

Министерство образования Республики Беларусь  
Учреждение образования  
БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ  
ИНФОРМАТИКИ И РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ

Факультет компьютерных систем и сетей

Кафедра электронных вычислительных машин

К ЗАЩИТЕ ДОПУСТИТЬ  
Зав. каф. ЭВМ  
\_\_\_\_\_ Б.В. Никульшин

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА  
к дипломному проекту  
на тему  
МУЛЬТИЗАДАЧНЫЙ РОБОТ. АППАРАТНАЯ ЧАСТЬ

БГУИР ДП 1–40 02 01 01 098 ПЗ

Студент	В.С. Юревич
Руководитель	Д.Ю. Перцев
Консультанты:	
от кафедры ЭВМ	Д.Ю. Перцев
по экономической части	Т.Л. Слюсарь
Нормоконтролер	А.С. Сидорович
Рецензент	

МИНСК 2020

## РЕФЕРАТ

Дипломный проект предоставлен следующим образом. Электронные носители: 1 компакт-диск. Чертежный материал: 6 листов формата A1. Пояснительная записка: 86 страниц, 59 рисунков, 9 таблиц, 41 литературный источник, 3 приложения.

Ключевые слова: робот-ассистент, Arduino Uno, Raspberry Pi, голосовое управление, аппаратная платформа, распознавание лиц, робот-помощник.

Предметной областью дипломного проекта является робототехника, объектом разработки является аппаратная платформа мультизадачного робота.

Целью данного дипломного проекта является разработка и реализация аппаратной платформы мультизадачного робота, функционирующего на базе Arduino Uno и микрокомпьютера Raspberry Pi.

Результатом выполнения дипломного проекта является разработанная и реализованная аппаратная платформа мультизадачного робота, которая служит аппаратным обеспечением для результатов дипломного проекта на тему «Мультизадачный робот. Программная часть»

Варианты использования робота-помощника:

- удаленный мониторинг состояния помещения при длительном отъезде из дома;
- интерактивная охранная система;
- развлечение для детей и всей семьи.

Экономическая эффективность разработки аппаратной платформы мультизадачного робота обоснована и подтверждена соответствующим исследованием.

Дипломный проект является завершенным. Дальнейшее усовершенствование и введение нового функционала возможно благодаря масштабируемой модульной структуре.

Министерство образования Республики Беларусь

Учреждение образования  
БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ  
ИНФОРМАТИКИ И РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ

Факультет: ФКСиС. Кафедра: ЭВМ.

Специальность: 40 02 01 «Вычислительные машины, системы и сети».

Специализация: 40 02 01-01 «Проектирование и применение локальных компьютерных сетей».

УТВЕРЖДАЮ  
Заведующий кафедрой ЭВМ  
\_\_\_\_\_ Б.В.Никульшин  
« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2020 г.

ЗАДАНИЕ  
по дипломному проекту студента  
Юревич Владиславы Сергеевны

**1** Тема проекта: «Мультизадачный робот. Аппаратная часть» – утверждена приказом по университету от 31 марта 2020 г. № 860-с.

**2** Срок сдачи студентом законченного проекта: 1 июня 2020 г.

**3** Исходные данные к проекту:

**3.1** Автономное питание.

**3.2** Независимое движение.

**3.3** Поддержка голосового управления.

**3.4** Поддержка управления по Wi-Fi.

**3.5** Распознавание лиц.

**4** Содержание пояснительной записки (перечень подлежащих разработке вопросов):

Введение 1. Обзор литературы. 2. Системное проектирование. 3. Функциональное проектирование. 4. Разработка принципиальной схемы. 5. Сборка устройства. 6. Анализ полученных результатов 7. Экономическая часть Заключение. Список использованных источников. Приложения.

**5** Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

- 5.1 Вводный плакат. Плакат.  
 5.2 Мультизадачный робот. Схема структурная.  
 5.3 Мультизадачный робот. Схема функциональная. Часть 1.  
 5.4 Мультизадачный робот. Схема функциональная. Часть 2.  
 5.5 Мультизадачный робот. Схема электрическая.  
 5.6 Заключительный плакат. Плакат.

- 6 Содержание задания по экономической части: «Технико-экономическое обоснование разработки аппаратной платформы мультизадачного робота».

ЗАДАНИЕ ВЫДАЛ

Т.Л. Слюсарь

#### КАЛЕНДАРНЫЙ ПЛАН

Наименование этапов дипломного проекта	Объем этапа, %	Срок выполнения этапа	Примечания
Подбор и изучение литературы. Сравнение аналогов. Уточнение задания на ДП	10	23.03 – 30.03	
Структурное проектирование	15	30.03-08.04	
Функциональное проектирование	25	08.04 – 24.04	
Расчет экономической эффективности	5	24.04 – 8.05	
Принципиальное проектирование	10	8.05 – 15.05	
Сборка и тестирование устройства	20	15.04 – 20.05	
Оформление пояснительной записки	15	20.05 – 30.05	

Дата выдачи задания: 23.03.2020

Руководитель

Д. Ю. Перцев

ЗАДАНИЕ ПРИНЯЛ К ИСПОЛНЕНИЮ

\_\_\_\_\_

## СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	7
1 ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ.....	8
1.1 Обзор аналогов.....	8
1.1.1 Робот-помощник Aido .....	8
1.1.2 Робот-помощник Buddy.....	10
1.1.3 Робот-помощник Zenbo .....	11
1.1.4 Робот-помощник Alpha 2 .....	13
1.2 Аналитический обзор .....	14
1.3 Обзор микрокомпьютеров.....	15
1.3.1 Обзор Rock Pi N10- RK3399Pro.....	15
1.3.2 Обзор Raspberry Pi 4 Model B .....	16
1.3.2 Обзор NVIDIA Jetson Nano .....	16
1.3.3 Сравнительный обзор микрокомпьютеров .....	17
2 СТРУКТУРНОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ.....	19
2.1 Основной блок управления .....	19
2.2 Блок управления движением .....	19
2.3 Блок ориентации в пространстве.....	20
2.4 Блок обеспечения движения платформы.....	20
2.5 Блок фиксации и приема звука .....	20
2.6 Блок воспроизведения звука .....	21
2.7 Блок фиксации изображения .....	21
2.8 Блок регулировки положения камеры .....	21
3 ФУНКЦИОНАЛЬНОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ .....	22
3.1 Функциональное проектирование основного блока управления .....	22
3.2 Функциональное проектирование блока управления движением .....	23
3.3 Функциональное проектирование блока ориентации в пространстве ...	26
3.4 Функциональное проектирование блока обеспечения движения.....	30
3.5 Функциональное проектирование блока фиксации и приема звука .....	33
3.6 Функциональное проектирование блока воспроизведения звука .....	37
3.7 Функциональное проектирование блока фиксации изображения .....	38
3.8 Функциональное проектирование блока регулировки положения камеры .....	41
3.9 Питание устройства .....	44
4 ПРИНЦИПИАЛЬНОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ.....	48
4.1 Делитель напряжения для программного контроля уровня заряда аккумулятора .....	48
4.2 Звуковая плата.....	51
4.3 Плата питания.....	53
4.4 Плата питания.....	55
4.5 Подключение направленного микрофона «Шорох-8».....	58
5 СБОРКА УСТРОЙСТВА.....	59

6 АНАЛИЗ ПОЛУЧЕННЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ .....	72
7 ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ РАЗРАБОТКИ АППАРАТНОЙ ПЛАТФОРМЫ МУЛЬТИЗАДАЧНОГО РОБОТА .....	74
7.1 Характеристика разработанного устройства .....	74
7.2 Расчет инвестиций в разработку аппаратной платформы .....	74
7.3 Расчет показателей экономической эффективности разработки .....	81
ЗАКЛЮЧЕНИЕ .....	82
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ .....	84
ПРИЛОЖЕНИЕ А .....	87

## ВВЕДЕНИЕ

Персональные роботы и умные дома получают все большее распространение в современном мире. Рынок предлагает широкое разнообразие вариантов интерактивных систем, начиная от умных колонок и заканчивая роботами-ассистентами, контролирующими происходящее в помещении и способными взаимодействовать с человеком посредством голосовых команд.

Все больше компаний представляют на рынок свои варианты роботов-ассистентов для широкого пользователя. Такие устройства различаются в возможностях и себестоимости, начиная от более простых – умных колонок от компаний Яндекс, Microsoft, заканчивая персональными роботами для домашнего использования, такими как Aido, Kuri, Buddy [1]. Эти устройства служат различным целям: от обучения до повышения эффективности работы систем «умный дом», снижая контроль со стороны пользователя до минимума. Персональные помощники роботов оказываются также полезными для пожилых или людей с ограниченными возможностями. К примеру, Assistant Personal Robot (APR) — это роботизированная платформа с дистанционным управлением, созданная для предоставления социальных и вспомогательных услуг людям с умеренными когнитивными нарушениями. Целью данного дипломного проекта является разработка и реализация аппаратной платформы мультизадачного робота, который будет использоваться в качестве робота-ассистента для офисных и жилых помещений.

Реализованная платформа должна поддерживать следующий функционал:

- распознавание речи и обработка команд посредством системы Google;
- настройка и управление состоянием посредством андроид-приложения;
- независимое перемещение по помещению, избегая возможных препятствий;
- распознавание лиц и образов в реальном времени, слежение за распознанным объектом.

В соответствии с поставленной целью были определены следующие задачи:

- разработка корпуса устройства;
- разработка схем устройства разного уровня детализации;
- анализ и выбор необходимых компонентов;
- изготовление корпуса устройства;
- сборка устройства на основе изготовленного корпуса и разработанной схемы.

Добавлено примечание ([D1]): Было бы неплохо ссылку на разработчиков

Добавлено примечание ([D2]): Не совпадает с целью в реферате  
Я бы в реферат вставил эту цель

## 1 ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ

### 1.1 Обзор аналогов

С ускорением темпов жизни людям становится все сложнее успевать выполнять бесконечный список наших ежедневных бытовых дел и задач. Но персональные роботы-помощники могут помочь вам с повседневными домашними делами, делая жизнь более комфортной. Эти маленькие компаньоны служат большому количеству целей, среди которых хочется отметить: обучение и развлечение, повышение эффективности работы дома с уменьшением количества работы для вас. Они способны сделать ваш дом более технологичным, что позволяет минимизировать временные затраты на его обслуживание. Это будет происходить без вашего участия.

Персональные помощники роботов оказываются даже более полезными для определенных групп людей, которые нуждаются в большей помощи и поддержке, чем другие: пожилые люди или люди с ограниченными возможностями.

По данным ООН и Всемирной организации здравоохранения, число людей в возрасте 60 лет и старше, как ожидается, вырастет с 12% до 21% в течение следующих 35 лет из-за увеличения продолжительности жизни человека. В результате, уход за пожилыми людьми станет одной из областей, где новые технологии должны применяться в виде систем пассивного мониторинга, а также в качестве автономных и удаленно-управляемых роботов.

Ниже будет рассмотрено несколько персональных роботов-помощников, доступных на рынке для вашего дома.

#### 1.1.1 Робот-помощник Aido

Aido [2] – один из самых умных и инклюзивных роботов-компаньонов на рынке сегодня. Этот социальный семейный робот является интеллектуальным, интерактивным и уникально-мобильным. Aido (см. рисунок 1.1) может перемещаться по дому или офису, чтобы улучшить ваш образ жизни.

Данный робот является разработкой компании Ingen Dynamics Inc.

##### Основные функции:

- режим патрулирования помогает обеспечить безопасность вашего дома;
- различные датчики контролируют ваш дом: температуру, влажность, окружающее освещение, качество воздуха, GPS, уровень шума и давление;
- управляет подключенными устройствами;
- отслеживает ваше расписание и список дел;
- признает каждого члена семьи и соответственно персонифицирует



предлагаемые функции;

- легко маневрирует вокруг сложных пространств;
- включает прикрепляемую настольную основу;
- способен воспроизводить фильмы и поддерживать игры через интерактивные высококачественные динамики Aido и HD-проектор.



Рисунок 1.1 – Робот-помощник Aido [2]

Управляют функциями Aido три процессорных блока – два четырехъядерных ARM7 (1,6ГГц) и двухъядерный A23 (1,5ГГц).

Особенно следует отметить конструкцию робота. Aido сконструирован как «ballbot» с шаром в качестве шасси. Из-за этого робот находится в постоянном режиме движения и поиска баланса. С другой стороны, это позволяет ему легко огибать любые препятствия, оставаться очень юрким и мобильным.

**Вес робота составляет – 8 кг, высота – 914 мм.**

Он будет играть с вашими детьми, поможет сохранить ваше расписание, проецировать фильмы и полезные видеоролики на поверхности стен, выступать в качестве развлекательного центра и игрового устройства, управлять домашними делами, следить за домом с помощью датчиков и

патрулей, чтобы обеспечить его безопасность. Этот семейный робот предназначен для максимально естественного и интуитивного взаимодействия с людьми.

### 1.1.2 Робот-помощник Buddy

Buddy [3] – социальный робот и домашний помощник из Blue Frog Robotics (см. рисунок 1.2). Робот с открытым исходным кодом, работающий на программном обеспечении Unity 3D и Android, может сопровождать семью в выполнении ее повседневных задач, защищать **ванн** дом, развлекать **ванних** детей и взаимодействовать с интеллектуальными подключенными устройствами вашего дома.



Рисунок 1.2 – Робот-помощник Buddy [3]

У этого робота есть множество датчиков, которые помогают предоставлять различные функциональные возможности. К ним относятся камера, ультразвуковые, инфракрасные и тепловые датчики, датчик дальномера, датчик температуры и наземные датчики. Другие входы и выходы включают микрофон, аудиовыход и динамики. Он управляется 8-дюймовым

планшетом, который также действует как его лицо, время автономной работы 8-10 часов, а также имеется встроенный Wi-Fi и Bluetooth Low Energy.

**Вес робота** составляет – 5 кг, высота – 560 мм. Перемещение робота реализовано с помощью трех колес, расположенных в виде треугольника.

Основные функции:

- может предупредить вас при обнаружении пожаров, грабителей или любой необычной ситуации;
- управляется голосовой командой или удаленно;
- ручное управление подключенными устройствами: подсветка, жалюзи, термостат, разъемы;
- работает в качестве личного помощника и может установить памятку, таймер, напоминание, повестку дня;
- поддерживает возможность совершать видеозвонок, следуя за вами - идеально подходит для общения с друзьями и родственниками;
- заботится о детях, пожилых и менее подвижных людях, обеспечивая дружеское общение и помощь в повседневных делах;
- предлагает увлекательное обучение с приложениями для подсчета, рассказывания историй, тренировки памяти и программирования;
- воспроизведение и отправка сообщений, через «mybuddyapp» членам семьи;
- предлагает веселые интерактивные игры и любимые детские игры.

### 1.1.3 Робот-помощник Zenbo

Zenbo [4] – это симпатичный маленький личный помощник, разработанный Asus. При подключении к Интернету он может выполнять различные задачи, такие как общение с людьми, взаимодействие с бытовой техникой, работа в качестве самообучающегося пульта дистанционного управления и многое другое.

Основные функции:

- свободно и независимо передвигается по дому;
- подключается к интеллектуальным домашним устройствам и управляет ими, заказывает товары через Интернет и взаимодействует с подключенными службами;
- способен распознавать лица, совершать видеозвонки и осуществлять удаленный мониторинг дома;
- предоставляет устные напоминания, такие как встречи с врачом, расписание приема лекарств и т.д.;
- отвечает на ваши голосовые запросы и вопросы;
- предоставляет доступ к музыке, фильмам и фотографиям в любом месте дома и обеспечивает управление с помощью простых в использовании голосовых команд;

- учится и адаптируется к вашим предпочтениям с помощью активного искусственного интеллекта;
- выражает эмоции с помощью различных выражений лица;
- реагирует на чрезвычайные ситуации и уведомляет членов семьи независимо от того, где они находятся;
- выступает в качестве домашней камеры с дистанционным управлением, которая охватывает весь дом;
- может выступать в роли семейного фотографа, чтобы сохранить особые моменты.

Масса робота составляет – 9 кг, высота около 800 мм.

Zenbo (см. рисунок 1.3) передвигается на трех колесах и имеет возможность голосового управления и управления при помощи сенсорного экрана, чтобы лучше взаимодействовать с людьми-владельцами. Asus также выпустила программу для разработчиков Zenbo, чтобы разработчики могли использовать возможности SDK для создания чего-то интересного с Zenbo. В отличие от представленных выше аналогов, данный робот не поддерживает функцию распознавания лиц.



Рисунок 1.3 – Робот-помощник Zenbo [4]

#### 1.1.4 Робот-помощник Alpha 2

Alpha 2 [5] – новый человекоподобный робот от компании UBTECH Robotics разработан для практичного домашнего обслуживания и общения. Alpha 2 (см. рисунок 1.4) предоставляет облачные сервисы и использует интеллектуальные голосовые и перцептивные системы для получения команд и выполнения соответствующих действий. Робот способен выполнять функцию синхронного перевода, голосового поиска, визуального взаимодействия и предоставления устных напоминаний.

Робот также поддерживает взаимодействие на основе датчиков. Используются датчик ускорения, ультразвуковой, датчик касания и давления, а также встроенная камера с роботизированными визуальными вычислительными системами. Системы iOS и Android робота обеспечивают ежедневную удаленную связь и управление.



Рисунок 1.4 – Робот-помощник Alpha 2 [5]

Масса робота составляет – 2,3 кг, высота – 460 мм. В отличие от предыдущих примеров движения робота реализованы при помощи более чем 20 сервоприводов, которые позволяют роботу воспроизводить движения

человека. Разработан на базе шестиядерного процессора Samsung Exynos 5260.

Основные функции:

- распознавание лица и голоса;
- сохраняет ваш дом в безопасности, следя за его состоянием;
- управляет еженедельными календарями и обеспечивает устные напоминания для запланированных задач;
- делает ваши фотографии и записывает важные события;
- выступает в качестве вашего личного офисного помощника.
- может отвечать на ваши звонки или читать сообщения и электронную почту;
- переводит и воспроизводит фразы для вас;
- способен реализовать печать документов с помощью принтеров с поддержкой Wi-Fi.

## **1.2 Аналитический обзор**

Следует отметить, что все функции, заявленные для приведенных выше аналогов, демонстрируются в рекламных видеороликах и на различных выставках. Данные проекты все еще усовершенствуются и тестируются. Из-за этого почти отсутствуют описания и отзывы, показывающие слабые стороны роботов-помощников.

Среди проанализированных роботов-помощников самыми востребованными оказались функции распознавания лиц и голоса, а также способность удаленного мониторинга помещений.

Одной из наиболее привлекательных для пользователя возможностей следует отметить возможность голосового управления роботом. Кроме того, для некоторых пользователей может иметь значение напротив способность управления при помощи специального приложения.

Также следует выделить образовательные и развлекательные функции: воспроизведение музыки и кинофильмов, демонстрация фото, поддержка игр. Нельзя не отметить дизайн, который является уникальным для каждого робота и привлекает внимание потенциальных покупателей.

На основе анализа аналогов были выделены следующие основные функции:

- распознавание речи и обработка команд;
- способность воспроизводить характерные звуки и реагировать на команды пользователя;
- настройка и управление состоянием робота при помощи андроид-приложения;
- независимое перемещение по помещению, избегая возможных препятствий;
- распознавание лиц и образов в реальном времени, слежение за

распознанным объектом.

Для роботов-помощников с распознаванием лица пользователя важным критерием является размер робота и качество производимой фото- и видеосъемки.

Также при разработке аппаратной платформы следует учитывать время, необходимое на зарядку робота и длительность работы без подзарядки как в активном режиме работы, так и в режиме ожидания.

Одним из основных требований к роботу будем считать возможность оперативно адаптироваться к внешним условиям и постоянно взаимодействовать с человеком.

### **1.3 Обзор микрокомпьютеров**

Для реализации определенного выше функционала необходимо выбрать микрокомпьютер, на базе которого его можно будет реализовать. Также выбор микрокомпьютера тесно связан с программным алгоритмом, при помощи которого будет производиться детектирование и распознавание лиц.

Одноплатные компьютеры становятся все более популярными для запуска искусственного интеллекта и глубокого обучения, некоторые даже были специально разработаны только для этих целей. Далее будет рассмотрено 3 одноплатных компьютера и произведено сравнение их характеристик и возможностей.

#### **1.3.1 Обзор Rock Pi N10- RK3399Pro**

Это новый микрокомпьютер семейства Rock Pi [6], созданный для искусственного интеллекта и глубокого обучения.

Он имеет мощный SoC, который представляет собой RK3399Pro, который оснащен центральным процессором, графическим процессором и математическим сопроцессором.

Процессор RK3399Pro представляет собой шестиядерный процессор, который включает в себя Dual Cortex-A72 (частота 1,8 ГГц) и четырехъядерный Cortex-A53 (частота 1,4 ГГц).

Графический процессор RK3399Pro - это Mali T860MP4, который поддерживает OpenGL ES 1.1 /2.0 /3.0 /3.1 /3.2, Vulkan 1.0, Open CL 1.1 1.2, DX11.

Что касается математического сопроцессора, он может поддерживать 8/16-битные вычисления и до 3,0 TOPS вычислительной мощности.

Rock Pi N10 также имеет много ресурсов для хранения данных. 64-битная двухканальная 4 ГБ LPDDR и 16 ГБ eMMC 5.1 встроены в материнскую плату для обеспечения достаточного пространства для обработки и сохранения данных. Кроме того, на плате также есть слот для карт памяти microSD для загрузки и даже разъем M.2 SSD, который поддерживает до

2Т SSD для расширения памяти.

Rock Pi N10 полностью интерфейсный монстр. Как и Raspberry 4B, Rock Pi N10 имеет богатые интерфейсы для контактов аудио, камеры, дисплея, Ethernet, USB и ввода / вывода. Интерфейс Ethernet может поддерживать функцию PoE и имеет PoE рядом с интерфейсом Ethernet. Данный микрокомпьютер пока не поддерживает Wi-Fi, но в скором времени на плате будет установлен дополнительный модуль Wi-Fi.

Программная система этой платы Rock Pi N10 - Debian и Android 8.1.

### **1.3.2 Обзор Raspberry Pi 4 Model B**

Raspberry Pi 4 Model B [7] является новейшим продуктом в популярной линейке компьютеров Raspberry Pi.

Он предлагает революционное увеличение скорости процессора, производительности мультимедиа, памяти и подключения, сохраняя обратную совместимость и потребление энергии, аналогичное Raspberry Pi 3 Model B + предыдущего поколения.

Ключевые характеристики этого продукта включают в себя высокопроизводительный 64-разрядный четырехъядерный процессор, поддержку двух дисплеев с разрешением до 4К через пару портов micro-HDMI, аппаратное декодирование видео до 4Kp60, до 4 ГБ ОЗУ, двойной -диапазонная беспроводная локальная сеть 2,4 / 5,0 ГГц, Bluetooth 5.0, Gigabit Ethernet, USB 3.0 и возможность PoE (через отдельное дополнение PoE HAT).

Из-за повышения производительности Pi 4 по сравнению с предыдущей моделью, Raspberry Pi 4 теперь является сильной платформой для вывода на устройство. Кроме того, благодаря реализации USB 3.0 это делает Pi 4 сильным хостом для искусственного интеллекта и аппаратного ускорения глубокого обучения.

### **1.3.2 Обзор NVIDIA Jetson Nano**

NVIDIA Jetson Nano [8] обеспечивает вычислительную производительность для выполнения современных рабочих нагрузок искусственного интеллекта при беспрецедентных размерах, мощности и стоимости. Разработчики, учащиеся и создатели теперь могут запускать структуры и модели искусственного интеллекта для таких приложений, как классификация изображений, обнаружение объектов, сегментация и обработка речи.

Микрокомпьютер может питаться от микро-USB и предоставляет широкие возможности ввода-вывода, от GPIO до CSI. Это облегчает разработчикам подключение разнообразного набора новых датчиков, позволяющих использовать различные приложения для искусственного интеллекта. Jetson Nano также энергоэффективен и потребляет всего 5 Вт.



Jetson Nano оснащен четырехъядерным процессором ARM Cortex-A57 MPCore, графическим процессором архитектуры NVIDIA Maxwell™ с 128 ядрами NVIDIA CUDA® и 4 ГБ 64-разрядной памяти LPDDR4 1600 МГц.

Благодаря этому разработчики на базе Jetson Nano могут создавать устройства, которые способны выполнять несколько задач машинного обучения, таких как компьютерное зрение и обработка естественного языка, на одном микрокомпьютере.

Он также может работать с несколькими нейронными сетями в каждом потоке датчиков и поддерживает большинство самых популярных на сегодняшний день платформ искусственного интеллекта, включая TensorFlow, PyTorch, Caffe и MXNet.

### 1.3.3 Сравнительный обзор микрокомпьютеров

Нужно добавить хотя бы пару вводных слов. Мол, Сравнительный обзор характеристик микрокомпьютеров представлен в таблице 1.1.

Таблица 1.1 – Сравнительный обзор микрокомпьютеров

Микрокомпьютер	Rock Pi N10	Raspberry Pi 4B	Jetson Nano
1 Центральный процессор	Dual Cortex-A72@ 1.8GHz and quad Cortex-A53 1.4GHz	Quad-core ARM Cortex-A72 64-bit @ 1.5 GHz	Quad-Core ARM Cortex-A57 64-bit @ 1.42 GHz
2 Графический процессор	Mali T860MP4	Broadcom VideoCore VI (32-bit)	NVIDIA Maxwell w/ 128 CUDA cores @ 921 Mhz
3 Оперативная память	4/6/8GB LPDDR3	4GB LPDDR4	4GB LPDDR4
4 Сети	Gigabit Ethernet	Gigabit Ethernet / Wifi 802.11ac	Gigabit Ethernet / M.2 Key E (for Wifi support)
5 Дисплей	HDMI 2.0	2x micro-HDMI (up to 4Kp60)	HDMI 2.0 and eDP 1.4
6 USB	1x USB 3.0, 2x USB 2.0	2x USB 3.0, 2x USB 2.0	4x USB 3.0, USB 2.0 Micro-B
7 Цена	\$129	\$55	\$99

8 GPIO	40-pin GPIO	40-pin GPIO	40-pin GPIO
--------	-------------	-------------	-------------

Таким образом, как видно в таблице 1.1, каждый одноплатный компьютер имеет свои преимущества и недостатки. Тем не менее, для глубокого обучения и искусственного интеллекта Rock Pi N10 RK3399Pro является наилучшим, когда речь идет о возможностях глубокого обучения, предлагающих мощную производительность до 3,0 TOPS вычислительной мощности благодаря своему математическому сопроцессору.

При необходимости обработки тяжелых изображений и графики Jetson Nano с его ядрами NVIDIA Maxwell с 128 CUDA является наилучшим вариантом.

Raspberry Pi 4B подходит, чтобы решать базовые задачи глубокого обучения и искусственного интеллекта, такие как наблюдение за движением, распознавание объектов и базовые задачи логического вывода с низкой частотой кадров в секунду. Данный микрокомпьютер для глубокого обучения и искусственного интеллекта, может не дать большого выигрыша в производительности, но счет своего центрального процессора, лучше подходит для использования в качестве компьютера общего назначения.

На основе проведенного сравнения микрокомпьютеров, а также функционала, которым должно обладать готовое устройство был выбран одноплатный компьютер Raspberry Pi 4B.

## 2 СТРУКТУРНОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ

Изучив теоретические аспекты разрабатываемой системы и выработав список требований необходимых для разработки системы, разбиваем систему на функциональные блоки (модули). Это необходимо для обеспечения гибкой архитектуры. Такой подход позволяет изменять или заменять модули без изменения всей системы в целом. Также данный подход позволяет легко демонстрировать систему, уточняя компоненты, входящие в каждый из блоков и описывая правила взаимодействия между ними.

В результате разработки были выделены следующие блоки:

- основной блок управления;
- блок управления движением;
- блок ориентации в пространстве;
- блок обеспечения движением;
- блок воспроизведения звуков;
- блок фиксации изображения;
- блок фиксации и приема звука.

Структурная схема, иллюстрирующая указанные выше блоки, а также межблочные связи, приведена на чертеже ГУИР.400201.098 С1.

### 2.1 Основной блок управления

Данный блок является основой всей аппаратной части. Он представляет собой одноплатный микрокомпьютер. В пункте 1.3 дипломного проекта был произведен анализ возможных решений. Основываясь на требованиях, предъявляемых к функционалу робота-помощника, был выбран одноплатный компьютер Raspberry Pi 4B. Данный микрокомпьютер предоставляет разнообразные интерфейсы для связи с другими необходимыми функциональными блоками. Также одним из преимуществ следует отметить встроенный Wi-Fi модуль, который позволит реализовать связь с мобильным устройством и поддерживать удаленное управление роботом при помощи android-приложения.

### 2.2 Блок управления движением

Данный блок также является управляющим, но при этом подчиняется основному блоку управления. Выделение этого блока позволяет уменьшить нагрузку на основной блок управления, а также уменьшить время реакции на различные препятствия, возникающие на пути движения робота. Для реализации данного блока подходит использование плат семейства Arduino [9] или ESP.

Взаимодействие с основным блоком управления происходит по

протоколу RS-232 [10]. Информация передается по проводам с уровнями сигналов, отличающимися от стандартных 5В, для обеспечения большей устойчивости к помехам. Асинхронная передача данных осуществляется с установленной скоростью при синхронизации уровнем сигнала стартового импульса. Возможна поддержка скорости от 9600 б/с до 115200 б/с. Непосредственно физическое соединение блоков осуществляется при помощи USB-порта.

### **2.3 Блок ориентации в пространстве**

Данный блок необходим для обеспечения движения робота-помощника: объезд препятствий и экстренное торможение. Для реализации этих функций подходят различные ультразвуковые и инфракрасные датчики.

Ультразвуковые датчики способны обнаруживать препятствия на расстоянии около метра, что позволяет роботу заранее перестроить маршрут движения и избежать препятствия.

Инфракрасные датчики позволяют быстро обнаружить препятствие на расстоянии до 40 см, что позволит роботу остановиться, при неожиданном возникновении преграды. Компоненты, входящие в данный блок, связаны с блоком управления движением, который способен опрашивать датчики.

### **2.4 Блок обеспечения движения платформы**

Данным блоком также управляет блок управления движением. Для реализации движения платформы необходимы моторы. Их подключение к блоку управления движением обеспечивается при помощи специальных плат расширения. Это позволяет использовать меньше информационных пинов на основной плате, а также поддерживает масштабируемость.

Двигатели постоянного тока обычно имеют только два провода для подключения. Если подключить ~~эти два провода их~~ непосредственно к аккумулятору, двигатель будет вращаться. Если поменять провода местами, двигатель будет вращаться в противоположном направлении. Поворот платформы реализуется путем неравномерной подачи питания на разные двигатели.

### **2.5 Блок фиксации и приема звука**

Данный блок представляет собой различные микрофоны. Возможно использовать направленный микрофон, который обеспечивает фиксацию звука на расстоянии до 5 м. Он подключается к основному блоку управления при помощи jack 3.5. При этом, стоит отметить, что Raspberry Pi 4B оборудован только одним разъемом jack 3.5 и для подключения необходимо использовать внешнюю звуковую карту, подключаемую через USB-порт.

Кроме того, данный блок могут представлять собой специальные платы расширения для Raspberry Pi 4B предназначенные для работы с искусственным интеллектом и голосовыми приложениями. Данные платы поддерживают подключение при помощи GPIO и I2C.

## **2.6 Блок воспроизведения звука**

Данный блок реализован при помощи платы для операционного усилителя с подключенными динамиками. Он подключается непосредственно к основному блоку управления при помощи jack 3.5. Данный разъем является универсальным для смартфонов, персональных компьютеров и ноутбуков. Такое подключение обеспечивает воспроизведение звуков в формате стерео.

## **2.7 Блок фиксации изображения**

Данный блок представляет собой камеру, подключенную к основному блоку управления.

Подключение происходит при помощи шлейфа HS0829 к специально предназначенному для этого разъему. Также для корректной работы этого блока используется датчик освещенности, что позволяет производить необходимую предобработку изображений на программном уровне.

## **2.8 Блок регулировки положения камеры**

Данный блок также управляется блоком управления движением. При этом команды для изменения положения камеры поступают от основного блока управления, после чего декодируются блоком управления движения и выполняются.

Регулировка положения камеры осуществляется при помощи сервоприводов. Необходимо реализовать возможность изменять положение камеры как по горизонтальной, так и по вертикальной оси.

Как и подключение моторов, подключение сервоприводов к блоку управления движением обеспечивается при помощи специальных плат расширения. Это позволяет использовать меньше информационных пинов на основной плате, а также поддерживает масштабируемость.

**Переход на новую страницу – Ctrl+Enter**

### 3 ФУНКЦИОНАЛЬНОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ

Данный раздел дает ключ к пониманию работы проектируемого устройства и исчерпывающую информацию об обработке цифровых и аналоговых сигналов согласно назначению устройства.

Раздел структурирован в соответствии с блоками, выделенными на предыдущем этапе, которые последовательно раскрываются и подробно описываются связи между ними и связи с внешней средой.

Описана реализация структурных блоков, а также их взаимосвязь.

Функциональная схема устройства представлены на чертежах чертеже ГУИР.400201.098 Э1 и ГУИР.400201.098 Э2.

#### 3.1 Функциональное проектирование основного блока управления

В качестве микрокомпьютера для реализации основного блока управления был выбран микрокомпьютер Raspberry Pi 4 (см. рисунок 3.1).



Рисунок 3.1 – Raspberry Pi [11]

Данный микрокомпьютер отвечает за алгоритмы распознавания лиц и расчет траектории движения. Связь с блоком управления движения, который реализован на основе платы Arduino Uno, физически реализована через USB-кабель. При этом взаимодействие между платами происходит через

эмуляцию COM-порта, поддерживаемую обоими устройствами.

Для питания используется разъем USB-C. Его использование обеспечивает дополнительные 500 мА, обеспечивая 1,2 А для USB-устройств. Также микрокомпьютер имеет два порта USB 3.0 наряду с двумя портами USB 2.0. Разъем USB-C также поддерживает OTG, что позволяет подключать Pi напрямую к USB-порту персонального компьютера и получать локальный доступ к устройству.

Кроме того, плата содержит встроенный Bluetooth-модуль, который будет использован для управления роботом при помощи Android-приложения. Подробнее описание этого взаимодействия описано в дипломном проекте «Мультизадачный робот. Программная часть».

Raspberry Pi Foundation [11] предоставляет для загрузки Raspbian, 32-разрядный дистрибутив Linux на основе Debian, а также сторонние Ubuntu [13], Windows 10 IoT Core [14], RISC OS [15] и специализированные дистрибутивы медиацентров. Он продвигает Python [16] и Scratch [17] в качестве основных языков программирования с поддержкой многих других языков. По умолчанию используется встроенное программное обеспечение с закрытым исходным кодом, но доступен неофициальный открытый исходный код. Сторонние операционные системы, доступные через официальный веб-сайт, включают Ubuntu MATE, Windows 10 IoT Core, ОС RISC и специализированные дистрибутивы для медиацентра Kodi [18] и управления классами. Также поддерживается официально проверенное микроядро seL4 [19].

Основные аппаратные характеристики микрокомпьютера:

- процессор Quad-core ARM Cortex-A72 64-бит @ 1.5 ГГц;
- Broadcom VideoCore VI (32-bit);
- 4GB LPDDR4;
- Gigabit Ethernet / Wifi 802.11ac;
- micro-HDMI x2;
- USB 3.0 x2;
- USB 2.0 x2;
- 40-пин GPIO.

Кроме того, Raspberry Pi содержит разъем для подключения карты microSD.

### **3.2 Функциональное проектирование блока управления движением**

Для реализации блока управления движением был выбран микроконтроллер Arduino Uno (см. рисунок 3.2). Данный микроконтроллер способен поддерживать работу с различными устройствами и платами расширения.

Arduino Uno реализована на основе 8-битного микроконтроллера ATmega328P [20]. Наряду с ATmega328P он состоит из других компонентов, таких как кварцевый генератор, последовательная связь, регулятор напряжения. Arduino Uno имеет 14 цифровых входов / выходов (из которых 6 могут быть использованы в качестве выходов с широтно-импульсной модуляции), 6 аналоговых входов, USB-соединение, разъем для разъема питания, разъем ICSP и кнопку сброса.

Для питания микроконтроллера предусмотрено несколько способов. Arduino Uno может получать питание через подключение USB или от внешнего источника питания. Выбор источника питания происходит автоматически.



Рисунок 3.2 – Arduino Uno

Arduino Uno имеет самовосстанавливающийся предохранитель (автоматический выключатель), который защищает USB-порт компьютера от токов короткого замыкания и перегрузок по току. Хотя почти все компьютеры имеют аналогичную защиту, тем не менее, этот предохранитель обеспечивает дополнительный барьер. Предохранитель активируется, когда через порт USB проходит ток более 500 мА, и размыкает цепь до тех пор, пока не будут восстановлены нормальные значения тока.

Внешнее питание может подаваться через преобразователь напряжения AC/DC (блок питания) или аккумуляторной батареей. Преобразователь напряжения подключается посредством разъема 2.1 мм с центральным положительным полюсом. Также провода от батареи могут подключаться к выводам Gnd и Vin разъема питания.



Платформа может работать при внешнем питании от 6 В до 20 В. При падении напряжения питания ниже 7 В, вывод 5V может выдавать менее 5 В, а также приводит к нестабильной работе платформы. При использовании напряжения выше 12 В регулятор напряжения может перегреться и повредить плату. Диапазон питания, рекомендуемый для питания Arduino Uno, от 7 В до 12 В.

Arduino Uno имеет flash-память объемом 32 кб, SRAM объемом 2 кб и **EEPROM** объемом 1 кб.

Flash-память используется для хранения скетча Arduino. SRAM (статическая память с произвольным доступом) – это место, где программное обеспечение создает и манипулирует переменными при выполнении. EEPROM – это пространство памяти, которое программисты могут использовать для хранения долгосрочной информации

Arduino можно использовать для связи с компьютером, другой платой Arduino или другими микроконтроллерами. Микроконтроллер ATmega328P обеспечивает последовательную связь UART TTL, которая может быть выполнена с использованием цифрового контакта 0 (Rx) и цифрового контакта 1 (Tx). Микроконтроллер на плате передает эту последовательную связь по USB и выглядит как виртуальный COM-порт для программного обеспечения на компьютере. Микроконтроллер использует стандартные драйверы USB COM, и внешний драйвер не требуется. Однако в Windows требуется INF-файл.

Программное обеспечение Arduino включает в себя последовательный монитор, который позволяет отправлять простые текстовые данные на плату Arduino и с нее. На плате Arduino есть два индикатора RX и TX, которые будут мигать, когда данные передаются через USB-последовательный чип и USB-соединение с компьютером. Библиотека SoftwareSerial [21] позволяет осуществлять последовательную связь на любом из цифровых выводов Uno.

ATmega328P также поддерживает связь I2C [22] и SPI [23]. Программное обеспечение Arduino включает библиотеку Wire для упрощения использования шины I2C.

Шина последовательного периферийного интерфейса (SPI) – это система для последовательной связи, которая использует до четырех проводников, обычно три. Один проводник используется для приема данных, один для отправки данных, один для синхронизации и один альтернативно для выбора устройства для связи. Это полнодуплексное соединение, что означает, что данные отправляются и принимаются одновременно. Максимальная скорость передачи выше, чем в системе связи I2C.

SPI использует следующие четыре провода:

- SCK – это синхросигнал, управляемый мастером;
- MOSI – это линия для передачи данных от ведущего устройства;
- MISO – это линия для передачи данных от ведомого устройства;
- SS – это ведомый провод выбора устройства.

Arduino Uno использует следующие пины для реализации протокола SPI: SCK пин 13, MOSI пин 11, MISO пин 12, SS пин 10.

Для реализации протокола I2C используются пины SDA и SCL. Линия SCL – это тактовый сигнал, который синхронизирует передачу данных между устройствами на шине I2C и генерируется ведущим устройством. Другая линия – это SDA, которая переносит данные.

Обмен данными по протоколу I2C происходит следующим образом. Сигнал данных передается в последовательностях по 8 бит. Таким образом, после возникновения особого условия запуска наступает первая 8-битовая последовательность, которая указывает адрес подчиненного устройства, на которое отправляются данные. После каждой 8-битной последовательности следует бит, называемый подтверждением. После первого бита подтверждения в большинстве случаев следует другая последовательность адресации, но на этот раз для внутренних регистров подчиненного устройства. Сразу после того, как последовательности адресации следуют за последовательностями данных столько, сколько данные полностью отправляют, и это заканчивается специальным условием остановки.

Также хочется отметить следующие преимущества Arduino Uno, которые относятся не к техническим преимуществам, но в целом выделяют плату по сравнению с аналогами. Платы Arduino относительно недороги по сравнению с другими платформами микроконтроллеров. Самая дешевая версия модуля Arduino может быть собрана вручную, и даже предварительно собранные модули Arduino стоят менее 50 долларов. Программное обеспечение Arduino работает в операционных системах Windows, Macintosh OSX и Linux. Большинство микроконтроллерных систем ограничены Windows.

Простая, понятная среда программирования. Среда программирования Arduino проста в использовании для начинающих, но при этом достаточно гибкая, чтобы опытные пользователи могли воспользоваться ее преимуществами.

Программное обеспечение Arduino выпускается в виде инструментов с открытым исходным кодом, доступных для расширения опытными программистами. Язык может быть расширен с помощью библиотек C++, а также имеется возможность перейти от Arduino к языку программирования AVR C [24], на котором он основан.

### **3.3 Функциональное проектирование блока ориентации в пространстве**

Данный блок используется для обнаружения препятствий и сообщения о них блоку управления движением. После обнаружения препятствия есть два варианта поведения робота. Первым вариантом является изменение маршрута движения. Как правило, данный способ будет использоваться при

обнаружении препятствия ультразвуковым датчиком. Вторым вариантом является реализация экстренного торможения, а анализ положения и изменения маршрута будет реализовано только после осуществления торможения. Данный способ будет использоваться при обнаружении препятствия инфракрасными датчиками. Такое разделение вызвано тем, что ультразвуковые датчики способны обнаружить препятствие на расстоянии до двух метров, при этом максимальное расстояние, на котором инфракрасный датчик обнаруживает препятствие, составляет сорок сантиметров.

Ультразвуковой датчик представлен моделью HC SR04 [25] (см. рисунок 3.3), которая обладает следующими параметрами:

- питающее напряжение 5В;
- рабочий параметр силы тока – 15 мА;
- сила тока в пассивном состоянии <2 мА;
- обзорный угол – 15°;
- сенсорное разрешение – 0,3 см;
- измерительный угол – 30°;
- ширина импульса – 10-6 с.



Рисунок 3.3 – Ультразвуковой датчик

Ультразвуковой модуль HC-SR04 имеет 4 контакта: GND, VCC, Trig и Echo. Контакты GND и VCC модуля должны быть подключены к GND и 5-вольтовым контактам на плате Arduino соответственно, а также к контактам триггера и эхо-сигнала к любому выводу цифрового ввода-вывода на плате Arduino.

Для определения расстояния до предмета используется следующий алгоритм. Необходимо подать короткий импульс длительностью 10 мкс на вход триггера, чтобы начать измерение, а затем модуль отправит 8-тактный импульс ультразвука при 40 кГц, при этом на пине Echo устанавливается высокий уровень сигнала. После этого происходит фиксация отраженного

ультразвука и на контакте Echo устанавливается низкий уровень. Временная диаграмма работы ультразвукового датчика HC-SR04 представлена на рисунке:

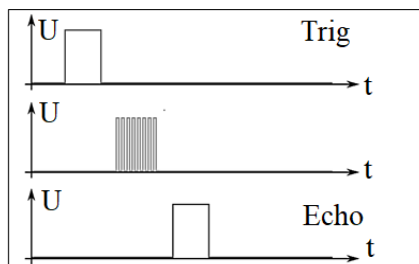


Рисунок 3.5 – Временная диаграмма работы датчика HC-SR04

После проведения измерения необходимо рассчитать расстояние используя интервал времени между отправкой сигнала запуска и получением эхо-сигнала.

$$s = (t \cdot v) / 2 \quad (3.1)$$

где  $s$  – искомое расстояние, м./с.;

$v$  – скорость звука, составляет 340 м./с.;

$t$  – время между отправкой и приемом ультразвукового сигнала, с.

В данной формуле также используется деление на два, потому что при проведении измерения сигнал дважды проходит искомое расстояние.

Инфракрасный датчик [26] (см. рисунок 3.6) реализован следующим образом.



Рисунок 3.6 – Инфракрасный датчик

Инфракрасный светодиод и фотодиод используются в комбинации для определения близости объекта. Инфракрасный светодиод (передатчик) излучает Инфракрасный свет, который отражается от объекта, отраженный свет принимается инфракрасным приемником (фотодиод). Количество отраженного и принятого света зависит от расстояния до объекта. Эта разница вызывает изменение входного напряжения. Это изменение входного напряжения используется для обнаружения близости.

Инфракрасный датчик имеет четыре контакта (см. рисунок 3.7):

- VCC;
- GND;
- Dout – цифровой выход;
- Aout – аналоговый выход.



Рисунок 3.7 – Выходы инфракрасного датчика

В зависимости от того, будет датчик использоваться в качестве аналоговый или цифрового, выходы Dout или Aout соединяются с необходимыми пинами Arduino. Использование цифрового выхода позволяет определить, есть или нет объект на пути следования робота, а аналоговый выход расстояние до него.

Для обнаружения объектов используется четыре инфракрасных датчика, расположенных следующим образом: три спереди робота, повернутые направо, налево и расположенный по центру.

Каждый инфракрасный датчик оснащен потенциометром, который

позволяет регулировать расстояние, на котором обнаруживаются объекты.

Также датчики оснащены светодиодами, которые показывают обнаружен объект или нет. Если объект не обнаружен, датчик подсвечивается зеленым светом, а при обнаружении объекта свет переключается на красный.

Информационные выходы ультразвукового датчика соединяются с 9 и 10 цифровыми выводами Arduino, а инфракрасные датчики с аналоговыми выходами от A0 до A3. Также выходы GND и VCC соединяются с соответствующими выходами Arduino Uno.

### **3.4 Функциональное проектирование блока обеспечения движения**

Моторы являются неотъемлемой частью многих проектов в области робототехники и электроники и имеют различные типы, которые вы можете использовать в зависимости от их применения. Ниже представлена некоторая информация о различных типах двигателей [27].

Двигатели постоянного тока (см. рисунок 3.8) является наиболее распространенным типом двигателя, который может использоваться для многих проектов.



Рисунок 3.8 – DC-мотор

Этот мотор имеет простую конструкцию. Он начнет движение, при подаче напряжения к контактам, и изменит направление движения, при переключении полярности напряжения. Скорость двигателей постоянного

тока напрямую контролируется приложенным напряжением. Когда уровень напряжения меньше максимально допустимого напряжения, скорость уменьшается.

Шаговые моторы: в некоторых проектах, таких как 3D-принтеры, сканеры мы должны точно знать шаги вращения двигателя. В этих случаях мы используем шаговые двигатели. Шаговый двигатель – это электрический двигатель, который делит полный оборот на несколько равных шагов. Количество вращения на шаг определяется структурой двигателя. Эти моторы имеют очень высокую точность.

Серводвигатель – это простой двигатель постоянного тока с сервисом контроля положения. Используя сервопривод, вы сможете контролировать количество оборотов валов и перемещать их в определенную позицию. Они обычно имеют небольшие размеры и являются лучшим выбором для роботизированных рук.

Нет возможности напрямую подключить двигатели к микроконтроллерам или плате контроллеров, таким как Arduino, чтобы управлять ими, поскольку им может потребоваться больше тока, чем может выдавать микроконтроллер. Двигатели постоянного тока можно подключать к Arduino Uno при помощи транзистора, резистора и диода, но гораздо удобнее и надежнее использовать специальные платы расширения. Драйвер представляет собой интерфейсную схему между двигателем и блоком управления для облегчения управления. Драйвера бывают разных типов. В данном случае была выбрана плата L293D.

Плата расширения L293D [28] (см. рисунок 3.9) – это плата управления на основе микросхемы L293, которая может одновременно управлять 4 двигателями постоянного тока и 2 шаговыми или серводвигателями.

Модуль может управлять двигателями постоянного тока напряжением от 5 до 35 В с пиковым током до 2 А.

Данная плата расширения также обладает следующими преимуществами:

- плата оснащена массивом резисторов, обеспечивающих отключение двигателей при включении питания;
- встроенный светодиодный индикатор показывает, что питание двигателей в порядке;
- кнопка «Reset» – данная кнопка дублирует кнопку сброса Arduino при этом находится выше, что делает ее удобнее для использования.

Характеристики микросхемы L293D:

- напряжение питания двигателей от 4,5 до 36В;
- допустимый ток нагрузки до 600mA на каждый канал;
- пиковый ток на выходе 1,2А на каждый канал;
- логический «0» входного напряжения до 1,5 В;
- логическая «1» входного напряжения от 2,3 до 7 В;

- скорость переключений до 5 КГц;
- защита от перегрева.

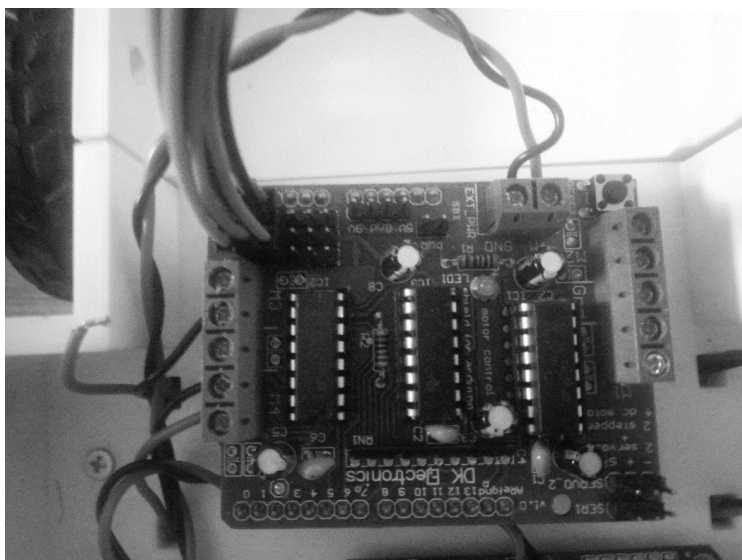


Рисунок 3.9 – Плата расширения для двигателей

Существует три сценария подачи питания для двигателей через плату расширения.

Один источник питания постоянного тока для Arduino и двигателей подключается к разъему постоянного тока на Arduino или к 2-контактному блоку EXT\_PWR на плате расширения. Необходимо установить перемычку на плате расширения двигателя. Этот метод можно использовать только при напряжении питания двигателя менее 12 В.

Arduino питается от USB, а двигатели – от источника постоянного тока. Предусмотрена возможность, чтобы Arduino питался от USB, а двигатели - от источника постоянного тока. Arduino подключается через USB-кабель, например к компьютеру. Питание для двигателей подключается к блоку EXT\_PWR на плате расширения. В данном случае перемычка на плате расширения не используется. Этот способ подходит для питания устройства при отладке разработанной прошивки.

Два отдельных источника питания постоянного тока для Arduino и двигателей. Подключается источник питания для Arduino к разъему постоянного тока и также подключается источник питания двигателя к блоку EXT\_PWR. В данном случае перемычка на плате расширения также не используется.



Подключение платы расширения к Arduino Uno реализовано очень просто. Плата соединяется через все пины, «надевается» на Arduino (см. рисунок 3.10)

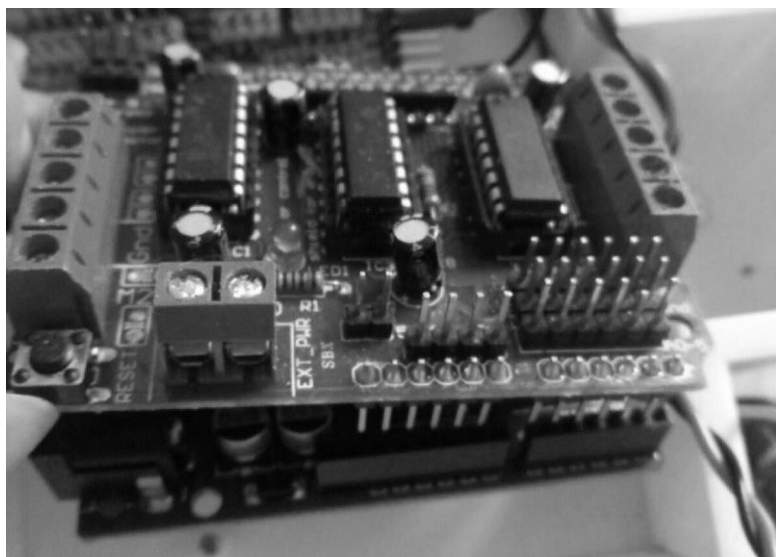


Рисунок 3.10 – Соединение Arduino Uno и Driver Shild

При использовании данной платы расширения 6 аналоговых контактов (которые также можно использовать как цифровые контакты), контакты 2 и 13 Arduino остаются свободны.

В случае использования серводвигателя используются контакты 9, 10 платы Arduino.

В случае использования платы для управления двигателями постоянного тока, используются пин 11 для двигателя № 1, пин 3 для двигателя № 2, пин 5 для двигателя № 3, пин 6 для двигателя № 4 и пины 4, 7, 8 и 12 для каждого двигателя.

В случае использования шагового двигателя используются контакты 11 и 3 для двигателя № 1, контакты 5 и 6 для двигателя № 2 и контакты 4, 7, 8 и 12 для каждого из них.

Управление двигателями постоянного тока происходит с использованием широтно-импульсной модуляции. Скорость вращения регулируется путем изменения подаваемого напряжения. Она задается программно с использованием значений от 0 до 255. Это значение не является абсолютным.

### **3.5 Функциональное проектирование блока фиксации и приема**

## звука

Микрокомпьютер Raspberry Pi содержит только один jack-разъем. Через данный тип разъема будет подключаться два различных устройства, поэтому необходимо использовать внешнюю звуковую карту (см. рисунок 3.11).



Рисунок 3.11 – Звуковая карта

Используется двухканальная звуковая карта с USB-интерфейсом, через который и реализовано подключение к Raspberry Pi. Встроенный чипсет обеспечивает отличное качество звука. Для подключения динамиков или наушников используем 3.5 мм стереовыход. Кроме того, звуковая карта содержит микрофонный вход 3.5 мм. Внешнего питания карте не требуется.

ReSpeaker 2-Mics Pi HAT [29] (см. рисунок 3.12) представляет собой массив Pi Hat с 2 микрофонами для Raspberry Pi, разработанный для приложений с использованием искусственного интеллекта и голосовых приложений. Это означает, что имеется возможность создать более мощный и гибкий продукт, использующий голосовое управление, который включает использование при необходимости сервисов Amazon Alexa Voice или Google Assistant.

Плата основана на WM8960 [30], стерео кодеке с низким энергопотреблением. WM8960 – это маломощный стерео кодек с драйверами динамиков класса D, обеспечивающий 1 Вт на канал при нагрузке 8 Ом. Гарантированная низкая утечка, отличные механизмы подавления щелчков обеспечивают прямое подключение аккумулятора к источнику питания динамика. Эта микросхема объединяет полный интерфейс микрофона и драйвер стереонаушников. Требования к внешним компонентам значительно

снижены, поскольку не требуются отдельные усилители для микрофона, динамика или наушников. Усовершенствованная встроенная цифровая обработка сигнала выполняет автоматический контроль уровня для микрофона или линейного входа. Стереодвадцатичетырехбитные преобразователи Delta Sigma используются с цифровыми интерполяционными и децимационными фильтрами малой мощности с избыточной дискретизацией и гибким цифровым аудио интерфейсом. Синхросигнал может быть подан напрямую или сгенерирован внутренне с помощью встроенного ФАПЧ, поддерживающего наиболее часто используемые схемы тактирования.

На обеих сторонах платы расположены 2 микрофона для сбора звуков, а также 3 RGB-индикатора APA102, одна пользовательская кнопка и 2 встроенных интерфейса Grove для расширения приложений. Более того, 3,5-мм аудио разъем или JST 2.0 Speaker Out доступны для вывода звука.

Основные особенности:

- поддерживает Raspberry Pi Zero, Raspberry Pi B+, Raspberry Pi 2 B и Raspberry Pi 3 B, Raspberry Pi 4;
- 2 микрофона;
- 2 интерфейса Grove: поддержка GPIO и I2C;
- программируемая кнопка и 3 RGB светодиода;
- аудиокодек;
- два типа аудио выхода: 3.5 мм аудио-jack, JST2.0 Speaker Out;
- радиус работы: до 3 метров.

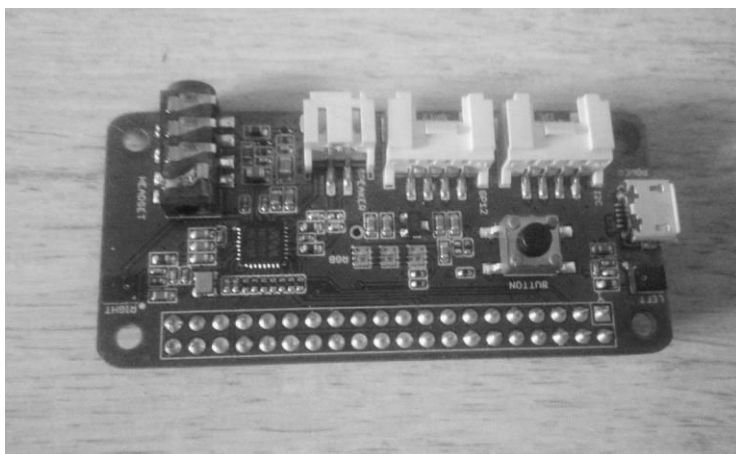


Рисунок 3.12 – ReSpeaker 2-Mics Pi HAT

Для подключения ReSpeaker 2-Mics Pi HAT к микрокомпьютеру Raspberry Pi используются GPIO. Выходы ReSpeaker 2-Mics Pi HAT

помещаются в соответствующие входы Raspberry Pi. Подключение реализовано аналогично соединению Arduino Uno и платы управления двигателями, ReSpeaker 2-Mics Pi HAT «надевается» на Raspberry Pi. После подключения устройства физически образуют одно целое (см. рисунок 3.13).

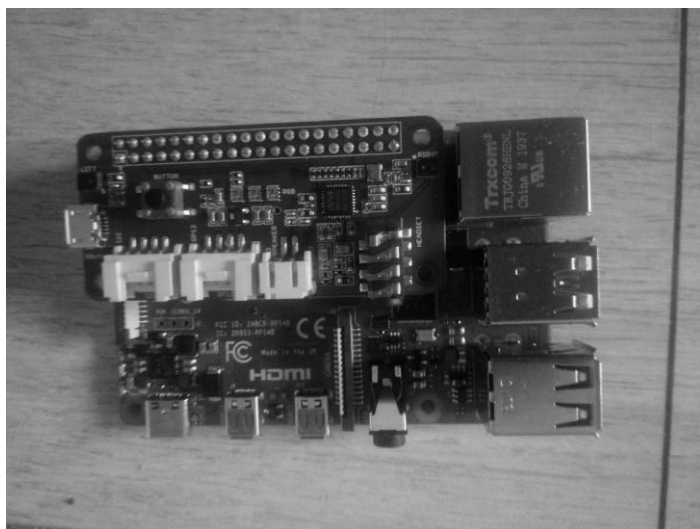


Рисунок 3.13 – ReSpeaker 2-Mics Pi HAT соединенный с Raspberry Pi

Кроме ReSpeaker 2-Mics Pi HAT для фиксации звука используется направленный микрофон «Шорох-8» [31] (см. рисунок 3.14).

Использование миниатюрного активного микрофона «Шорох-8» обеспечивает качественный звук в области видеонаблюдения, охраны и безопасности. Отличительная черта микрофона – это его высокая чувствительность и низкий уровень шумов встроенного усилителя. Автоматический регулятор усиления (APU) выходного сигнала поддерживает постоянный уровень сигнала на выходе независимо от уровня звука в контролируемом помещении. Благодаря встроенному АРУ может использоваться в помещениях с повышенной звукоизоляцией.

Основные характеристики:

- акустическая дальность до 10 м;
- выходное напряжение 0, 25 В;
- материал корпуса металл;
- есть защита от электромагнитных помех;
- питание от 5 В до 12 В;
- потребление тока 0,02 А;
- диапазон рабочих температур от -10 до +50°C;

Также индивидуальной особенностью микрофона является автоматическая регулировка усиления. Наличие автоматического регулятора усиления (АРУ) выходного сигнала обеспечивает постоянный качественный сигнал на выходе независимо от уровня звука в контролируемом помещении.

Данный микрофон имеет три входа: GND, питание и аудиоданные. При присоединении микрофона к Raspberry Pi через jack-разъем необходимо соединить GND источника питания и аудио-jacka.



Рисунок 3.14 – Направленный микрофон «Шорох-8»

Использование двух различных микрофонов для фиксации звука позволяет получить более качественные данные для последующего распознавания голосовых команд.

### **3.6 Функциональное проектирование блока воспроизведения звука**

Для воспроизведения звука используется самодельная звуковая плата на основе усилителя TEA2025b [32].

Воспроизведение цифрового звука – процесс, обратный оцифровке. Цифроаналоговый преобразователь получает от программы-проигрывателя последовательность записей моментального уровня сигнала и выдает на выходе последовательность электрических импульсов соответствующей величины. Из отдельных дискретных величин строится непрерывный аналоговый сигнал. Благодаря устройству выходных каскадов звуковой карты

и инерционности динамиков эта неравномерность сигнала сглаживается и приближается по форме к тому сигналу, который ранее оцифровывался.

Выходной сигнал подключается к усилителю, наушникам или внешнему устройству с помощью стандартных соединений.

Данная звуковая плата (см. рисунок 3.15) изготовлена на макетной плате. Подключение к Raspberry Pi происходит через разъем аудио-jack. При этом поддерживается воспроизведение стереозвука.

Для работы звуковой платы необходимо использовать внешний источник питания с выходным напряжением от 7 В до 12 В.

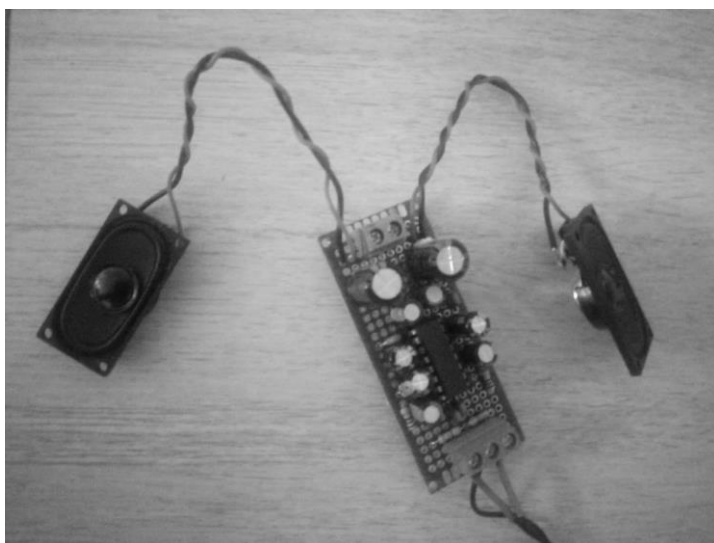


Рисунок 3.15 – Звуковая плата

Данная звуковая плата используется для того, чтобы робот имел возможность подавать голосовые сигналы, сообщающие о его состоянии.

### **3.7 Функциональное проектирование блока фиксации изображения**

Для фиксации изображения используется камера, подключенная к Raspberry Pi. Кроме того, данный модуль содержит светочувствительный сенсорный модуль, значение которого используется для последующей обработки фотоснимков, полученных при помощи камеры.

Светочувствительный сенсорный модуль [33] (см. рисунок 3.16) является наиболее чувствительным к свету окружающей среды и обычно используется для определения яркости окружающей среды. Без интенсивности внешнего освещения он достигнет порога, приводящего к

возникновению низкого уровня выходного сигнала, но, когда интенсивность света внешней среды превышает установленный порог, это приводит к установлению высокого уровня на выходе.

Информационный выход напрямую связан с микроконтроллером, который способен обнаруживать уровень освещенности, тем самым обнаруживая изменение интенсивности окружающей среды.

Входное напряжение для данного светочувствительного сенсорного модуля составляет от 3,3 В до 5 В.

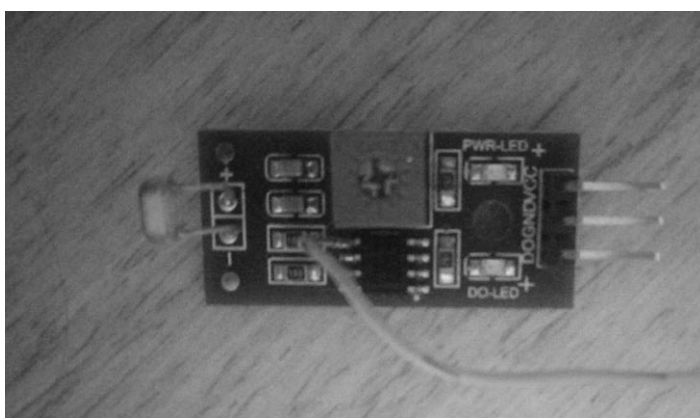


Рисунок 3.16 – Датчик освещенности

Чувствительность обнаружения сигнала можно регулировать.

Используется фоторезистор для фиксации света. Сопротивление фоторезистора изменяется в зависимости от количества света, попадающего на его поверхность. При воздействии темноты фоторезистор имеет очень высокое сопротивление. При воздействии яркого света его сопротивление значительно падает. Величина напряжения, распределяемого между компонентом, прямо пропорциональна величине сопротивления, которое оказывает компонент. Таким образом, если используется схема делителя напряжения с фоторезистором и фиксированным резистором, то при воздействии темноты фоторезистор будет потреблять большую часть напряжения, так как он имеет очень высокое сопротивление в темноте. При ярком освещении фоторезистор потребляет лишь небольшую часть напряжения, если используется резистор соответствующего размера. Если хорошее опорное напряжение подается на входе неинвертирующего операционного усилителя, а напряжение фоторезистора выше опорного напряжения, когда подвергаются воздействию темноты и ниже опорного напряжения при воздействии яркого света.

И именно поэтому схемы компаратора так полезны. Они считывают уровни напряжения и выключаются, если ниже определенного порогового уровня и включены выше этого порогового уровня.

Для сравнения полученного и опорного напряжения используется микросхема LM393 [34], которая имеет в своем корпусе два независимых компаратора напряжения. Компаратор LM393 может работать, как от однополярного источника питания в широком диапазоне напряжений, так и от двухполярного источника. При использовании двухполярного — разница между потенциалами должна составлять от 2 В до 36 В.

Основные характеристики LM393:

- широкий диапазон напряжения питания от 2 до 36 В;
- очень низкий ток потребления 0,45 мА;
- низкий входной ток смещения: 20 нА;
- низкий входной ток смещения:  $\pm 3$  нА;
- низкое выходное напряжение насыщения: 80 мВ.

Данный светочувствительный сенсорный модуль подключен к плате Arduino Uno. Информационный выход подключен к аналоговому входу A4, входы GND и Vcc подключены к соответствующим выходам. Полученные значения передаются при помощи определенной команды на Raspberry Pi и учитываются при обработке изображения.

Модернизированная Raspberry Pi Camera Module v2 [35] (см. рисунок 3.17) — это новая официальная плата камер, выпущенная Raspberry Pi Foundation, которая подключается к любому Raspberry Pi или вычислительному модулю. Raspberry Pi Camera Module v2 — это высококачественная 8-мегапиксельная камера на основе датчика изображения Sony IMX219, позволяющая создавать HD-видео и фотографии. Это специально разработанная дополнительная плата для Raspberry Pi с объективом с фиксированным фокусом.



Рисунок 3.17 – Камера

Способы применения камеры:

- камера видеонаблюдения;



- определение движения;
- замедленная съемка;
- hd видео и фото;
- замедленное видео.

Модуль поддерживает фиксацию статического изображения с разрешением 3280 x 2464 пикселей, а также поддерживает видео 1080p30, 720p60 и 640x480p90. Он подключается к Raspberry Pi с помощью одного из небольших разъемов на верхней поверхности платы и использует специальный интерфейс CSI [36], разработанный специально для взаимодействия с камерами.

MIPI CSI-2 является наиболее широко используемым интерфейсом камеры на мобильных и других рынках. Он получил широкое распространение благодаря своей простоте использования и способности поддерживать широкий спектр высокопроизводительных приложений, включая видео 1080p, 4K, 8K и более, а также фотографию с высоким разрешением.

Последняя версия протокола, MIPI CSI-2 v3.0, предоставляет усовершенствования спецификации, разработанные для обеспечения более широких возможностей для машинной осведомленности в различных областях применения, таких как мобильные, клиентские, автомобильные, промышленные IoT и медицинские приложения.

MIPI CSI-2 может быть реализован на любом из двух физических уровней от MIPI Alliance: MIPI C-PHY v2.0 или MIPI D-PHY v2.5. Он обратно совместим со всеми предыдущими спецификациями MIPI CSI-2.

### **3.8 Функциональное проектирование блока регулировки положения камеры**

Для регулировки положения камеры используются сервоприводы, которые расположены таким образом, чтобы осуществлять повороты камеры как вдоль горизонтальной, так и вдоль вертикальной осей.

Для управления сервоприводами используется широтно-импульсная модуляция. При этом плата Arduino Uno имеет ограниченное количество выходов с поддержкой широтно-импульсной модуляции.

РСА9685 [37] (см. рисунок 3.18) – ШИМ-драйвер, управляемый I2C, со встроенным синхросигналом. Это означает, что, в отличие от семейства TLC5940, не нужно непрерывно посылать ему сигнал, связывающий его с микроконтроллером.

Вход Vcc подключается к выходу Arduino 5 В, что означает возможность управлять им с помощью микроконтроллера 3,3 В и при этом безопасно управлять выходами до 6 В.

Основные характеристики:

- регулируемая частота ШИМ примерно до 1,6 кГц;

- 12-битное разрешение для каждого выхода - для сервоприводов, что означает разрешение около 4мкс при частоте обновления 60 Гц;
- есть возможность для быстрого отключения всех выходов;
- защита от обратной полярности на входе **клеммной** колодки;
- зеленый индикатор питания.

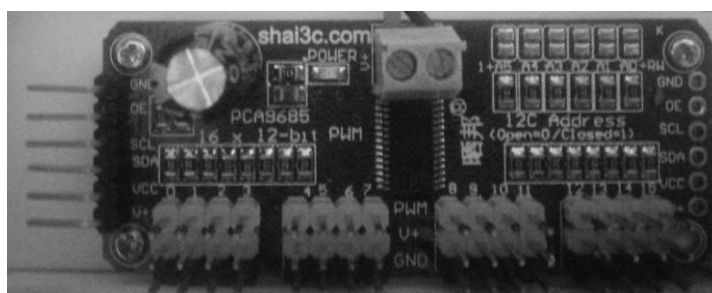


Рисунок 3.18 – Плата расширения с возможностью ШИМ

Широтно-импульсная модуляция представляет собой метод уменьшения средней мощности, передаваемой электрическим сигналом, путем эффективного измельчения его на отдельные части. Среднее значение напряжения (и тока), подаваемого на нагрузку, контролируется путем включения и выключения переключателя между питанием и нагрузкой с высокой скоростью.

Чем дольше переключатель включен по сравнению с периодами выключения, тем выше общая мощность, подаваемая на нагрузку. Широтно-импульсная модуляция особенно подходит для работы с инерционными нагрузками, такими как двигатели, которые не так легко подвержены влиянию дискретного переключения, поскольку имеют **инерцию**, приводящую к медленной реакции. Частота переключения широтно-импульсной модуляции должна быть достаточно высокой, чтобы не влиять на нагрузку, то есть то, что результирующий сигнал, воспринимаемый нагрузкой, должен быть как можно более плавным.

Частота, с которой должен переключаться источник питания, может сильно различаться в зависимости от нагрузки и применения.

Основным преимуществом ШИМ является то, что потери мощности в коммутационных устройствах очень низкие. Когда выключатель выключен, тока практически нет, а когда он включен и мощность передается на нагрузку, на выключателе практически нет падения напряжения. Потеря мощности, являющаяся произведением напряжения и тока, таким образом, в обоих случаях близка к нулю. ШИМ также хорошо работает с цифровыми элементами управления, которые благодаря своей природе включения /

выключения могут легко установить необходимый рабочий цикл.

Сервопривод (см. рисунок 3.19) — это мотор, положением вала которого мы можем управлять, от обычного мотора он отличается тем, что ему можно точно в градусах задать положение, в которое встанет вал. Сервоприводы используются для моделирования различных механических движений роботов.

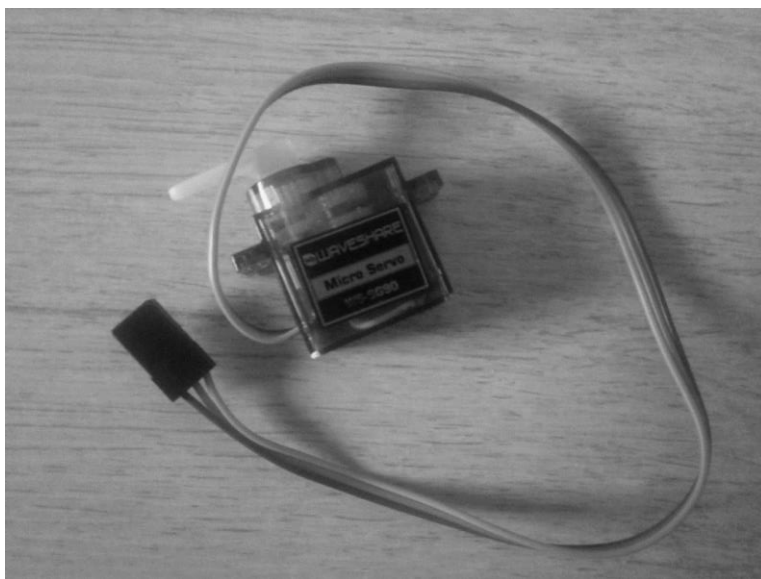


Рисунок 3.19 – Сервопривод

Большинство серводвигателей работает при напряжении питания от 4,8 В до 6,5 В, чем выше напряжение, тем выше крутящий момент, который мы можем достичь, но чаще всего они работают при 5 В. Серводвигатели могут вращаться только от 0 ° до 180 °. Зубчатые передачи в двигателях легко подвергаются износу, поэтому есть возможность использовать металлические шестерни или просто придерживаться обычной пластиковой шестерни.

Самый важный параметр – крутящий момент, при котором работает двигатель. Для данного робота используется крутящий момент 2,5 кг/см, который обеспечивается двигателем Towerpro SG90. Крутящий момент 2,5 кг/см означает, что двигатель может выдерживать вес 2,5 кг, когда он подвешен на расстоянии 1 см. Таким образом, если груз подвешивается на 0,5 см, то двигатель может тянуть груз на 5 кг аналогично, если вы подвешивается груз на 2 см от сервопривода, тогда двигатель может перемещать только 1,25 кг.

Основные характеристики:

- рабочее напряжение 5В;
- крутящий момент: 2,5 кг/см;
- рабочая скорость 0,1 с / 60 °;
- тип шестерни: пластик;
- вращение: 0 ° -180 °;
- вес мотора: 9 г.

### 3.9 Питание устройства

Для питания устройства используются литий-ионные батарейки 18650 [38] (см. рисунок 3.20). Данные батарейки способны выдавать напряжение от 3 В до 4,2 В. Оптимальным режимом работы является напряжение 3,7 В. Емкость используемых батареек составляет 3000 мА/ч.



Рисунок 3.20 – Батарейка 18650

Для питания устройства используется 6 батареек данной модели. Соединены они таким образом, чтобы максимальное напряжение на выходе составляло 12,6 В (см. рисунок 3.21).

Три батарейки соединены последовательно, что позволяет увеличить напряжение на выходе, при этом две цепи из трех батареек, соединенных последовательно, соединены параллельно, что позволяет увеличить силу тока на выходе. Батарейки, используемые для питания робота, не содержат встроенного модуля контроля зарядки/разрядки батареек. Поэтому необходимо использовать внешний модуль для контроля.

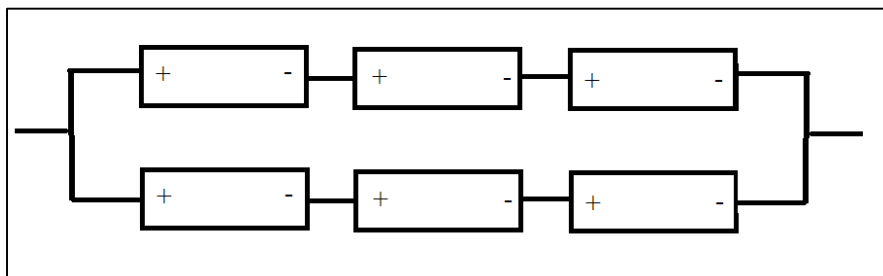


Рисунок 3.21 – Схема соединения батареек

Литиевые батареи относительно сложны в управлении, потому что они имеют очень нелинейную кривую заряда/разряда. Со свинцово-кислотной батареей довольно легко определить, насколько она заряжена, просто измерив ее напряжение, и есть довольно простой способ определить состояние заряда по этой информации.

Однако в литий-ионном аккумуляторе состояние заряда относительно напряжения очень плоское и составляет около 60% кривой заряда/разряда с резкими перегибами на обоих концах. Это означает, что очень трудно определить, в каком состоянии находится элемент питания или батарея. С литий-ионным аккумуляторным элементом также относительно легко нанести непоправимый урон, как из-за чрезмерного, так и из-за недостаточного заряда элемента, поэтому гораздо важнее убедиться, что элемент не поврежден.

Существуют также соображения безопасности, поскольку поврежденные элементы могут перегреваться и переходить в состояние теплового разгона. Таким образом, BMS [39] играет очень важную роль. Это гарантирует, что мы можем точно сообщать о состоянии заряда батарейного блока, а также контролирует элементы, чтобы убедиться в отсутствии проблем, которые могут привести к проблеме, чтобы обеспечить безопасное отключение батареи в первую очередь.

В данном проекте используется балансирующий модуль (см. рисунок 3.22) для литиевых аккумуляторов. Поддерживает работу с батареями, состоящими до 3-х последовательно соединенных аккумуляторов. Позволяет поддерживать одинаковую степень заряженности отдельных аккумуляторов в батарее, шунтируя наиболее заряженные элементы во время их зарядки.

Перед подключением балансирующего модуля обязательно необходимо убедиться в правильности полярности подключаемых аккумуляторов. При неправильной полярности подключения модуль гарантированно выйдет из строя.

Характеристики:

- напряжение питания одного элемента: 4,2 В;

- суммарное напряжение батареи: 12.4В;
- рабочий ток: 68мА;
- максимальная рассеиваемая мощность: 1 Вт;
- рабочая температура: от -40 до +85.

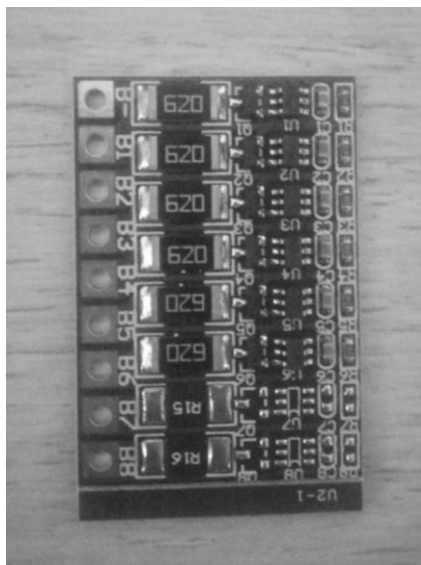


Рисунок 3.22 – Модуль контроля заряда/разряда

Выдаваемое аккумулятором напряжение 12,6 В находится на грани или даже выходит за пределы диапазона, поддерживаемого устройствами, на основе которых реализован робот. Поэтому, перед подачей питания используемое напряжение должно быть понижено до поддерживаемых значений. Для этого используется два DC-DC преобразователя DCBK3836 / понижающий 4-38В в 1.25-36В, 5А [40] (см. рисунок 3.23).

Один из преобразователей настроен с выходным напряжением равным 5 В, а второй с выходным напряжением 9 В. На вход подается понижающих преобразователей подается напряжения от аккумулятора, которое составляет около 11,5 В при оптимальном уровне зарядки батареек.

DC-DC преобразователь DCBK3836 / понижающий 4-38В в 1.25-36В, 5А оснащен светодиодом, который показывает, что в данный момент устройство работает.

Характеристики устройства:

- напряжение выходное от 1.25 В до 36 В;
- ток выходной **максимальный 5 А**;

- тип понижающий;
- напряжение входное от 4 В до 38 В;

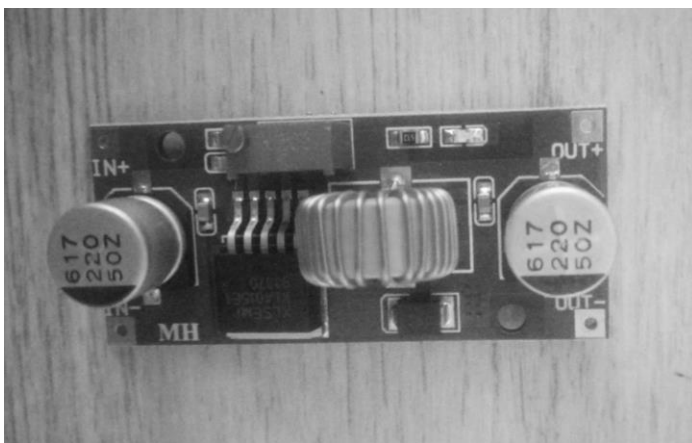


Рисунок 3.23 – Преобразователь DCBK3836

Также, кроме аппаратной защиты батареек от зарядки/разрядки предусмотрен еще и программный контроль. Напряжение с батареек после прохождения делителя подается на аналоговый выход А5, где сравнивается с опорным.

Будет хорошо, если допишете пару строк в качестве вывода.

## 4 ПРИНЦИПИАЛЬНОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ

Данный раздел содержит подробное описание реализации отдельных блоков или частей блоков устройства, которые были изготовлены самостоятельно. Кроме того, в разделе представлено описание схемы питания робота.

Решение об изготовлении принималось на основе того, насколько уже готовые решения подходят для осуществления необходимых функций, существуют ли подобные решения, а также сложности в закупке.

Разработаны и изготовлены следующие блоки:

- делитель напряжения;
- звуковая плата;
- плата питания.

Принципиальная схема, иллюстрирующая указанные выше блоки, а также межблочные связи, приведена на чертеже ГУИР.400201.098 ЭЗ.

### 4.1 Делитель напряжения для программного контроля уровня заряда аккумулятора

Для того чтобы быть уверенным в стабильной работе устройства, а также для того, чтобы батарейки не разрядились до критического уровня, зарядка после которого невозможна, необходимо осуществлять контроль уровня заряда. Для литий-ионных батареек 18650, согласно документации, критическим значение является выходное напряжение 2,5 В.

Как было сказано выше, кроме аппаратного контроля уровня заряда батареек, также реализован программный контроль. При этом выходное напряжение блока батареек слишком высокое для того, чтобы корректно обработать полученные значения при помощи Arduino.

Для максимально точного измерения уровня зарядки аккумулятора используется механизм сравнения напряжения источника питания с опорным напряжением микроконтроллера. Напряжение опорного питания для платы Arduino Uno может составлять до 5 В, при этом на выходе аккумулятора напряжение может достигать 12,6 В при полной зарядке аккумуляторных батарей.

Основываясь на вышеизложенном для того, чтобы измерить напряжение аккумулятора используется простой делитель напряжения, который собран с помощью двух резисторов.

Для измерения напряжения аккумулятора необходимо использовать простой делитель напряжения, который легко собрать с помощью двух резисторов. В данном случае, использовались резисторы номинальным сопротивлением 51кОм и 100 кОм, что позволяет понизить уровень напряжения, подаваемого на аналоговый вход Arduino Uno примерно в 3 раза. Схема делителя напряжения представлена на рисунке:



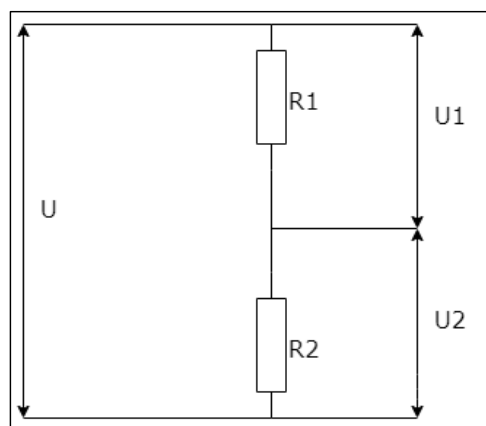


Рисунок 4.1 – Схема делителя напряжения

Для расчета напряжения, которое получится на выходе делителя, используется формула

$$U_{out} = U_{in} * (R_2 / (R_1 + R_2)) \quad (4.1)$$

где  $U_{out}$  – выходное напряжение, В;  
 $U_{in}$  – входное напряжения, В;  
 $R_1$  – сопротивление первого резистора, Ом;  
 $R_2$  – сопротивление второго резистора, Ом.

Получается, что при напряжении около 12 вольт, на выходе делителя и соответственно входе Arduino напряжение будет равно 4 вольт. Следует отметить, что для более точного расчета делителя было измерено сопротивление каждого резистора, поскольку их реальное сопротивление может немного отличаться от маркировки. В данном случае резисторы с маркировкой 51кОм и 100 кОм, на деле имели сопротивление 51,4 кОм (см. рисунок 4.2) и 99,3 кОм (см. рисунок 4.3).

Также для расчета напряжения на выходе аккумулятора используется формула 4.2. Ее использование обусловлено особенностями измерения различных значений при помощи аналоговых входов Arduino Uno.

$$U_{in} = (U_{op} * Val) / 1024 \quad (4.2)$$

где  $U_{in}$  – входное напряжение, В;  
 $Val$  – значение, прочитанное аналоговым входом;  
 $U_{op}$  – опорное напряжение, В.

После проведения необходимых расчетов возможно нахождения уровня заряда аккумулятора в процентах. После чего полученное значение определяет дальнейшее поведение робота. Подробнее это поведение описано в дипломном проекте «Мультизадачный робот. Программная часть».

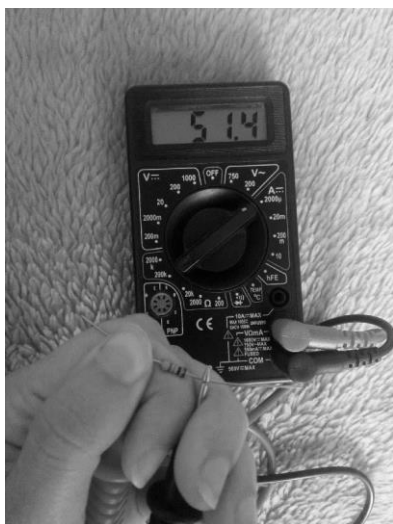


Рисунок 4.2 – Реальное напряжения резистора 51 кОм



Рисунок 4.3 – Реальное напряжения резистора 100 кОм

Выходы изготовленного делителя напряжения подключаются к пинам Arduino A5 и GND. Вход делителя напряжения подключен к положительному выходу аккумулятора.

## 4.2 Звуковая плата

Звуковая плата в данном роботе используется для воспроизведения различных звуков в ответ на действия пользователя, а также воспроизведения звуков, сообщающих о состоянии робота.

Данная звуковая плата реализована на основе микросхемы TEA2025b. На основе этой микросхемы можно собрать как стерео, так и моно вариант усилителя. Кроме непосредственно проектирования и изготовления платы на основе макетной платы также был разработана схема печатной платы. Выходная мощность усилителя зависит от напряжения питания и сопротивления нагрузки, конкретные характеристики описаны ниже. Согласно документации, микросхема TEA2025b (см. рисунок 4.4) является усилителем низкой частоты малой мощности, и её предназначение лежит в портативных плеерах и карманных радиоприемниках.

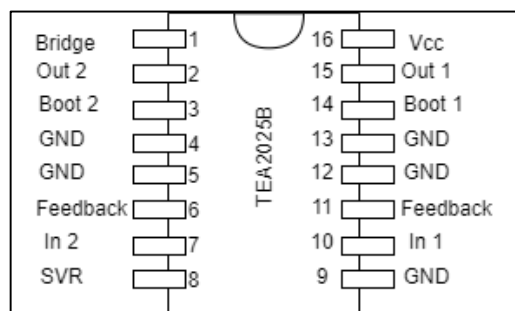


Рисунок 4.4 – микросхема TEA2025b

Основные характеристики микросхемы:

- рабочее напряжение до 3 В;
- высокая изоляция канала;
- усиление напряжения до 45 дБ, значение регулируется внешними резисторами;
- внутренняя тепловая защита.

При реализации звуковой платы использовалась микросхема TEA2025b в DIP корпусе с 16 выводами.

Усилитель реализован на основе схемы представленной в документации. При подаче входного сигнала на 7 и 10 входы микросхемы используется последовательно включенный конденсатор 0,22 мкФ. Его

использование позволяет уменьшить случайные шумы, которые возникают из-за переменного контакта резистора.

Подключенные к входам 3 и 14 конденсаторы емкостью 100 мкФ позволяет избежать уменьшения выходного сигнала также на низких частотах и при низком напряжении питания.

Значения используемых конденсаторов взято на основе рекомендуемых значений (см. таблицу 4.1) представленных в [документации](#).

Таблица 4.1 – Рекомендуемые значения конденсаторов

Значение емкости, мкФ	Применение конденсатора
0,22	Разъем входа постоянного тока в случае контактного шума слайдера переменного резистора
100,00	Повышение низкой частоты и низкого напряжения
100,00	Начальная загрузка
470,00	Выход постоянного тока
0,15	Стабилизация частоты
100,00	Инвертирующий разъем постоянного тока

Коэффициент усиления зависит от значения [резисторов, подключенных](#) к выходам 6 и 11. Расчет производится по следующей формуле

$$K = 20 \log\left(\frac{10000}{R+50} + 1\right) \quad (4.3)$$

где  $R$  – используемое сопротивление, Ом;

$K$  – коэффициент усиления, дБ.

Если данные резисторы заменить перемычками, то коэффициент усиления будет максимальным и составит 46 дБ. Но использование максимального коэффициента усиления может сократить срок службы микросхемы, а также приводить к перегреву. При этом при использовании резисторов нет необходимости использовать внешний радиатор.

Для непосредственного воспроизведения звука используется два динамика сопротивлением 8 Ом. Вход звука на плату происходит через разъем аудио jack, который передает правый, левый канал, а также GND. Также на плате предусмотрены разъемы для подачи внешнего питания.

Сама микросхема TEA2025b к плате не припаивалась. Для ее крепления используется припаянный разъем. Это позволит беспрепятственно заменить микросхему в случае неожиданной поломки.

Электролитические конденсаторы рассчитаны на напряжение более 16 В.

Неполярные конденсаторы представлены керамическими конденсаторами.

Сборка и изготовление платы происходило путем постепенного добавления компонентов и соединения необходимых входов и выходов. Сначала были соединены входы, которые должны быть совмещены с GND. Результат сборки устройства представлен на рисунке:

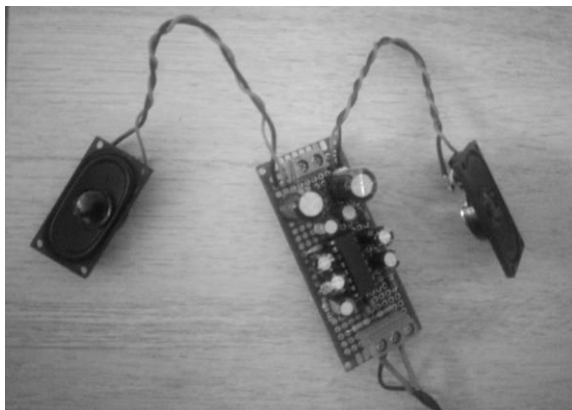


Рисунок 4.5 – Усилитель

#### 4.3 Плата питания

После реализации схемы усилителя на макетной плате также была спроектирована печатная плата (см. рисунок 4.6).

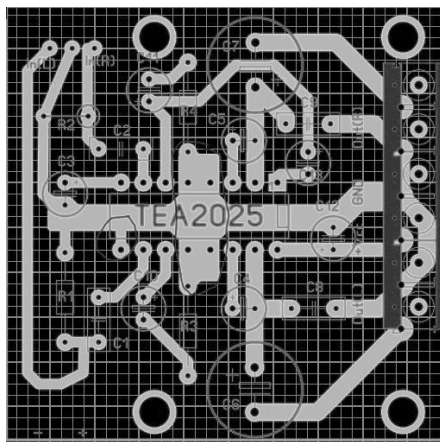


Рисунок 4.6 – Печатная плата

Изготовление и использование печатной платы возможно для

следующей версии разрабатываемого устройства. Для проектирования печатной платы использовалась программа Sprint-Layout6 (см. рисунок 4.7). Данная программа обладает широким функционалом, который делает разработку платы простой и удобной.

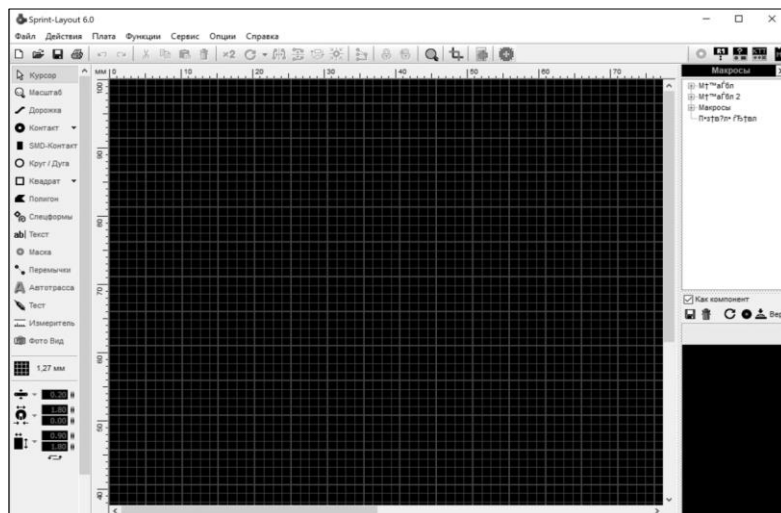


Рисунок 4.7 – Скриншот главного окна программы Sprint-Layout 6

В программе содержится библиотека компонентов, которая уже заполнена многими часто используемыми компонентами. Библиотека отображается в виде хорошо отсортированного дерева, что позволяет не тратить много времени на поиск компонента. Если специальный компонент отсутствует, можно нарисовать его на макете, после чего добавить в библиотеку компонентов. И этот новый компонент будет всегда доступен. Чтобы использовать компонент из библиотеки, его нужно просто перетащить на плату. После этого его можно перемещать, поворачивать или маркировать компонент так, как необходимо.

При отображении результата используется сглаживание, что улучшает результат, делая его более аккуратным и приближенным к реальности.

Присутствует режим автоматического захвата, что облегчает размещение компонентов или дорожек. Всякий раз, когда сетка приближается к точке захвата компонента, она захватывается и происходит выравнивание по этой точке, что помогает точно установить соединение. Это особенно полезно, если некоторые соединения лежат вне сетки. Сетка также имеет числовое отображение текущих координат.

Разрешение и точность Sprint Layout весьма велики. Это касается настроек сетки и максимального коэффициента масштабирования. Есть возможность

определить значение сетки до 1 мкм. Это позволяет использовать программу в проектировании даже очень тонких структур. Кроме того, выбор специального значения сетки с помощью меню сетки очень прост. Необходимо выбрать нужное значение из всплывающего меню, которое заполнено всеми значениями сетки по умолчанию, либо в дюймах, либо в метрических значениях. Также можно легко расширить это сеточное меню своими собственными заданными значениями сетки. Изменить текущую сетку также можно с помощью цифровых клавиш 1-9 на клавиатуре. Эти клавиши работают как горячие клавиши с предопределенными значениями сетки.

С помощью соединений можно упростить процесс маршрутизации. Прямые линии используются для обозначения соединений, которые еще не были проложены. Это поможет не забыть ни одной дорожки. Также эта функция помогает найти подходящее положение для компонентов. Ее можно использовать, чтобы избежать пересечения дорожек при размещении компонентов на плате.

Программа предлагает поддержку проектирования двусторонних плат. Кроме того, дополнительно доступны два внутренних слоя (для многослойных печатных плат) и контурный слой (для контура платы). Слои можно включать и выключать при необходимости.

#### **4.4 Плата питания**

Как уже было описано в предыдущих разделах, для питания робота используется шесть литий-ионных батареек, которые предоставляют выходное напряжение 12 В. В состав схемы входят компоненты, питание которых должно осуществляться от внешнего источника, кроме того, есть и устройства, питание которых осуществляется от плат расширения, Arduino Uno или Raspberry Pi.

От Raspberry Pi запитаны следующие компоненты:

- Raspberry Pi Camera Module v2;
- ReSpeaker 2-Mics Pi HAT.

От Arduino Uno и плат расширения запитаны следующие компоненты:

- сервоприводы;
- двигатели постоянного тока;
- ультразвуковой датчик;
- светочувствительный модуль;
- инфракрасные датчики.

На каждом из этих устройств имеются входы Vcc и GND, которые подключаются к соответствующим выходам Arduino Uno. При этом на вход Vcc подается напряжение равное 5 В.

Кроме описанных выше компонентов, также используются компонента, питание которых необходимо осуществлять от внешнего источника. При этом для различных устройств необходимо использовать для питания различные

значения напряжения. Для реализации данной функции была разработана плата питания. Перед началом разработки было определено, какое значение напряжения будет подаваться на конкретный компонент, потому что для многих из них в документации указаны диапазоны значений напряжения, и выбор определенного значения совершается при использовании. Ниже представлены списки компонентов для различных значений напряжения.

Компоненты с питанием от 9 В:

- Arduino uno;
- плата расширения для двигателей;
- микрофон «Шорох-8»;
- звуковая плата.

Компоненты с питанием от 5 В:

- PCA9685;
- Raspberry Pi.

После разбиения компонентов на группы была разработана и изготовлена плата питания (см. рисунок 4.8).

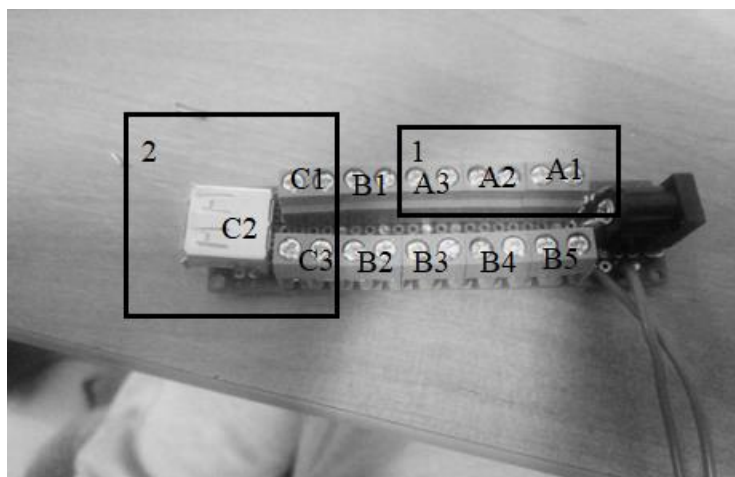


Рисунок 4.8 – Плата питания

С помощью данной платы реализовано питание робота и зарядка аккумуляторов.

К клеммникам помеченным на рисунке 4.8 A1 подключаются выходы аккумулятора. Для зарядки робота используется блок питания, который подключается через предусмотренный на плате разъем.

Включение и выключения робота происходит при переключении кнопки, которая замыкает или размыкает цепи питания.



К клеммникам, помеченным на рисунке 4.8 А2 и А3 подключаются входы преобразователей напряжения. При этом один из преобразователей настроен на понижение входного напряжения до 9 В и его выходы подключаются к клеммникам, помеченным как В1. Второй преобразователь понижает входное напряжение до 5 В и его выходы подключаются к клеммникам С1. Так формируется напряжение, необходимое для питания используемых компонентов.

На рисунке 4.8 выделены три группы клеммников, которые не обведены либо входят в рамку 1, либо в рамку 2. Клеммники, входящие в группу, имеют одно и то же напряжение, что позволяет менять подключение компонентов.

Выход С2 реализован в виде USB-разъема. К данному разъему подключается шнур USB – USB Type-C для питания Raspberry Pi.

К клеммникам С3 подключается плата расширения PCA9685.

На второй стороне платы располагаются клеммники, на которые подано напряжение 9 В.

К клеммникам В2 подключена звуковая плата.

К клеммникам В3 подключена плата Arduino Uno. Для ее питания используется штекер. Провод для питания Arduino Uno изготовлен самостоятельно по причине того, из-за особенностей спроектированного корпуса разъем располагается слишком близко к стенке корпуса.

К клеммникам В4 подключена плата расширения для двигателей, что является более предпочтительным способом питания данной платы по сравнению с питанием непосредственно от платы Arduino Uno. На рисунке 4.9 представлена обратная сторона платы питания.

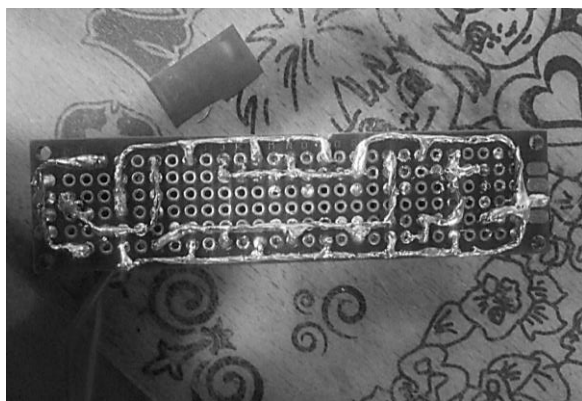


Рисунок 4.9 – Плата питания. Обратная сторона

К клеммникам В5 подключен направленный микрофон «Шорох-8». Как уже было сказано выше, имеется возможность подключать компоненты не строго к выбранному клеммнику, а к любому с необходимым напряжением.

Это может иметь значение для устройств с ограниченной длиной провода.

#### 4.5 Подключение направленного микрофона «Шорох-8»

Из-за того, что подключение микрофона к Raspberry Pi реализовано через аудио-jack, но при этом микрофону необходимо внешнее питание для корректной работы необходимо реализовать схему подключения, представленную на рисунке:

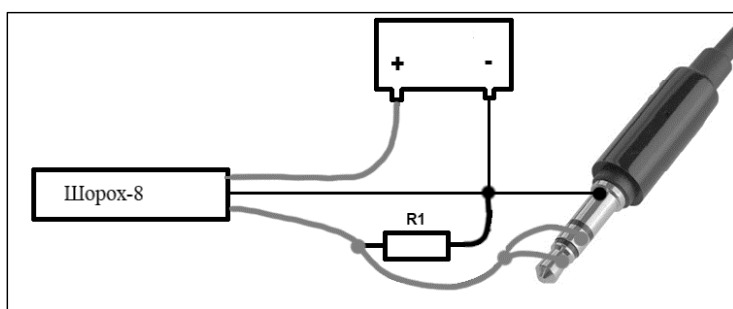


Рисунок 4.10 – Схема подключения микрофона

Значение сопротивления резистора R1 может составлять от 100 Ом до 500 Ом. При реализации схемы использовался резистор сопротивлением 300 Ом, потому что при проведении экспериментов с резисторами с различными номиналами, данная реализация показала наиболее высокое качество звука.

## 5 СБОРКА УСТРОЙСТВА

После разработки схемы устройства необходимо реализовать полученную схему. Корпус для робота распечатывался на кафедральном 3D-принтере. Корпус сборный для удобства сборки и отладки устройства, а также последующего ремонта. При этом некоторые детали делились на части из-за ограничений, возникающих при печати.

На рисунке 5.1 представлен прототип первого уровня устройства. В нем предусмотрены полости для расположения двигателей, инфракрасных датчиков и аккумулятора.

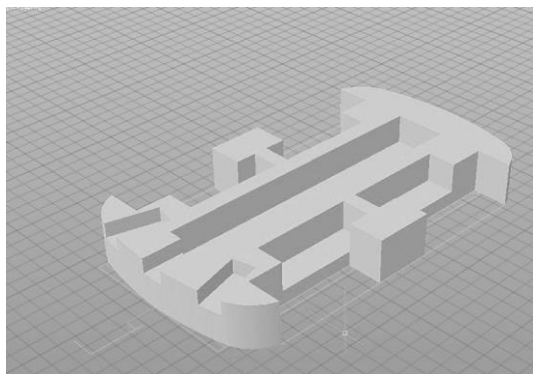


Рисунок 5.1 – Прототип первого уровня

При этом при печати первый уровень был разделен на две части, из-за размеров 3D-принтера. Между собой части скрепляются при помощи болтов и гаек. На рисунке 5.2 представлена передняя часть первого уровня.

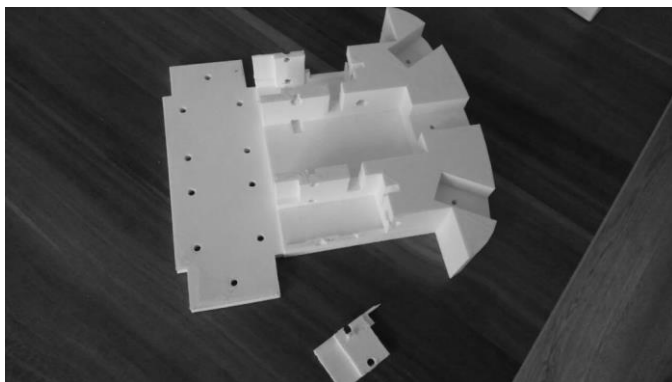


Рисунок 5.2 – Передняя часть первого уровня

После сборки первого уровня проверяем, чтобы все компоненты размещались в предназначенных для этого полостях (см. рисунок 5.3).

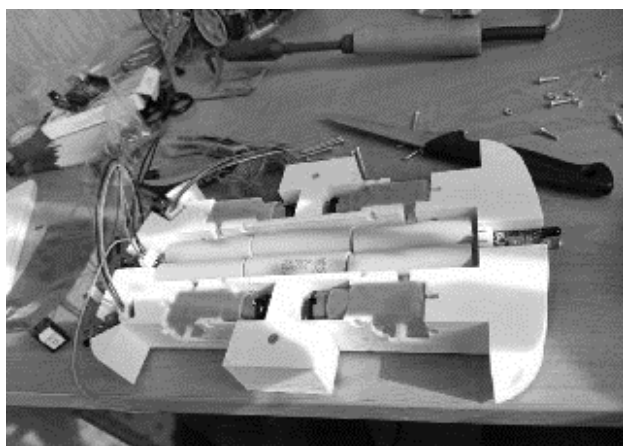


Рисунок 5.3 – Размещение компонентов первого уровня

После проверки размещения батарейки были объединены в аккумуляторный блок. Выходы с батареек были припаяны к модулю контроля зарядки/разрядки батареек. На необходимые места были размещены инфракрасные датчики и закреплены в корпусе при помощи винтов. К двигателям были припаяны контакты, при помощи они будут соединены с платой расширения для двигателей.



Рисунок 5.4 – Первый уровень

Полярность на двигателях не указана. В свой отсек был помещен аккумулятор, после чего двигатели были также помещены на необходимые места и зафиксированы болтами.

Болты, которые используются в верхней части двигателя для крепления, также являются ограничителями для аккумулятора, не позволяя ему выпадать из отсека. После этого также на предназначенные места были надеты колеса. Результат сборки первого уровня представлен на рисунке 5.4.

Прототип второго уровня представлен на рисунке:

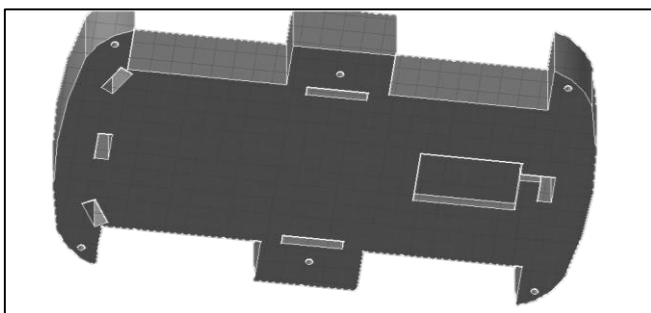


Рисунок 5.5 – Прототип второго уровня

На втором уровне предусмотрены как каналы для связи с первым уровнем, так и крепление компонентов второго уровня.

В передней части корпуса предусмотрено три канала, которые служат для обеспечения связи инфракрасных датчиков с Arduino Uno. В центральной части корпуса сбоку предусмотрены каналы для связи двигателей с платой драйвера. В задней части корпуса предусмотрен канал для инфракрасного датчика, а также для контактов, идущих от аккумулятора.

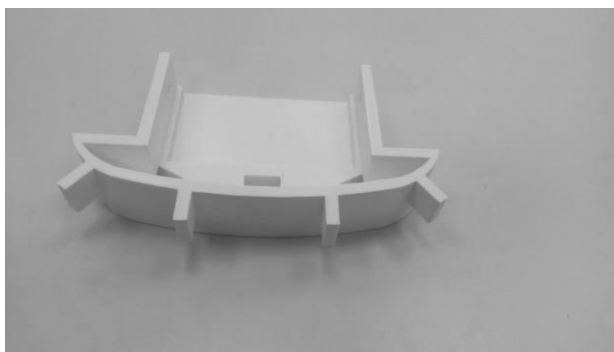


Рисунок 5.6 – Передняя часть второго уровня

Также в задней части второго уровня предусмотрена специальная выемка для размещения модуля контроля зарядки/разрядки батарей. Второй уровень крепится к первому при помощи болтов и гаек. Печать второго уровня также происходила при делении на несколько частей. Результат печати представлен на рисунках 5.6 и 5.7. При этом части второго уровня, в отличие от первого, между собой не скрепляются.

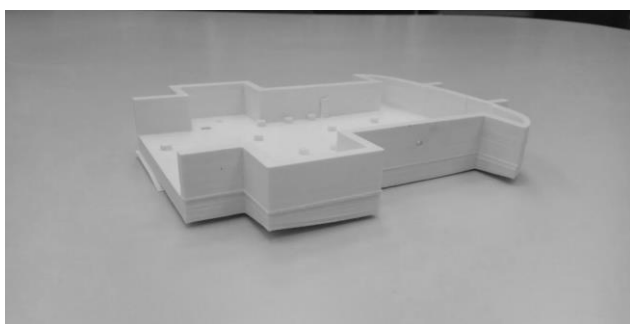


Рисунок 5.7 – Задняя часть второго уровня

Все провода, соединяющие компоненты первого и второго уровней необходимо аккуратно пропустить через предназначенные для этого каналы. После чего второй уровень фиксируется при помощи болтов.

Сборка компонентов второго уровня начинается с фиксации платы питания. После этого кнопка включения/выключения робота располагается в предназначенном для этого разьеме и аккуратно припаивается к плате с помощью проводов. Также в корпусе предусмотрен разъем для зарядки аккумуляторов.

Следующим шагом является фиксация выходов аккумулятора в предназначенных для этого клеммниках. Схема подключения устройств рассмотрена в предыдущем разделе. После этого были зафиксированы преобразователи напряжения. Их входы и выходы также были зафиксированы в предназначенных для этого клеммниках. После этого устройство было включено и преобразователи напряжения были настроены необходимым образом. Настройка производилась при помощи мультиметра. Значение выходного напряжения определялось таким образом, чтобы при уровне заряда аккумулятора 12 В на выходах преобразователей было напряжение 9 В и 5 В.

После этого закрепляется Arduino Uno, драйвер с поддержкой широтно-импульсной модуляции и звуковая плата. После этого соединяются контакты между компонентами первого и второго уровней, а также между компонентами второго уровня. Питание снимается с платы питания и подается на необходимые компоненты. Процесс сборки представлен на рисунке 5.8.

На этапе проектирования предполагалось разместить звуковую карту и направленный микрофон в голове устройства, но при последующем анализе было решено перенести их на второй уровень. Это позволит уменьшить межуровневые коммуникации, но требует шнура для подключения звуковой платы к Raspberry.

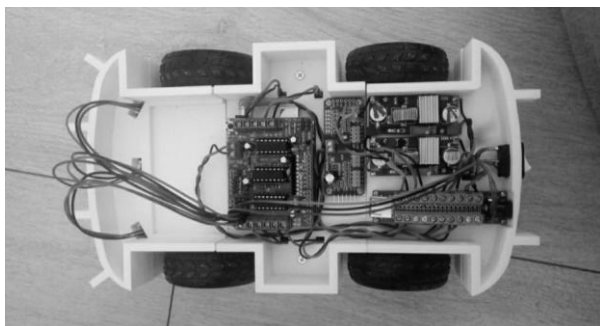


Рисунок 5.8 – Сборка второго уровня

На рисунке 5.9 представлен прототип корпуса робота. Компоненты блока обнаружения движения находятся в голове робота. В данной модели провода, служащие для связи между вторым уровнем и головой не имеют выделенных каналов.

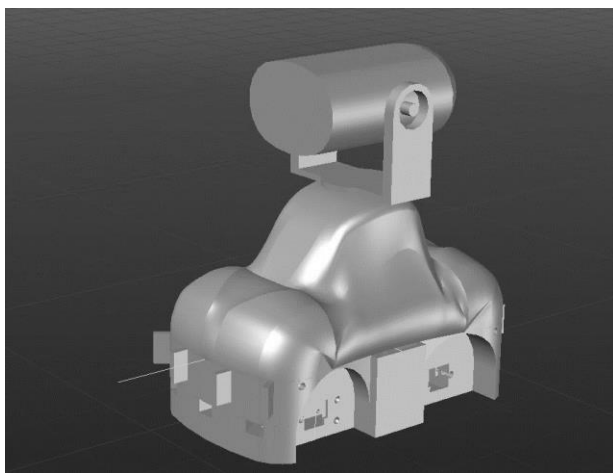


Рисунок 5.9 – Прототип корпуса

Как было отмечено выше, для уменьшения нагрузки на сервоприводы было принято решения использовать подшипники.

Для поворотов в горизонтальной плоскости был выбран подшипник модели 6006 2RS (закрытый) (см. рисунок 5.10).

Данный подшипник обладает следующими размерами:

- внутренний диаметр 30 мм;
- наружный диаметр 55 мм;
- ширина 13 мм.



Рисунок 5.10 – Подшипник 6006 2RS

Для поворотов в вертикальной плоскости использованы два подшипника модели 6003 2RS (см. рисунок 5.11).

Данный подшипник обладает следующими размерами:

- внутренний диаметр 17 мм;
- наружный диаметр 35 мм;
- ширина 10 мм.

Использование достаточно большого подшипника модели 6006 2RS позволяет использовать его внутреннюю часть для того, чтобы обеспечить связь между вторым уровнем и головой.

К недостаткам использования подшипников следует отнести их достаточно высокую массу, по сравнению с компонентами робота.

Для крепления подшипников в корпусе предусмотрены специальные выемки. Части корпуса, используемые для крепления подшипника, сначала проектировались, после чего изготавливались и тестировались (см. рисунок 5.12) с подшипниками, по причине того, что возможна усадка пластика при печати.





Рисунок 5.11 – Подшипник 6003 2RS



Рисунок 5.12 – Расположение подшипников в корпусе

Печать основного корпуса устройства также проводилась при разделении корпуса на несколько частей. Отдельно печаталась передняя и задняя часть корпуса, также все арки, которые служат для крепления основного корпуса к второму уровню.

Крепление частей основного корпуса показано на рисунке 5.13. Между собой части **также, как** и на предыдущих уровнях скрепляются при помощи болтов и гаек.

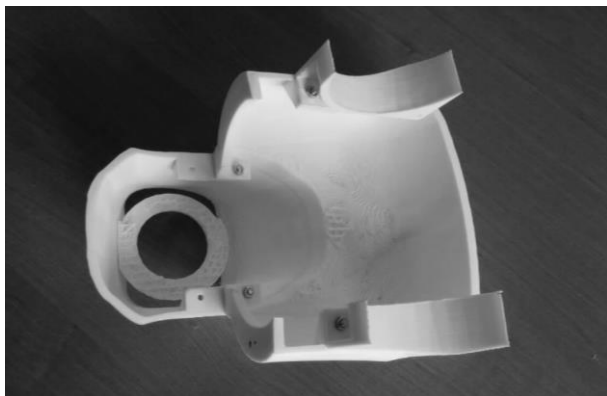


Рисунок 5.13 – Основной корпус. Крепление частей

После сборки основного корпуса он надевается сверху и крепится болтами над колесами (см. рисунок 5.14).



Рисунок 5.14 – Фиксация основного корпуса

Также важной частью разрабатываемого робота является реализация корпуса для крепления блока фиксации изображения. Было принято решение не разносить на большое расстояние камеру и Raspberry Pi, так как их соединение реализовано через шлейф, который подвержен быстрым поломкам при физической деформации.

Данный блок располагается в так называемой голове робота. Она также является сборной. Между собой части крепятся при помощи болтов и гаек. В нижней части корпуса предусмотрено отверстие для реализации связи с

нижним уровнем.

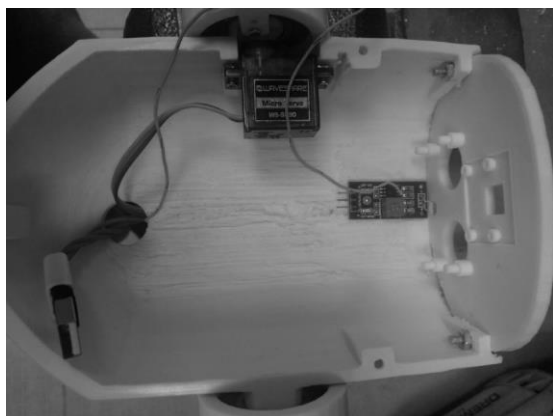


Рисунок 5.15 – Положение светочувствительного датчика

Сборка головы начинается с крепления передней части к нижней. На передней части предусмотрены отверстия и выемки для крепления светочувствительного датчика, ультразвукового датчика и камеры.

Первым закрепляется светочувствительный датчик, так как он занимает самое нижнее положение (см. рисунок 5.15).



Рисунок 5.16 – Положение камеры

После этого закрепляем камеру. Камера располагается в корпусе в перевернутом положении, что требует последующего программного

переворота изображения. Это сделано для того, чтобы шлейф меньше подвергался изломам. Крепление камеры в корпусе показано на рисунке 5.16.

После этого также к передней части прикрепляем ультразвуковой датчик (см. рисунок 5.17).

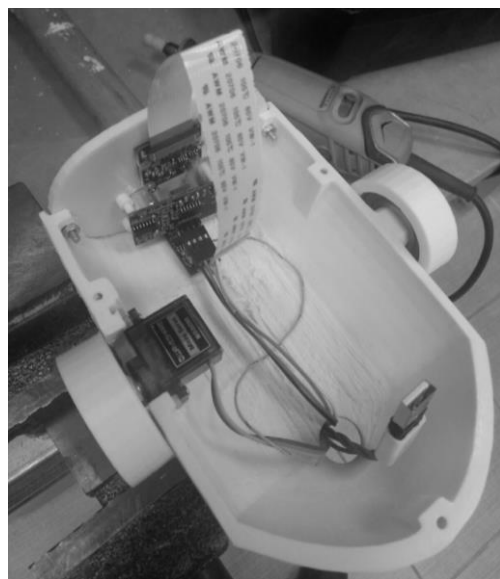


Рисунок 5.17 – Положение ультразвукового датчика

Как уже было описано выше, как ультразвуковой датчик, так и светочувствительный сенсор управляются при помощи Arduino Uno. После их крепления также необходимо подсоединить к датчикам провода, которые служат для коммуникации с Arduino Uno. После этого все необходимые провода следует протянуть на второй уровень.

Возможно далее более удобным является способ сборки, при котором провода необходимые для коммуникации протягиваются через внутреннее отверстие большего подшипника и после этого уже через отверстие в голову. При этом они не прикреплены к компонентам. А уже после того, как все провода будут протянуты, они будут закрепляться.

Кроме того, протяжку проводов удобнее **выполнять, начиная** с более объемных, заканчивая одиночными. Особенно это имеет значение при протяжке проводов с USB-штекерами.

Отверстие обладают достаточным диаметром, чтобы все провода могли спокойно располагаться, но при этом, если производить протяжку в обратном порядке, может не хватить места для протяжки USB-штекера через отверстие.

Для соединения Arduino Uno и Raspberry Pi используется кабель USB type A – USB type B. Этот кабель был изготовлен самостоятельно, по причине того, как Arduino Uno, так и Raspberry Pi располагаются достаточно близко к корпусу, что делает невозможным подключение обычных кабелей (см. рисунок 5.18), потому что для их расположения недостаточно места.



Рисунок 5.18 – Стандартный кабель для соединения Raspberry и Arduino

Также была рассмотрена возможность использовать кабель с угловым расположением провода по отношению к разъемам, но единственный имеющийся в наличии оказался неподходящим (см. рисунок 5.19).



Рисунок 5.19 – Угловой кабель для соединения Raspberry и Arduino

Расположение разъема по отношению к кабелю для подключения Arduino Uno реализовано таким образом, что предполагает размещение Arduino Uno сверху. То есть разъем повернут вниз и кабель упирается во второй уровень, делая подключение невозможным. Полученный кабель

продемонстрирован на рисунке 5.20.



Рисунок 5.20 – Кабель для соединения Raspberry и Arduino

Данный кабель подходит для соединения Raspberry Pi и Arduino. Он помещается в корпусе как на втором уровне, так и в голове робота.

После расположения всех кабелей в отверстиях их необходимо присоединить к предназначенным для этого компонентам. Следующим шагом является крепление Raspberry в голове. Перед тем, как микрокомпьютер будет закреплён в корпусе, необходимо прикрепить к нему микрофон ReSpeaker 2-Mics Pi HAT. После этого присоединяем кабели, соединяющие Raspberry Pi с необходимыми компонентами в предназначенные для этого разъемы. Также присоединяем провод для питания. После того, как это будет проделано, закрепляем Raspberry Pi в голове робота. Собранная голова робота с закрепленными в ней компонентами представлена на рисунке 5.21.

После того как, все компоненты закреплены, необходимо поместить на место и закрепить при помощи болтов верхнюю часть головы.

Далее голова помещается в выемку, находящуюся в верхней части основного корпуса.

Когда робот находится в собранном состоянии, не имеется доступа к его компонентам. Но при необходимости замены компонента или, например, при переключении компонентов выходом к другим выходам микроконтроллеров корпус достаточно легко разбирается и собирается обратно.



Рисунок 5.21 – Голова робота

Анализ результатов, полученных при разработке, представлен в следующем разделе.

## 6 АНАЛИЗ ПОЛУЧЕННЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ

В результате реализации дипломного проекта были разработаны структурная, функциональная и принципиальная схема устройства. Также был изготовлен корпус робота и произведена его сборка.

Полученный робот (см. рисунок 6.1) способен двигаться по прямой вперед и назад, поворачивать, останавливаться. Также он способен принимать голосовые команды, воспроизводить звуки, свидетельствующие о его состоянии. Робот имеет возможность поворачивать голову в горизонтальной и вертикальной плоскостях. Кроме того, реализована возможность обнаружения препятствий, как на более далеком расстоянии, так и при неожиданном их возникновении прямо перед корпусом робота. Робот способен делать фотоснимки, а также имеется возможность для связи с другими устройствами при помощи Bluetooth или Wi-fi технологий. Разумеется, что описанные выше функции возможно продемонстрировать только при использовании соответствующего программного обеспечения.

Среди удачных решений при создании аппаратной части мультитаздачного робота стоит отметить следующее:

- простота сборки;
- модульность корпуса;
- предусмотренная возможность замены компонентов на аналогичные при поломке;
- защитные элементы корпуса, используемые для инфракрасных датчиков;
- жесткая фиксация компонентов в корпусе робота.



Рисунок 6.1 – Собранный робот



Также некоторые принятые решения оказались не очень удачными, их также следует отметить для возможности последующей доработки робота. Достаточно сложный доступ к потенциометрам инфракрасных датчиков, поэтому при сильно отличающемся освещении от того, при котором произведены настройки, вынуждает разбирать часть корпуса.

Также предусмотренные на втором уровне крепления под компоненты требуют достаточно аккуратного крепления и могут сломаться. Возможно, следовало сделать их большей площади. Также попытка сделать корпус аккуратнее и меньше привело к тому, что некоторые стандартные кабели не помещаются в корпус, что вынудило изготавливать аналогичные по функционалу, но более подходящей формы.

Места для крепления предусмотрены для конкретных компонентов, что делает невозможной замену компонентов на компоненты с иными размерами, даже если они способны выполнять необходимые функции.

Несмотря на обнаруженные недостатки и особенности, робот поддерживает необходимый функционал.

Для данного робота возможны следующие варианты использования:

- удаленный мониторинг состояния помещения при длительном отъезде из дома;
- интерактивная охранная система;
- развлечение для детей и всей семьи.

<b>7 ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКОЕ РАЗРАБОТКИ АППАРАТНОЙ МУЛЬТИЗАДАЧНОГО РОБОТА</b>	<b>ОБОСНОВАНИЕ ПЛАТФОРМЫ</b>
---	----------------------------------

### **7.1 Характеристика разработанного устройства**

Данная аппаратная платформа будет использована как аппаратное обеспечение для дипломного проекта «Мультизадачный робот. Программная часть».

Готовое устройство может служить различным целям: от развлечения и обучения до повышения эффективности работы систем «умный дом», снижая контроль со стороны пользователя до минимума. Данный дипломный проект включает в себя разработку и реализацию аппаратной платформы мультизадачного робота, который будет использоваться в качестве робота-ассистента для офисных и жилых помещений. Кроме того, разработанный робот может применяться как платформа для обучения учащихся и студентов аппаратному проектированию и программированию для Arduino и Raspberry.

На основе анализа аналогов разрабатываемого устройства были выделены функции, поддержку которых необходимо обеспечить. Реализованная платформа должна поддерживать следующий функционал:

- распознавание речи и обработка команд посредством системы Google;
- настройка и управление состоянием посредством андроид-приложения;
- независимое перемещение по помещению, избегая возможных препятствий;
- распознавание лиц и образов в реальном времени, слежение за распознанным объектом.

Преимуществом данного робота-помощника перед аналогами является его модульность и возможность, при необходимости, изменять функционал под нужды различных пользователей.

### **7.2 Расчет инвестиций в разработку аппаратной платформы**

Для определения результата от вложения инвестиций в разработку и создание программно-аппаратного комплекса необходимо определить отпускную цену программно-аппаратного комплекса на основе расчета затрат на производство аппаратной части и разработку программной части.

Расчет прямых затрат на материалы и комплектующие изделия для производства аппаратной части комплекса осуществляется в соответствии с представленной в конструкторской документации дипломного проекта номенклатурой, нормой расхода материалов, количеством комплектующих на изделие и рыночных цен. Исходные данные и результаты расчетов заносятся в таблицу 7.1 и таблицу 7.2.

Расчет затрат по статье «Основные и вспомогательные материалы», в которую включается стоимость необходимых для изготовления изделия основных и вспомогательных материалов, осуществляется по формуле

$$P_m = K_{\text{тр}} \cdot \sum_{i=1}^n N_{pi} \cdot C_{\text{отп}i}, \quad (7.1)$$

где  $K_{\text{тр}}$  – коэффициент транспортных расходов;  
 $n$  – номенклатура применяемых материалов;  
 $N_{pi}$  – норма расхода материала  $i$ -го вида на единицу изделия, нат. ед./шт.;  
 $C_{\text{отп}i}$  – цена за единицу материала  $i$ -го вида, р.

Расчет затрат по статье «Покупные комплектующие изделия, полуфабрикаты», в которую включается стоимость необходимых для изготовления изделия комплектующих изделий (интегральных микросхем, полупроводниковых приборов), осуществляется по формуле

$$P_k = K_{\text{тр}} \cdot \sum_{i=1}^m N_i \cdot C_{\text{отп}i}, \quad (7.2)$$

где  $K_{\text{тр}}$  – коэффициент транспортных расходов;  
 $m$  – номенклатура применяемых комплектующих;  
 $N_i$  – количество комплектующих  $i$ -го вида на единицу изделия, нат. ед./шт.;  
 $C_{\text{отп}i}$  – цена за единицу комплектующего  $i$ -го вида, р.

Таблица 7.1 – Расчет затрат на основные и вспомогательные материалы

Наименование материала	Ед. изм.	Норма расхода материала	Цена за единицу материала, р.	Сумма, р.
1.Припой ПОС-40 ф2 мм	г	4	0,10	0,395
2. ЛТИ-120 LUX флюс для пайки (бесспиртовой)	мл	20	0,10	2,00
3. Пластик ABS	г	600	0,05	28,80
4. Картон	лист	15	1,00	15,00
5. Суперклей TDM Мастер	г	12	0,26	3,12
Итого				49,31
Всего с учетом транспортных расходов (1,1–1,2) ( $P_m$ )				54,24

Таблица 7.2 – Расчет затрат на комплектующие изделия

Наименование комплектующего	Количество на изделие, шт.	Цена за единицу, р.	Сумма, р.
1	2	3	4
Raspberry pi 4 4gb ram миниатюрный компьютер	1	252,00	252,00
сетевой адаптер питания ctd-050300a usb type-c wall charger 5v 3a 15w	1	25,20	25,20
Радиаторы алюминиевые(2шт) и медные(1шт) для raspberry pi	1	4,80	4,80
Карта памяти micro sdhc smart buy 32gb class 10	1	21,60	21,60
Raspberry pi камера v2 с сенсором sony imx219 8mp pixels 1080p	1	93,60	93,60
Пластиковый корпус для raspberry pi 4 model b(черный)	1	15,00	15,00
Колесо для робототехники d=65мм с мотором 1:48	4	19,10	76,42
Динамик 40KS08P	2	7,30	14,59
Плата расширения для Raspberry Pi, ReSpeaker 2-Mics Pi HAT	1	32,00	32,00
Модуль Servo Driver	1	10,94	10,94
Плата расширения L293D motor control shield	1	11,38	11,38
Servo кронштейн для камер RPi Camera	1	5,90	5,90
SG90 analog servo	1	15,50	15,50
Arduino, UNO R3 (ATmega16U2)	1	32,76	32,76
Модуль BFPB-6S / балансировочный с защитой для 6-и Li-ion, 4.2В	1	7,98	7,98
XL4015 DC-DC module, DC-DC преобразователь, понижающий	2	9,10	18,19
Infrared Proximity Sensor, Инфракрасный датчик приближения для мобильных роботов	4	8,23	32,93
Arduino, Модуль обнаружения света;	1	2,30	2,30
Аккумулятор samsung inr18650-35e(3.7b 3450mah 10a)	6	12,96	77,76
HC-SR04, Ультразвуковой приемопередатчик для Arduino проектов	1	7,33	7,33
Батарейный отсек 2x18650	3	2,05	6,16
Блок питания, 12В,2.08А,25Вт (адаптер)	1	30,00	30,00

Продолжение таблицы 7.2

1	2	3	4
Разъем питания штырьковый PC-GK2.1	1	0,37	0,37
Шорох-8, микрофон	1	25,08	25,08
Звуковая карта Gembird SC-USB2.0-01	1	20,99	20,99
Болт нержавеющей, сталь A2, DIN 933, M3x10	30	0,07	2,10
Гайка М3 оцинкованная	30	0,02	0,45
Итого			843,34
Всего с учетом транспортных расходов (1,1–1,2)			927,67

Расчет общей суммы прямых затрат на создание аппаратной части представлен в таблице 7.3.

Таблица 7.3 – Расчет общей суммы прямых затрат на создание аппаратной части

Показатель	Сумма, р.
1. Сырье и материалы	54,24
2. Покупные комплектующие изделия	927,67
Всего прямые затраты на производство аппаратной части ( $З_p^{ач}$ )	981,91

Расчет затрат на основную заработную плату команды разработчиков осуществляется исходя из состава и численности команды, размера месячной заработной платы каждого участника команды, а также трудоемкости работ.

Расчет затрат на основную заработную плату команды разработчиков представлен в таблице 7.4.

Таблица 7.4 - Расчет затрат на основную заработную плату команды разработчиков

Категория разработчика	Месячная заработная плата, р.	Часовая заработная плата, р.	Трудоемкость работ, ч	Итого, р.
Инженер-разработчик	810,00	5,06	280	1417,50
Инженер-тестировщик	800,00	5,00	320	1600,00
Итого				3017,50
Всего затраты на основную заработную плату разработчиков				3017,50

Так как при расчете заработной платы использовалась среднемесячная заработная плата в Республике Беларусь для сотрудников инженерной специальности, то премия не рассчитывалась.

Расчет общей суммы затрат на разработку программной части программно-управляемого комплекса необходимо представлен в таблице 7.5.

Дополнительная заработная плата разработчиков рассчитывается по формуле

$$З_д = \frac{З_о \cdot Н_д}{100}, \quad (7.3)$$

где  $Н_д$  – норматив дополнительной заработной платы.

Отчисления на социальные нужды рассчитывается по формуле

$$Р_{соц} = \frac{(З_о + З_д) \cdot Н_{соц}}{100}, \quad (7.4)$$

где  $Н_{соц}$  – ставка отчислений в ФСЗН и Белгосстрах.

Инвестиции на разработку нового изделия рассчитывается по формуле

$$З_p = З_о + З_д + Р_{соц} \quad (7.5)$$

Таблица 7.5 – Расчет затрат на разработку программного средства

Наименование статьи затрат	Расчет по формуле (в таблице)	Сумма, р.
Основная заработная плата разработчиков	Табл. 4	3017,50
Дополнительная заработная плата разработчиков	$\frac{3017,50 \cdot 15,00}{100}$	452,63
Отчисления на социальные нужды	$\frac{(3017,50 + 452,63) \cdot 34,60}{100}$	1200,66
Затраты на разработку программной части ( $З_p^{пч}$ )	$3017,50 + 452,63 + 1200,66$	4670,79

Формирование отпускной цены программно-аппаратного комплекса осуществляется в соответствии с методикой, представленной в таблице 7.6.

Таблица 7.6 – Методика формирования отпускной цены программно-аппаратного комплекса

Показатель	Формула (таблица) для расчета
Затраты на производство аппаратной части ( $З_p^{ач}$ )	табл. 7.3
Затраты на разработку программной части ( $З_p^{пч}$ )	табл. 7.5
Сумма затрат на производство программно-аппаратного комплекса	$З_{пр} = З_p^{ач} + З_p^{пч}$ (7.6)
Накладные расходы	$P_{накл} = \frac{З_{пр} \cdot H_{накл}}{100}$ , (7.7) где $H_{накл}$ – норматив накладных расходов
Расходы на реализацию	$P_{реал} = \frac{З_{пр} \cdot H_{реал}}{100}$ , (7.8) где $H_{реал}$ – норматив расходов на реализацию, (1–3 %)
Полная себестоимость	$C_{п} = З_{пр} + P_{накл} + P_{реал}$ (7.9)
Плановая прибыль, включаемая в цену	$P_{ед} = \frac{C_{п} \cdot P_{пр}}{100}$ (7.10) где $P_{пр}$ – рентабельность продукции,
Отпускная цена	$Ц_{отп} = C_{п} + P_{ед}$ (7.11)

Расчет отпускной цены разработанного комплекса представлен в таблице 7.7.

Таблица 7.7 – Формирование отпускной цены программно-аппаратного комплекса

Показатель	Расчет по формуле (в таблице)	Сумма, р.
1	2	3
Затраты на производство аппаратной части ( $З_p^{ач}$ )	табл. 3	981,91
Затраты на разработку программной части ( $З_p^{пч}$ )	табл. 5	4670,79
Сумма затрат на производство программно-аппаратного комплекса	981,91 + 4670,79	5652,70

Продолжение таблицы 7.7

1	2	3
Накладные расходы	$\frac{5652,70 \cdot 45,00}{100}$	2543,72
Расходы на реализацию	$\frac{5652,70 \cdot 1,00}{100}$	56,53
Полная себестоимость	$5652,70 + 2543,72 + 56,53$	8252,95
Плановая прибыль, включаемая в цену	$P_{ед} = \frac{8252,95 \cdot 35,00}{100}$	2888,53
Отпускная цена	$8252,95 + 2888,53$	11141,48

Результатом создания и продажи программно-аппаратного комплекса является прирост чистой прибыли, полученный от их реализации, который рассчитывается по формуле

$$\Delta\P_{ч} = P_{ед} \cdot N_{п} \left(1 - \frac{H_{п}}{100}\right), \quad (7.12)$$

где  $N_{п}$  – прогнозируемый годовой объем производства и реализации программно-аппаратного комплекса, шт.;

$P_{ед}$  – прибыль, включаемая в цену, р.;

$H_{п}$  – ставка налога на прибыль согласно действующему законодательству, % (по состоянию на 01.01.2020 г. – 18 %).

$$\Delta\P_{ч} = 2888,53 \cdot 1 \cdot \left(1 - \frac{18}{100}\right) = 2368,59 \text{ р.}$$

Затраты в производство нового изделия включают в общем случае: инвестиции на его разработку, инвестиции в прирост основного капитала и инвестиции в прирост собственного оборотного капитала.

Инвестиции в разработку изделия ( $I_p$ ) могут быть оценены по затратам на разработку нового изделия инженерами предприятия-производителя, расчет которых представлен в таблице 7.5.

Инвестиции в прирост основного капитала не требуются, так как производство нового изделия планируется осуществлять на действующем оборудовании в связи с наличием свободных производственных мощностей.

Так как создается уникальный программно-аппаратный комплекс, требуется приобретение нового оборотного капитала. Расчет инвестиций в прирост собственного оборотного капитала представлен в таблице 7.3.



### 7.3 Расчет показателей экономической эффективности разработки

Оценка экономической эффективности разработки и производства нового изделия зависит от результата сравнения инвестиций в производство нового изделия (инвестиции в разработку и прирост собственных оборотных средств) и полученного годового прироста чистой прибыли.

Оценка экономической эффективности инвестиций в производство нового изделия осуществляется на основе расчета простой нормы прибыли (рентабельности инвестиций (затрат)) по формуле

$$P_{\text{и}} = \frac{\Delta\Pi_{\text{ч}}}{I_{\text{пр}}} \cdot 100 \%, \quad (7.13)$$

где  $\Delta\Pi_{\text{ч}}$  – прирост чистой прибыли от производства и реализации новых изделий, р.;

$I_{\text{пр}}$  – инвестиции в производство нового изделия, р.

Вычислим оценку экономической эффективности, подставив значения в формулу (7.13), получим

$$P_{\text{и}} = \frac{2368,6}{5652,7} \cdot 100 \% = 41,9\%$$

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Во время работы над дипломным проектированием была изучена предметная область, детально рассмотрены одноплатные микрокомпьютеры, на базе которых можно реализовать проект и выбран наиболее подходящий.

На начальном этапе разработки был сформирован список функций, который должна поддерживать аппаратная платформа мультизадачного робота.

В рамках дипломного проектирования была разработана и реализована аппаратная платформа мультизадачного робота. Разработанная платформа поддерживает необходимый функционал, который также был определен на начальных этапах разработки.

Задачи, определенные в соответствии с поставленной целью, были выполнены:

- разработана схема устройства разного уровня детализации;
- проведен анализ и сделан выбор необходимых компонентов;
- выполнена разработка и изготовление корпуса устройства;
- устройство собрано на основе изготовленного корпуса и разработанной схемы.

Результаты дипломного проектирования используются как аппаратное обеспечение для реализации дипломного проекта «Мультизадачный робот. Программная часть».

Разработка и изготовление устройства выполнялось для кафедры ЭВМ, устройство планируется использовать в качестве учебного и выставочного образца, кроме того, мультизадачный робот может применяться для удаленного контроля за состоянием помещений, в качестве интерактивного голосового ассистента, независимой охранной системы.

Преимущества:

- простота сборки;
- модульность корпуса;
- предусмотренная возможность замены компонентов на аналогичные при поломке;
- защитные элементы корпуса, используемые для инфракрасных датчиков;
- жесткая фиксация компонентов в корпусе робота.

Также некоторые принятые решения оказались не очень удачными, их также следует отметить для возможности последующей доработки робота. Достаточно сложный доступ к потенциометрам инфракрасных датчиков, поэтому при сильно отличающемся освещении от того, при котором выполнены настройки, вынуждает разбирать часть корпуса.

К особенностям устройства относится достаточно большая масса робота (около 4,5 кг.). Но при этом его масса меньше массы рассмотренных аналогов.

Основную массу составляет корпус и это обусловлено его прочностью, а также использованием подшипников для того, чтобы уменьшить нагрузку на сервопривод. Камера достаточно чувствительна к освещению в помещении, что требует последующей обработки полученного изображения. Также следует упомянуть достаточно большое время, необходимое для полного заряда аккумулятора, которое составляет около 12 часов. Причиной является выбор батареек большой емкости, что также позволяет устройству дольше работать без подзарядки.

Несмотря на обнаруженные недостатки и особенности, робот поддерживает необходимый функционал.

Для данного робота возможны следующие варианты использования:

- удаленный мониторинг состояния помещения при длительном отъезде из дома;
- интерактивная охранная система;
- развлечение для детей и всей семьи.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

- [1] Информационный портал Top 5 robot personal assistants for your home in 2020 [Электронный ресурс]. – Электронные данные. – Режим доступа: <https://roboticsbiz.com/top-5-best-robot-personal-assistants-for-your-home-in-2019/>. – Дата доступа: 14.03.2020.
- [2] Aido. Робот-помощник нового поколения [Электронный ресурс]. – Электронные данные. – Режим доступа: <https://www.indiegogo.com/projects/aido-next-gen-home-robot--2#/>–Дата доступа: 23.03.2020.
- [3] Buddy. Эмоциональный робот [Электронный ресурс]. – Электронные данные. – Режим доступа: <https://buddytherobot.com/en/buddy-the-emotional-robot/>–Дата доступа: 23.03.2020.
- [4] Zenbo. Ваш маленький помощник [Электронный ресурс]. – Электронные данные. – Режим доступа: <https://zenbo.asus.com/>–Дата доступа: 23.03.2020.
- [5] Alpha 2. Первый человекоподобный робот для вашей семьи [Электронный ресурс]. – Электронные данные. – Режим доступа: <https://www.indiegogo.com/projects/alpha-2-the-first-humanoid-robot-for-the-family#/>–Дата доступа: 23.03.2020.
- [6] Rock Pi [Электронный ресурс]. – Электронные данные. – Режим доступа: <https://rockpi.org/rockpi4> –Дата доступа: 25.03.2020.
- [7] Raspberry Pi 4 model B [Электронный ресурс]. – Электронные данные. – Режим доступа: <https://www.raspberrypi.org/products/raspberry-pi-4-model-b/> –Дата доступа: 25.03.2020.
- [8] NVIDIA Jetson Nano [Электронный ресурс]. – Электронные данные. – Режим доступа: <https://developer.nvidia.com/embedded/jetson-nano-developer-kit> –Дата доступа: 25.03.2020.
- [9] Arduino [Электронный ресурс]. – Электронные данные. – Режим доступа: <https://www.arduino.cc/index.php> –Дата доступа: 25.03.2020.
- [10] RS-232.Datasheet [Электронный ресурс]. – Электронные данные. – Режим доступа: <http://www.datasheet26.com/circuit/344139/RS232-%D0%B4%D0%B0%D1%82%D0%B0%D1%88%D0%B8%D1%82.html> –Дата доступа: 25.03.2020.
- [11] Raspberry Pi Foundation [Электронный ресурс]. – Электронные данные. – Режим доступа: <https://www.arrow.com/en/manufacturers/raspberry-pi-foundation> –Дата доступа: 30.03.2020.
- [12] Raspbian [Электронный ресурс]. – Электронные данные. – Режим доступа: <https://www.raspberrypi.org/downloads/raspbian/>–Дата доступа: 30.03.2020.
- [13] Ubuntu [Электронный ресурс]. – Электронные данные. – Режим доступа: <https://ubuntu.com/> –Дата доступа: 30.03.2020.
- [14] Windows 10 IoT Core Download [Электронный ресурс]. –

Электронные данные. – Режим доступа: <https://www.microsoft.com/en-us/software-download/windows10IoTCore> –Дата доступа: 30.03.2020.

[15] RISC OS Open [Электронный ресурс]. – Электронные данные. – Режим доступа: <https://www.riscosopen.org/content/> –Дата доступа: 30.03.2020.

[16] About Python [Электронный ресурс]. – Электронные данные. – Режим доступа: <https://www.python.org/about/> –Дата доступа: 30.03.2020.

[17] About Scratch [Электронный ресурс]. – Электронные данные. – Режим доступа: <https://scratch.mit.edu/about> –Дата доступа: 30.03.2020.

[18] Kodi wants to entertain you [Электронный ресурс]. – Электронные данные. – Режим доступа: <https://kodi.tv/about> –Дата доступа: 30.03.2020.

[19] The seL4 Microkernel [Электронный ресурс]. – Электронные данные. – Режим доступа: <https://sel4.systems/> –Дата доступа: 30.03.2020.

[20] ATmega328P [Электронный ресурс]. – Электронные данные. – Режим доступа: [http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/Atmel-7810-Automotive-Microcontrollers-ATmega328P\\_Datasheet.pdf](http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/Atmel-7810-Automotive-Microcontrollers-ATmega328P_Datasheet.pdf) –Дата доступа: 30.03.2020.

[21] SoftwareSerial Library [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.arduino.cc/en/Reference/softwareSerial> –Дата доступа: 30.03.2020.

[22] Basic of the I2C [Электронный ресурс]. – Электронные данные. – Режим доступа: <https://www.circuitbasics.com/basics-of-the-i2c-communication-protocol/> –Дата доступа: 30.03.2020.

[23] SPI [Электронный ресурс]. – Электронные данные. – Режим доступа: <https://learn.sparkfun.com/tutorials/serial-peripheral-interface-spi/all> –Дата доступа: 30.03.2020.

[24] Basic of AVR C [Электронный ресурс]. – Электронные данные. – Режим доступа: [https://exploreembedded.com/wiki/Basics\\_of\\_AVR\\_%27C%27](https://exploreembedded.com/wiki/Basics_of_AVR_%27C%27) –Дата доступа: 05.04.2020.

[25] Ultrasonic Ranging Module HC - SR04 [Электронный ресурс]. – Электронные данные. – Режим доступа: <https://cdn.sparkfun.com/datasheets/Sensors/Proximity/HCSR04.pdf> –Дата доступа: 05.04.2020.

[26] Обзор датчика препятствия [Электронный ресурс]. – Электронные данные. – Режим доступа: <https://3d-diy.ru/wiki/arduino-datchiki/infrakrasnyj-datchik-prepyatatstvij-yl-63/#Techno> –Дата доступа: 30.03.2020.

[27] Arduino и двигатели [Электронный ресурс]. – Электронные данные. – Режим доступа: <http://arduino-diy.com/arduino-dvigateli> –Дата доступа: 05.04.2020.

[28] Arduino Driver Shield [Электронный ресурс]. – Электронные данные. – Режим доступа: <https://www.adafruit.com/product/1438> –Дата доступа: 05.04.2020.

[29] ReSpeaker\_2\_Mics\_Pi\_HAT [Электронный ресурс]. – Электронные данные. – Режим доступа:

[https://wiki.seeedstudio.com/ReSpeaker\\_2\\_Mics\\_Pi\\_HAT/](https://wiki.seeedstudio.com/ReSpeaker_2_Mics_Pi_HAT/)–Дата доступа: 13.04.2020.

[30] Stereo CODEC with 1W Stereo Class D Speaker Drivers and Headphone Drivers for Portable Audio Applications [Электронный ресурс]. – Электронные данные. – Режим доступа: <https://pdf1.alldatasheet.com/datasheet-pdf/view/628821/WOLFSON/WM8960.html>–Дата доступа: 13.04.2020.

[31] Микрофон Шорох-8 [Электронный ресурс]. – Электронные данные. – Режим доступа: [http://www.tvz.by/index.php?id\\_product=490&controller=product](http://www.tvz.by/index.php?id_product=490&controller=product) –Дата доступа: 13.04.2020.

[32] TEA2025b Datasheet [Электронный ресурс]. – Электронные данные. – Режим доступа: <https://cdn.instructables.com/ORIG/F1F/4F9L/IVO3PB5W/F1F4F9LIVO3PB5W.pdf> – Дата доступа: 15.04.2020.

[33] Light Magic: Using LM393 and Arduino UNO [Электронный ресурс]. – Электронные данные. – Режим доступа: <https://create.arduino.cc/projecthub/kiranpaul/light-magic-using-lm393-and-arduino-uno-14eadc> –Дата доступа: 15.04.2020.

[34] LM393 [Электронный ресурс]. – Электронные данные. – Режим доступа: <http://www.ti.com/lit/ds/symlink/lm393-n.pdf?ts=1589860891844> – Дата доступа: 15.04.2020.

[35] Camera Module [Электронный ресурс]. – Электронные данные. – Режим доступа: <https://www.raspberrypi.org/documentation/hardware/camera/> – Дата доступа: 15.04.2020.

[36] Camera Serial Interface [Электронный ресурс]. – Электронные данные. – Режим доступа: [https://en.wikipedia.org/wiki/Camera\\_Serial\\_Interface](https://en.wikipedia.org/wiki/Camera_Serial_Interface) –Дата доступа: 22.04.2020.

[37] Adafruit 16-channel 12-bit pwm/servo driver [Электронный ресурс]. – Электронные данные. – Режим доступа: <https://www.adafruit.com/product/815> – Дата доступа: 22.04.2020.

[38] 18650 [Электронный ресурс]. – Электронные данные. – Режим доступа: <https://www.18650batterystore.com/18650-Batteries-s/106.htm>–Дата доступа: 26.04.2020.

[39] BMS – обзор контроллеров защиты аккумуляторов [Электронный ресурс]. – Электронные данные. – Режим доступа: <https://voltiq.ru/bms-protection-board-review/> –Дата доступа: 26.04.2020.

[40] 5A 300KHz 32V Buck DC to DC Converter XL4005 [Электронный ресурс]. – Электронные данные. – Режим доступа: [https://www.mini-tech.com.ua/download/datasheet/power\\_supply/XL4005%20datasheet.pdf](https://www.mini-tech.com.ua/download/datasheet/power_supply/XL4005%20datasheet.pdf) –Дата доступа: 26.04.2020.

[41] Sprint Layout 6.0 [Электронный ресурс]. – Электронные данные. – Режим доступа: <https://www.electronic-software-shop.com/lng/en/electronic-software/sprint-layout-60.html?language=en> –Дата доступа: 26.04.2020.

**ПРИЛОЖЕНИЕ А**  
*(обязательное)*

**Вводный плакат**