

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)/специальности)

## ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА (БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА)

на тему Система распознавания лиц и управления камерой

Обучающийся

С. И. Дружков

(Инициалы Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель

канд. техн. наук, доцент А. В. Прядилов

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

Консультант

О.А. Головач

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

Тольятти 2024

## Аннотация

Тема выпускной квалификационной работы - "Система распознавания лиц и управления камерой".

Выпускная работа состоит из введения, девяти частей, 24 рисунков, заключения, списка литературы, включая 10 зарубежных источников, и графической части на 6 листах формата А1.

Объектом исследования является устройство, использующее технологию распознавания лиц и управления камерой с помощью технологии Arduino, сервоприводов, а также возможность распознавания и идентификации лиц с помощью библиотеки OpenCV.

Целью работы является разработка надежной системы, способной распознавать лица реальных людей, а также отслеживать перемещение человеческого лица. Основные задачи работы разделены на два модуля - аппаратный и программный.

Аппаратный модуль включает в себя подбор и подключение компонентов для создания системы управления камерой.

Программный модуль включает в себя разработку и отладку программной части для приема, обработки и распознавания лиц, а также управления сервоприводами, отслеживающими движение объекта. Область применения данной разработки - обеспечение безопасности режимных объектов.

В заключение следует отметить, что применение системы в будущем позволило бы контролировать лиц, проходящих на территорию университета, а также пропускать их без предъявления пропуска или другого документа, удостоверяющего личность

## **Abstract**

The title of the graduation work is «Face recognition and camera control system».

The senior paper consists of an introduction, nine parts, a conclusion, list of references including foreign sources and the graphic part on 6 A1 sheets.

The object of the research is device using face recognition technology and camera control using Arduino technology, servo drives, as well as the ability to recognize and identify faces using OpenCV library.

The aim of the work is to develop a robust system capable of recognizing the faces of real people, as well as tracking the movement of the human face. The main tasks of the work are divided into two modules - hardware and software.

The hardware module includes selection and connection of components to create a camera control system.

The software module includes the development and debugging of the software part for receiving, processing and recognizing faces, as well as controlling servos that follow the movement of the object. The field of application of this development is to ensure the security of secure facilities.

In conclusion, the application of the system will make it possible to control persons coming to the university territory, as well as their admission without presenting a pass or other identification document.

## Содержание

Введение .....	6
1 Актуальность и обзор аналогов .....	8
1.1 Актуальность систем распознавания лиц и управления камерой .....	8
1.2 Обзор аналогов.....	9
2 Технология распознавания лиц .....	11
2.1 Как происходит распознавание лиц .....	11
2.2 Каскады Хаара в методе Виолы – Джонса .....	11
2.3 Обучение классификатора в методе Виолы – Джонса.....	14
3 Разработка структурной схемы .....	15
4 Подбор комплектующих.....	16
4.1 Выбор микроконтроллера.....	16
4.2 Выбор устройства управления камерой.....	17
4.2.1 Сервопривод: принцип его работы, преимущества и недостатки ....	18
4.2.2 Шаговый двигатель: принцип его работы, преимущества и недостатки .....	19
4.2.3 Обзор моделей сервоприводов.....	21
5 Разработка электрической схемы .....	24
5.1 Подключение сервоприводов .....	25
5.2 Схема электрическая принципиальная .....	25
6 Выбор инструментов и разработка программы распознавания лиц.....	27
6.1 Язык программирования Python.....	27
6.2 Библиотека OpenCV.....	28
6.3 Библиотеки PySerial и Time.....	31

6.4 Создание программы распознавания лиц .....	32
7 Создание программы управления сервоприводами .....	36
7.1 Среда разработки Arduino IDE .....	36
7.2 Создание программы для управления сервоприводами .....	37
8 Экспериментальная часть .....	41
9 Конструкторская часть.....	44
Заключение .....	46
Список используемых источников.....	48

## Введение

В современном мире важную роль в развитии робототехники является применение машинного зрения. Оно может быть использовано, как и для ориентации промышленных роботов на производстве, так и для идентификации людей. Система распознавания лиц становится все более востребованной. Она может использоваться в самых различных областях, таких как:

**Безопасность:** системы распознавания лиц могут использоваться для контроля доступа, определения личности и предотвращения преступлений. Системы распознавания лиц могут быть интегрированы с системами видеонаблюдения, что позволяет автоматически идентифицировать людей, попадающих в поле зрения камер. Это может помочь в предотвращении краж, вандализма и других преступлений.

**Наблюдение:** системы распознавания лиц могут использоваться для мониторинга толпы, отслеживания перемещений людей и выявления подозрительной активности. Системы распознавания лиц могут быть использованы для мониторинга толпы на массовых мероприятиях, таких как концерты, спортивные состязания и политические митинги. Это может помочь в обеспечении безопасности людей и предотвращении беспорядков.

**Маркетинг:** системы распознавания лиц могут использоваться для таргетированной рекламы, персонализации предложений и оценки эффективности рекламных кампаний. системы распознавания лиц могут быть использованы для определения пола, возраста и других характеристик людей, что позволяет компаниям таргетировать свою рекламу

**Здравоохранение:** системы распознавания лиц могут использоваться для диагностики заболеваний, мониторинга состояния пациентов и обеспечения безопасности в медицинских учреждениях, для ускорения

процесса регистрации пациентов и сбора статистики. Системы распознавания лиц могут быть использованы для диагностики заболеваний.

Немаловажным пунктом при разработке системы распознавания лиц является управление камерой, которая будет передавать полученное изображение на ЭВМ в режиме реального времени. Именно возможность камеры следить за определенным объектом может во многом помочь в решении заданных проблем.

В рамках выпускной квалификационной работы предполагается разработка, отладка и тестирования программного и аппаратного обеспечения для распознавания человеческого лица и управления камерой.

## **1 Актуальность и обзор аналогов**

### **1.1 Актуальность систем распознавания лиц и управления камерой**

Технология распознавания лиц берёт своё начало с 60 – х годов 20 века в рамках исследований компании Panoramic Research Incorporated под руководством Вуди Бледсо. Основной целью данных исследований являлось создание системы, способной распознавать лица по признакам внешности. Длительные исследования дали возможность сформулировать общие принципы алгоритма распознавания лиц по ключевым признакам лица человека: глаза, нос, губы и др. В дальнейшем развитии данная технология научилась самостоятельно выделять черты лиц (ранее данные приходилось вручную вносить в память ЭВМ). В конце 1990 – х была создана программа FERET, включающая в себя базу данных фотографий лиц. Данная программа применялась для обнаружения преступников и правонарушителей на улицах городов.

С ростом вычислительных мощностей устройств, находившихся в пользовании обычных людей, системы распознавания лиц получили всеобщее распространение. Ещё одной причиной повсеместного распространения данной технологии является развитие социальных сетей. Также нужно учитывать оптические возможности современных камер, которые могут быть установлены в устройствах наружного наблюдения и в смартфонах.

Управление камерой в системах распознавания лиц нужно для того, чтобы повысить точность распознавания посредством управления полем зрения и ракурсом. Также управление камерой позволит всей системе фиксировать в потоке людей лицо конкретного человека и сопровождать его перемещение.



## 1.2 Обзор аналогов

Одним из самых известных примеров использования технологий распознавания лиц является Apple Face ID, которая была представлена в 2017 году. Она была разработана как замена устаревшей технологии распознавания биометрических данных – сканеру отпечатка пальца Touch ID. Face ID позволяет пользователям разблокировать смартфон, совершать покупки и получать доступ к мобильным приложениям, что обеспечивает конфиденциальность и безопасность персональных данных. Данная технология исключает возможность случайной разблокировки смартфона, т.к. она требует концентрации взгляда в объективе камеры, что является подтверждением действий пользователя.

Не менее популярным примером системы распознавания лиц и управления камерой является CCTV (City Closed – Circuit Television). Эта система видеонаблюдения расположена во многих городах по всему миру. Для этой технологии используются камеры видеонаблюдения, размещаемые на зданиях, в общественных местах, метро, парках. Пример используемых камер приведен на рисунке 1.



Рисунок 1.– Камера CCTV

В состав всей системы входят: камера, кабель для передачи информации, записывающее устройство с регистратором, блок питания, монитор и другие устройства. Данная технология обеспечивает безопасность

в городе посредством постоянной видеофиксации всего, что происходит на улицах и в общественных местах. Также она способна выделять в потоке людей определенное лицо человека, подозреваемого в совершении противоправных действий и сопровождать его перемещение, передавая данные в правоохранительные органы, что в свою очередь помогает повысить уровень соблюдения правопорядка. Пример опознавания лица в потоке людей приведен на рисунке 2.



Рисунок 2 – Опознавание лица

### Выводы

Таким образом в данном разделе определена актуальность разработки систем распознавания лиц и управления камерой. На сегодняшний день подобные системы используются во многих сферах человеческой и общественной жизни. Внедрение систем распознавания лиц и управления камерой позволяет повысить уровень правопорядка и безопасности данных.

## **2 Технология распознавания лиц**

### **2.1 Как происходит распознавание лиц**

«Технология распознавания лиц работает путем сопоставления лиц, попадающих в объектив специальных камер с изображениями лиц из базы данных. Такие базы данных содержат биометрическую информацию о человеке, что помогает идентифицировать личность объекта.»[9]

«Наиболее популярным методом распознавания объектов является метод Виолы и Джонса. Данный метод был разработан в 2001 год Полом Виолой и Майклом Джонсоном. Он до сих пор является эффективным методом для поиска объекта на изображении и видео в режиме реального времени.[2] В оригинальной версии этого алгоритма использовались примитивы без поворотов, а для вычисления значения признака сумма яркостей пикселей одной подобласти вычиталась из суммы яркостей другой подобласти. В развитии метода были созданы примитивы, способные обнаруживать черты лица даже при угле наклона около  $45^\circ$  и примитивы несимметричных конфигураций.

При угле наклона больше  $45^\circ$  вероятность обнаружения лица резко падает. Данная особенность затрудняет или не позволяет в стандартной реализации детектировать лицо человека, повернутое под произвольным углом.» [9]

### **2.2 Каскады Хаара в методе Виолы – Джонса**

«Каскады Хаара – это метод обнаружения объектов, основанный на машинном обучении, при котором для обучения каскадной функции используется множество образов» [19]

«Эта функция используется для обнаружения объектов на других изображениях. Изначально, алгоритм требует множество положительных изображений (изображений лиц) и отрицательных изображений (изображений, на которых лица отсутствуют) для обучения классификатора».[3] Затем нужно из классификатора извлечь особенности.

Ключевой особенностью признаков Хаара является наибольшая скорость обработки изображений, по сравнению с остальными признаками.[7] Признаки Хаара приведены на рисунке 3.

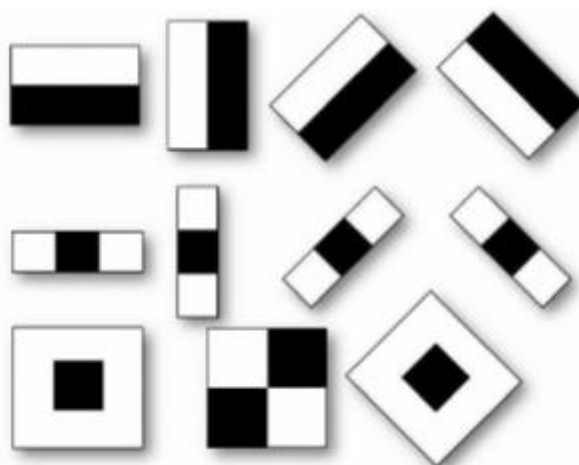


Рисунок 3 – признаки Хаара

В библиотеке OpenCV, которая на сегодняшний день является одним из самых популярных инструментов в вопросах машинного зрения, применяется расширенная версия метода Виолы – Джонса, в котором используются дополнительные признаки Хаара, приведенные на рисунке 3:

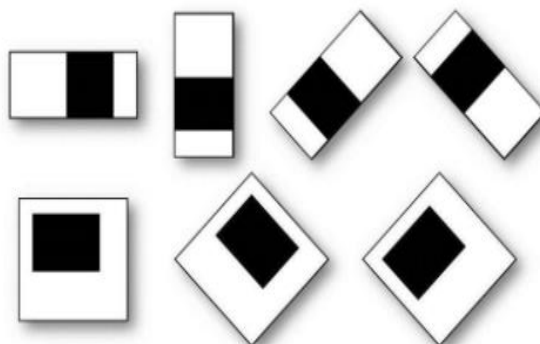


Рисунок 3 – дополнительные признаки Хаара

Значение этого признака можно вычислить по формуле 1

$$F = X - Y \quad (1)$$

где:

$X$  – сумма значений яркостей точек закрываемых светлой частью признака

$Y$  – сумма значений яркостей точек закрываемых темной частью признака

«Для вычисления этих значений используется понятие интегрального представления изображений, рассмотренное выше. Признаки Хаара дают точечное значение перепада яркости по оси  $X$  и  $Y$  соответственно

Алгоритм сканирования окна с признаками выглядит так:

- есть исследуемое изображение, выбрано окно сканирования, выбраны используемые признаки;
- далее окно сканирования начинает последовательно двигаться по изображению с шагом в 1 ячейку окна (допустим, размер самого окна есть  $24*24$  ячейки);
- при сканировании изображения в каждом окне вычисляется приблизительно 200 000 вариантов расположения признаков, за счет изменения масштаба признаков и их положения в окне сканирования;
- сканирование производится последовательно для различных масштабов;
- масштабируется не само изображение, а сканирующее окно (изменяется размер ячейки);
- все найденные признаки попадают к классификатору, который «выносит вердикт.

В процессе поиска вычислять все признаки на маломощных настольных ПК просто нереально. Следовательно, классификатор должен реагировать только на определенное, нужное подмножество всех признаков. Совершенно логично, что надо обучить классификатор нахождению лиц по данному определенному подмножеству» [2].

### 2.3 Обучение классификатора в методе Виолы – Джонса

В контексте алгоритма, имеется множество объектов (изображений), разделённых некоторым образом на классы. Задано конечное множество изображений, для которых известно, к какому классу они относятся (к примеру, это может быть класс «фронтальное положение носа»). Это множество называется обучающей выборкой. Классовая принадлежность остальных объектов не известна. Требуется построить алгоритм, способный классифицировать произвольный объект из исходного множества [1].

Распознавание образов по сути своей и есть классификация изображений и сигналов. В случае алгоритма Виолы-Джонса для идентификации и распознавания лица классификация является двухклассовой. Постановка классификации выглядит следующим образом: Есть  $X$  – множество, в котором хранится описание объектов,  $Y$  – конечное множество номеров, принадлежащих классам. Между ними есть зависимость – отображение  $Y^*$ :  $X \Rightarrow Y$ . Обучающая выборка представлена  $X_m = \{(x_1, y_1), \dots, (x_m, y_m)\}$ . Конструируется функция  $f$  от вектора признаков  $X$ , которая выдает ответ для любого возможного наблюдения  $X$  и способна классифицировать объект  $x \in X$ . Данное простое правило должно хорошо работать и на новых данных.

#### Выводы

В данном разделе рассмотрена технология распознавания лиц по методу Виолы – Джонса, работы каскадов Хаара, а также обучение классификатора в данном методе.

### 3 Разработка структурной схемы

При разработке схемотехники устройства, необходимо составить структурную схему создаваемого устройства. На рисунке 4 приведем структурную схему.

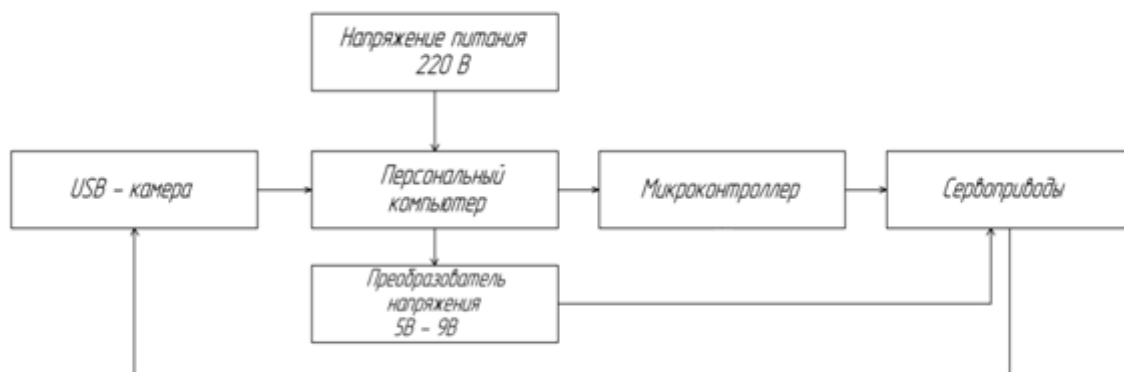


Рисунок 4 – Структурная схема

Из схемы видно, что в разрабатываемое устройство включены:

- USB – камера;
- Микроконтроллер ATmega328;
- Сервоприводы MG996R;
- Персональный компьютер или ноутбук;
- Источник питания, подключаемый к ПК
- Преобразователь напряжения 5 В – 9 В

USB – камера видит лицо, программа запущенная на персональном компьютере, выделяет его и передаёт сигнал на микроконтроллер. Микроконтроллер, получив сигнал от персонального компьютера по интерфейсу UART, передаёт его на сервоприводы, которые в свою очередь перемещают камеру, направляя её на обнаруженное лицо. Преобразователь напряжения необходим для подачи дополнительного напряжения из COM – порта на плату микроконтроллера.

Выводы

Таким образом, в данном разделе разработана структурная схема системы распознавания лиц и управления камерой, а также приведены необходимые компоненты.

#### **4 Подбор комплектующих**

В качестве основы для аппаратного решения будет использоваться микроконтроллер. Преимуществом микроконтроллеров, в сравнении с одноплатными компьютерами, заключается в том, что программа, которая загружена в микроконтроллер и управляет им, достаточно хорошо защищена от хакерской атаки и взлома, что позволяет обеспечить безопасность данных и сохранение авторского права разработчика.

В связи с тем, что память микроконтроллера меньше памяти одноплатного компьютера, то распознавание лиц будет производиться с помощью программы, которая запущена на персональном компьютере или ноутбуке.

##### **4.1 Выбор микроконтроллера**

При реализации проекта выбор пал на микроконтроллеры серии ATmega. Одним из самых популярных микроконтроллеров являются микроконтроллеры ATmega328P. Это базовая версия контроллеров, которая входит в линейку устройств AVR. Внешний вид данного микроконтроллера приведен на рисунке 5.



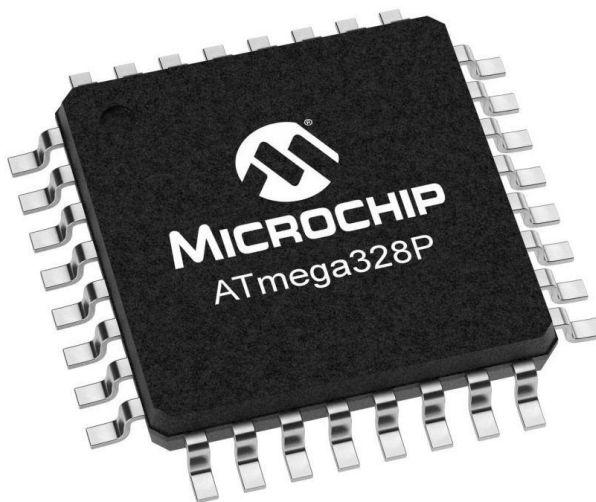


Рисунок 5 – Микроконтроллер ATmega328P

В данном микроконтроллере используется усовершенствованная RISC – архитектура, что определяет высокую производительность и низкое энергопотребление данного восьмиразрядного микроконтроллера. Эта микросхема способна выполнять до 20 млн команд в секунду. Благодаря энергонезависимой памяти, обеспечивается хранение данных и программ до 100 лет. Данный микроконтроллер используется на платах Arduino UNO или их аналогах. Микроконтроллер с более широким функционалом в реализации проекта использовать нецелесообразно, т.к. функционал ATmega328P вполне позволяет реализовать задуманный проект. Кроме того, низкая стоимость данного микроконтроллера позволит в будущем массового производить и использовать систему распознавания лиц и управления камерой

#### **4.2 Выбор устройства управления камерой**

При постановке задачи по разработке системы распознавания лиц и управления камерой была получена проблема в виде выбора устройства, которое бы приводило камеру в движение. Стоял выбор между сервоприводами и шаговыми двигателями. Ниже произведем сравнение данных устройств, выделим их основные плюсы и минусы, важные для нашей задачи характеристики и примем окончательное решение по выбору устройства

#### 4.2.1 Сервопривод: принцип его работы, преимущества и недостатки

Сервопривод – «механизм, позволяющий устанавливать и фиксировать рабочий орган оборудования в заданных положениях, перемещать его в соответствии с заданной программой. Перемещение не единственная задача устройств, они могут поддерживать необходимый момент на валу при нулевой скорости вращения вала. Это используется для удержания исполнительного механизма в одном положении под нагрузкой.» [5]

Сервоприводы используются во многих современных промышленных устройствах (ЧПУ – станки, погрузочные машины, роботы, системах отопления и кондиционирования) и устройствах бытового использования.

Любой сервопривод содержит следующие составные части (рисунок 6):

- передаточный механизм;
- электродвигатель;
- датчики положения и скорости вращения вала;
- частотный преобразователь;
- контроллер.

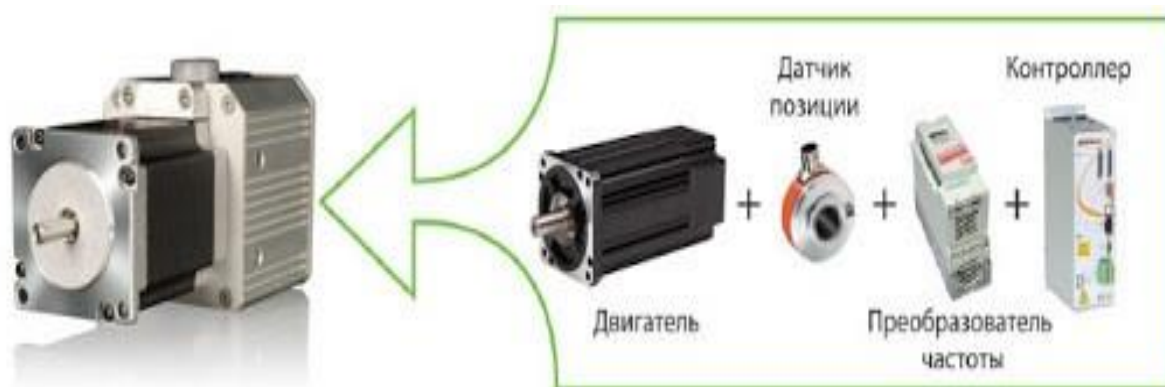


Рисунок 6 – Составные части сервопривода

Принцип работы следующий: В контроллер загружается программа, имеющая определенный алгоритм работы. Он подает сигнал на преобразование частоты. На электродвигатель подается напряжение с нужной частотой и величиной. Исполнительный механизм перемещается с заданной скоростью и крутящим моментом. При достижении заданного

положения рабочего органа, подается соответствующий сигнал с датчиков положения на контроллер, который останавливает двигатель.

Выделим основные преимущества и недостатки сервоприводов

Преимущества:

- плавность и точность перемещений, разрешающая способность может выбираться пользователем в зависимости от решаемой задачи;
- бесшумность работы;
- надежность устройства
- легкость монтажа
- отсутствие особых требований к электродвигателю и редуктору
- поддержание скорости перемещения и подачи с высокой точностью
- не требует ручной калибровки

Недостатки:

- необходимость в дополнительном элементе – датчике;
- более сложный блок управления и логика его работы;
- проблема фиксирования: обычно решается притормаживанием элемента либо вала электродвигателя, либо червячных/винтовых передач.

#### **4.2.2 Шаговый двигатель: принцип его работы, преимущества и недостатки**

Шаговый электродвигатель – «это синхронный бесщёточный электродвигатель с несколькими обмотками. Ток, подаваемый в одну из обмоток статора, вызывает фиксацию ротора. Последовательная активация обмоток двигателя вызывает дискретные угловые перемещения ротора, они же шаги. Именно поэтому двигатель называется шаговым. Для управления шаговым двигателем используется специальный контроллер, который называют драйвером шагового двигателя.»[10]

Шаговые двигатели имеют ряд преимуществ, таких как высокая точность позиционирования, высокий крутящий момент на малых скоростях, отсутствие необходимости в датчиках обратной связи для контроля

положения оси, а также простота управления. Всё это дало им возможность проникнуть практически во все отрасли промышленности, где они стали незаменимым инструментом.

В отличие от сервопривода шаговые двигатели «поворачиваются только на фиксированный угол - шаг. Это обеспечивает высокую точность совершаемых движений. У сервоприводов угол свободного поворота обычно ограничен диапазоном в  $180^\circ$  или  $360^\circ$ . У шаговых двигателей (ШД) такое ограничение отсутствует. Их конструкция позволяет им вращаться в любом направлении неограниченно долго. Однако управлять этими устройствами несколько сложнее, чем это реализовано у сервоприводов. Для них нужно использовать специальное устройство - драйвер или управляющую плату».[8]

Рассмотрим основные преимущества и недостатки

Главное преимущество шаговых приводов — точность. При подаче потенциалов на обмотки шаговый двигатель повернётся строго на определённый угол. Стоимость шаговых приводов в среднем в 1,5—2 раза выше сервоприводов. Возможность «проскальзывания» ротора — наиболее известная проблема этих двигателей. Это может произойти при превышении нагрузки на валу, при неверной настройке управляющей программы (например, ускорение старта или торможения не адекватно перемещаемой массе), при приближении скорости вращения к резонансной. Наличие датчика позволяет обнаружить проблему, но автоматически скомпенсировать её без остановки производственной программы возможно только в очень редких случаях

Проанализировав оба устройства, сравнив их плюсы и минусы, было принято решение использовать сервоприводы, т.к. они менее требовательны, имеют меньше проблем, которые могут возникнуть в ходе эксплуатации системы, имеют меньшие размеры, что может обеспечить компактность разрабатываемого устройства, а также они имеют меньшую стоимость, в сравнении с сервоприводами.

### 4.2.3 Обзор моделей сервоприводов

Для создания проектов с использованием микроконтроллера ATmega328 используются сервоприводы, которые имеют довольно небольшие линейные размеры и массу. В этом пункте мы сравним самые популярные модели сервоприводов и выберем подходящие модели для реализации проекта. Модель SG90 часто используется в простых проектах. Он подходит для управления небольшими и легкими механизмами. Изображение сервопривода SG90 приведем на рисунке 7

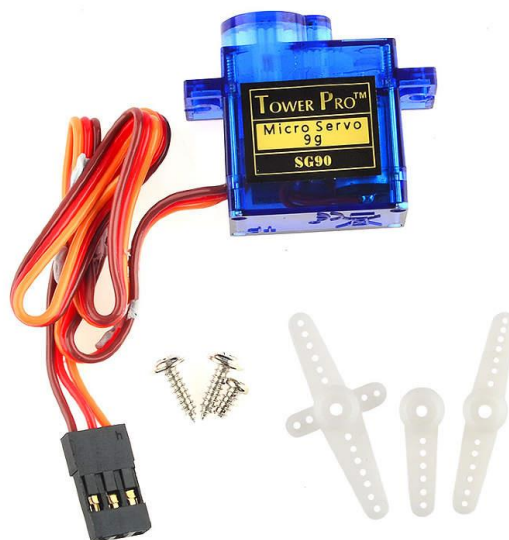


Рисунок 7 – Сервопривод SG90

Одним из главных недостатков этой модели сервоприводов являются шестерни редуктора, выполненные из нейлона. Такие шестерни имеют малый запас прочности и при больших нагрузках могут стираться, что вызовет необходимость замены и пересборки системы. Также этот сервопривод имеет корпус, выполненный из пластика, что делает его подверженным физическому воздействию. Также конструкторы, использующие эти сервоприводы в своих проектах отмечают частый перегрев микросхемы внутри устройства, что приводит к сбоям в работе.

Другим сервоприводом, который используется в проектах является MG996R. Внешний вид этой модели приведем на рисунке 8.



Рисунок 8 – Сервопривод MG996R

Чаще всего эта модель сервоприводов используется в моделировании радиоуправляемых моделей – машин, авиамоделей, судомоделей. Это обусловлено большим крутящим моментом, что даёт возможность перемещения тяжелых систем и конструкций. Передаточный механизм выполнен из латуни. Этот металл достаточно прочен и устойчив к коррозии, но при этом требует тщательного ухода. Корпус сервопривода выполнен из металла, что делает его устойчивым к повреждениям. К недостаткам данной модели можно отнести её большие размеры в сравнении с сервоприводом SG90 и большую массу.

Другим сервоприводом, использующимся в проектах, в которых требуется передвижение составных частей, является модель от компании Hitec RCD – HS – 442. Изображение этой модели приведено на рисунке 9



Рисунок 9 – Сервопривод HS – 442

Этот сервопривод имеет средний крутящий момент (около 3 кг\*см) и невысокую скорость вращения. Как и предыдущие сервоприводы, HS – 442 имеет угол поворота 180°. Редуктор сервопривода сделан из композитных материалов. Такие материалы являются износостойкими, но при этом хрупкими, что делает его не самым надежным техническим решением.

HS – 442 имеет низкую точность управления. Это главный минус, который отталкивает нас от выбора этого сервопривода для реализации нашего проекта. Кроме того, это одна из самых дорогих моделей сервоприводов, которые используются в проектах.

Проанализировав характеристики самых популярных моделей сервоприводов, был сделан выбор в сторону сервопривода MG996R за счёт его надежности, хорошего соотношения цены и качества и высокой точности позиционирования. В комплектации идет несколько качалок, которые пригодятся в сборке нашего проекта.

#### Выводы

В данном разделе рассмотрены комплектующие, которые будут нужны для реализации нашего проекта, произведен обзор аналогов и был сделан выбор.

## 5 Разработка электрической схемы

Разберемся в назначении пинов микроконтроллера, который используется в системе распознавания лиц и управления камерой. АТМega328Р имеет распиновку, приведенную на рисунке 10.

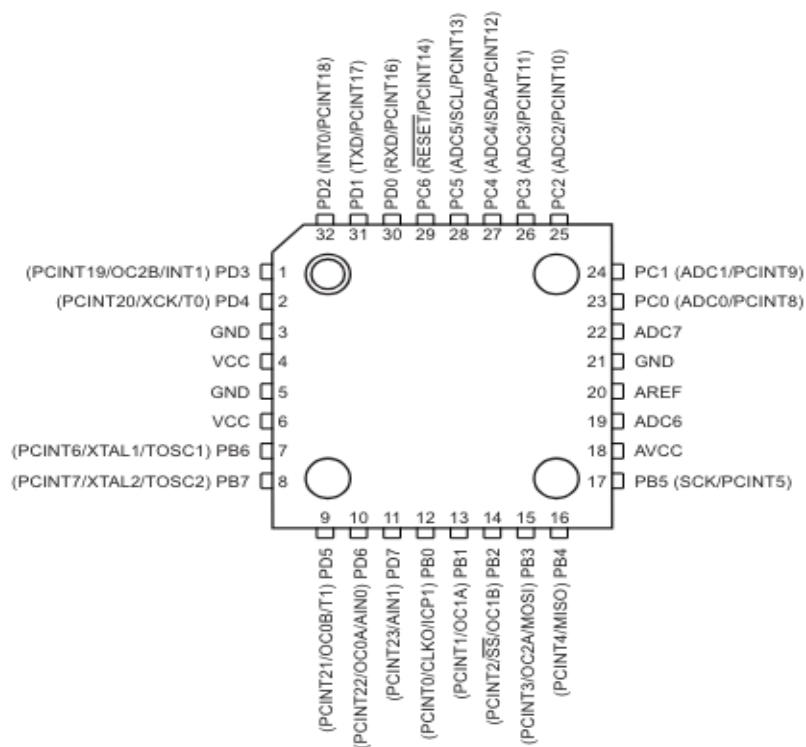


Рисунок 10 – Распиновка АТМega328Р

Микроконтроллер АТМega328Р в совокупности имеет 32 вывода, которые можно разделить на следующие категории

- Питающие пины;
- Аналоговые пины;
- Цифровые пины;
- Заземляющие пины.

Цифровые пины № 3, 5, 6, 9, 10 и 11 могут генерировать широтно – импульсную модуляцию, которая часто используется для управления перемещением сервоприводов.[14] Питание для микроконтроллера можно обеспечить через СОМ – порт, через который на микроконтроллер



передаются данные, а также с помощью адаптера с выходным напряжением от 7 В до 12 В, который подключается к плате через разъём DC – питания.

### 5.1 Подключение сервоприводов

Сервоприводы модели MG996R имеют три разъёма: разъём питания, разъём заземления и разъём для управления перемещением поворотным механизмом. Каждый из разъёмов имеет провод своего цвета для облегчения подключения.[18] Схематичное изображение сервопривода и его разъёмов приведено на рисунке 11

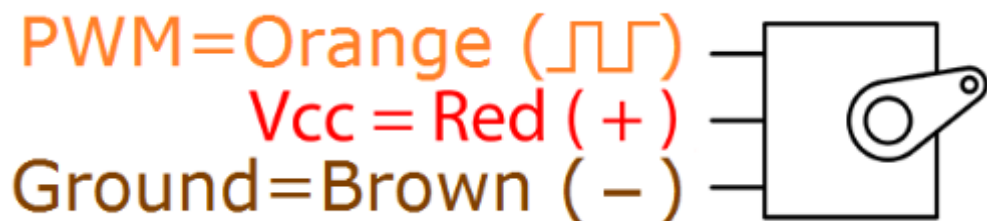


Рисунок 11 – Схематичное изображение сервоприводов

### 5.2 Схема электрическая принципиальная

Схема электрическая принципиальная разрабатывалась в САПР Компас – 3D. Данная схема приведена на рисунке 12

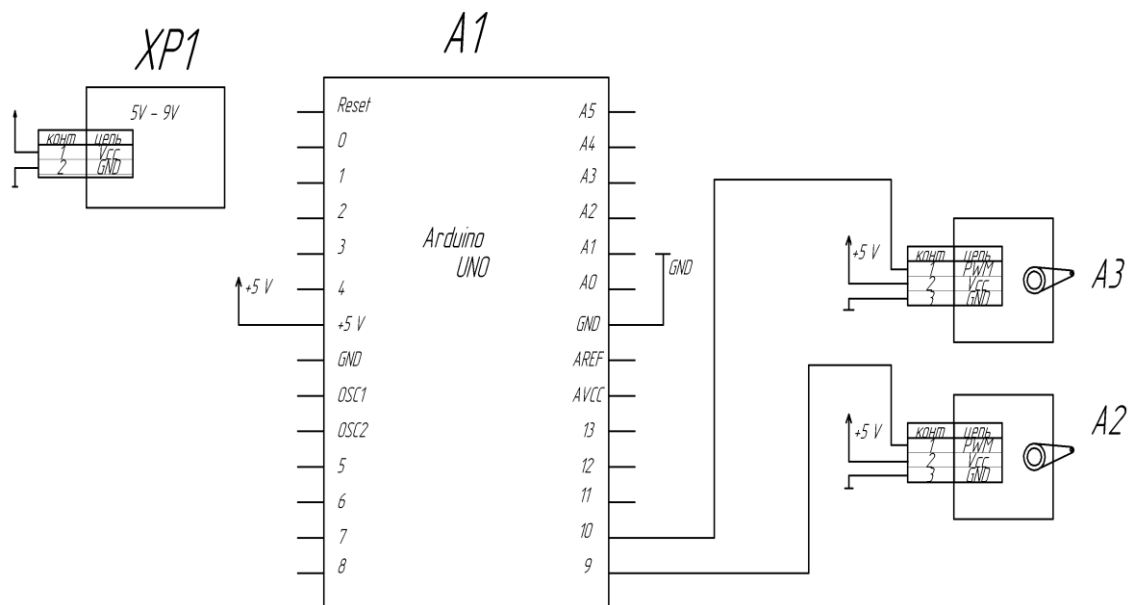


Рисунок 12 – Схема электрическая принципиальная

На данной схеме элементом А1 является плата Arduino UNO, а элементами А2 и А3 являются сервоприводы, которые перемещают камеру по осям X и Y. Данные сервоприводы подключены к пинам 9 и 10, которые способны выдавать широтно-импульсную модуляцию. Это необходимо для того, чтобы регулировать скорость вращения вала сервопривода.

Стоит отметить, что на схеме присутствует повышающий преобразователь напряжения, подключаемый к СОМ – порту. Он обозначен как ХР1. Данный преобразователь повышает напряжение, подаваемое на микроконтроллер, с 5 В до 9 В. Решение по подключению дополнительного питания было принято в связи с неудовлетворительной работой двух сервоприводов: в ходе пусконаладки были замечены нежелательные вибрации и тряска при их поворотах.

#### Выводы

В данном разделе рассмотрены типы выводов микроконтроллера АТМega328Р, произведен обзор разъемов подключения у сервоприводов модели МG996R. Была разработана схема электрическая принципиальная и дано её краткое описание.

## 6 Выбор инструментов и разработка программы распознавания лиц

Для создания программы распознавания лиц было принято решение использовать язык программирования Python и библиотеку компьютерного зрения OpenCV.

### 6.1 Язык программирования Python

Python – язык программирования высокого уровня. Он обладает динамической строгой типизацией и автоматическим управлением памятью, ориентированный на повышение производительности разработчика, читаемости кода и его качества, а также на обеспечение переносимости написанных на нём программ [12]

Этот язык очень универсален, он используется во многих направлениях разработки: от серверной разработки до автоматизации тестирования приложений и работы с большими данными. В последние годы Python набрал огромную популярность в России и в мире. Статистику поисковых запросов о самых популярных языках программирования, полученную с помощью сервиса Google Trends приведена на рисунке 13

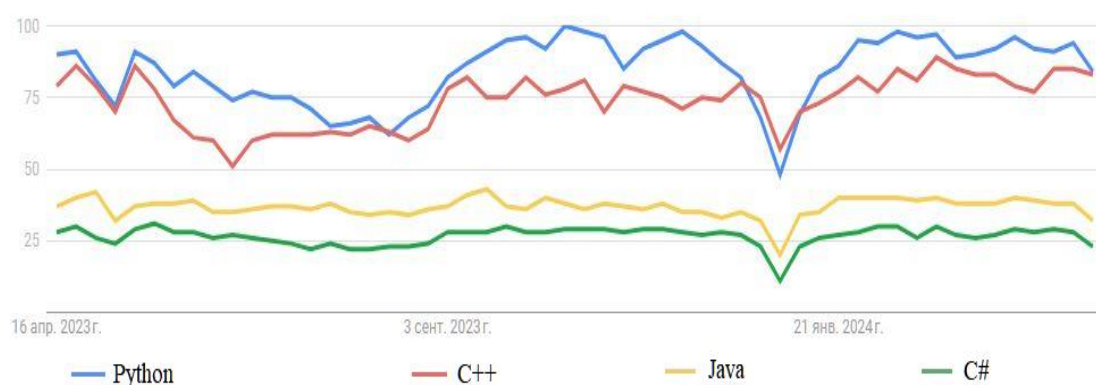
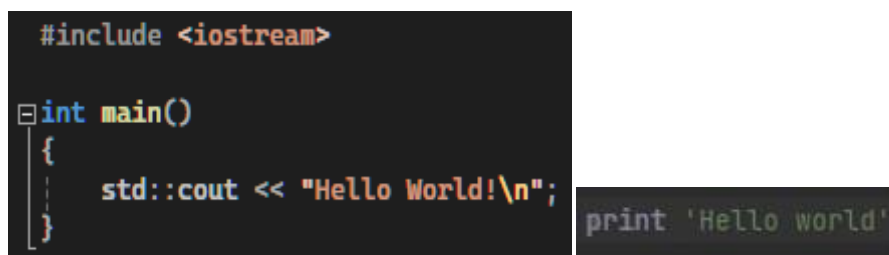


Рисунок 13 – Статистика поисковых запросов

Язык Python обладает простым синтаксисом, который схож с синтаксисом английского языка. Это обуславливает его легкость в изучении и чтении. Простейшие программы на языке Python не требуют большого

количества строк. На рисунке 14 приведем сравнение программы на языке Python и языке C++, которая выводит надпись “Hello world” в консоль. Разница в количестве строк и объёме занимаемой памяти очевидна.

The image shows two side-by-side code snippets. The left snippet, labeled 'A)', is C++ code: 

```
#include <iostream>

int main()
{
    std::cout << "Hello World!\n";
}
```

The right snippet, labeled 'B)', is Python code: 

```
print 'Hello world'
```

A)

B)

Рисунок 14 – Сравнение программ на языках программирования

A – язык C++, B – язык Python

Python имеет свою собственную среду разработки PyCharm от компании JetBrains. Этот компилятор имеет встроенный искусственный интеллект, который помогает в разработке и указывает на недочеты в коде. Существуют платная (для разработки сложных проектов и приложений) и бесплатная (для более простых проектов) версии.

Ещё одной полезной особенностью этого языка программирования является то, что Python – интерпретируемый язык, т.е. он выполняется построчно и в случае ошибки код перестает работать. Сама программа выполняется интерпретатором (средой исполнения), а не процессором. Это позволяет программистам быстро найти ошибку и исправить её.

## 6.2 Библиотека OpenCV

OpenCV – это библиотека инструментов и алгоритмов машинного зрения с открытым исходным кодом [15]. Этот инструмент поддерживается такими языками программирования как C++, C, Java, Python и другие. Сама библиотека состоит из нескольких основных модулей:

- Модуль ядра – содержит базовые структуры данных и функции для работы с изображениями и операциями над этими изображениями

- Модуль обработки изображения – содержит функции для выполнения различных операций по обработке изображений (преобразование цвета, изменение размера изображения, фильтрация цвета и другое)

- Модуль машинного зрения – содержит алгоритмы по распознаванию объектов, отслеживаю передвижения объектов, определение специальных точек и дескрипторов

- Модуль машинного обучения – содержит инструменты для моделей машинного обучения на основе полученных изображений и числовых данных

- Видеомодуль – содержит функции для работы с видеопотоками, захвата видео с камеры, чтения и записи видеофайлов, обработки кадров

Открытый исходный код даёт возможность этому коду постоянно развиваться за счёт активного сообщества разработчиков. Быстрое внедрение новых и улучшенных алгоритмов и функций обеспечивает частое обновление для всех языков программирования, в которых есть возможность использовать библиотеку OpenCV.

Эта библиотека может представлять изображение как и в серых оттенках, так и в оттенках RGB. В изображениях в оттенках серого каждый пиксель имеет значение между 0 и 255, где 0 соответствует чёрному, а 255 соответствует белому. А значения между 0 и 255 принимают различные оттенки серого, где значения ближе к 0 более тёмные, а значения ближе к 255 более светлые. Изображение значений оттенков серого приведено на рисунке 15.

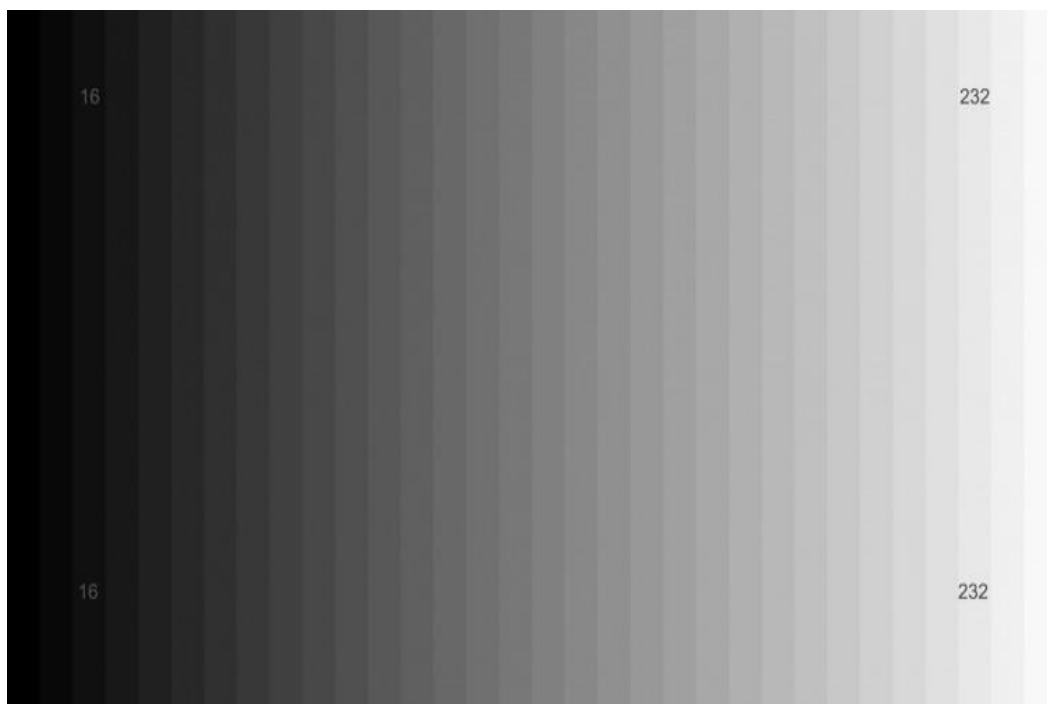


Рисунок 15 – Значения оттенков серого

«Цветные пиксели обычно представлены в цветовом пространстве RGB (red, green, blue — красный, зелёный, синий), где одно значение для красной компоненты, одно для зелёной и одно для синей. Каждая из трёх компонент представлена целым числом в диапазоне от 0 до 255 включительно, которое указывает как «много» цвета содержится. Исходя из того, что каждая компонента представлена в диапазоне  $[0,255]$ , то для того, чтобы представить насыщенность каждого цвета, нам будет достаточно 8-битного целого беззнакового числа. Затем мы объединяем значения всех трёх компонент в кортеж вида (красный, зеленый, синий). К примеру, чтобы получить белый цвет, каждая из компонент должна равняться 255: (255, 255, 255). Тогда, чтобы получить чёрный цвет, каждая из компонент должна быть равной 0: (0, 0, 0). Ниже приведены распространённые цвета, представленные в виде RGB кортежей» [4]. Кодировка RGB кортежей приведено на рисунке 16.

<b>Black</b>	<code>rgb(0, 0, 0)</code>
<b>White</b>	<code>rgb(255, 255, 255)</code>
<b>Red</b>	<code>rgb(255, 0, 0)</code>
<b>Blue</b>	<code>rgb(0, 0, 255)</code>
<b>Green</b>	<code>rgb(0, 255, 0)</code>
<b>Yellow</b>	<code>rgb(255, 255, 0)</code>
<b>Magenta</b>	<code>rgb(255, 0, 255)</code>
<b>Cyan</b>	<code>rgb(0, 255, 255)</code>
<b>Violet</b>	<code>rgb(136, 0, 255)</code>
<b>Orange</b>	<code>rgb(255, 136, 0)</code>

Рисунок 16 – RGB кортежи

Для решения задачи по написанию программы распознавания лиц в рамках работы над выпускной квалификационной работой будут использоваться RGB кортежи, т.к. возможности камеры позволяют их использовать без потери качества изображения.

### 6.3 Библиотеки PySerial и Time

Serial – порт – это интерфейс, необходимый для передачи данных между ПК и другими устройствами. Через Serial можно отправлять данные с компьютера на микроконтроллер. Python обеспечивает поддержку работы с Serial – портом. Для работы с COM – портами понадобится библиотека PySerial, которая предоставляет интерфейс для последовательной связи. Для того, чтобы установить эту библиотеку, необходимо открыть компилятор PyCharm, который используется для разработки программы в рамках выполнения выпускной квалификационной работы и в терминале прописать строчку `pip install pyserial`. [17] Библиотека установится с веб – сайта GIT.

Открытие последовательного порта для связи с микроконтроллером происходит при объявлении строчки:  
`ArduinoSerial=serial.Serial('com7',9600,timeout=0.1)`

При объявлении команды открывается порт, к которому подключен микроконтроллер, скорость передачи данных порта и задержка в секундах. Эти параметры могут быть изменены в зависимости от конфигурации системы и микроконтроллера. С помощью команды `ArduinoSerial.write(string.encode('utf-8'))` происходит отправка координат центра найденного лица в микроконтроллер, при этом координаты преобразуются в байты, которые необходимы для передачи по последовательному порту на микроконтроллер

Также в коде необходимо написать команду для задержки включения платы для того, чтобы она была инициализирована и готова к работе. Это можно сделать при помощи модуля `time`. «Модуль `time` в Python предоставляет функции для работы с временем, как с системным, так и со временем в формате человекочитаемом».[6]. Задержка включения происходит с помощью команды `time.sleep(1)`, в которой указывается время для задержки включения. Если начать отставку данных сразу после включения последовательного порта, то микроконтроллер может не успеть корректно инициализироваться, из-за чего часть данных может быть потеряна или неправильно распознана

#### **6.4 Создание программы распознавания лиц**

Подробно рассмотрим работу программы. В начале импортируются библиотеки, необходимые для работы программы: `OpenCV`, которая обеспечивает захват изображения с камеры и его обработку; Библиотека `PySerial`, обеспечивающая связь микроконтроллера и ПК через COM – порт; Библиотека `time`, которая используется для задержки включения микроконтроллера.

Затем происходит открытие последовательного порта для связи с микроконтроллером. В данном коде используется порт №7, со скоростью передачи данных 9600 бит/сек и задержкой включения 0.1 сек. Эти параметры могут меняться в зависимости от конфигурации порта. После



открытия последовательного порта создается задержка, необходимая для того, чтобы микроконтроллер успел подготовиться к приёму данных.

Основная часть программы представляет из себя цикл, который работает до тех пор, пока идет получение данных с камеры. В каждом цикле считывается кадр, выполняется его отражение в горизонтальное положение, это необходимо для создания эффекта зеркала. Затем кадр преобразуется в оттенки серого цвета. В этот момент происходит обнаружение лица на кадре с помощью каскадов Хаара.

Для каждого лица программой определяются координаты центра и формируется строка с ними. Эта строка выводится в консоль и отправляется в микроконтроллер. Для визуализации процесса на изображении лицо обрамляется красным прямоугольником, геометрический центр лица обозначается зеленой точкой. На изображении отображается белый прямоугольник. Полученное изображение выводится в окно.

Нажатие кнопки Q на клавиатуре завершает работу программы. Видеопоток и все окна закрываются корректно.

В листинге 1 приведен код программы распознавания лиц с комментариями

#### Листинг 1 – код программы распознавания лиц

```
# Импорт необходимых библиотек
import cv2
import serial
import time

# Загрузка классификатора для обнаружения лиц
face_cascade =
cv2.CascadeClassifier('haarcascade_frontalface_default.
xml')
# Открытие видеопотока с веб-камеры
cap = cv2.VideoCapture(1)

# Открытие последовательного порта для связи с Arduino
ArduinoSerial = serial.Serial('com7', 9600,
timeout=0.1)
```

```

# Задержка, чтобы Arduino успела подключиться
time.sleep(1)

# Основной цикл программы, работает, пока камера
открыта
while cap.isOpened():
# Чтение кадра из видеопотока
ret, frame = cap.read()
# Отражение изображения по горизонтали (зеркальное
отображение)
frame = cv2.flip(frame, 1)
# Преобразование кадра в оттенки серого
gray = cv2.cvtColor(frame, cv2.COLOR_BGR2GRAY)
# Обнаружение лиц на кадре
faces = face_cascade.detectMultiScale(gray, 1.1, 6)
# Для каждого обнаруженного лица на кадре
for x, y, w, h in faces:
# Формирование строки с координатами центра лица
string = 'X{0:d}Y{1:d}'.format((x+w//2), (y+h//2))
# Вывод строки в консоль (для отладки)
print(string)
# Отправка строки с координатами в Arduino через
последовательный порт
ArduinoSerial.write(string.encode('utf-8'))
# Отображение центра лица в виде круга на кадре
cv2.circle(frame, (x+w//2, y+h//2), 2, (0, 255, 0), 2)
# Отображение прямоугольника вокруг лица на кадре
cv2.rectangle(frame, (x, y), (x+w, y+h), (0, 0, 255),
3)
# Отображение белого прямоугольника в центре экрана
cv2.rectangle(frame, (640//2-30, 480//2-30),
(640//2+30, 480//2+30), (255, 255, 255), 3)
# Отображение кадра в окне с названием 'img'
cv2.imshow('img', frame)
# Если нажата клавиша 'q', происходит выход из цикла
if cv2.waitKey(10) & 0xFF == ord('q'):
break
# закрытие камеры и всех окон OpenCV
cap.release()
cv2.destroyAllWindows()

```

На рисунке 17 приведена блок – схема алгоритма программы

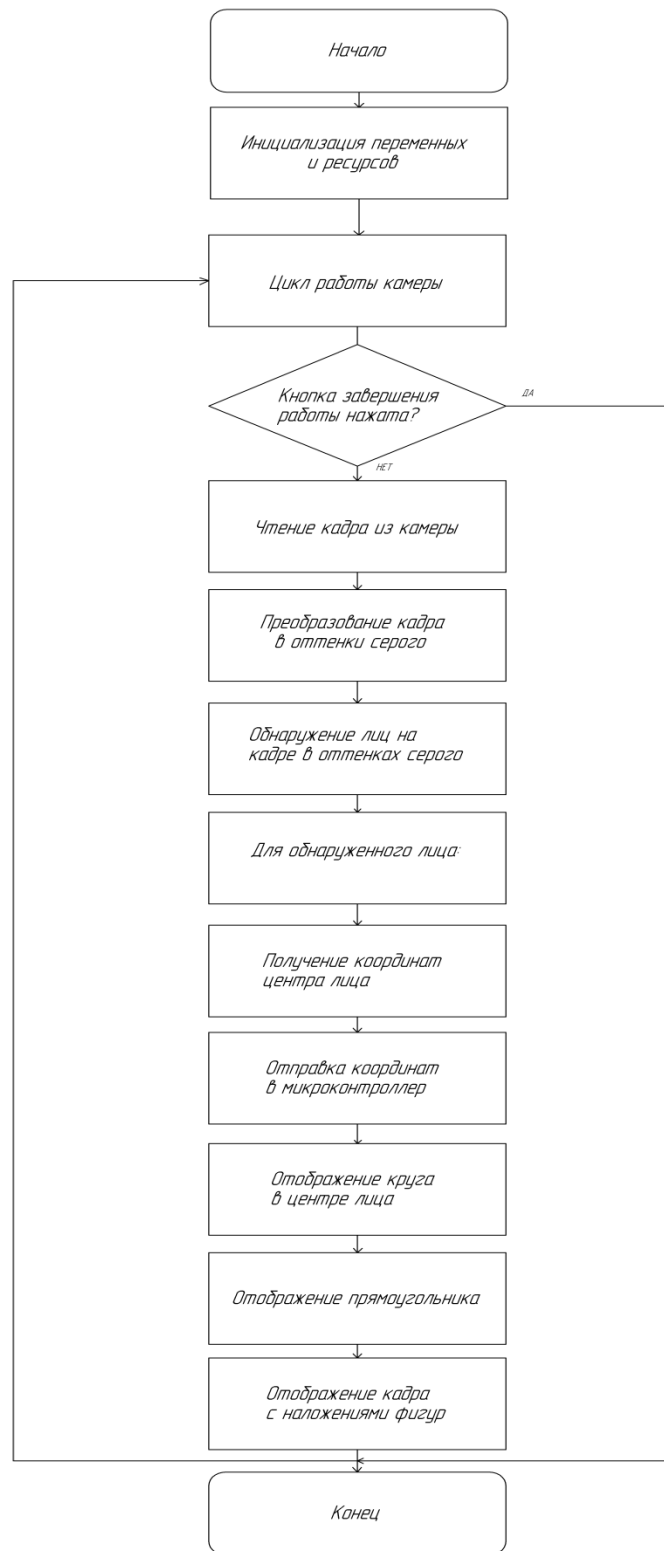


Рисунок 17 – БСА программы распознавания лиц

## Выводы

В данном разделе рассмотрены библиотеки, необходимые для создания кода, рассмотрена работа кода, представлены листинг программы и её блок – схема алгоритма.

## 7 Создание программы управления сервоприводами

Создание программы для управления сервоприводами является второй по важности задачей, необходимой для реализации выпускной квалификационной работы. В данном разделе будут описаны среда разработки, в которой создавалась программа, описан алгоритм работы программы, приведена её блок – схема.

### 7.1 Среда разработки Arduino IDE

Arduino IDE – это среда разработки, поддерживаемая на операционных системах Windows, Linux и macOS, разработанная на языках программирования C и C++[11]. Данная среда разработки используется для написания и загрузки программ в платы Arduino и в платы от других производителей. Программы в этой среде разработки создаются на языках C и C++, при этом требует определенных правил написания кода. Всегда используются две функции: функция `setup`, куда вносятся все базовые настройки, и функция `loop`, которая работает в бесконечном цикле на протяжении всего времени работы микроконтроллера.

При создании нового проекта эти функции создаются автоматически и не требуют ручного прописывания. Скриншот окна нового проекта приведен на рисунке 18.



```
sketch_may28a | Arduino IDE 2.3.2
File Edit Sketch Tools Help
Select Board
sketch_may28a.ino
1 void setup() {
2   // put your setup code here, to run once:
3
4 }
5
6 void loop() {
7   // put your main code here, to run repeatedly:
8
9 }
10
```

Рисунок 18 – Окно нового проекта

Написанный код можно заранее скомпилировать и проверить на ошибки перед загрузкой в микроконтроллер

## 7.2 Создание программы для управления сервоприводами

Программа реализует перемещение камеры за объектом, используя координаты, получаемые через последовательный порт. В ней используется стандартная библиотека `Servo`, которая используется для управления сервоприводами, которые перемещаются по осям  $X$  и  $Y$ . Устанавливается начальное положение сервоприводов, значения углов поворота и разрешение камеры.

В функции `setup` устанавливается последовательная связь с компьютером. К разъёмам 9 и 10 на самой плате подключаются сервоприводы, перемещающие камеру по осям  $Y$  и  $X$  соответственно.

В функции `loop` происходит непрерывная проверка данных. Если данные присутствуют, то они считываются и обрабатываются. Программа ждёт координаты центра лица, переданные в формате  $X$  и  $Y$ . Если они корректны, то координаты сохраняются в `x_mid` и `y_mid`.

Основная логика программы – корректировка положения сервоприводов на основе полученных координат. Если значение переменной `x_mid` выходит за пределы центра кадра, то положение сервопривода, двигающегося по оси  $X$  изменяется на определенный угол (в данном случае на 2 градуса). Аналогичного переменной `x_mid`, переменная `y_mid` в случае выхода за пределы центральной области кадра изменяется положение сервопривода, двигающегося по оси  $Y$ . Благодаря этой логике сервоприводы поворачиваются в сторону обнаруженного центра лица, удерживая его в кадре.

После вычисления новых углов поворота сервоприводов, их положение меняется с помощью `write()`, что приводит к повороту качалок сервоприводов. Также происходит проверка допустимых углов поворота. Это необходимо для предотвращения механических повреждений. В листинге 2 приведена программа для управления сервоприводами с комментариями

## Листинг 2 – код программы управления сервоприводами

```
#include<Servo.h> // Подключение библиотеки для работы
с сервоприводами
Servo x, y; // Объявление объектов для управления
сервоприводами по осям X и Y
int width = 640, height = 480; // Общее разрешение
видеопотока
int xpos = 90, ypos = 90; // Начальные позиции обоих
сервоприводов
void setup() {
Serial.begin(9600); // Инициализация последовательной
связи
x.attach(9); // Подключение сервопривода X к разъему 9
y.attach(10); // Подключение сервопривода Y к разъему
10
x.write(xpos); // Установка начальной позиции
сервопривода X
y.write(ypos); // Установка начальной позиции
сервопривода Y
}
const int angle = 2; // Угол изменения положения
сервоприводов за один шаг
void loop() {
if (Serial.available() > 0) { // Если есть данные в
последовательном порту
int x_mid, y_mid; // Переменные для хранения координат
центра лица
if (Serial.read() == 'X') { // Если получен сигнал о
начале передачи координат X
x_mid = Serial.parseInt(); // Считывание координаты X
if (Serial.read() == 'Y') // Если получен сигнал о
начале передачи координат Y
y_mid = Serial.parseInt(); // Считывание координаты Y
}
/* Корректировка положения сервоприводов внутри
прямоугольной области, если координаты находятся за её
пределами*/
if (x_mid > width / 2 + 30) // Если координата X
выходит за правую границу прямоугольника
xpos += angle; // Увеличиваем угол поворота
сервопривода X
if (x_mid < width / 2 - 30) // Если координата X
выходит за левую границу прямоугольника
```

```

xpos -= angle; // Уменьшаем угол поворота сервопривода
Xif (y_mid < height / 2 + 30) // Если координата Y
выходит за верхнюю границу прямоугольника
ypos -= angle; // Уменьшаем угол поворота сервопривода
Y
if (y_mid > height / 2 - 30) // Если координата Y
выходит за нижнюю границу прямоугольника
ypos += angle; // Увеличиваем угол поворота
сервопривода Y
// Проверка выхода углов поворота сервоприводов за
допустимый диапазон
if (xpos >= 180)
xpos = 180;
else if (xpos <= 0)
xpos = 0;
if (ypos >= 180)
ypos = 180;
else if (ypos <= 0)
ypos = 0;
// Установка новых углов поворота сервоприводов
x.write(xpos);
y.write(ypos);
}
}

```

На рисунке 19 приведена блок – схема алгоритма программы управления сервоприводами

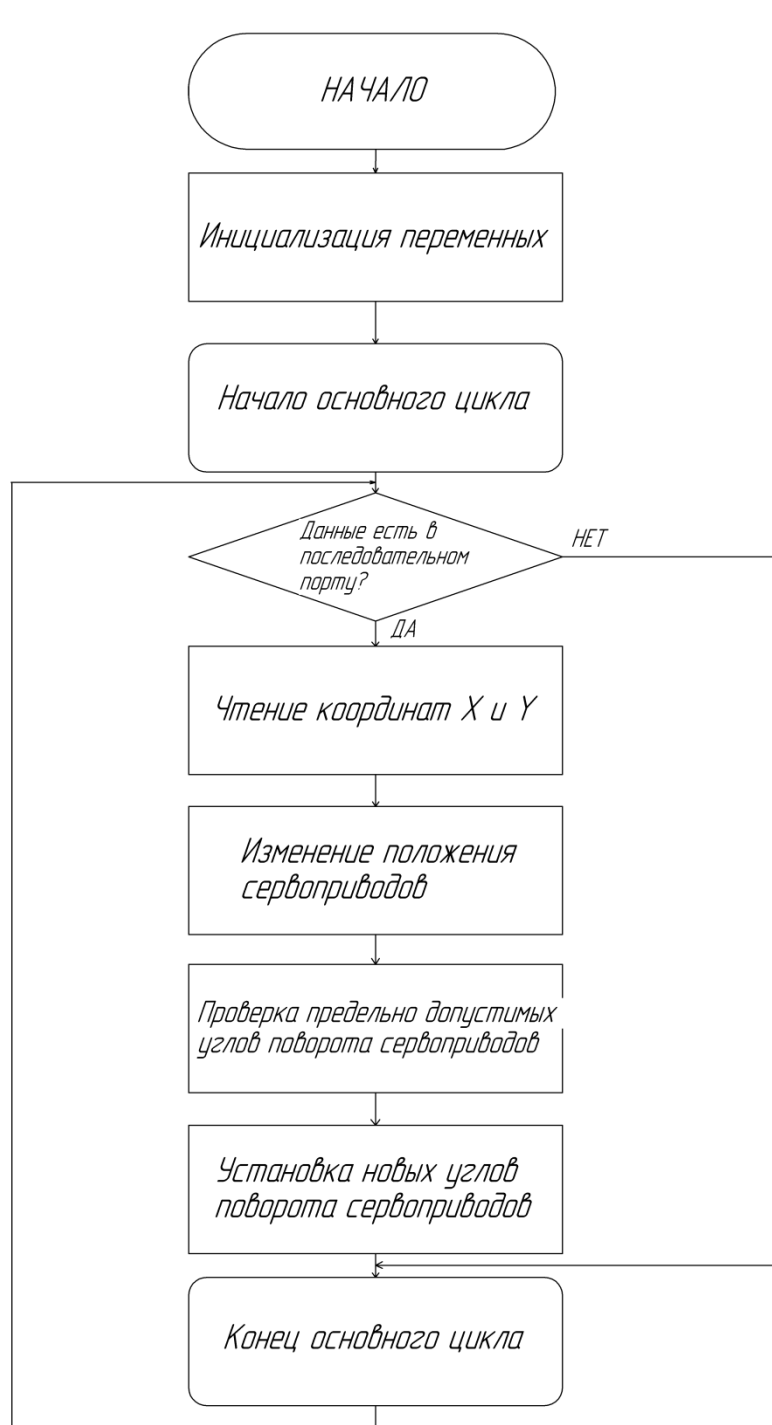


Рисунок 19 – БСА программы управления сервоприводами

### Выводы

В данном разделе рассмотрены среда разработки Arduino IDE, алгоритм работы программы управления сервоприводами, создана блок – схема алгоритма программы.



## 8 Экспериментальная часть

В ходе выполнения экспериментов по работе программы было выявлено, что модель распознавания лиц не обучена и находит объекты распознавания там, где их быть не может (на посторонних объектах), что потребовало дополнительного обучения каскадов Хаара. Для этого пришлось использовать так называемые примеры и антипримеры. К примерам относятся фотографии, на которых чётко видно лицо человека полностью либо большая его часть. К антипримерам относятся окружающие человека объекты, которые не должны восприниматься моделью как лицо человека.[13]

Для обучения каскадов Хаара рациональнее всего использовать готовые базы фотографий, которые есть в сети Интернет. Это позволит сэкономить время на обучение, в отличие от самостоятельного фотографирования лиц (примеров) и посторонних объектов (антипримеров).

Для обучения использовалась программа `imageclipper`, популярная среди любителей и профессионалов в среде разработчиков программ распознавания лиц. Необходимо создать 2 папки, в одной будут находиться примеры, в другой антипримеры. Программа лучше всего работает с форматами `JPG` и `BMP`. Для каждой папки должен быть создан текстовый файл с именем, соответствующий имени папки. Изображения не должны содержать в названии пробелы и кириллицу, т.к. программа `imageclipper` не распознает эти символы. В текстовых файлах должно содержаться текстовое описание изображений.[16] К примеру, положительные примеры можно назвать именем `True`, тогда текстовое описание будет иметь вид `True \N.bmp 1 0 0 590 182`, где: `N.bmp` – это номер изображения и его формат; `1` – количество объектов на изображении; `0 0 590 182` – координаты прямоугольника, в котором находится объект. Отрицательные примеры можно именовать, как `False`. Текстовое описание не требует такого описания,

как положительные примеры, поэтому в текстовом файле достаточно указать только порядковый номер и формат: False \N.bmp.

На рисунках 20 и 21 приведены антипримеры и примеры соответственно

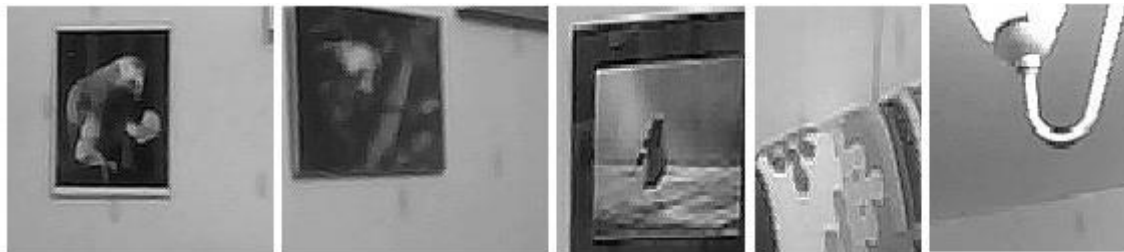


Рисунок 20 – Антипримеры для обучения модели Хаара

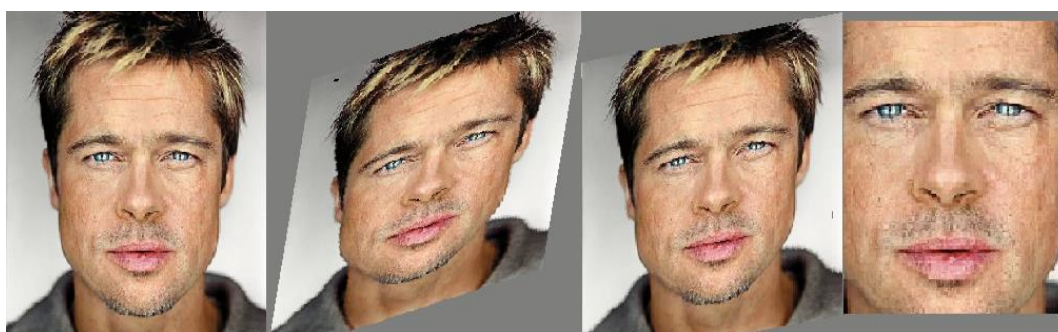


Рисунок 21 – Примеры для обучения модели Хаара

Обученная модель размещается в папку библиотеки распознавания лиц, которая располагается вместе с файлами кода. Далее подключаем всю систему к ПК: загружаем в микроконтроллер программу для управления сервоприводами, подключаем к плате микроконтроллера преобразователь напряжения 5 В - 9 В, подключаем веб – камеру и запускаем программу распознавания лиц в компиляторе PyCharm. Спустя время задержки открывается окно с названием “img”, в которое передается изображение с камеры. Скриншот работы системы приведен на рисунке 22.

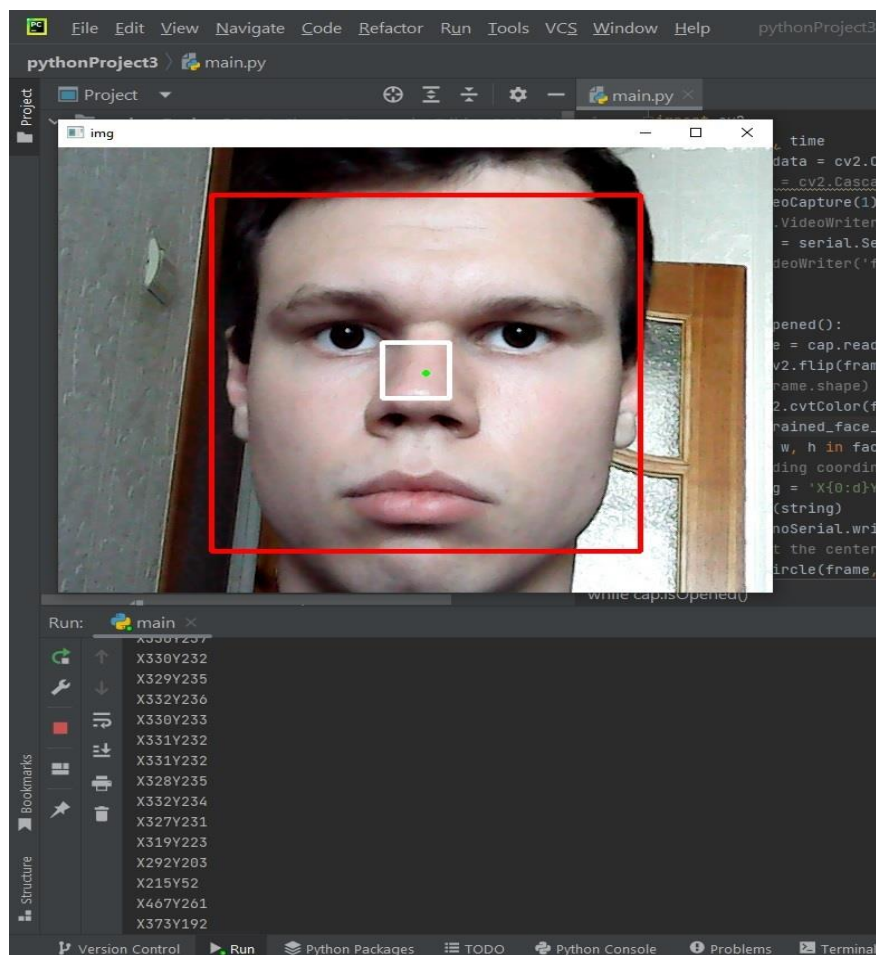


Рисунок 22 – Работы системы распознавания лиц

Из представленного изображения видно, что вокруг лица, получаемого с камеры, изображены белые и красные прямоугольники и зеленая точка, обозначающая центр лица. В консоли компилятора можно наблюдать координаты, показывающие положение камеры в пространстве. Из этого можно сделать вывод о том, что программа отслеживает перемещение лица и даёт команду сервоприводам на изменение своего положения. Для завершения работы программы была нажата кнопка q на клавиатуре. Окно img закрылось корректно, в консоли сохранились координаты положения лица и перемещения камеры.

### Выводы

Таким образом, в данном разделе описан процесс обучения модели распознавания лиц, а также приведено описание работы всей системы распознавания лиц и управления камерой, её программного обеспечения.

## 9 Конструкторская часть

Конструкторская часть была поделена на два этапа: создание прототипа устройства и непосредственная сборка. Для создания прототипа использовались подручные материалы. Сервоприводы соединялись между собой с помощью резинок для денег, поскольку конструкция была достаточно неустойчивой, поэтому для неё использовалась деревянная станина, обеспечивающая статику всей конструкции. Фото прототипа приведено на рисунке 23.



Рисунок 23 – Прототип системы

Было принято решение создать корпус для системы, в котором располагались бы провода и управляющая плата. Для этого необходимо смоделировать будущий корпус в системе трёхмерного моделирования “Компас 3D”. Были созданы модели самого корпуса и крышки, закрывающей систему по направляющим. Физические модели реализованы с помощью технологии 3д печати на FDM – принтере, путём наложения расплавленного пластикового филамента, подающегося в виде пластиковой нити в экструдер и сопло экструдера. Данная нить нагревается и послойно накладывается друг на друга, тем самым формируя объёмную поверхность, которая отличается

своей крепкой текстурой.[20] Отверстия под разъёмы питания платы и соединительные разъёмы создавались вручную с помощью электрических инструментов и обрабатывались надфилями и мелкозернистой наждачной бумагой. На рисунке 24 приведена фотография полностью готовой конструкции

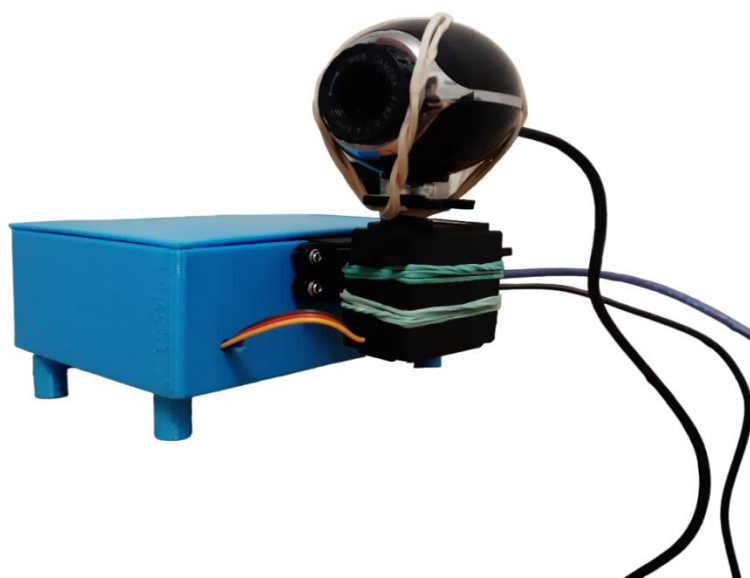


Рисунок 24 – Готовая конструкция

#### Выводы

В данном разделе рассмотрены прототип устройства и его готовое конструкторское решение, а также приведены их изображения.

## Заключение

В рамках выполнения выпускной квалификационной работы была создана система распознавания лиц и управления камерой. Данная система реализована физически и представляет собой полноценное устройство, способное следить за перемещением человеческого лица

В первом разделе рассмотрены аналоги и определена актуальность разработки данной системы.

Во втором разделе рассматривается технология распознавания лиц. Описывается метод Виолы – Джонса, работа каскадов Хаара, а также рассмотрен способ обучения каскадов Хаара, направленный на корректное распознавание лиц.

В третьем разделе представлен перечень используемых элементов и разработана структурная схема.

В четвертом разделе произведен подбор комплектующих, рассмотрены плюсы и минусы использования микроконтроллеров в рамках реализации данной работы, а также произведено сравнение управляющих устройств, предназначенных для перемещения камеры.

Пятый раздел посвящен разработке схемы электрической принципиальной.

В шестом разделе отмечаются преимущества использования языка программирования Python, описаны библиотеки, использующиеся в разработке программы распознавания лиц, представлено описание работы программы, её листинг, приведена блок-схема алгоритма программы.

В седьмом разделе содержится описание среды разработки Arduino IDE, приведено описание работы программы по управлению камерой, а также проиллюстрирована блок – схема алгоритма программы.

В восьмом разделе представлен результат работы системы распознавания лиц и управления камерой, а также рассмотрен процесс обучения модели, используемой для идентификации лиц.

В девятом разделе содержится информация о создании прототипа устройства с использованием подручных материалов, а также приведено изображение готового устройства в спроектированном корпусе.

Таким образом, результатом выполнения выпускной квалификационной работы является исправно работающая система, способная распознавать лицо человека и изменять своё положение в соответствии с изменением положения распознаваемого лица.

## Список используемых источников

1. Гришанов К.М., Белов Ю.С. Модель сверточной нейронной сети в задачах машинного зрения // Электронный журнал: наука, техника и образование. – 2017. – № СВ1(11). – С. 100–106.
2. Местецкий Л.М. Математические методы распознавания образов. – М.: МГУ, ВМиК, 2002–2004. – С. 42–44.
3. Обзор методов распознавания лиц [Электронный ресурс] URL: <https://studfile.net/preview/4326789/page:4/> (дата обращения 09.02.2024)
4. ОпенСВ в Python. Часть 1 [Электронный ресурс] URL: <https://habr.com/ru/articles/519454/> (дата обращения 09.02.2024)
5. Принцип работы серводвигателей [Электронный ресурс] URL: <https://drives.ru/stati/servodvigateli-princip-raboty/> (дата обращения 15.02.2024)
6. Работа с модулем time в Python [Электронный ресурс] URL: <https://sky.pro/media/kak-rabotat-s-modulem-time-v-python/> (дата обращения 09.02.2024)
7. Распознавание лиц с использованием каскадов Хаара [Электронный ресурс] URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/raspoznavanie-lits-s-ispolzovaniem-kaskadov-haara/viewer> (дата обращения 27.02.2024)
8. Управление шаговыми двигателями [Электронный ресурс] URL: [https://supereyes.ru/articles/other/chto\\_takoe\\_shagovyyu\\_dvigatel\\_i\\_kak\\_im\\_upravlyat/](https://supereyes.ru/articles/other/chto_takoe_shagovyyu_dvigatel_i_kak_im_upravlyat/) (дата обращения 11.03.2024)
9. Что такое распознавание лиц? [Электронный ресурс] URL: <https://www.kaspersky.ru/resource-center/definitions/what-is-facial-recognition/> (дата обращения 01.02.2024)
10. Шаговые двигатели и их управление [Электронный ресурс] URL: <https://3d-diy.ru/wiki/cnc/stepper-motor/> (дата обращения 25.03.2024)
11. Frequently Asked Questions [Электронный ресурс] URL: <https://www.arduino.cc/en/main/FAQ#toc13/> (дата обращения 09.02.2024)



12. Learning Python. 3rd ed. [Электронный ресурс] URL: <https://www.oreilly.com/library/view/learning-python-3rd/9780596513986/ch01.html/> (дата обращения 10.04.2024)
13. Machine Learning Mastery. Training a Haar Cascade Object Detector in OpenCV [Электронный ресурс] URL: <https://machinelearningmastery.com/training-a-haar-cascade-object-detector-in-opencv/> (дата обращения 07.05.2024)
14. Microchip Technology. ATmega328P Datasheet [Электронный ресурс] URL: [https://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/Atmel-7810-Automotive-Microcontrollers-ATmega328P\\_Datasheet.pdf/](https://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/Atmel-7810-Automotive-Microcontrollers-ATmega328P_Datasheet.pdf/) (дата обращения 18.04.2024)
15. OpenCV [Электронный ресурс] URL: <https://opencv.org/> (дата обращения 13.02.2024)
16. PyImageSearch. OpenCV Haar Cascades [Электронный ресурс] URL: <https://pyimagesearch.com/2021/04/12/opencv-haar-cascades/> (дата обращения 16.05.2024)
17. PySerial Documentation [Электронный ресурс] URL: <https://pyserial.readthedocs.io/en/latest/pyserial.html/> (дата обращения 09.02.2024)
18. Tower Pro. MG996R Datasheet [Электронный ресурс] URL: [https://www.electronicoscaldas.com/datasheet/MG996R\\_Tower-Pro.pdf/](https://www.electronicoscaldas.com/datasheet/MG996R_Tower-Pro.pdf/) (дата обращения 28.05.2024)
19. Viola P., Jones M.J. Rapid object detection using a boosted cascade of simple features // IEEE Conf. on Computer Vision and Pattern Recognition. – Kauai, Hawaii, USA, 2001. – Vol. 1. – P. 511–518.
20. What is an FDM printer and how does it work? [Электронный ресурс] URL: <https://www.medicaldesignandoutsourcing.com/what-is-an-fdm-printer-and-how-does-it-work/> (дата обращения 05.06.2024)