

Университет Правительства Москвы  
VIII Конкурс исследовательских и проектных работ обучающихся  
образовательных  
организаций города Москвы и Московской области  
«Мегаполис XXI века – город для жизни» в 2023/2024 учебном году  
Конкурсная работа  
На тему: «Тактильная VR-перчатка»

Выполнена:

учащимся 10 А класса

ГБОУ Школы №2045 им. Героя Российской Федерации

Д. А. Разумовского

Кутузовой Елизаветой Романовной

Подпись Елизавета

Лебедевым Даниилом Максимовичем

Подпись Даниил

Научные руководители работы:

Кузнецова Людмила Валерьевна,

Ермаков Сергей Викторович

Руководитель учебного корпуса 2011 ГБОУ Школы №2045 им. Героя  
Российской Федерации Д. А. Разумовского,

Рыкова Татьяна Михайловна

Подпись Татьяна



Москва

2023-2024

ДЕПАРТАМЕНТ ОБРАЗОВАНИЯ ГОРОДА МОСКВЫ

Государственное бюджетное общеобразовательное учреждение города Москвы  
«Школа № 2045 имени Героя Российской Федерации Д. А. Разумовского»

Зеленоград, корпус 2031, Москва, 124365  
Телефон (499) 210-0771 E-mail: [2045@edu.mos.ru](mailto:2045@edu.mos.ru) <http://www.sch2045zg.mskobr.ru>  
ОКПО 14172644, ОГРН 1127747118025, ИНН/КПП 7735589106/773501001

---

**Отзыв**  
на проектную работу  
по теме «**Тактильная VR-перчатка**»  
учащихся 10 А класса ГБОУ Школы №2045 им. Героя Российской  
Федерации Д. А. Разумовского  
Кутузовой Елизаветы Романовны,  
Лебедева Даниила Максимовича.

Представленный проект выполнялся на базах нескольких образовательных организаций – ГБОУ Школа №2045 им. Героя Российской Федерации Д. А. Разумовского и детского технопарка «Смарт – парк» на базе НИУ МИЭТ. Тематика проекта актуальная и представляет интерес, работа выполнена на достаточном уровне, который предъявляется к работам подобного рода. Формулировки цели и задач работы точные и достаточные, задачи, поставленные в работе, выполнены в полном объеме, выбранные методы исследования и использованное оборудование целесообразны и уместны для решения поставленных задач. Тема работы раскрыта в полном объеме, также авторами планируется дальнейшие исследования, которые указаны в проекте. Представленная работа несет практическую значимость для дальнейшего внедрения полученных результатов в соответствующих областях экономики. Тема и содержание работы соответствуют указанному уровню общего образования.

Представленная работа состоит из введения, где рассмотрено современное состояние рассматриваемой тематики работы и проблематика, которую планируется авторами решить. Описана актуальность представленной работы, указаны аналоги программного обеспечения, определена цель и поставлены задачи, которые планируется решить. Приведены гипотеза, методы и инструменты, указано место и сроки выполнения работы, представлена комплектация и принцип работы проекта. Также в работе указаны достоинства и недостатки, приведено руководство по его эксплуатации. Оформление текстовой и графической частей работы выполнены в соответствии с требованиями. В заключении работы представлены результаты и обсуждения, направление дальнейших исследований, выводы и список используемой литературы, объем и содержание которого достаточны для информационного и справочного сопровождения проекта.

В целом, на основе вышеизложенного, представленная работа на достаточно высоком уровне и соответствует требованиям, которые предъявляются к подобного рода работам, а также заслуживает высокой оценки на конкурсе исследовательских и проектных работ, обучающихся образовательных организаций города Москвы и Московской области.

Руководитель проекта,  
учитель физики высшей категории  
куратор проектного офиса  
«Инженерный класс в Московской школе»



Кузнецова Л. В.

## **Оглавление**

1 Введение.....	3
1.1 Актуальность.....	3
1.2 Цель.....	4
1.3 Гипотеза.....	4
2 Основная часть .....	5
2.1 Анализ существующих решений и методов.....	5
2.2 Задачи.....	6
2.3 Планирование проекта.....	7
2.4 Методы и инструменты.....	8
2.5 Используемые ресурсы.....	9
2.6 Принцип работы .....	11
2.7 Описание принципа работы.....	14
2.8 История достижения результата.....	15
2.9 Создание и сборка компонентов устройства.....	16
2.10 Отличительные характеристики.....	20
2.11 Области применения.....	20
2.12 Достоинства и недостатки.....	20
2.13 Руководство по эксплуатации.....	21
2.14 Список обозначений и сокращений.....	21
2.15 Ссылка на доступ к видеоматериалам .....	22
3. Заключение.....	22
3.1 Результаты и обсуждение.....	22
3.2 Направления дальнейших исследований.....	23
3.3 Выводы.....	23
3.4 Список используемой литературы.....	24

## **1 Введение.**

Чаще всего VR (Virtual Reality) технологии ассоциируются у людей с играми и очками виртуальной реальности. Однако их применение не ограничивается игровой сферой. С развитием VR технологий увеличивается и количество сфер, в которых они могут использоваться. Однако многое до сих пор остается недоработанным, что мешает более масштабному внедрению виртуальной реальности в нашу жизнь.

### **1.1 Актуальность.**

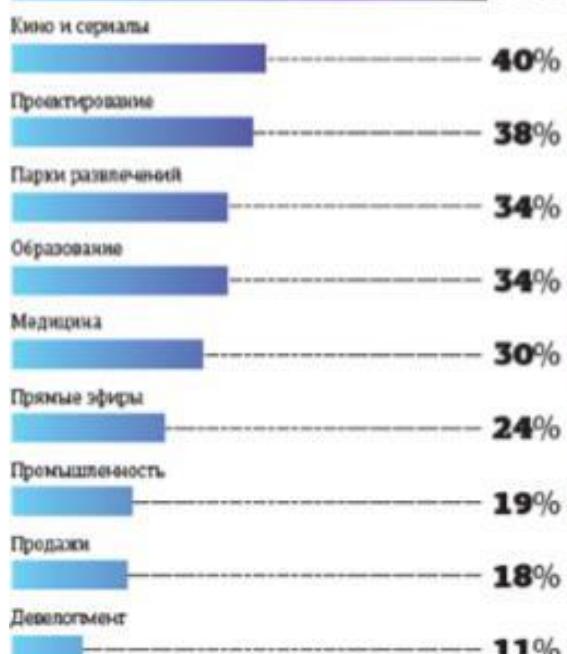
Тактильные VR перчатки представляют собой важный элемент в развитии виртуальной реальности, который способен изменить и улучшить способы обоюдного взаимодействия с цифровым миром и создать новые возможности для различных областей применения технологии. Как показано в открытом опросе от 15 мая 2023 года «В каких отраслях может использоваться VR или AR по мнению Россиян» (Опрос.1) сфер применения VR-технологий много. В основном это развлечения, но также и проектирование, образование, медицина, промышленность и другие. Тем самым целевая аудитория пользователей, это проектировщики, медики, учащиеся. И все те, кто знакомы с VR-технологиями.

Опрос 1. «В каких отраслях может использоваться VR или AR по мнению Россиян»

**В каких отраслях может использоваться VR, по мнению россиян**  
(открытый опрос, любое число ответов)

Источник: GEEKBRAINS

Видеогames



**В каких отраслях может использоваться AR, по мнению россиян**  
(открытый опрос, любое число ответов)

Источник: GEEKBRAINS

Навигация



## 1.2 Цель.

Целью представленного проекта является создание VR-перчатки, предназначенной для передачи приближенных к реальности тактильных ощущений из VR среды. Планируется создание готового для эксплуатации устройства с сервоприводами для блокирования движений пальцев и вибромоторами для тактильной отдачи. С использованием технологии отслеживания пальцев потенциометрами.

## 1.3 Гипотеза.

Разрабатываемое устройство позволит осуществлять обоюдное взаимодействие с VR за счет вибраций и блокирования движений с помощью ретракторов.

## **2 Основная часть**

### **2.1 Анализ существующих решений и методов.**

Аналогами разрабатываемого устройства являются обычные VR-контроллеры и дорогостоящие тактильные перчатки «Forte Data Gloves». Обычные VR-контроллеры представляют из себя отслеживаемые в виртуальном пространстве пульты, с простой виброотдачей на всю ладонь целиком, что не дает ощущения полного погружения. Перчатки «Forte Data Gloves» используют высокоточный трекинг пальцев и виброотдачу. Такое сочетание позволяет пользователю чувствовать, что виртуальное пространство осязаемо и его можно ощутить физически. Это создает большую реалистичность погружения в виртуальную реальность. Несмотря на это, их недостатками являются высокая цена, равная 325.000₽ и отсутствие блокирования пальцев. В таблице 1 представлено сравнение моей VR-перчатки с VR-контроллерами и одними из существующих тактильных перчаток. (таблица 1)

Таблица 1. Сравнение аналогов с разрабатываемым устройством

Параметр/аналоги	Наша VR-перчатка	Контроллеры для VR	Тактильные перчатки Forte Data Gloves
Стоимость	невысокая	средняя	высокая
Трекинг пальцев	+	-	+
Тактильные ощущения при взаимодействии с предметами в VR	+	-	+
Использование совместно с ПК	+	+	+

Применение в неигровых сферах	+	-	-
Фиксирование положения пальцев при захвате предмета в VR	+	-	-
Компактность устройства	-	+	+

Основным преимуществом нашего устройства перед аналогами является относительно невысокая стоимость при улучшенном или сходном функционале.

## 2.2 Задачи.

Для достижения поставленной цели в ходе реализации проекта необходимо решить следующие задачи:

- Определить комплектацию разрабатываемого устройства.
- Изучить устройство и принцип работы компонентов разрабатываемой среды, применить их в устройстве.
- Изучить систему трехмерного моделирования Компас-3D.
- Создать трехмерные модели компонентов разрабатываемого устройства.
- Изучить программу-слайсер 3D принтера - Ultimaker Cura.
- Изучить метод послойного наплавления термопластика.
- Изготовить твердотельные компоненты устройства с помощью послойного наплавления термопластика.
- Изучить среду автоматизации проектирования электроники EasyEda.
- Создать принципиальную схему и макетную плату в EasyEda.
- Изучить среду разработки Arduino IDE.
- Изучить устройство модуля ESP32 wroom-32 DevKit v1 и его программирование с помощью Arduino IDE.

- Разработать ПО для работы устройства.
- Собрать компоненты в готовое устройство.
- Описать конструкцию, принцип работы.
- Определить основные достоинства и недостатки разработанного устройства, а также направления его дальнейшего совершенствования.

### **2.3 Планирование проекта.**

Диаграмма 1. Диаграмма Ганта

задачи\даты	01.10.2023- 31.10.2023	01.11.2023- 30.11.2023	01.12.2023- 31.12.2023	01.01.2024- 15.02.2024
Определить комплектацию разрабатываемого устройства				
Изготовить твердотельные компоненты устройства				
Создать принципиальную схему и макетную плату в EasyEda				
Разработать ПО для работы устройства				

Собрать компоненты в готовое устройство				
Протестирувать устройство и окончательно настроить				
Чтение литературы				

## Основные работы в ходе выполнения рассматриваемого проекта

выполнялись в период с октября 2023 г. по февраль 2024 г. Работы проводились на территории и с помощью оборудования ГБОУ Школы № 2045, а также частично на территории Национального исследовательского университета «МИЭТ».

## **2.4 Методы и инструменты.**

В процессе выполнения проекта использовались:

ΠΟ:

- Компас-3D - это система автоматизированного проектирования, позволяющая создавать 3D модели объектов. Используется для создания 3D моделей деталей;
  - EasyEda - кроссплатформенная веб-ориентированная среда автоматизации проектирования электроники включающая в себя редактор принципиальных схем, редактор топологии печатных плат, средства изготовления печатных плат. Используется для редактирования принципиальной и монтажной схем;
  - Arduino IDE - интегрированная среда разработки, предназначенная для создания и загрузки программ на Arduino-совместимые платы, а

также на платы других производителей. Используется для разработки ПО перчатки;

- Ultimaker Cura - слайсер 3D моделей, предназначен для 3D-печати;
- OpenVR Gloves - драйвер OpenVR с открытым исходным кодом, который позволяет использовать самодельное оборудование в виртуальной реальности в приложениях SteamVR;
- Windows - операционная система, на которой велась разработка ПО;
- Microsoft Word - текстовый процессор, предназначенный для создания, просмотра, редактирования и форматирования текстов статей, деловых бумаг, а также иных документов.

Методы:

- Принципы работы компонентов разрабатываемой системы.
- Принципы и инструменты для сборки электронных компонентов.

## **2.5 Используемые ресурсы.**

В комплектацию разрабатываемого устройства входят имеющиеся, купленные и изготовленные компоненты.

Имеющиеся:

- Комплект для виртуальной реальности (шлем и контроллеры).

Изготовленные:

- Возвратные механизмы (5шт) из материала PLA. Состоят из катушки с пружиной и ниткой; крепления катушек.
- Крепление на руку из материала FLEX (1шт).
- Крепление контроллера VR-гарнитуры из материала PLA (1шт).
- Напальчики из материала PLA (5шт).
- Шилд для платы и микроконтроллера (1шт).
- Расход пластика PLA на все детали составляет приблизительно 170 метров, стоимостью 964 рубля. При расчете стоимости 335 метров за 1900 рублей. И расход пластика FLEX, 30 метров за 529 рублей.

При расчете стоимости 170 метров за 3000 рублей. 100 метров пластика PLA ушло на катушки при расчете 20 метров на одну штуку. 30 метров пластика FLEX на одно крепление. 20 метров пластика PLA на одно крепление контроллера. И 50 метров пластика PLA на 5 штук напальчников при расчете 10 метров на штуку. Итого: 1493 рубля.

Купленные компоненты и их измеримые характеристики представлены ниже (таблица 2).

Таблица 2. Комплектация устройства и стоимость компонентов

<b>Компонент, характеристики</b>	<b>Количество, шт.</b>	<b>Стоимость, руб.</b>
Сервопривод SG90, 3.3В-6В	5	1180
Потенциометр WL, 10кОм	5	500
Вибромотор 1027, 3В	5	590
Плата ESP32 wroom-32 DevKit v1	1	650
Микроконтроллер ULN2003AP	1	20
Внешний аккумулятор, 10000mAh; 2.1A; 5В	1	500
Макетная плата	1	200
Лист ЭВА	1	480
Перчатка	1	450
Эластичный ремень	2	270
Ретрактор	5	700
<b>Итого:</b>	28	5540

Итоговая стоимость устройства Haptic VR-Glove составляет 7033 рубля.

Купленные компоненты плюс стоимость затраченного пластика.

Использование компонентов:

- Из ретракторов достаются пружины и нитки для сборки катушек, и в последствии механизмов.
- Сервоприводы предназначены для блокирования движений пальцев.
- Потенциометры предназначены для считывания положения пальцев, и в последствии отправление их данных из Arduino IDE в OpenVR Glove.
- Вибромоторы предоставляют тактильный отклик на подушку каждого пальца (встраиваются в распечатанные напальчники).
- Плата ESP32 wroom-32 DevKit v1 (Рис.1) - основа работы всех механизмов. Отвечает за обработку и передачу данных, за выполнение действий.
- Макетная плата предназначена для соединения всех компонентов электрической цепи.
- микроконтроллер ULN2003AP используется совместно с вибромоторами.
- Внешний аккумулятор - питание всего механизма.
- Лист ЭВА служит относительно твердой поверхностью для крепления всех механизмов.

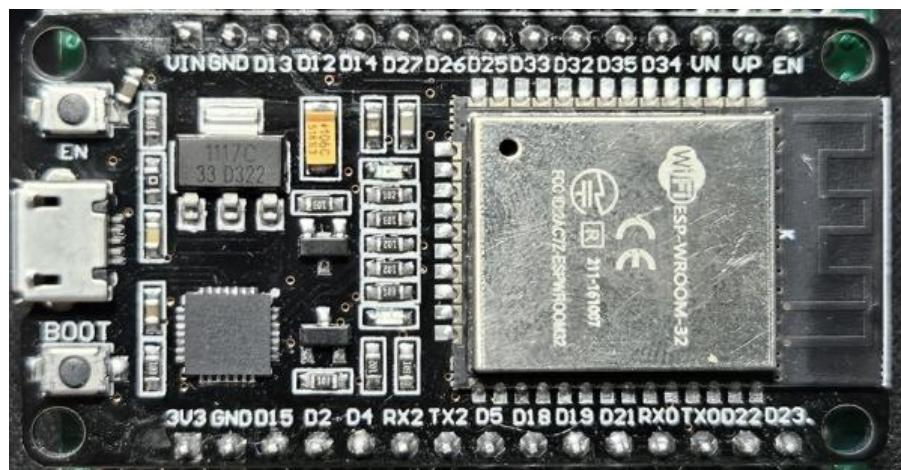


Рис.1 Плата ESP32 wroom-32 DevKit v1

## 2.6 Принцип работы

Основные компоненты разрабатываемого устройства работают следующим образом:

**Блок управления.** Отвечает за управление механизмом и передачу данных в программу. К модулю подключаются провода, соединенные с сервоприводами, вибромоторами и потенциометрами, что позволяет создавать ощущение прикосновений к объекту из VR. Для создания VR-Перчатки была использована плата ESP-WROOM-32 DevKit v1 (Рис.1).

**Внешний аккумулятор емкостью 10000mAh.** Предназначен для питания системы электрическим током и имеет напряжение 5В и ток 2А.

**Механизм.** Состоит из трех элементов: катушка, потенциометр, сервопривод. Также используются вибромоторы. Вместе они представляют собой единые элементы, блокирующие каждый палец отдельно и дающие виброотдачу на кончики пальцев.

**Крепление руки.** Предназначено для соединения (крепления) всех механизмов и джойстика VR гарнитуры. Сделано из листа материала EVA и распечатанного на 3d принтере материалом FLEX крепежного элемента.

### **Программный код.**

Программный код написанный в Arduino IDE, предназначенный для считывания положения потенциометров, управления сервоприводами и соединения их с открытым ПО OpenGloves (Рис.2); программный код, предназначенный для включения вибромоторов потенциометрами (Рис.3).

```
1 // Подключение библиотеки
2 #include "AdvancedConfig.h"
3
4 //Конфигурация
5 #define COMMUNICATION COMM_SERIAL
6 //USB
7 #define SERIAL_BAUD_RATE 115200
8 //Bluetooth
9 #define BTSERIAL_DEVICE_NAME "HapticGlove"
10
11 //Включение жестов
12 #define TRIGGER_GESTURE true
13 #define GRAB_GESTURE true
14 #define PINCH_GESTURE true
15
16 //Отключение джойстика
17 #define JOYSTICK_BLANK true
18
19 //Калибровка
20 #define USING_CALIB_PIN true
21
22 //Тактильная отдача
23 #define USING_FORCE_FEEDBACK true
24 #define SERVO_SCALING false
25
26 //Конфигурация пинов
27
28 #if defined (ESP32)
29 #define PIN_PINKY 34
30 #define PIN_RING 35
31 #define PIN_MIDDLE 38
32 #define PIN_INDEX 42
33 #define PIN_THUMB 39
34 #define PIN_CALIN 0
35
36 #define PIN_PINKY_MOTOR 10
37 #define PIN_RING_MOTOR 11
38 #define PIN_MIDDLE_MOTOR 12
39 #define PIN_INDEX_MOTOR 13
40 #define PIN_THUMB_MOTOR 14
41#endif
```

Рисунок 2 Программный код

```

51 const int PIN_PINKY = 34;
52 const int PIN_RING = 35;
53 const int PIN_MIDDLE = 38;
54 const int PIN_INDEX = 42;
55 const int PIN_THUMB = 39;
56
57 const int motorPin1 = 15; // Пин для вибромотора 1
58 const int motorPin2 = 16; // Пин для вибромотора 2
59 const int motorPin3 = 17; // Пин для вибромотора 3
60 const int motorPin4 = 18; // Пин для вибромотора 4
61 const int motorPin5 = 20; // Пин для вибромотора 5
62
63 int potValuePinky, potValueRing, potValueMiddle, potValueIndex, potValueThumb;
64
65 void setup() {
66     pinMode(motorPin1, OUTPUT);
67     pinMode(motorPin2, OUTPUT);
68     pinMode(motorPin3, OUTPUT);
69     pinMode(motorPin4, OUTPUT);
70     pinMode(motorPin5, OUTPUT);
71 }
72
73 void loop() {
74     potValuePinky = analogRead(PIN_PINKY) / 4; // Деление на 4 для преобразования 0-1023 в 0-255
75     potValueRing = analogRead(PIN_RING) / 4;
76     potValueMiddle = analogRead(PIN_MIDDLE) / 4;
77     potValueIndex = analogRead(PIN_INDEX) / 4;
78     potValueThumb = analogRead(PIN_THUMB) / 4;
79
80     analogWrite(motorPin1, potValuePinky);
81     analogWrite(motorPin2, potValueRing);
82     analogWrite(motorPin3, potValueMiddle);
83     analogWrite(motorPin4, potValueIndex);
84     analogWrite(motorPin5, potValueThumb);
85
86     delay(10); // Небольшая задержка между обновлениями
87 }

```

Рисунок 3 Программный код

### Принципиальная и монтажная схемы.

Созданные в программе EasyEda принципиальная (Рис.4) и монтажная (Рис.5) схемы были использованы при пайке платы и других комплектующих.

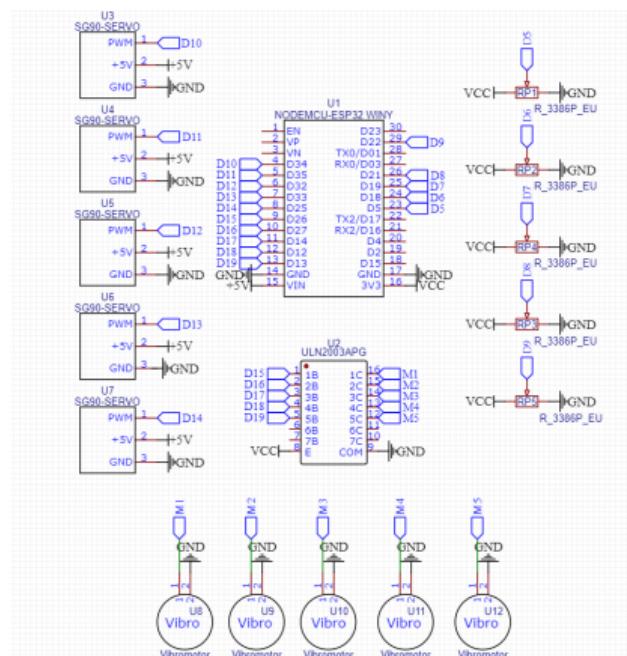


Рис.4 Принципиальная схема

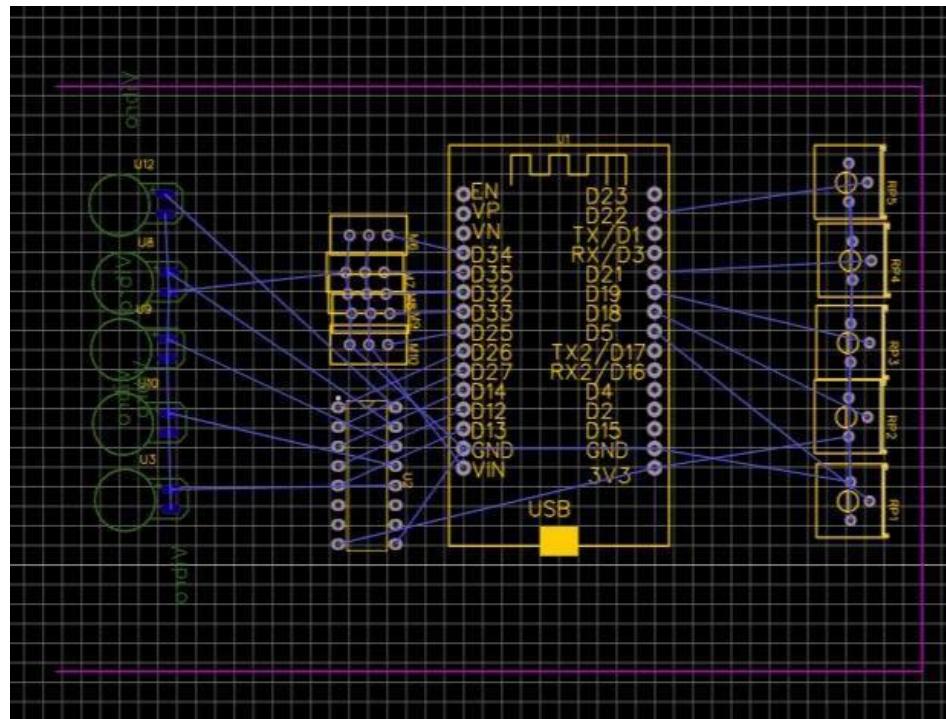


Рис.5 Монтажная схема

## 2.7 Описание принципа работы.

Принцип работы заключается в механизме, состоящем из катушек, потенциометров, сервоприводов, вибромоторов. Катушка представляет из себя крутящийся возвратный (за счет пружины) элемент в корпусе, и нити, которая цепляется за конец пальца. Использование потенциометров применено для отслеживания движения пальцев: возьмем потенциометр указательного пальца, если начать сгибать палец, то значение потенциометра в программе будет расти, значит, мы можем знать на каком этапе сгибаия находится палец. Ровно также и для других пальцев. Это сделано для того, чтобы пользователь мог хватать предмет в виртуальном пространстве. Использование сервоприводов следующее: когда пользователь касается или берет предмет в VR, сервоприводы крутятся и врезаются в винт, вкрученный в крутящуюся катушку. Из-за остановки винта, останавливается катушка, останавливается и нить, которая прикреплена к пальцу, вместе с нитью останавливается палец. Вибромоторы нужны для тактильного обратного отклика, они соединены программой с потенциометрами, и в зависимости от значений с потенциометров, включаются вибромоторы. Все это программируется в

Arduino IDE и используется совместно с открытым ПО OpenVR Gloves.

Таким образом создается единый механизм, позволяющий пользователю осуществлять обоюдное взаимодействие с объектами из виртуальной реальности.

## **2.8 История достижения результата.**

В процессе создания устройства совершились ошибки, учет которых приводил к более лучшим результатам. Был создан первый прототип устройства (Рис.6). Был создан один прототип макета размещения механизмов (Рис.7), в последствии оказавшийся неудачным, но близким в нынешнему. С самого начала идея была одна - катушка с ниткой, которая блокируется, чтобы остановить палец. Были предложены разные варианты способа блокирования катушки и ее конструкции: сначала использование шестерни и мотора в широком и круглом корпусе; следующей идеей было использование разрезанного по полам винта в механизме, и выступающей части, которую надо чем-то блокировать (Рис.8); близким к конечному варианту был прототип с выступающей частью, с использованием сервоприводов для ее блокирования и разрезанный винт; окончательная идея была связана с использованием потенциометра, вместо разрезанного винта, для считывания движений пальцев в программе. Также при анализе аналогов и их методов было решено использовать вибромоторы на подушках пальцев, для виброотдачи. Каждый этап и идея внесли большой вклад для создания готового устройства.



.Рис.6-7 Первый прототип устройства и прототип макета размещения

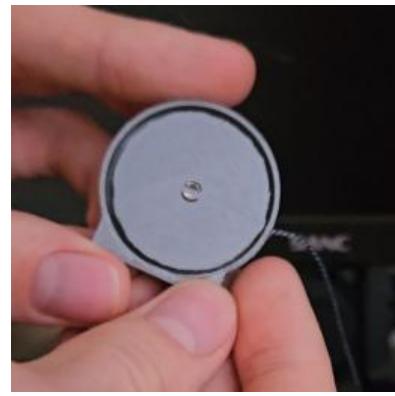


Рис.8 Прототип катушки

## 2.9 Создание и сборка компонентов устройства

Этапы создания устройства:

- Определена комплектация разрабатываемого устройства.
- Изучены устройство и принцип работы компонентов разрабатываемой среды, применены в устройстве.
- Изучена система трехмерного моделирования Компас-3D.
- Созданы трехмерные модели компонентов разрабатываемого устройства. (Рис.9- Рис.12).
- Изучена программа-слайсер 3D принтера - Ultimaker Cura.(Рис.- Рис.13).
- Изучен метод послойного наплавления термопластика.
- Изготовлены твердотельные компоненты устройства с помощью послойного наплавления термопластика. (Рис.14).

- Изучена среда автоматизации проектирования электроники EasyEda.
- Созданы принципиальная монтажная схемы в EasyEda. (Рис.4-Рис.5).
- Изучена среда разработки Arduino IDE.
- Изучено устройство модуля ESP32 wroom-32 DevKit v1 и его программирование с помощью Arduino IDE.
- Разработано ПО для работы устройства. (Рис.2-Рис.3).
- Собраны компоненты в готовое устройство. (Рис.15-Рис.16).
- Сделано видео с готовым устройством
- Описана конструкция, принцип работы.
- Определены основные достоинства и недостатки разработанного устройства, а также направления его дальнейшего совершенствования.

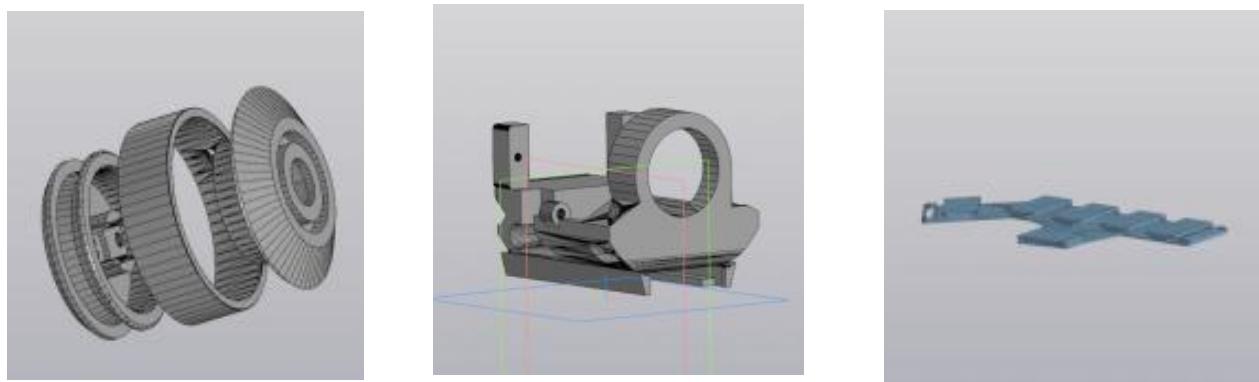


Рис. 9-11 Катушка, крепление катушки, крепление механизмов

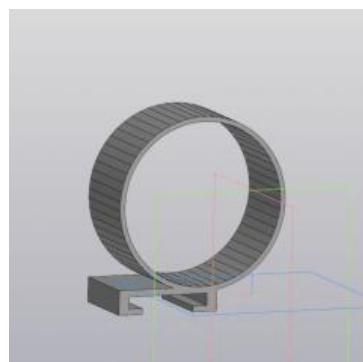


Рис. 12 Крепление VR-джойстика

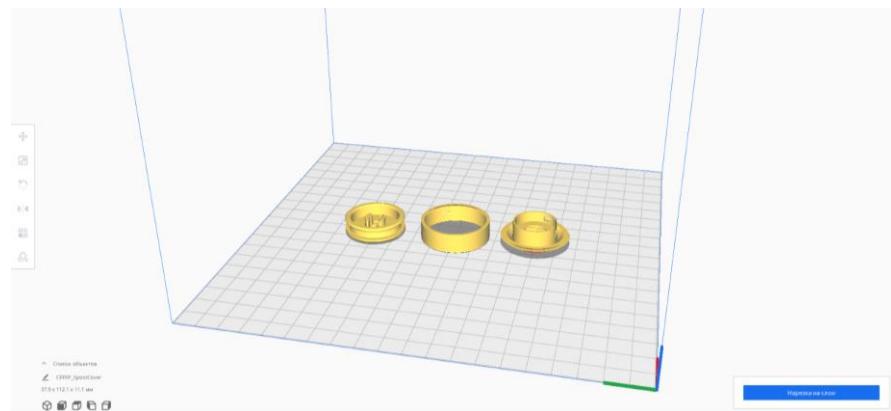
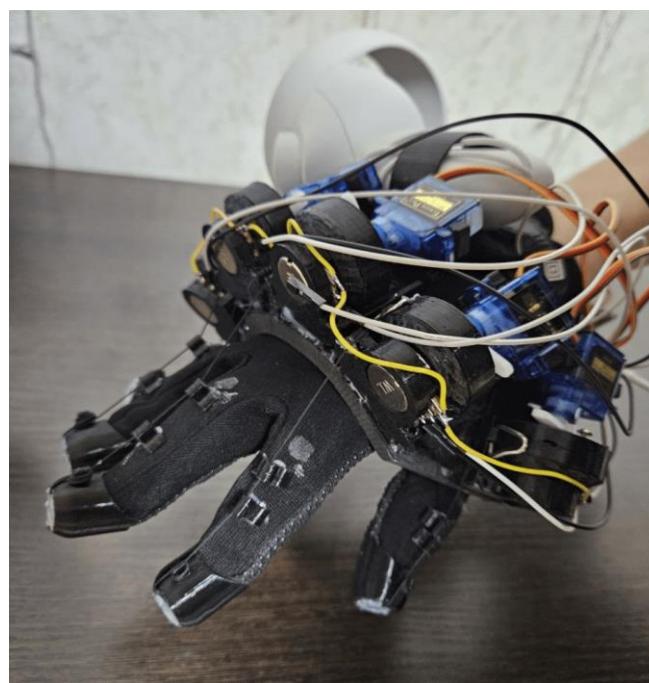


Рис. 13 Скриншот из Ultimaker Cura



Рис.14 Печать детали на 3D принтере



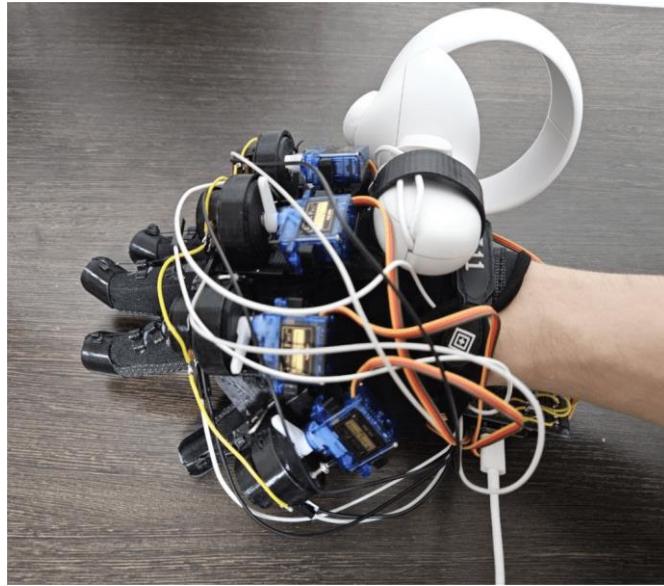


Рис.15-16 Готовое устройство Haptic VR-Glove

## 2.10 Отличительные характеристики.

Разработанное устройство имеет ряд отличительных характеристик:

- Возможность ощущения прикосновений из VR
- Фиксация положения пальцев руки при захвате предмета в VR
- Использование по Bluetooth.
- Питание от PowerBank.
- Относительно низкая стоимость в сравнении с аналогами.
- Применение в неигровых сферах.

## 2.11 Области применения.

Разработанное устройство предполагается использовать:

- В образовании (тренировка специальных навыков и моторики у будущих врачей, военных).
- В медицине (для реабилитации пациентов, лечения психических расстройств).
- В социальных сферах (для социальной адаптации людей с особенностями развития, расширения границ культурного обмена, уменьшение одиночества и изоляции).
- В сфере развлечений.

## 2.12 Достоинства и недостатки.

Разработанное устройство имеет ряд достоинств:

- Полное погружение пользователя в мир VR.
- Возможность передачи тактильных ощущений из VR.
- Простота эксплуатации.
- Низкая стоимость относительно существующих аналогов.

Однако устройство имеет и недостатки, которые в будущем планируется устраниить:

- Дискомфорт от долгого нахождения в перчатке из-за использования плотных материалов (планируется замена материалов на более удобные).
- Затруднительный процесс надевания и снятия перчатки с руки (планируется улучшение конструкции).

### **2.13 Руководство по эксплуатации.**

При начале работы с VR-перчаткой следует проверить наличие руководства по эксплуатации, а также проверить комплектность устройства. После хранения устройства в холодном помещении или после перевозки в зимних условиях перед включением необходимо выдержать устройство при комнатной температуре в течение 3–4 часов. Перед включением устройства следует внимательно ознакомиться с настоящим «Руководством по эксплуатации». Устройство должно храниться в следующих условиях: температура окружающего воздуха от 5 до 40 °C, относительная влажность воздуха до 85 %. Условия эксплуатации VR-перчатки – помещения с максимальной температурой воздуха 40 °C.

Прибор представляет собой перчатку, надеваемую на руку, с катушками и встроенными вибромоторами.

Перед началом работы манипулятора необходимо вставить кабель питания в разъем платы Arduino. При включении устройства должен загореться индикатор, после чего устройство готово к работе. Перед началом работы перчатки необходимо вставить контроллер VR-гарнитуры в соответствующий

паз, подключить перчатку к Power Bank и включить очки виртуальной реальности.

Будьте осторожны при использовании устройства, так как оно содержит хрупкие элементы, которые работают при небольшом напряжении электрического тока, а также присоединяются к источнику тока. Не используйте самодельные компоненты в устройстве.

## **2.14 Список обозначений и сокращений.**

- VR (Virtual Reality) - искусственная реальность
- AR (Augmented Reality) - дополненная реальность
- 3D (3-dimensions) - 3 измерения
- ПО - программное обеспечение
- Haptic - тактильный
- Steam - широкополосная платформа для прямой поставки программного обеспечения и управления контентом
- SteamVR - универсальный инструмент для использования виртуальной реальности с любым оборудованием
- МИЭТ - Московский институт электронной техники
- Пластик PLA - полилактид - биоразлагаемый, биосовместимый, термопластичный полиэфир, мономером которого является молочная кислота. Используется как материал для печати на 3D принтере
- Пластик FLEX - состоит из полиуретана, каучука и миксов из них в разных пропорциях. Используется как материал для печати на 3D принтере
- ЭВА - полимерное вещество, относящееся к классу сложных эфиров, получается в результате сополимеризации этилена и мономера винилацетата

- Шилд - это специальная плата расширения для микроконтроллеров, которая насаживается сверху

## **2.15 Ссылка на доступ к видеоматериалам**

Компоненты и принцип работы устройства тактильной VR-перчатки представлены на видео.

Режим доступа: URL: [https://disk.yandex.ru/i/ne\\_8QTIOPTENOA](https://disk.yandex.ru/i/ne_8QTIOPTENOA) (дата обращения: 27.02.2024г).

## **3. Заключение.**

### **3.1 Результаты и обсуждение.**

В результате проделанной работы разработана и изготовлена тактильная VR-перчатка, которая позволяет осязать предметы из виртуального пространства. Эта функция может использоваться в образовательных и развлекательных целях. Процесс отслеживания руки происходит благодаря подключенным к модулю ESP потенциометрам. Они сообщают в программу, в каком именно положении находится палец пользователя. Связь программы и перчатки обеспечивает настроенная плата ESP 32. Устройство и программа также могут быть оптимизированы и модернизированы, на что будут направлены дальнейшие работы.

### **3.2 Направления дальнейших исследований.**

В будущем планируется работа по усовершенствованию устройства:

- Написание программ для расширения функционала устройства
- Совершенствование компонентов устройства для создания как можно более приближенных к реальности тактильных ощущений
- Добавление возможности регулирования размера перчатки
- Создание более органичного внешнего дизайна перчаток

### **3.3 Выводы.**

В процессе работы были выполнены все поставленные задачи. Создано готовое устройство «Haptic VR-Glove» предназначеннное осуществлять

обоюдное взаимодействие с объектами VR, с использованием потенциометров, сервоприводов и вибромоторов. Работа по усовершенствованию устройства будет продолжена.

В процессе создания устройства были:

- Определена комплектация разрабатываемого устройства.
- Изучены устройство и принцип работы компонентов разрабатываемой среды
- Изучена система трехмерного моделирования Компас-3D.
- Созданы трехмерные модели компонентов разрабатываемого устройства.
- Изучена программа-слайсер 3D принтера - Ultimaker Cura.
- Изучен метод послойного наплавления термопластика.
- Изготовлены твердотельные компоненты устройства с помощью послойного наплавления термопластика.
- Изучена среда автоматизации проектирования электроники EasyEda.
- Созданы принципиальная и макетная схемы в EasyEda.
- Изучена среда разработки Arduino IDE.
- Изучено устройство модуля ESP32 wroom-32 DevKit v1 и его программирование с помощью Arduino IDE.
- Разработано ПО для работы устройства.
- Собраны компоненты в готовое устройство.
- Описана конструкция, принцип работы.
- Определены основные достоинства и недостатки разработанного устройства, а также направления его дальнейшего совершенствования.

### **3.4 Список используемой литературы.**

1. Будущее VR и AR: Новые горизонты и применения виртуальной реальности [Электронный ресурс]. – Режим доступа: URL: <https://znanierussia.ru/library/video/vr-kak-razvivaetsya-tehnologiya-i-rynek-844> (дата обращения: 11.02.2024 г.).
2. Виртуальная реальность в образовании [Электронный ресурс]. – Режим доступа: URL: <https://hsbi.hse.ru/articles/virtualnaya-realnost-v-obrazovanii/> (дата обращения: 11.02.2024 г.).
3. Как работает Виртуальная реальность и системы VR [Электронный ресурс]. – Режим доступа: URL: <https://igroray.ru/blog/obzory-tovarov/vsyedlya-vr-pogruzhaemsya-v-virtualnyu-realnost/> (дата обращения: 11.02.2024 г.).
4. Эффективные устройства управления в VR [Электронный ресурс]. – Режим доступа: URL: <https://habr.com/ru/articles/387935/> (дата обращения: 11.02.2024 г.).
5. Arduino Products [Электронный ресурс]. – Режим доступа: URL: <https://www.arduino.cc/en/Main/Products> (дата обращения: 11.02.2024 г.).
6. Справочник по распиновке ESP32: Какие выводы GPIO следует использовать? [Электронный ресурс]. – Режим доступа: URL: <https://diytech.ru/projects/spravochnik-po-raspinovke-esp32-kakie-vyvody-gpio-sleduet-ispolzovat> (дата обращения: 11.02.2024 г.).
7. Программирование устройств на основе модуля ESP32 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: URL: [https://habr.com/ru/companies/epam\\_systems/articles/522730/](https://habr.com/ru/companies/epam_systems/articles/522730/) (дата обращения: 11.02.2024 г.).
8. Руководство пользователя Dobot MOOZ 3DF Plus [Электронный ресурс]. – Режим доступа: URL: <https://dobot.ru/gallery/%D0%98%D0%BD%D1%81%D1%82%D1%80%D1%83%D0%BA%D1%86%D0%B8%D1%8F%20%Dobot%20MOOZ%203DF%20Plus.pdf> (дата обращения: 11.02.2024 г.).

- 9.** Как работает 3D принтер [Электронный ресурс]. – Режим доступа: URL: <https://top3dshop.ru/blog/how-3d-printer-works.html> (дата обращения: 11.02.2024 г.).
- 10.** Азбука КОМПАС-3D САПР Компас 3D [Электронный ресурс]. – Режим доступа: URL: [https://kompas.ru/source/info\\_materials/2018/Azbuka-KOMPAS-3D.pdf](https://kompas.ru/source/info_materials/2018/Azbuka-KOMPAS-3D.pdf) (дата обращения: 11.02.2024 г.).
- 11.** Учебник по Cura 3D — как пользоваться программой-слайсером Cura [Электронный ресурс]. – Режим доступа: URL: <https://3dpt.ru/blogs/support/cura> (дата обращения: 11.02.2024 г.).
- 12.** PLA пластик: что это такое и как печатать PLA [Электронный ресурс]. – Режим доступа: URL: <https://lider-3d.ru/wiki/nastroyki-pechatati-sovety/pla-plastik-chto-eto-takoe-i-kak-pechatat-pla/> (дата обращения: 11.02.2024 г.).