель фотоаппарата с помощью энкодера. Задает количество кадров на 1 оборот круговой поверхности. Нажимает кнопку старт. Двигатель начинает свое вращение. В зависимости от выбранного количества кадров, шаговый двигатель делает определенное количество оборотов, после чего останавливается на 2 секунды. Данный цикл повторяется определенное количество раз. После чего устройство сообщает об окончании работы.

Для составления блок-схемы программы воспользовались сайтом programforyou.ru [5]. Данный софт позволяет быстро составить блок-схему, после чего ее можно экспортировать в различных разрешениях (json, png, zip). Формат файла json позволяет при необходимости редактировать блок-схему на этом же сайте.

Также для составления правильной блок-схемы требуется знание обозначений ее элементов. На рисунке 29 представлено значение каждого элемента схемы.

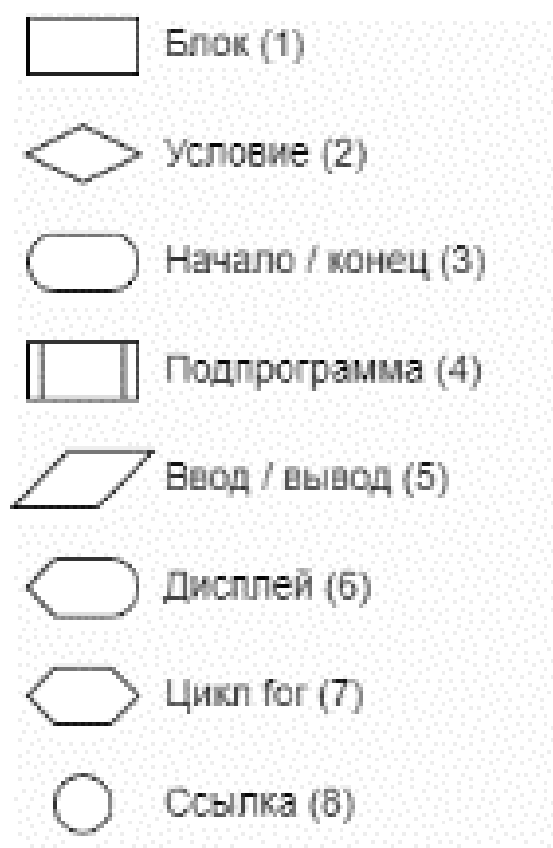


Рисунок 29 – значение элементов блок-схемы

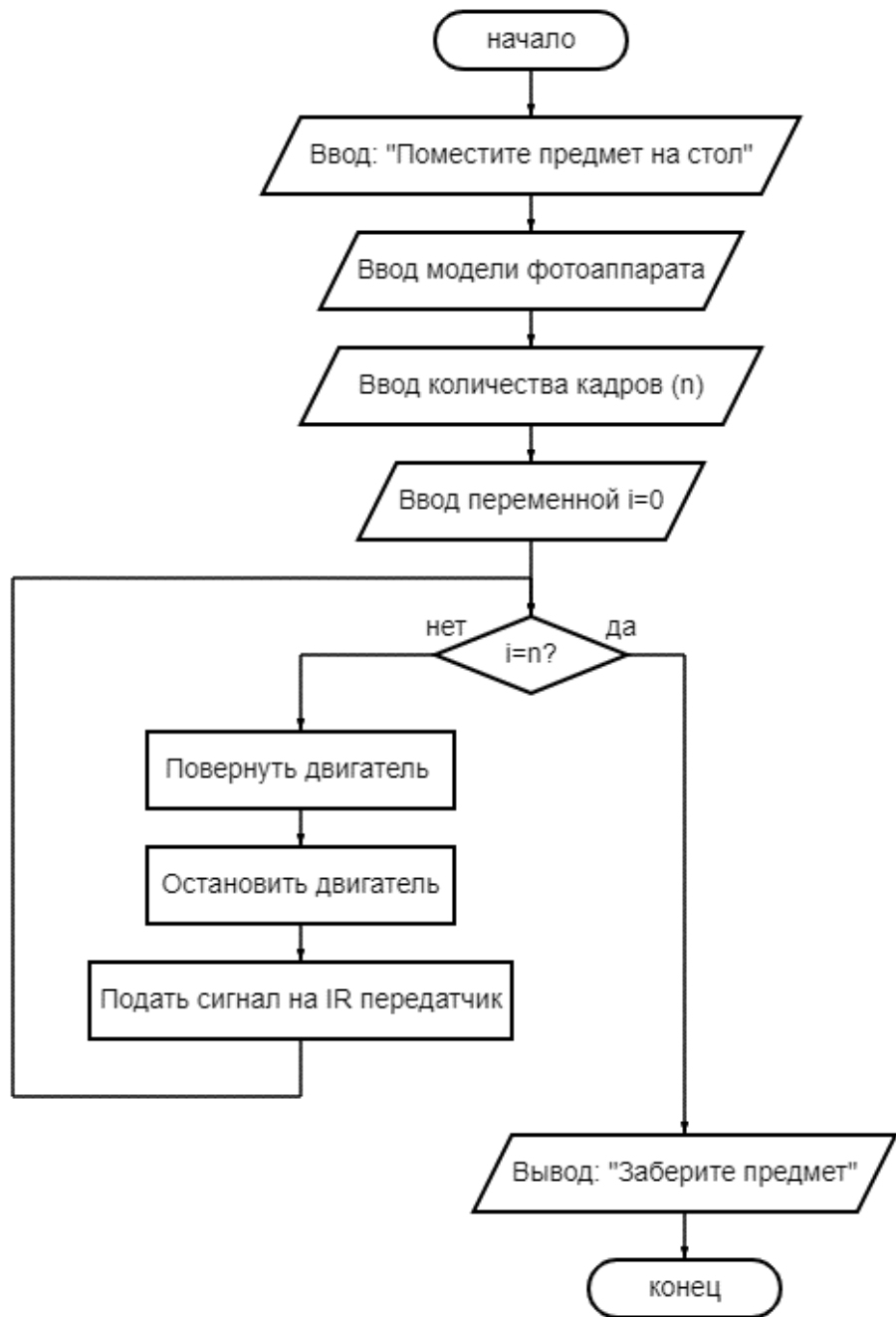


Рисунок 30- блок-схема программы

Результат построения блок-схемы представлен на рисунке 30.

4.3 Написание программы

Составив блок-схему, были сделаны выводы, какие библиотеки и функции предстоит использовать.

Перед началом работы задали наш контроллер в настройках программы (рисунок 31).

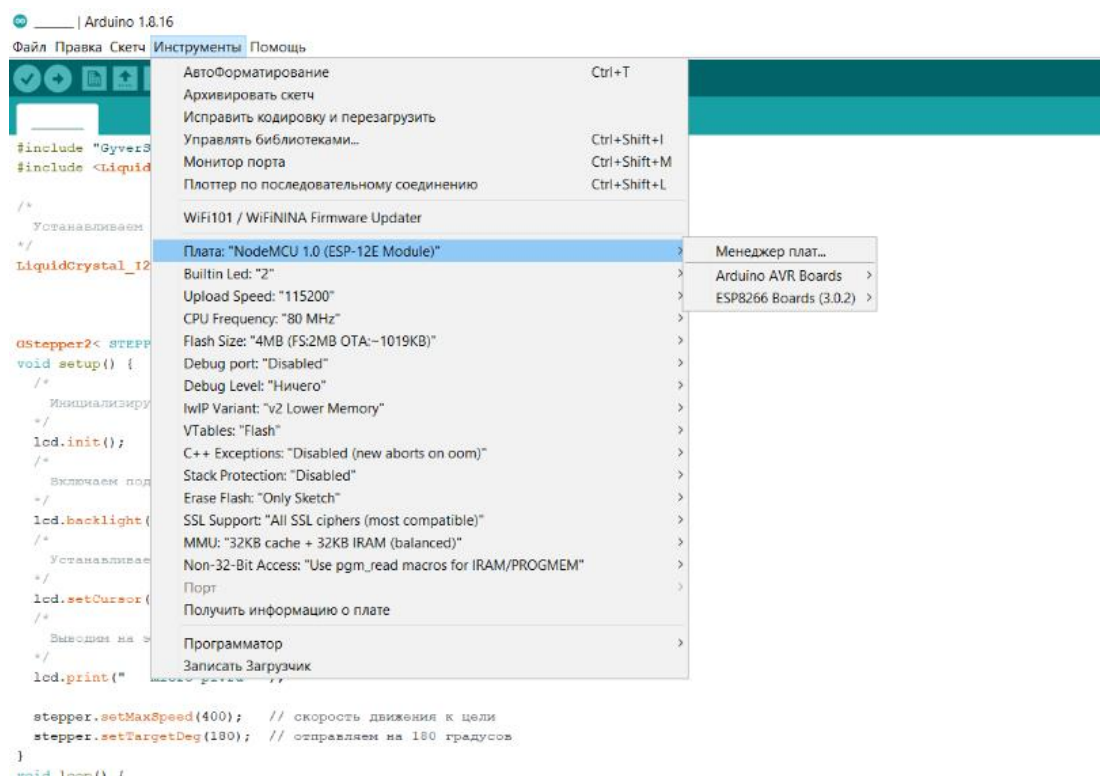


Рисунок 31 – выбор платы

Для функционирования каждого элемента требуется определенная библиотека. Библиотеки находятся в свободном доступе в сети Интернет. Для их применения следует их скачать на компьютер. В программе для разрабатываемого устройства использовали следующие библиотеки:

- Библиотека IRremoteESP8266[1]. Данная библиотека требуется для работы инфракрасного передатчика [15].

- Библиотека Encoder. Эту библиотеку применили для энкодера [19].
- Библиотека AccelStepper [10]. Библиотека для управления шаговым двигателем через драйвер ULN2003 [4].
- Библиотека LiquidCrystal_I2C LCD. Библиотека создана для управления ЖК-дисплеем через модуль I2C [23].

После скачивания и установки библиотек подключили их с помощью функции «`#include`». Таким образом подключили все библиотеки:

- `#include <LiquidCrystal_I2C.h>`
- `#include <Encoder.h>`
- `#include <AccelStepper.h>`
- `#include <IRremoteESP8266.h>`

Далее с помощью команды `void setup()` назначаем режимы пинов и открываем serial соединение (`Serial.begin(9600)`). Так как этот цикл выполняется один раз при запуске программы, то мы также включили подсветку ЖК-дисплея и задали скорость вращения шагового двигателя.

Для начала программы используем команду `void loop(){}`, в фигурных скобках которой находится текст нашей программы. С помощью этой функции программа будет повторять цикл бесконечное количество раз. В этом цикле задали условия для работы шагового двигателя. Функция `step(stepsPerRevolution)` отвечает за направление движения шагового двигателя. Было принято решение вращать двигатель по часовой стрелке.

Программа, распознав нужное количество кадров поворачивает двигатель на определенный угол, после чего делает остановку и увеличивает счетчик на 1 значения. После совпадения числа счетчика и числа заданных кадров, программа с помощью LCD-дисплея сообщает о завершении цикла и останавливается.

Также прописали текст, выводимый на ЖК-дисплей. Указали сигнал, который требуется передавать с помощью инфракрасного-передатчика на фотоаппарат. Значение этого сигнала взяли с форума (рисунок 32).

Photo	740239	B4B8F	// Shutter take photo
VID	76687	12B8F	// Start stop video recording
DISP	166799	28B8F	// Display change cycles round
Menu	117647	1CB8F	// Enter menu leave menu
MenuU	379791	5CB8F	// Menu up
menuD	904079	DCB8F	// Menu down
menuR	1035151	FCB8F	// Menu right
menuL	510863	7CB8F	// Menu left
OK	641937	9CB91	// Menu OK
Z+	338831	52B8F	// Zoom in
Z-	863119	D2B8F	// Zoom out

Рисунок 32 – значение сигнала для срабатывания затвора камеры

В этом разделе выбран язык для программирования. Для выбранного языка скачаны требуемые для работы библиотеки. Далее написана программа для автоматической работы устройства. Для этой цели использовались основные команды языка C++.

5 Сборка готового изделия

В данной части рассмотрим процесс сборки устройства.

5.1 Печать корпуса устройства на 3D принтере

Спроектированный ранее корпус был напечатан на 3D-принтере CREALITY Ender-3 V2 [25.]. Рабочая поверхность этого принтера позволяет распечатать объект размером до 22 см* 22см *25 см. Такие параметры позволили распечатать ранее спроектированные корпус и детали. Принтер принимает модель благодаря флэш-карте, на которую был загружен файл с требуемым объектом печати в формате stl.

После сохранения файла в формате stl в программе Autodesk Fusion 360, открыли этот файл в программе Ultimaker Cura (рисунок 33) [18]. Эта программа требуется для подготовки модели перед печатью. В ней задали толщину стенок и заполнение. Заполнение было решено сделать равным 10%. Это позволит уменьшить расход материала, увеличить прочность за счет перекрестий внутри стенок объекта, а также снизить итоговый вес установки.

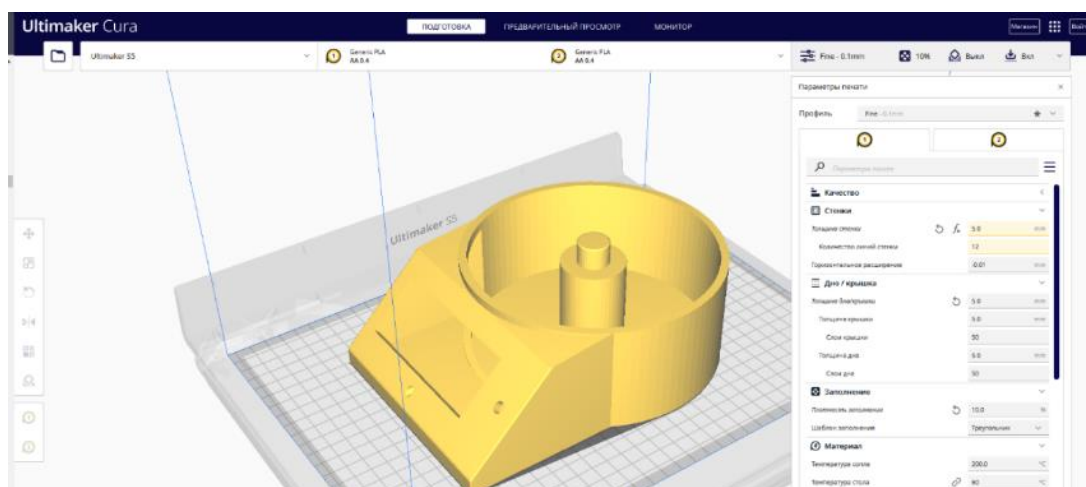


Рисунок 33 – Ultimaker Cura

Для печати был выбран АБС-пластик [12], как наиболее прочный.

Подготовив модель для печать загрузили ее в 3D-принтер и приступили к печати. В итоге на печать было потрачено 34 часа и 560 грамм пластика.

5.2 Подключение всех элементов к питанию и загрузка программы в микроконтроллер

Микроконтроллер был размещен на печатной плате размером 40мм*60мм, для более удобного соединения всех элементов в одну систему. Также на эту плату были припаяны питание и все провода, идущие из остальных модулей.

После этого загрузили программу в микроконтроллер. Для этого подключили плату к компьютеру с помощью USB-провода. Далее в пункте инструменты задаем нужный порт для прошивки (рисунок 34).

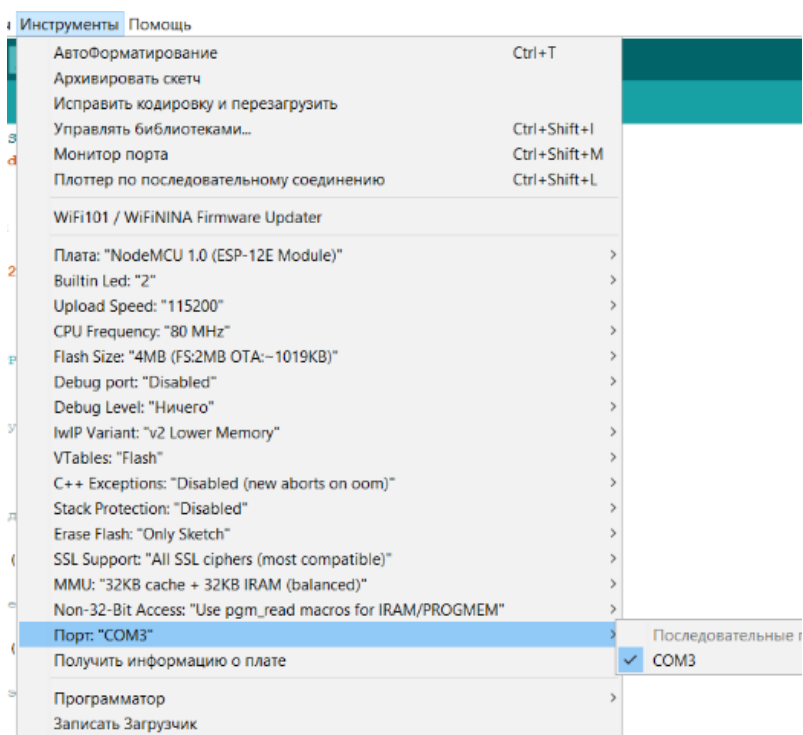


Рисунок 34 – выбор порта прошивки

Чтобы определить порт, к которому подключена наша плата, зашли в диспетчер устройств компьютера, нашли пункт «Порты» (рисунок 35) и в скобках считали нужный порт [7].

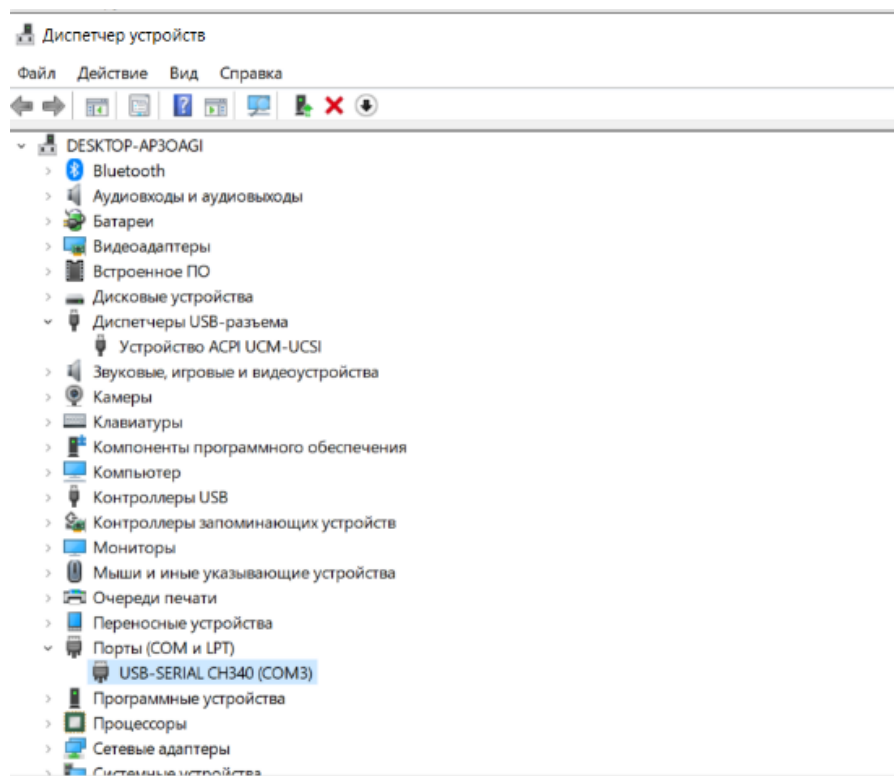


Рисунок 35 – определение порта подключения платы

Задав нужный порт, приступили к прошивке платы. Для этого нажали на стрелочку в верхнем левом углу (рисунок 36). Началась компиляция скетча и его последующая загрузка. Микроконтроллер прошили.



```
Arduino 1.8.16
Файл Правка Сервис Инструменты Помощь

#include "GyverStepper2.h"
#include <LiquidCrystal_I2C.h>

/*
 * Устанавливаем ЖК-дисплей по адресу 0x27, 16 символов и 2 строки
 */
LiquidCrystal_I2C lcd(0x27, 20, 4);

GyverStepper2< STEPPER4WIRE> stepper(2038, D5, D6, D7, D8);

void setup() {
  /*
   * Инициализируем ЖК-дисплей
   */
  lcd.init();
  /*
   * Включаем подсветку дисплея
   */
  lcd.backlight();
  /*
   * Устанавливаем курсор на первую строку и нулевой символ.
   */
  lcd.setCursor(0, 0);
  /*
   * Выходим на экран строку
   */
  lcd.print("  micro-pi.ru  ");

  stepper.setMaxSpeed(400); // скорость движения к цели
  stepper.setTargetDeg(180); // отправляем на 180 градусов
}

void loop() {
  while (stepper.tick()); // ждем, когда мотор доедет
  stepper.setTargetDeg(0); // отправляем обратно
}
```

Загрузка

```
Writing at 0x00004000... (15 %)
Writing at 0x00008000... (23 %)
Writing at 0x0000c000... (30 %)
```

Рисунок 36 - загрузка программы

Соединив все элементы в единую систему и загрузив программу, приступили к сборке устройства. С помощью болтов закрепили все элементы внутри корпуса. После соединили шестерню с электромотором и поместили его на посадочные места. Накрыли все вращающейся панелью.

В этой главе произведена сборка устройства и подключение всех элементов в единую систему.

6 Финансовая модель устройства

В данном разделе рассчитаны затраты и срок окупаемости.

В таблице 1 приведены расходы на производство 1 позиции устройства.

Таблица 6 – расчет себестоимости

Название	Цена
Шаговый двигатель 28byj-48 с драйвером	189 рублей
Кнопка включения с индикацией	39 рублей
Энкодер	123 рубля
ЖК-дисплей 2004 с модулем I2C	590 рублей
Цифровой ИК-передатчик	150 рублей
Блок питания MRM-502	299 рублей
Микроконтроллер NodeMcu	106 рублей
АБС-пластик	620 рублей
Провода	18 рублей
Подшипник	129 рублей
Электроэнергия	34 рубля
Итого:	2297 рублей

Итоговая себестоимость без учета стоимости труда составила 2297 рублей.

При средней стоимости одного кадра 360 градусов в 300 рублей, срок окупаемости составляет 8 кадров.

В этом разделе сделан расчет себестоимости прибора. Также рассчитан срок окупаемости фотостола.

Заключение

В ходе выполнения выпускной квалификационной работы было разработано и собрано устройство для фотосъемки 360 градусов.

В каждой главе описана последовательность выполнения действий по проектированию и производству фотостола 360. В первом разделе произведен поиск аналогов и их сравнение. Также в первой главе поставлены задачи и определены цели работы. Во втором разделе описан процесс выбора комплектующих и их проектирования в одну общую электрическую систему. Так же в этом разделе описан процесс моделирования корпуса устройства в программе по 3D-моделированию 360. Проектирование выполнено исходя из текущих возможностей печати и конструктивных особенностей электрических элементов. В третьем разделе описан процесс выбора микроконтроллера исходя из поставленных задач. Был выбран микроконтроллер с наилучшим соотношением функционала, цены и качества. В четвертом разделе выбран язык программирования и написана программа автоматического управления устройством. Пятая глава описывает процесс сборки устройства и загрузки программы в микроконтроллер. В шестой главе произведено вычисление финансовой модели прибора, а также рассчитан срок окупаемости одной единицы устройства.

С помощью созданного устройства выполняются все поставленные задачи. А именно облегчен и автоматизирован процесс фотосъемки 360. Благодаря этому устройству у фотографов появится возможность повысить производительность своего труда за счет автоматизации процесса съемки.

На данном этапе возможна модернизация. В будущем планируется расширить линейку фотостолов для съемки 360 путем проектирования фотостол с различными диаметры вращающейся части. Также планируется вывести данную разработку на торговые площадки для дальнейшей продажи.

Список используемых источников

1. ИК-передатчик [Электронный ресурс] URL: <https://wiki.iarduino.ru/page/ik-peredatchik/> (дата обращения: 14.03.2022).
2. Модуль инфракрасного передатчика [Электронный ресурс] URL: http://know.smartelements.ru/main:comm:ir_send (дата обращения: 04.05.2022).
3. Обзор платы NodeMCU ESP8266 и ее использование в Arduino IDE [Электронный ресурс] URL: <https://radioprogram.ru/post/863> (дата обращения: 13.04.2022).
4. Онлайн редактор блок-схем [Электронный ресурс] URL: <https://programforyou.ru/block-diagram-redactor> (дата обращения: 12.05.2022).
5. Подключение шагового двигателя к Ардуино [Электронный ресурс] URL: <https://роботехника18.рф/шаговый-двигатель-ардуино/#4> (дата обращения: 11.04.2022).
6. Подключение энкодера к Arduino [Электронный ресурс] URL: <https://alexgyver.ru/encoder/> (дата обращения: 15.05.2022).
7. Прошивка микроконтроллера через Arduino [Электронный ресурс] URL: <http://wiki.amperka.ru/программирование:работа-с-attiny-через-arduino> (дата обращения: 05.05.2022).
8. Подшипник 6204Z и 6204 ZZ (2Z) [Электронный ресурс] URL: <https://dvaподшипника.ru/sharikovye/iso-6204z-zz> (дата обращения: 29.05.2022).
9. Типы разъемов кабелей питания (IEC 60320) [Электронный ресурс] URL: https://www.42unita.ru/articles/IEC_60320_power_connectors/#C1/C2 (дата обращения: 02.06.2022).
10. Управление шаговым двигателем с помощью Arduino и потенциометра [Электронный ресурс] URL: <https://microkontroller.ru/arduino-projects/upravlenie-shagovym-dvigatелеm-s-pomoshhyu-arduino-i-potenciometra/> (дата обращения: 17.03.2022).

11. Шаговый двигатель для ЧПУ станка [Электронный ресурс] URL: <http://cnc-maniac.ru/vybor-shagovogo-dvigatelja-dlja-chpu-stanka/> (дата обращения: 15.05.2022).
12. ABS-пластик для 3D-печати [Электронный ресурс] URL: https://3dtoday.ru/wiki/abs_plastic (дата обращения: 07.03.2022).
13. Arduino-IRremote [Электронный ресурс] URL: <https://github.com/Arduino-IRremote/Arduino-IRremote> (дата обращения: 09.05.2022).
14. Arduino Serial Monitor Pro (Ардуино Монитор Порты Про) [Электронный ресурс] URL: <http://arduino.on.kg/serialMonitor> (дата обращения: 15.05.2022).
15. Arduino Tutorial: IR Transmitter and IR Receiver [Электронный ресурс] URL: <https://mschoeffler.com/2021/05/01/arduino-tutorial-ir-transmitter-and-ir-receiver-hx-m121-hx-53-ky-005-ky-022-keyes-iduino-open-smart/> (дата обращения: 25.03.2022).
16. Autodesk Fusion 360: Урок 1. Базовый принцип построения модели [Электронный ресурс] URL: <https://www.youtube.com/watch?v=0QT3IAVSfdw> (дата обращения: 08.04.2022).
17. CHQ1838 [Электронный ресурс] URL: <https://datasheet-pdf.com/PDF/CHQ1838-Datasheet-CHQ-788244> (дата обращения: 09.05.2022).
18. Cura -2.x. Базовые настройки [Электронный ресурс] URL: <https://3dtoday.ru/blogs/3dtool/cura-2x-basic-settings/> (дата обращения: 31.05.2022).
19. DIY энкодер [Электронный ресурс] URL: <https://3d-diy.ru/wiki/arduino-moduli/diy-enkoder/> (дата обращения: 13.06.2022).
20. ESP8266 Two Wheel Robot (NodeMCU and Stepper Motor) [Электронный ресурс] URL: https://translated.turbopages.org/proxy_u/en-ru.ru.2b2c223a-62af8411-51eae448-

74722d776562/https://www.instructables.com/ESP8266-Two-Wheel-Robot-NodeMCU-and-Stepper-Motor/ (дата обращения: 27.05.2022).

21. Fusion 360 for personal use [Электронный ресурс] URL: https://www.autodesk.in/products/fusion-360/personal (дата обращения: 05.06.2022).

22. INFRARED EMITTING DIODES [Электронный ресурс] URL: https://static.chipdip.ru/lib/283/DOC000283232.pdf (дата обращения: 16.02.2022).

23. Interface I2C LCD Using NodeMCU [Электронный ресурс] URL: https://translated.turbopages.org/proxy_u/en-ru.ru.4f0b1d49-62af868d-2378ac30-74722d776562/https://www.instructables.com/Interface-LCD-Using-NodeMCU/ (дата обращения: 15.05.2022).

24. NodemcuV3Pinout [Электронный ресурс] URL: https://myrobot.ru/wiki/index.php?n=Experiences.NodemcuV3Pinout (дата обращения: 15.05.2022).

25. 3D-принтер CREALITY Ender-3 V2, 4,3 дюйма, цветной ЖК-дисплей, стеклянная платформа [Электронный ресурс] URL: https://aliexpress.ru/item/1005002622567096.html?_ga=2.82485270.1401331577.1655688674-1756911117.1636649523&sku_id=12000025790502299 (дата обращения: 12.03.2022).
