Государственное бюджетное общеобразовательное

учреждение города Москвы

«Школа № 627 имени генерала Д.Д. Лелюшенко» г. Москвы

**Проектная работа**

**«Аутентификация с помощью биометрического классификатора данных лица для доступа к шкафчикам»**

**Выполнили**:

Ученик 10Б класса Школы № 627 имени

генерала Д.Д. Лелюшенко

**Похлестов Андрей Дмитриевич**

Ученик 10Б класса Школы № 627 имени генерала Д.Д. Лелюшенко

**Зуев Михаил Константинович**

Ученик 10Б класса Школы № 627 имени генерала Д.Д. Лелюшенко

**Глазунов Егор Максимович**

**Руководители проекта:**

Учитель технологии ГБОУ Школы №627 имени генерала Д.Д. Лелюшенко

**Ломоносов Антон Владимирович**

Москва, 2024 год

Оглавление

[**Введение** 4](#_Toc181978563)

[**Глава 1. Теоретические основы распознавания лиц** 5](#_Toc181978564)

[**1.1. Основы распознавания лиц** 5](#_Toc181978565)

[**1.2. Применение в системах безопасности** 6](#_Toc181978566)

[**1.3. OpenCV и его возможности** 7](#_Toc181978567)

[**Глава 2. Описание системы и её компонентов** 8](#_Toc181978568)

[**2.1. Общая структура системы** 8](#_Toc181978569)

[**2.2. Аппаратные компоненты** 9](#_Toc181978570)

[2.2.1. Платформа OrangePI 9](#_Toc181978571)

[2.2.2. Камера 10](#_Toc181978572)

[2.2.3. Механизм управления дверью 10](#_Toc181978573)

[2.2.4. Источник питания 10](#_Toc181978574)

[**2.3. Программные компоненты** 11](#_Toc181978575)

[2.3.1. OpenCV для обработки изображений 11](#_Toc181978576)

[2.3.2. Алгоритмы распознавания лиц 12](#_Toc181978577)

[2.3.3. Интерфейс управления 12](#_Toc181978578)

[**2.4. База данных лиц** 12](#_Toc181978579)

[**2.5. Протоколы безопасности** 13](#_Toc181978580)

[**Глава 3. Алгоритмы распознавания лиц** 13](#_Toc181978581)

[**3.1 Принципы работы алгоритмов распознавания лиц** 13](#_Toc181978582)

[**3.2. Алгоритм Haar-cascade** 14](#_Toc181978583)

[3.2.1. Принципы работы алгоритма 15](#_Toc181978584)

[3.2.2. Применение в проекте 15](#_Toc181978585)

[**3.3. Алгоритм LBPH (Local Binary Patterns Histograms)** 16](#_Toc181978586)

[3.3.1. Принципы работы алгоритма 16](#_Toc181978587)

[3.3.2. Применение в проекте 17](#_Toc181978588)

[**3.4. Методы глубокого обучения** 17](#_Toc181978589)

[3.4.1. Принципы работы сверточных нейронных сетей 17](#_Toc181978590)

[3.4.2. Применение в проекте 18](#_Toc181978591)

[**3.5. Оценка точности алгоритмов** 18](#_Toc181978592)

[**4.1 Платы Raspberry Pi и RAMPS 1.4** 19](#_Toc181978593)

[**4.2 Шаговый электродвигатель и сервопривод** 20](#_Toc181978594)

[**4.3 Концевые датчики** 21](#_Toc181978595)

[**4.4 Характеристики машины** 21](#_Toc181978596)

[**Глава 5. Моделирование** 22](#_Toc181978597)

[5.1. Корпус 22](#_Toc181978598)

[5.2. ШВП 23](#_Toc181978599)

[5.3. ЗАБОР 24](#_Toc181978600)

[**5.4. 3д модель прототипа** 25](#_Toc181978601)

[**Глава 6. Решение Задачи обратной кинематики** 27](#_Toc181978602)

[**6.1 Задача обратной кинематики** 27](#_Toc181978603)

[**Глава 7. Программирование манипулятора** 29](#_Toc181978604)

[**Глава 8. Программирование системы технического зрения.** 35](#_Toc181978605)

[Визуализация в ближнем инфракрасном диапазоне 36](#_Toc181978606)

[Анализ изображения 37](#_Toc181978607)

[**Предобработка** 38](#_Toc181978608)

[**Сегментация изображения** 39](#_Toc181978609)

[**Заключение** 40](#_Toc181978610)

[**Список литературы:** 41](#_Toc181978611)

## **Введение**

В условиях повышенных требований к безопасности и автоматизации образовательных учреждений использование биометрических технологий представляет особый интерес. В современном мире технологии распознавания лиц находят широкое применение в области контроля доступа и идентификации личности.

Применение биометрических методов идентификации для обеспечения автоматического доступа к личным шкафчикам учащихся в школе является инновационным решением, которое позволяет обеспечить безопасность, исключить использование ключей и карт доступа, а также значительно повысить удобство пользователей.

Данный проект направлен на разработку системы доступа к шкафчику, использующей алгоритмы компьютерного зрения для идентификации лиц учащихся. Реализация выполняется на базе одноплатного компьютера Orange Pi и библиотеки компьютерного зрения OpenCV.

Цель работы: Разработка и тестирование системы автоматического доступа к школьному шкафчику, функционирующей на основе технологии распознавания лиц, для повышения уровня безопасности и удобства в учебном заведении.

Задачи исследования:

* Исследовать текущие алгоритмы и методы распознавания
* Разработать алгоритмическую и техническую архитектуру
* Настроить и протестировать алгоритм управления доступом, интегрировав его с механизмом электромагнитного замка.
* Оценить производительность и точность системы распознавания
* Провести статистический анализ результатов работы.

# **Глава 1. Теоретические основы распознавания лиц**

## **1.1. Основы распознавания лиц**

Распознавание лиц — это биометрическая технология, использующая уникальные характеристики человеческого лица для идентификации или верификации личности. Основным преимуществом данного метода является его бесконтактность, что делает его удобным и эффективным для применения в различных сферах, включая системы безопасности. Основой распознавания лиц является извлечение специфических признаков, таких как расстояния между ключевыми точками лица, форма контуров, линии глаз и рта, а также структура кожи. Эти параметры образуют так называемый "лицевой шаблон", который затем используется для сравнения с базой данных для подтверждения или отказа в доступе.

В рамках данного проекта распознавание лиц будет использоваться для автоматической идентификации пользователей при доступе к шкафчику, что позволит исключить необходимость использования физических ключей или карт. Наиболее распространённым методом распознавания лиц является использование алгоритмов классификации, которые работают по принципу сопоставления извлечённых признаков с заранее подготовленными моделями, полученными на основе тренировочных данных. Алгоритм распознавания лиц может быть разделён на несколько этапов: предварительная обработка изображения, извлечение признаков, сопоставление с базой данных и принятие решения о верификации или идентификации.

Наиболее популярные алгоритмы включают Haar-cascade классификаторы, метод LBPH (Local Binary Patterns Histograms), а также методы, основанные на глубоком обучении. Алгоритм Haar-cascade, например, использует каскад классификаторов, которые способны распознавать объекты (в данном случае лица) в реальном времени с минимальными затратами вычислительных ресурсов. LBPH применяет текстурные признаки для анализа изображений, что позволяет повысить точность распознавания, даже если лицо человека частично закрыто или изображение деформировано. Методы на основе глубоких нейронных сетей (например, использование сверточных нейронных сетей, CNN) способны достигать высокой точности распознавания, но требуют значительных вычислительных мощностей и большого объёма данных для обучения.

## **1.2. Применение в системах безопасности**

Технологии распознавания лиц нашли широкое применение в различных системах безопасности, начиная от установок в аэропортах и банках, и заканчивая более мелкими приложениями, такими как системы контроля доступа в здания и помещения. Преимущества таких технологий заключаются в их способности эффективно и точно идентифицировать личности, при этом исключая необходимость в физическом взаимодействии с устройствами (например, использование карт или паролей).

Особое внимание в последнее время уделяется внедрению биометрических систем в образовательных учреждениях, где распознавание лиц может существенно повысить безопасность, упрощая процессы контроля доступа и мониторинга. Например, такие системы могут быть использованы для автоматического открытия шкафчиков, доступ к которым будет предоставляться только тем пользователям, чьи лица зарегистрированы в системе. Это позволяет избежать потери ключей и идентификационных карт, а также предотвращает несанкционированный доступ. Кроме того, интеграция распознавания лиц с другими системами, например, с учётными системами для отслеживания посещаемости или контроля за выходом из учебных заведений, также является важным аспектом в повышении общей безопасности.

Одним из главных преимуществ систем распознавания лиц является их высокая скорость работы в реальном времени. Алгоритмы, основанные на OpenCV, позволяют достигать быстрого отклика при обработке изображений, что критически важно в таких задачах, как контроль доступа и мониторинг в местах с высоким потоком людей.

## **1.3. OpenCV и его возможности**

OpenCV (Open Source Computer Vision Library) — это мощная библиотека с открытым исходным кодом, предназначенная для разработки приложений, использующих методы компьютерного зрения, обработки изображений и машинного обучения. Среди множества функций и инструментов, предоставляемых OpenCV, наиболее важными для разработки системы распознавания лиц являются:

Алгоритмы для детекции лиц: Одним из наиболее эффективных методов является использование Haar-cascade классификаторов, которые обучаются на большом количестве примеров лиц. Этот метод позволяет быстро и с высокой точностью находить лица в изображении, даже если они частично скрыты или находятся под углом.

Методы для распознавания лиц: Использование алгоритмов, таких как LBPH (Local Binary Patterns Histograms), позволяет не только обнаружить лицо, но и провести его идентификацию, сравнив извлечённые признаки с базой данных. LBPH особенно эффективен в условиях изменяющегося освещения или низкого качества изображения.

Возможности работы с видео: OpenCV предоставляет мощные инструменты для обработки видеопотока, что является критически важным для реализации системы распознавания лиц в реальном времени. Библиотека поддерживает работу с различными камерами и видеопотоками, что позволяет легко интегрировать её в систему контроля доступа.

Интеграция с аппаратными платформами: OpenCV активно используется в проектах, основанных на различных одноплатных компьютерах, таких как Raspberry Pi и OrangePI. Эти платформы, благодаря своей компактности и мощности, идеально подходят для проектов, где требуется реальное распознавание лиц с использованием камер высокого разрешения.

Алгоритмы OpenCV позволяют значительно ускорить процесс разработки систем на основе распознавания лиц, снижая потребность в написании собственных сложных алгоритмов обработки изображений. Библиотека также предоставляет удобные средства для оптимизации и ускорения вычислений, что важно при работе с устройствами с ограниченными вычислительными ресурсами, как в случае с OrangePI.

# **Глава 2. Описание системы и её компонентов**

## **2.1. Общая структура системы**

Система автоматического контроля доступа на основе распознавания лиц включает несколько ключевых компонентов, каждый из которых играет свою роль в процессе обработки данных и принятия решений о доступе. Главные элементы системы: аппаратная платформа, программное обеспечение, компоненты для захвата изображений, база данных лиц и интерфейс для управления доступом. Система должна обеспечивать быструю обработку изображений, точное распознавание лиц, а также надёжность и безопасность на всех этапах работы.

Основные задачи системы заключаются в том, чтобы:

* Обнаружить лицо пользователя с помощью камеры.
* Сравнить извлечённые признаки лица с записями в базе данных.
* Принять решение о предоставлении доступа в реальном времени.

Для решения этих задач используется интеграция аппаратных и программных компонентов. В качестве платформы для реализации системы используется OrangePI, которая является альтернативой Raspberry Pi и обеспечивает достаточную вычислительную мощность для обработки изображений в реальном времени при низкой стоимости.

## **2.2. Аппаратные компоненты**

### 2.2.1. Платформа OrangePI

OrangePI — это одноплатный компьютер, который обладает множеством характеристик, подходящих для реализации проектов, связанных с распознаванием лиц. В отличие от стандартных ПК или серверов, OrangePI представляет собой компактное решение с хорошими вычислительными способностями и энергоэффективностью. Он оснащён процессором Allwinner H3 с четырьмя ядрами ARM Cortex-A7, что позволяет эффективно работать с различными задачами компьютерного зрения и машинного обучения. Модели OrangePI поддерживают различное количество оперативной памяти (от 512 МБ до 2 ГБ), что даёт возможность выбрать подходящую версию в зависимости от требований к системе.

Платформа имеет несколько портов для подключения внешних устройств, включая USB-порты для камер, а также GPIO (General Purpose Input/Output) для подключения других компонентов, например, механизмов открывания дверей. OrangePI поддерживает несколько операционных систем, включая Linux и Android, что позволяет гибко настроить систему под нужды проекта.

### 2.2.2. Камера

Для захвата изображений и проведения распознавания лиц используется камера с высоким разрешением. USB-камеры с разрешением 1080p или выше являются оптимальным выбором для проекта, поскольку они обеспечивают достаточное качество изображения для точного распознавания лиц. Камера должна быть подключена к OrangePI через USB-порт, и её размещение вблизи дверей шкафчика будет критически важным для корректной работы системы.

Для повышения точности распознавания лиц рекомендуется использовать камеры с функциями автофокуса, которые могут адаптироваться к изменениям в положении лица, а также камеры, способные работать при различных уровнях освещенности.

### 2.2.3. Механизм управления дверью

Для автоматического открытия дверцы шкафчика используется приводной механизм, управляемый через платформу OrangePI. Наиболее часто в таких системах применяются электромагнитные замки или серводвигатели, которые подключаются к GPIO-портам. Электромагнитный замок с блокировкой может быть активирован программным обеспечением системы, что позволяет открыть шкафчик только при успешной верификации лица. Для точного управления замком используется система команд, которая учитывает данные о успешной или неуспешной идентификации пользователя.

### 2.2.4. Источник питания

Для бесперебойной работы всей системы необходимо обеспечение стабильного источника питания. В качестве источников питания могут использоваться адаптеры переменного тока с выходным напряжением 5 В (для OrangePI) и соответствующие источники для подключения камеры и других устройств. Важно предусмотреть наличие резервного питания или системы с батарейным питанием для обеспечения работы в случае отключения основного источника.

## **2.3. Программные компоненты**

Программное обеспечение, используемое для распознавания лиц, включает два основных блока: обработку изображений и алгоритмы распознавания лиц, а также интерфейс для взаимодействия с аппаратной частью системы.

### 2.3.1. OpenCV для обработки изображений

В качестве основного инструмента для обработки изображений используется библиотека OpenCV, которая предоставляет набор готовых функций для захвата изображений с камеры, обработки и анализа этих изображений, а также для распознавания лиц. OpenCV включает следующие ключевые возможности для проекта:

Детекция лиц: с помощью алгоритмов, таких как Haar-cascade классификаторы или LBPH, можно обнаружить лицо в кадре и провести его идентификацию. Эти алгоритмы эффективно работают даже при наличии шума, освещении или изменении угла наклона головы.

Программирование алгоритмов распознавания: OpenCV предоставляет средства для реализации алгоритмов, таких как SVM (Support Vector Machine) или KNN (K-Nearest Neighbors) для сравнения лиц и принятия решения о верификации.

Предобработка изображений: перед выполнением распознавания лицо должно быть подготовлено с помощью таких операций, как преобразование в оттенки серого, выравнивание освещенности, уменьшение шума. Это позволяет улучшить точность и скорость обработки.

### 2.3.2. Алгоритмы распознавания лиц

Для распознавания лиц на основе извлечённых признаков используется алгоритм LBPH (Local Binary Patterns Histograms). Этот метод является эффективным для работы с изображениями, где могут быть изменения в освещении или наклоне головы. Алгоритм работает, преобразуя изображение лица в локальные бинарные паттерны, что позволяет значительно уменьшить чувствительность к изменениям в фоновом освещении или позе.

Также возможно использование методов глубокого обучения, если для обучения имеются большие базы данных изображений. В случае такого подхода может быть применён TensorFlow или Keras, что позволит повысить точность системы, однако это потребует большего объёма вычислительных ресурсов.

### 2.3.3. Интерфейс управления

Интерфейс управления системой должен быть простым и удобным для использования. Это может быть как веб-интерфейс для администрирования базы данных лиц, так и локальная консоль для настройки системы. Для взаимодействия с пользователем система должна выводить сообщения о статусе распознавания, например, "Доступ разрешён" или "Лицо не распознано", и в зависимости от этого активировать механизмы открытия или блокировки дверцы шкафчика.

## **2.4. База данных лиц**

База данных лиц хранит уникальные изображения пользователей, которые были зарегистрированы в системе. Каждое изображение должно быть заранее обработано и преобразовано в шаблоны признаков, которые затем используются для сравнения при каждом новом обращении. База данных может быть реализована как локальная система хранения на платформе OrangePI или как удалённая база данных, если система требует масштабируемости.

## **2.5. Протоколы безопасности**

В процессе работы системы важно учитывать аспекты безопасности. Данные о лицах пользователей должны быть защищены от несанкционированного доступа. Для этого можно использовать методы шифрования, такие как AES для хранения данных в базе данных, а также обеспечить защищённые каналы связи при передаче данных, если система работает в сети.

Система должна поддерживать надёжную аутентификацию и защиту от подмены данных, что обеспечивается через шифрование изображений и использование защищённых алгоритмов распознавания.

# **Глава 3. Алгоритмы распознавания лиц**

## **3.1 Принципы работы алгоритмов распознавания лиц**

Распознавание лиц в рамках рассматриваемого проекта основывается на использовании компьютерного зрения и обработки изображений для идентификации лица пользователя. Задача распознавания лиц делится на несколько этапов: от захвата изображения и его предобработки до принятия решения о предоставлении или отказе в доступе. Важнейшей частью системы является выбор и использование алгоритма распознавания, который будет обеспечивать максимальную точность, а также работоспособность в реальном времени при ограниченных вычислительных ресурсах.

Алгоритмы распознавания лиц функционируют в несколько этапов:

* *Детекция лица*: на этом этапе система должна выявить лицо на изображении или видеопотоке. Для этого используются различные методы, которые позволяют точно обнаруживать лица, независимо от угла наклона, освещенности или частичной блокировки.
* *Извлечение признаков*: после того как лицо обнаружено, производится извлечение характеристик, которые могут быть использованы для его идентификации. Эти признаки могут включать расстояние между глазами, форму подбородка, контуры лица, текстуры кожи и другие уникальные особенности.
* *Сравнение признаков с базой данных*: на этом этапе система сравнивает извлечённые признаки с заранее зарегистрированными лицами в базе данных, используя различные методы сравнения и классификации.

Принятие решения: на основе полученных результатов сравнений принимается решение о том, предоставить ли доступ пользователю или отказать.

В рамках этого проекта особое внимание уделяется выбору эффективных алгоритмов для выполнения каждой из этих задач. Ниже рассматриваются основные методы, используемые для распознавания лиц.

## **3.2. Алгоритм Haar-cascade**

Один из наиболее известных и широко используемых алгоритмов для распознавания лиц в реальном времени — это алгоритм Haar-cascade, который был разработан Пауло Виолы и Михалом Джонсом в 2001 году. Этот метод основан на использовании каскада простых классификаторов для определения наличия объектов на изображении, в частности, лиц.

### 3.2.1. Принципы работы алгоритма

Алгоритм Haar-cascade использует набор Хаара-признаков, которые представляют собой различие интенсивности пикселей в определённых областях изображения. Эти признаки моделируют определённые текстуры, такие как границы между носом и глазами, которые легко идентифицируются на изображениях лиц. Каскад классификаторов обучается на большом наборе положительных и отрицательных примеров, чтобы эффективно классифицировать части изображения как лицо или не лицо.

Характерной особенностью данного метода является его способность работать в реальном времени, благодаря быстрой вычислительной реализации. Haar-cascade классификаторы могут быть использованы как для распознавания лиц, так и для обнаружения других объектов, таких как глаза или автомобили.

### 3.2.2. Применение в проекте

В рамках системы автоматического контроля доступа Haar-cascade будет использоваться для детекции лиц на видеопотоке, поступающем с камеры. После того как лицо будет обнаружено, система будет переходить к следующему этапу — извлечению признаков лица и сравнению их с базой данных зарегистрированных пользователей.

Этот алгоритм выбран, потому что он достаточно эффективен для использования в реальном времени, с минимальной нагрузкой на вычислительные ресурсы, что критично для работы на платформе OrangePI.

## **3.3. Алгоритм LBPH (Local Binary Patterns Histograms)**

Алгоритм LBPH (Local Binary Patterns Histograms) используется для распознавания лиц и является альтернативой методу Haar-cascade, обеспечивая более высокую точность в условиях плохой освещенности и изменяющихся углов взгляда. Этот метод работает путём преобразования изображения в набор текстурных признаков, которые затем используются для сравнения лиц.

### 3.3.1. Принципы работы алгоритма

LBPH представляет собой комбинацию двух методов:

* Локальные бинарные паттерны (LBP) — это текстурные признаки, которые описывают локальные различия в интенсивности пикселей, сравнивая каждый пиксель с его соседями. Полученная бинарная матрица преобразуется в десятичное число, которое затем используется для дальнейшей обработки.
* Гистограммы — после того как локальные бинарные паттерны были вычислены, они группируются в гистограмму, которая представляется как вектор признаков для каждого лица.

Процесс включает несколько этапов:

* Преобразование изображения в оттенки серого.
* Вычисление LBP для каждого региона изображения.
* Построение гистограммы для каждого лица.
* Сравнение гистограмм для определения сходства.

### 3.3.2. Применение в проекте

Алгоритм LBPH будет использоваться для распознавания лиц после их детекции. После извлечения лиц с помощью Haar-cascade система будет применять LBPH для получения текстурных признаков каждого лица, которые затем будут сравниваться с лицами в базе данных. Этот алгоритм выбран за счёт своей высокой устойчивости к изменениям освещенности и углов наклона головы.

Также LBPH используется для работы в условиях, где изображения могут быть размытыми или шумными, что улучшает общую точность системы в условиях реальной эксплуатации.

## **3.4. Методы глубокого обучения**

Системы распознавания лиц могут быть улучшены с использованием методов глубокого обучения. Одним из самых распространённых подходов является использование сверточных нейронных сетей (CNN), которые позволяют значительно повысить точность распознавания.

### 3.4.1. Принципы работы сверточных нейронных сетей

Сверточные нейронные сети — это класс нейронных сетей, специально разработанных для обработки данных в виде изображений. Они применяют несколько слоёв свертки и подвыборки, что позволяет выявлять более сложные закономерности и особенности изображения, чем традиционные методы, такие как LBPH. В случае с распознаванием лиц, CNN могут быть обучены на большом наборе изображений, чтобы выявлять и классифицировать лица с высокой точностью.

Процесс обучения свёрточной нейронной сети включает следующие этапы:

* Обучение сети на большом объёме данных, используя методы оптимизации для минимизации ошибки распознавания.
* Применение обученной сети для классификации новых изображений лиц.

### 3.4.2. Применение в проекте

Для этого проекта использование CNN в качестве дополнительного метода распознавания лиц может быть полезным в случаях, когда точность распознавания должна быть максимальной. Однако стоит учитывать, что использование глубокого обучения требует значительных вычислительных ресурсов, поэтому этот метод может быть менее применим для платформ с ограниченными возможностями, таких как OrangePI. Тем не менее, методы глубокого обучения могут быть полезны для улучшения точности системы, если она будет расширяться и запускаться на более мощных вычислительных устройствах.

## **3.5. Оценка точности алгоритмов**

Для оценки точности распознавания лиц применяются различные метрики, такие как достоверность, чувствительность и специфичность. Также важно учитывать скорость распознавания, особенно в реальных условиях, когда система должна работать в реальном времени.

* Достоверность измеряет процент правильных идентификаций среди всех попыток.
* Чувствительность отражает способность системы обнаруживать лица среди всех лиц, которые должны быть распознаны.
* Специфичность показывает способность системы избегать ложных срабатываний, то есть, когда лицо не должно быть распознано, но система ошибочно его идентифицирует.

**Глава 4. Подбор компонентов**

При создании манипулятора мы будем ориентироваться на модель манипулятор с осями (декартовая система). Для этого понадобится: плата, микроконтроллеры, шаговые электродвигатели, концевые двигатели, сервопривод и источник питания.

## **4.1 Платы Raspberry Pi и RAMPS 1.4**

RAMPS это аббревиатура от RepRap Arduino Mega Pololu Shield. Он имеет открытый исходный код и разработан как плата для 3D-принтера или CNC, контроллер Ардуино Mega 2560 управляет платой RAMPS и в целом работой 3D принтера. На эту кросс плату устанавливаютсядрайвера шаговых двигателей и подключается вся периферия: датчики, дисплей, SD card, экструдер, нагревательный стол, вентиляторы и шаговые двигатели. RAMPS используется на широко известных нам принтерах: Prusa, Prusa2, Huxley, Mendel и другие. Благодаря своей многозадачности мы воспользуемся **RAMPS 1.4** для расширения arduino mega. (рис 5)

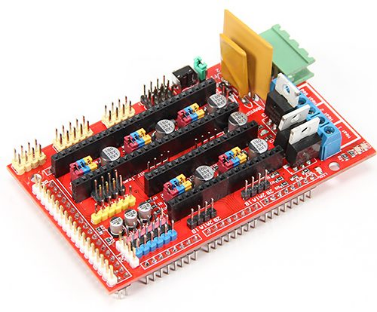


Рис. 5

## **4.2 Шаговый электродвигатель и сервопривод**

Шаговый электродвигатель —синхронный бесщёточный электродвигатель с несколькими обмотками, в котором ток, подаваемый в одну из обмотокстатора, вызывает фиксацию ротора. Последовательная активация обмоток двигателя вызывает дискретные угловые перемещения (шаги)ротора.(рис 6) Nema 17HS4402



Рис. 6

**Сервоприивод**, или **следящий привод** — механический привод с автоматической коррекцией состояния через внутреннююотрицательную обратную связь, в соответствии с параметрами, заданными извне. Медленный и точный для работы с венами. (рис 7)



Рис.7

Так как в работе манипулятора требуется особая точность, связанная с риском повреждения вены человека, мы воспользуемся именно этими двигателями.

## **4.3 Концевые датчики**

Механический EndStop датчик (концевик) используются для определения начала координат (0,0,0) по всем трем осям 3D принтера. Его принцип состоит в том, что при его соприкосновении с кареткой 3D принтера на порт микроконтроллера поступает сигнал, который определяет крайнее положение и останавливает шаговый двигатель, откатывая его на несколько миллиметров назад. Необходимы для ориентирования в пространстве машины и решения задачи обратной кинематики. (Рис. 8)

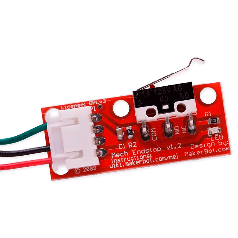


Рис. 8

## **4.4 Характеристики машины**

RAMPS 1.4 это шилд (надстройка) для Arduino Mega 2560. Ардуино преобразует G-коды в сигналы и управляет 3D принтером посредством силовой части - RAMPS 1.4.

Плата RAMPS 1.4 одевается поверх Arduino и все подключения, кроме USB, осуществляются через неё. Питание 12В на Arduino подаётся через RAMPS 1.4.

**Питание на RAMPS 1.4** подаётся от блока питания минимум **12В 15А**. Для использования одной пары проводов от блока питания можно припаять перемычку на плюсы, минусы уже соединены

**Шаговый двигатель** работает через **драйвер**. Ещё их называют StepStick. Для **RAMPS 1.4** выпускают два вида драйверов **A4988** и **DVR8825**. Они отличаются **током**, выдаваемым на шаговый двигатель и минимальным **микрошагом**. Обязательно использовать радиатор. Обдув желателен. **Ток на драйвере** подстраивается опытным путём. Оптимальным считается, когда шаговые двигатели уже не гудят и ещё не пропускают шаги.

**Концевые выключатели** (концевики, endstop, limit switch).

Наиболее часто используются **оптические** и **механические** концевые выключатели. Узнать состояние концевиков можно командой **M119**. Обычно ставят 3 концевика в положении **HOME** и **софтовое ограничение** перемещений в **прошивке**. Остальные концевики рассчитаны на сбой, но шаговики слабые и повреждений не наносят, просто пропускают шаги при достижении препятствия.

## **Глава 5. Моделирование**

### 5.1. Корпус

Внешние панели корпуса будут выполнены из оргстекла либо поликарбоната. Материал был выбран из-за малого веса, высокой прочности и относительной дешевизны материала, вырезаны панели будут лазером на чпу, что обеспечит аккуратный внешний вид. Также из оргстекла (Рис.9) будут выполнены крепление для шприца

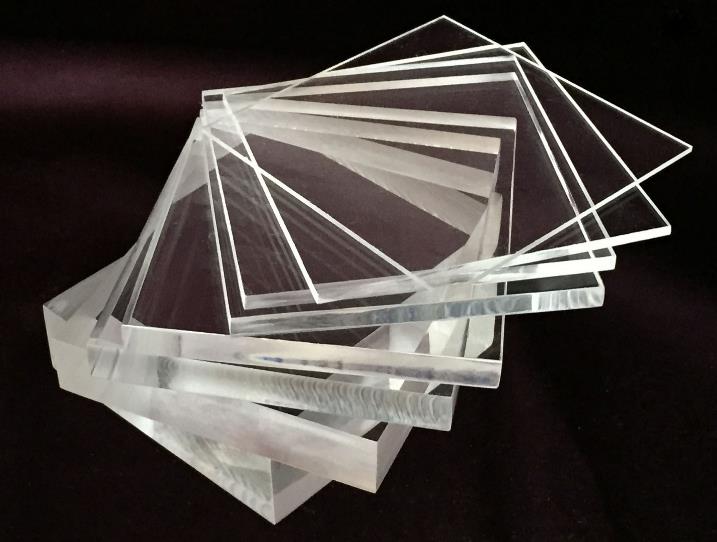


Рис.9

### 5.2. ШВП

Для перемещения каретки с основным оборудованием будет использована шарико-винтовая передача (Рис. 10), приводить конструкцию в движение будем шаговым двигателем. в отличие от более традиционной ременной передачи, таким образом мы получим большую точность позиционирования и более высокий кпд, за счет использования подшипников. Каретка будет перемещаться по валам (Рис. 11), что вкупе с использованием линейных подшипников позволит минимизировать силу трения и добиться максимального кпд.

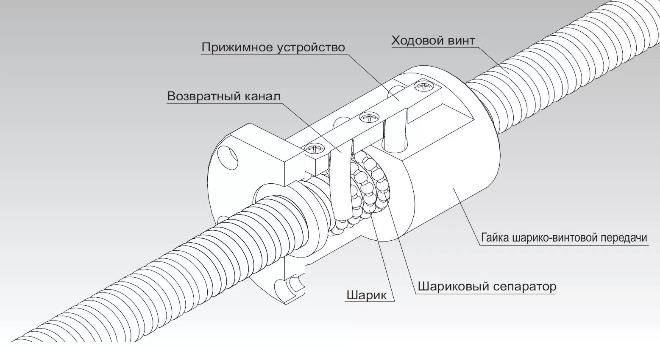


Рис. 10

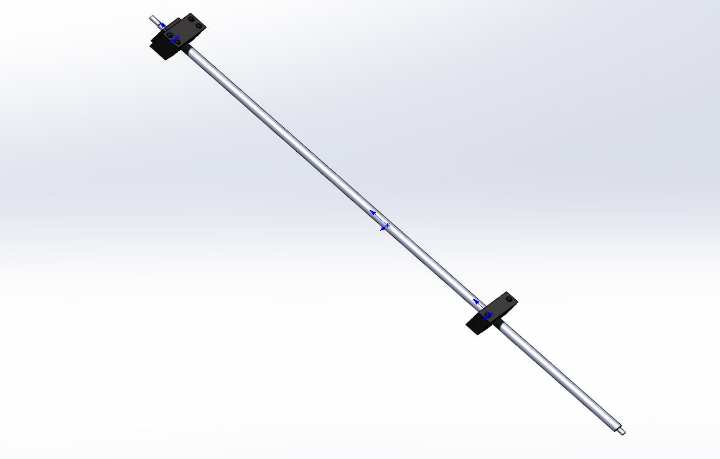


Рис.11

### 5.3. ЗАБОР

Забор крови пациента будет осуществляться посредством стерильных одноразовых шприцов, что обеспечит дешевизну, доступность и безопасность устройства

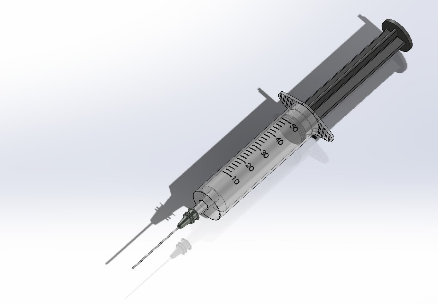


Рис.12

Для обеспечения точного и безопасного проведения процедуры нужно очень точное позиционирование, для чего придется использовать систему с 6 степенями свободы. 3 оси будут отвечать за позиционирование сборки с иглой относительно руки и 3 за доворот иглы для максимальной точности траектории введения иглы

## **5.4. 3д модель прототипа**

3D модели всех деталей были сделаны в программе КОМПАСС-3D 2022.

Первая версия механизма автоматического забора крови (Рис. 13) имела одно узкое основание. Стояла задача сделать устройство, занимающее меньшее количество места.

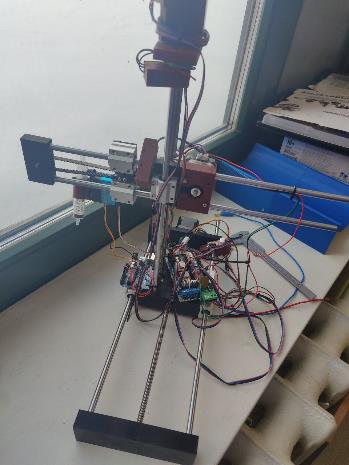


Рис. 13

Однако из-за подобного типа конструкции при движении выходного звена по оси у, появлялись нежелательные вибрации, поэтому было принято решение взять тип конструкции "портальный" (Рис. 14). Так же рассматривается другой тип линейного перемещения шприца. Предполагается использовать 2 солиноида, стоящих в сопротивлении друг к другу. И на соединении закрепить поршень шприца. Используя разную подачу напряжения на солиноидах, можно осуществить необходимое линейное перемещение таким образом, что при наличии датчиков тока, будет проводиться отслеживание прокола плоти и вены. Так как при проникновении шприца в вену сопротивление иглы на долю секунды ослабнет, и датчики тока на солинойдах, резко поменяют свои показания.

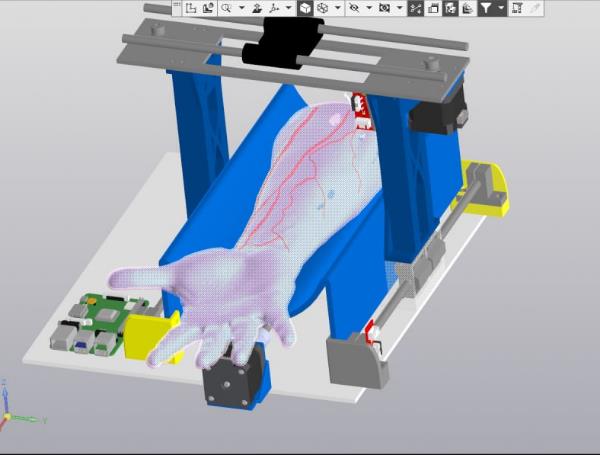


Рис. 14

# **Глава 6. Решение Задачи обратной кинематики**

## **6.1 Задача обратной кинематики**

**Обратная задача** — это вычисление углов (A1, A2… An) по заданному положению (X, Y, Z) рабочего органа и известной схеме его кинематики.

Рассмотрим пример обратной задачи кинематики. Нужно найти такие углы Q1 и Q2, которые позволят манипулятору с плечом L1 и локтем L2 поместить рабочий орган в заданную точку (x, y). (рис. 15)

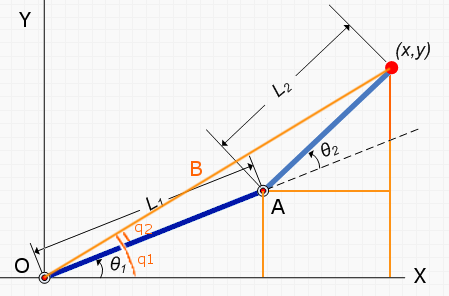


рис. 15

Проведем прямую B, соединяющую начало координат O с заданной точкой (x, y).

B^2 = x^2 + y^2

x = B\*cos(q1)

y = B\*sin(q1)

q1 — угол между осью OX и прямой B

q2 — угол между прямой B и плечом L1

отсюда:

Q1 = q1 - q2

q1 = arccos( x/B ) или q1 = arctg( y/x ), а q2 находим при помощи **теоремы косинусов**, которая говорит:

Для плоского треугольника со сторонами a,b,c и углом alpha, противолежащим стороне a, справедливо соотношение:

a^2 = b^2 + c^2 - 2\*b\*c\*cos(alpha) в нашем случае, по теореме косинусов:

L2^2 = B^2 + L1^2 - 2\*B\*L1\*cos(q2) => q2 = arccos( L1^2 - L2^2 + B^2 / 2\*B\*L1 )

Q1 = q1 - q2 = arccos( x/B ) - arccos( L1^2 - L2^2 + B^2 / 2\*B\*L1 ) по той же теореме косинусов найдём угол Q2: как видно по рисунку, угол Q2 равен 180 — угол OAx

В^2 = L1^2 + L2^2 - 2\*L1\*L2\*cos(PI - Q2)

Q2 = PI – arccos\*( L1^2 + L2^2 - B^2 / 2\*L1\*L2 )

Очевидно, что рычаг можно расположить и по-другому (Рис. 16):

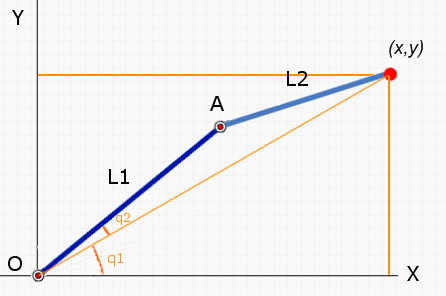


Рис. 16

формулы для Q1 и Q2 не изменятся, но изменятся знаки углов:

Q1 = q1 + q2, а Q2 нужно брать с противоположным знаком.

# **Глава 7. Программирование манипулятора**

Шаговые двигатели, проверка:

#define X\_STEP\_PIN 54

#define X\_DIR\_PIN 55

#define X\_ENABLE\_PIN 38

#define X\_MIN\_PIN 3

#define X\_MAX\_PIN 2

#define Y\_STEP\_PIN 60

#define Y\_DIR\_PIN 61

#define Y\_ENABLE\_PIN 56

#define Y\_MIN\_PIN 14

#define Y\_MAX\_PIN 15

#define Z\_STEP\_PIN 46

#define Z\_DIR\_PIN 48

#define Z\_ENABLE\_PIN 62

#define Z\_MIN\_PIN 18

#define Z\_MAX\_PIN 19

#define E\_STEP\_PIN 26

#define E\_DIR\_PIN 28

#define E\_ENABLE\_PIN 24

#define Q\_STEP\_PIN 36

#define Q\_DIR\_PIN 34

#define Q\_ENABLE\_PIN 30

#define SDPOWER -1

#define SDSS 53

#define LED\_PIN 13

#define FAN\_PIN 9

#define PS\_ON\_PIN 12

#define KILL\_PIN -1

#define HEATER\_0\_PIN 10

#define HEATER\_1\_PIN 8

#define TEMP\_0\_PIN 13 // ANALOG NUMBERING

#define TEMP\_1\_PIN 14 // ANALOG NUMBERING

#define PIN\_TRIG 47 //ультразвук

#define PIN\_ECHO 32

long duration, cm;

#include <Servo.h> //сервопривод

#define SERVO\_PIN 11

Servo myservo;

int pos = 0;

void setup() {

Serial.begin (9600);

pinMode(PIN\_TRIG, OUTPUT);

pinMode(PIN\_ECHO, INPUT);

pinMode(FAN\_PIN , OUTPUT);

pinMode(HEATER\_0\_PIN , OUTPUT);

pinMode(HEATER\_1\_PIN , OUTPUT);

pinMode(LED\_PIN , OUTPUT);

pinMode(X\_STEP\_PIN , OUTPUT);

pinMode(X\_DIR\_PIN , OUTPUT);

pinMode(X\_ENABLE\_PIN , OUTPUT);

pinMode(Y\_STEP\_PIN , OUTPUT);

pinMode(Y\_DIR\_PIN , OUTPUT);

pinMode(Y\_ENABLE\_PIN , OUTPUT);

pinMode(Z\_STEP\_PIN , OUTPUT);

pinMode(Z\_DIR\_PIN , OUTPUT);

pinMode(Z\_ENABLE\_PIN , OUTPUT);

pinMode(E\_STEP\_PIN , OUTPUT);

pinMode(E\_DIR\_PIN , OUTPUT);

pinMode(E\_ENABLE\_PIN , OUTPUT);

pinMode(Q\_STEP\_PIN , OUTPUT);

pinMode(Q\_DIR\_PIN , OUTPUT);

pinMode(Q\_ENABLE\_PIN , OUTPUT);

myservo.attach(11);

digitalWrite(X\_ENABLE\_PIN , LOW);

digitalWrite(Y\_ENABLE\_PIN , LOW);

digitalWrite(Z\_ENABLE\_PIN , LOW);

digitalWrite(E\_ENABLE\_PIN , LOW);

digitalWrite(Q\_ENABLE\_PIN , LOW);

}

void loop () {

if (millis() %1000 <500)

digitalWrite(LED\_PIN, HIGH);

else

digitalWrite(LED\_PIN, LOW);

if (millis() %1000 <300) {

digitalWrite(HEATER\_0\_PIN, HIGH);

digitalWrite(HEATER\_1\_PIN, LOW);

digitalWrite(FAN\_PIN, LOW);

} else if (millis() %1000 <600) {

digitalWrite(HEATER\_0\_PIN, LOW);

digitalWrite(HEATER\_1\_PIN, HIGH);

digitalWrite(FAN\_PIN, LOW);

} else {

digitalWrite(HEATER\_0\_PIN, LOW);

digitalWrite(HEATER\_1\_PIN, LOW);

digitalWrite(FAN\_PIN, HIGH);

}

if (millis() %10000 <5000) {

digitalWrite(X\_DIR\_PIN , HIGH);

digitalWrite(Y\_DIR\_PIN , HIGH);

digitalWrite(Z\_DIR\_PIN , HIGH);

digitalWrite(E\_DIR\_PIN , HIGH);

digitalWrite(Q\_DIR\_PIN , HIGH);

}

else {

digitalWrite(X\_DIR\_PIN , LOW);

digitalWrite(Y\_DIR\_PIN , LOW);

digitalWrite(Z\_DIR\_PIN , LOW);

digitalWrite(E\_DIR\_PIN , LOW);

digitalWrite(Q\_DIR\_PIN , LOW);

}

digitalWrite(X\_STEP\_PIN , HIGH);

digitalWrite(Y\_STEP\_PIN , HIGH);

digitalWrite(Z\_STEP\_PIN , HIGH);

digitalWrite(E\_STEP\_PIN , HIGH);

digitalWrite(Q\_STEP\_PIN , HIGH);

delay(1);

digitalWrite(X\_STEP\_PIN , LOW);

digitalWrite(Y\_STEP\_PIN , LOW);

digitalWrite(Z\_STEP\_PIN , LOW);

digitalWrite(E\_STEP\_PIN , LOW);

digitalWrite(Q\_STEP\_PIN , LOW);

if (cm < 6) {

digitalWrite(X\_ENABLE\_PIN , HIGH);

digitalWrite(Y\_ENABLE\_PIN , HIGH);

digitalWrite(Z\_ENABLE\_PIN , HIGH);

digitalWrite(E\_ENABLE\_PIN , HIGH);

digitalWrite(Q\_ENABLE\_PIN , HIGH);

digitalWrite(SERVO\_PIN , LOW);}}

# 

# **Глава 8. Программирование системы технического зрения.**

Способы визуализации вен

Инфракрасный способ. Система с инфракрасным излучением для визуализации вен работает на принципе распространения света, т. е. поглощения, отражения и рассеяния света в тканях. Этот метод широко применяется в области биомедицинской визуализации и имеет ряд преимуществ по сравнению с другими лучевыми методами, используемыми для медицинской спектроскопии. Излучение не является ионизирующим, поэтому система может применяться несколько раз на пациенте без каких-либо вредных воздействий.

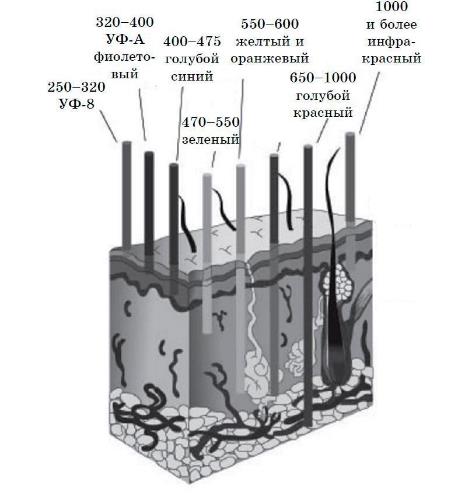


Рис.17

Действие прибора, состоящего из излучателя ИК-диапазона, основано на том, что падающее излучение взаимодействует с клеточными структурами: поглощается или отражается и рассеивается(рис.17). Поглощение существенно зависит от концентрации основных элементов в ткани: воды (H2O), меланина, оксигемоглобина (HbO2) и дезоксигемоглобина (Hb). Интенсивность остаточного излучения, отраженного от участков тканей с повышенным содержанием дезоксигемоглобина (восстановленный гемоглобин, доставляет кислород к клеткам организма по вене) за счет его большего поглощения, существенно ниже интенсивности остаточного излучения, отраженного окружающими вену мягкими тканями, поглощающими зондирующее излучение в меньшей степени. Поэтому на изображении участки с венозным сосудом затемнены (рис.18).

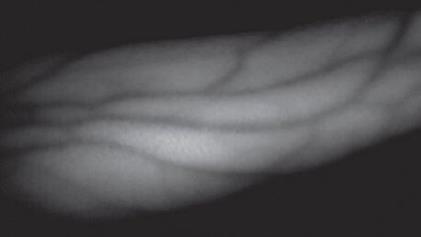


Рис. 18

## Визуализация в ближнем инфракрасном диапазоне

Спектр NIR (ближний инфракрасный) относительно устойчив к поглощению меланина и рассеянию тканей и, таким образом, может проникать до 4 мм через кожу. Установка использует преимущества повышенного проникновения для улучшения контраста подкожных вен относительно фоновой ткани. 12 массивов светодиодов обеспечивают освещение, а две камера обнаруживают отраженный свет и снимают изображения в режиме реального времени. Применяется ряд стандартных оптических методов: во-первых, полосовой фильтр 940 нм расположен перед каждой камерой для устранения рассеянного света; во-вторых, голографические диффузионные фильтры размещены поверх светодиодов для увеличения оптической изотропии и для моделирования обратного рассеяния предплечья как явления Ламберта; и в-третьих, поляризаторы NIR расположены ортогонально над камерой и светодиодами для уменьшения зеркального отражения от поверхностных слоев кожи (рис.19).

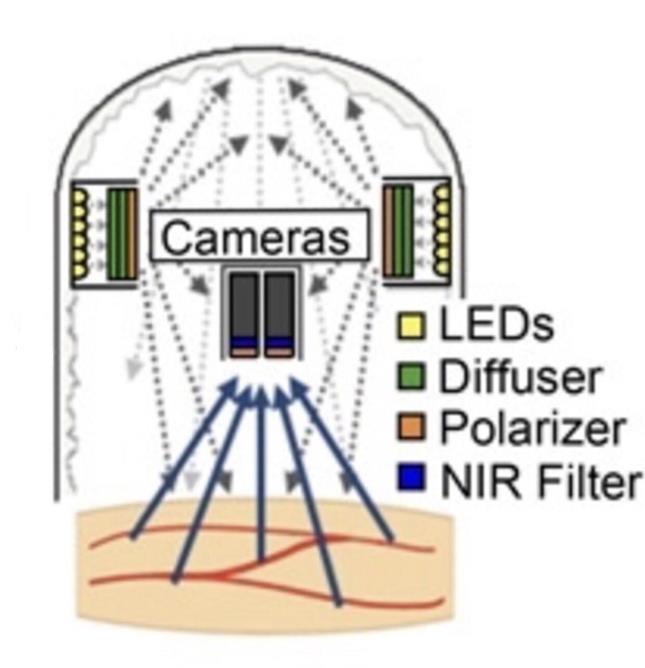


Рис. 19

## Анализ изображения

Методология

Метод сегментации включает в себя получение изображения, предварительную обработку для повышения качества изображения и удаления шума, для дальнейшего сегментирования и подсчета количества различных клеток крови, присутствующих на изображении.

Эти шаги представлены на рис. 20

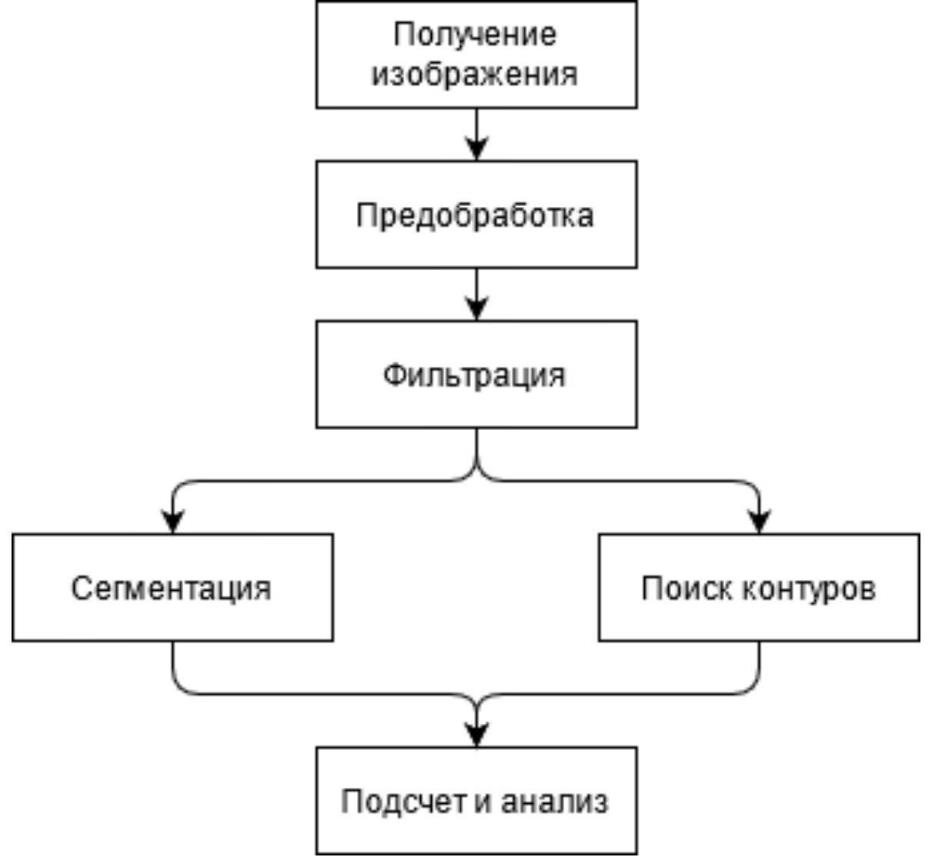


Рис. 20. Эвристическое представление предлагаемой работы

## **Предобработка**

Цель предобработки заключается в улучшении качества изображения которое будет обрабатываться. ​Один из наиболее важных этапов предобработки заключается в фильтрации шума и повышения контрастности вен. Шум присутствующий на входном изображении появляется еще с момента захвата изображения.

## **Сегментация изображения**

На языке Python с использованием библиотеки OpenCV была написана программа для обработки изображения. Результаты обработки изображения фильтрами можно наблюдать на рис. 21.

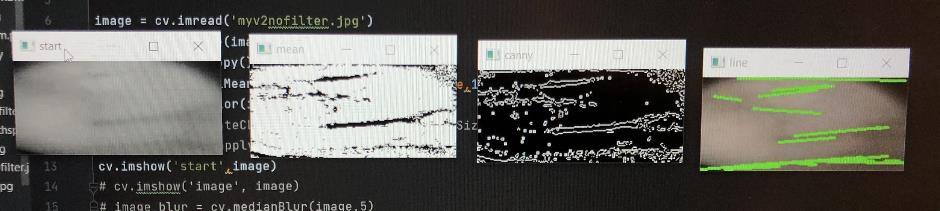




Рис.21

# **Заключение**

Была разработана модель манипулятора с шприцом, а также проведены успешные тесты.

Перспективы развития: разработка аппарата для исследования крови, дезинфекция с помощью ультрафиолетового освещения и оснащение его датчиками давления и температуры для безопасности.

# **Список литературы:**

1. Иванов И.И., Петров П.П. Роботизированные системы в медицине: принципы и применение. – Москва: Медицинское издательство, 2020.
2. Сидоров С.С. Инновации в техническом зрении: от теории к практике. – Санкт-Петербург: Технологии будущего, 2019.
3. Алексеев А.А. Современные методы анализа биоматериалов. – Новосибирск: Наука и жизнь, 2021.