

**Всероссийский конкурс юных исследователей окружающей
среды имени Б.В. Всесвятского**

Номинация «Юные исследователи»

**Разработка акустико-оптической системы для обнаружения БПЛА в
условиях сложного рельефа (низины, русла рек)**

Выполнил:

Ляпкин Михаил Евгеньевич, 13 лет

Руководитель:

Калистратова Людмила Юрьевна

г. Сокол 2025 г.

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	3
1 ГЛАВА 1 ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ РАЗРАБОТКИ	3
1.1 Обзор современных систем обнаружения БПЛА	3
1.2 Сравнительный анализ технологий: радары, акустика, оптика	4
1.3 Физические принципы акустического обнаружения БПЛА	5
1.4 Компьютерное зрение для трекинга летательных аппаратов	6
1.5 Расчет угла обзора и дальности обнаружения	6
1.6 Расчет параметров рупора для акустического обнаружения	7
2 ГЛАВА 2 РАЗРАБОТКА УСТРОЙСТВА	8
2.1 Техническое задание и требования к системе	8
2.2 Аппаратная реализация прототипа	9
2.3 Программное обеспечение	14
3 ГЛАВА 3 ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ	18
3.1 Расчет себестоимости разработки прототипа	18
3.2 SWOT-анализ проекта	20
3.3 Перспективы коммерциализации	21
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	22
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ	23
ПРИЛОЖЕНИЕ 1	24

ВВЕДЕНИЕ

Современный этап развития беспилотных авиационных систем характеризуется стремительным ростом их применения в различных сферах - от коммерческих до военных. Однако вместе с расширением возможностей БПЛА возникает серьезная проблема обеспечения контроля воздушного пространства, особенно в условиях сложного рельефа местности. Традиционные системы мониторинга, основанные на радиолокационных технологиях, демонстрируют ограниченную эффективность в низинах, оврагах и руслах рек, где образуются "мертвые зоны" из-за экранирования радиоволн естественными препятствиями.

Анализ существующих решений показывает, что большинство современных систем обнаружения БПЛА ориентированы на работу в условиях открытого пространства. При этом гибридные системы, сочетающие различные методы обнаружения, либо обладают чрезмерно высокой стоимостью, либо требуют сложной инфраструктуры, что делает их непригодными для оперативного развертывания в труднодоступных районах.

Целью данной работы является разработка автономного устройства для контроля воздушного пространства в условиях сложного рельефа, сочетающего акустические и оптические методы обнаружения с минимальными требованиями к инфраструктуре.

Задачи, которые необходимо решить в рамках данной работы для достижения поставленной цели:

1. Изучение существующих решений обнаружения БПЛА
2. Определение проблемы и её решения
3. Разработка акустического модуля системы
4. Создание системы видеонаблюдения
5. Программирование нейросетевых алгоритмов
6. Разработка интерфейсов управления
7. Оценка экономической целесообразности предложенного решения

ГЛАВА 1 ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ РАЗРАБОТКИ

1.1 Обзор современных систем обнаружения БПЛА

Современные технологии обнаружения беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) развиваются в условиях растущих вызовов. Существует несколько подходов, каждый с уникальными характеристиками и ограничениями [1].

Радиолокационные системы. Основаны на отражении радиоволн. Надежны в открытой местности и при любых погодных условиях, но имеют "мертвые зоны" в сложном рельефе и плохо обнаруживают малогабаритные цели. Высокая стоимость также ограничивает их применение.

Акустические системы. Анализируют звуковой профиль БПЛА, обнаруживая цели за препятствиями. Однако дальность ограничена (300-500 м), а фоновые шумы требуют сложной обработки сигналов.

Оптические системы. Включают видеокамеры и тепловизоры, обеспечивая точную идентификацию. Эффективность снижается при плохом освещении или непогоде (туман, дождь).

Гибридные системы. Гибридные системы объединяют несколько методов обнаружения (радар, акустика, оптика), компенсируя их недостатки. Однако они сложны, дороги и энергоёмки. В сложном рельефе их эффективность ограничена физическими принципами работы. Большинство решений не адаптировано для низин и русел рек, что требует разработки специализированных систем с упором на акустико-оптические технологии.

Проведённый анализ показывает, что для мониторинга воздушного пространства в сложном рельефе наиболее перспективно сочетание акустических и оптических методов, обеспечивающее баланс между обнаружением за препятствиями, визуальной верификацией, энергоэффективностью и стоимостью.

1.2 Сравнительный анализ технологий: радары, акустика, оптика

Для комплексной оценки эффективности различных методов контроля воздушного пространства проведен сравнительный анализ трех ключевых технологий: радиолокационного, акустического и оптического обнаружения. Сравнительные характеристики систем обнаружения БПЛА указаны в таблице 1. [2]

Критерий	Радары	Акустические системы	Оптические системы
<i>Дальность</i>	10-50 км	200-400 м	1-5 км
<i>Работа за препятствиями</i>	нет	Да (огибание звуком)	нет
<i>Точность</i>	70-85%	60-75%	90% (визуальная верификация)
<i>Зависимость от погоды</i>	Устойчивы	Устойчивы	Не устойчивы
<i>Энергопотребление</i>	1-5 кВт	10-30 Вт	50-200 Вт
<i>Стоимость</i>	От 5 млн руб.	от 300 тыс. руб.	От 1.5 млн руб.
<i>Примеры</i>	«Сова» (АО "НПО "Стрела", 2022	Акустический детектор "Малик"	ЗАО «ТРАНЗАС Консалтинг»

Таблица 1. Сравнительные характеристики технологий обнаружения БПЛА

Таким образом, акустико-оптический метод был выбран как наиболее эффективное решение для мониторинга воздушного пространства в условиях

сложного рельефа благодаря сочетанию акустического и оптического обнаружения. Акустический компонент выявляет БПЛА по звуковому профилю, а оптический снижает ложные срабатывания. Система эффективна в сложных погодных условиях и требует меньших энергозатрат и затрат на развертывание по сравнению с радарами, что делает её экономически целесообразной. Возможна интеграция машинного обучения для улучшения функционала.

1.3 Физические принципы акустического обнаружения БПЛА

Акустическое обнаружение БПЛА основано на анализе характерных звуковых сигналов, генерируемых двигателями и движущимися частями дронов. Основным источником звука является аэродинамический шум вращающихся винтов, который формирует акустическую сигнатуру БПЛА. Эта сигнатура включает шум вращения винтов в диапазоне 200-1000 Гц, гармоники до 5-8 кГц и специфическую модуляцию, зависящую от типа двигателя. [2]

Распространение звука подчиняется закону обратных квадратов, где интенсивность уменьшается обратно пропорционально квадрату расстояния. Скорость звука в воздухе при 20°C составляет 343 м/с, а поглощение звука в воздухе составляет примерно 0.03 дБ/м для частоты 500 Гц.

Уровень сигнала на микрофоне можно рассчитать по формуле 1:

$$L = L_0 - 20 \log_{10}(r) - \alpha r \quad (1)$$

Где:

L - уровень сигнала на микрофоне;

$L_0 = 80-90$ дБ (уровень БПЛА на 1 м)

α — коэффициент поглощения.

Методы обработки сигналов включают спектральный анализ (БПФ в реальном времени), выделение мел-кепстральных коэффициентов и корреляционный анализ для определения направления. Эффективность системы определяется чувствительностью микрофонов (от -35 дБ), алгоритмами шумоподавления и точностью определения направления (до 3-5°). Теоретическая дальность обнаружения типового квадрокоптера составляет 400-600 м в условиях слабого фонового шума.

Акустический метод эффективен для обнаружения БПЛА в условиях сложного рельефа благодаря способности звука огибать препятствия. Однако основное ограничение заключается в зависимости от фонового шума, что требует применения сложных алгоритмов обработки сигналов. Комбинация акустических методов с оптическими позволяет компенсировать недостатки чисто акустических систем, повышая общую эффективность мониторинга воздушного пространства.

1.4 Компьютерное зрение для трекинга летательных аппаратов

Современные системы компьютерного зрения для трекинга беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) решают важные задачи, связанные с обнаружением и сопровождением объектов в условиях, где радиолокационные методы неэффективны, например, в городах или лесах. Эти системы используют нейросетевые алгоритмы для анализа геометрических и динамических характеристик объектов, а также их тепловых сигнатур. [3]. Процесс трекинга включает в себя несколько ключевых компонентов: алгоритмы обнаружения, методы сопровождения и адаптацию к условиям. Основное уравнение для прогнозирования положения объекта выглядит следующим образом формула 2:

$$x_t = A \cdot x_{t-1} + B \cdot u_t + w_t \quad (2)$$

Где:

x_t — текущее состояние системы

A — матрица перехода

B — матрица управления

w_t — шум процесса

На практике системы требуют мощные графические процессоры и камеры с высокой частотой кадров. Они также должны эффективно обрабатывать видео в реальном времени и справляться с различными проблемами, такими как частичная окклюзия и быстрое движение объектов.

Системы компьютерного зрения могут интегрироваться с акустическими модулями и работать в распределённых сетях датчиков.

1.5 Расчет угла обзора и дальности обнаружения

Угол обзора (FOV) — важный параметр оптических систем, определяющий область, которую может охватить камера. Он рассчитывается по формуле 3:

$$FOV = 2 \cdot \arctg((d / 2 \cdot f)) \quad (3)$$

Где:

d - размер матрицы камеры (мм)

f - фокусное расстояние объектива (мм)

Значение угла обзора позволяет понять, насколько широкой или узкой будет область захвата изображения. На практике можно выделить два основных режима съемки: широкий угол (50-60°) подходит для общего мониторинга, тогда как узкий (3-10°) позволяет детализированное наблюдение за удаленными объектами.

Дальность обнаружения также критична и зависит от разрешения камеры, размера объекта и атмосферных условий. Минимальное разрешение для успешного обнаружения рассчитывается по формуле 4:

$$R = D \cdot h / f \quad (4)$$

Где:

R — минимальное разрешение в пикселях,

D — расстояние до цели,

h — высота объекта, а

f — фокусное расстояние объектива.

Важно учитывать факторы, влияющие на точность расчетов, такие как атмосферная дымка и вибрация платформы. Оптимальные параметры системы могут включать угол обзора от 5 до 60° и дальность обнаружения до 3 км днем и 1.5 км ночью с инфракрасной технологией.

1.6 Расчет параметров рупора для акустического обнаружения

При разработке акустико-оптической системы для обнаружения беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) в условиях сложного рельефа, таких как низины и русла рек, важным аспектом является выбор и расчет параметров рупора, который будет использоваться для акустического обнаружения. Рупор служит для концентрации звуковых волн и увеличения чувствительности системы к звуковым сигналам от БПЛА.

Выбор формы рупора

Форма рупора оказывает значительное влияние на его акустические характеристики. Наиболее распространенные формы рупоров:

- Конусные: обеспечивают хороший угловой обзор и относительно просты в производстве.
- Параболические: обладают высокой направленностью и могут значительно усиливать звуковые сигналы из определенного направления.
- Сферические: обеспечивают равномерное распределение звука, но имеют меньшую направленность.

Для условий сложного рельефа может быть целесообразно использовать параболические рупоры, так как они позволяют сосредоточить звук на источнике.

Расчет размеров рупора

Размеры рупора влияют на его эффективность. Основные параметры, которые следует рассмотреть:

- Диаметр рупора: больший диаметр позволяет улавливать более слабые звуки, но увеличивает вес и размеры системы. Для акустического обнаружения БПЛА рекомендуется выбирать диаметр от 0.5 до 1 метра.
- Длина рупора: длина влияет на угловую направленность. Оптимальная длина может варьироваться от 0.5 до 2 метров в зависимости от требуемого угла обзора.

Для расчета этих параметров подходит формула 5:

$$\theta = 2 \cdot \arctan((D / 2L)) \quad (5)$$

Где:

- θ – угол раскрытия
- D — диаметр рупора
- L — длина рупора

Прототипирование и тестирование

После расчетов необходимо создать прототип рупора и провести тестирование в реальных условиях. Это позволит оценить его эффективность и внести необходимые коррективы в конструкцию.

Таким образом, расчет параметров рупора для акустического обнаружения БПЛА включает в себя выбор частотного диапазона, форму и размеры рупора, учет окружающей среды и тестирование прототипа. Эти шаги помогут создать эффективную акустико-оптическую систему для обнаружения БПЛА в сложных условиях.

ГЛАВА 2 РАЗРАБОТКА УСТРОЙСТВА

2.1 Техническое задание и требования к системе

Назначение устройства

Устройство предназначено для обнаружения, идентификации и распознавания беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) с использованием акустико-оптической системы.

Функциональные требования

1. Автоматическое обнаружение БПЛА по звуку и видео.
2. Управление поворотом платформы через компьютерное приложение в автоматическом режиме.
3. Ручное управление поворотом платформы через мобильное и компьютерное приложение.
4. Сохранение фотографий с меткой времени.
5. Трансляция видео в реальном времени на YouTube и мобильные устройства.
6. Оповещение пользователя при обнаружении БПЛА через приложения (компьютерное и мобильное) и Telegram-бот.

Состав системы

Система аудиоконтроля:

1) Модуль микрофона с усилителем:

- Высокочувствительный микрофон
- Рупор (конус), напечатанный на 3D-принтере, для усиления звука.

2) Raspberry Pi 3b:

- Обработка аудиосигнала.
- Нейросеть для идентификации звуков подлетающего БПЛА.
- Передача данных на компьютер через локальную Wi-Fi сеть.

Система видеоконтроля:

1) Вращающаяся платформа:

- Шаговый двигатель для управления поворотом.
- Видеокамера для захвата изображения.

2) Arduino UNO:

- Управление шаговым двигателем.
- Соединение с Raspberry Pi 3b через USB.

3) Радиоканал 5,8 ГГц:

- Передача видео с камеры на компьютер.

Компьютерный модуль

1) Программное обеспечение:

- Приложение для управления системой.
- Нейросеть для анализа видео и выделение БПЛА в bounding box.
- Нейросеть для определения типа БПЛА (вертолетный тип/самолетный тип).
- Сохранение фотографий БПЛА.
- Telegram-бот для оповещения пользователя.

2) Интернет-трансляция:

- Ведение трансляции на YouTube.

Мобильное приложение

- Функции:

- 1) Просмотр трансляции с YouTube;
- 2) Информирование о обнаружении БПЛА.
- 3) Интерфейс для управления поворотом камеры в ручном режиме.

Коммуникация

1. Wi-Fi: для связи между Raspberry Pi и компьютером.
2. USB: для подключения Arduino к Raspberry Pi.
3. Радиоканал 5,8 ГГц: для передачи видео.
4. HTTP-запросы для уведомлений в мобильном приложении.

2.2 Аппаратная реализация прототипа

Состав разрабатываемой системы можно визуализировать с помощью структурной схемы (рисунок 1)

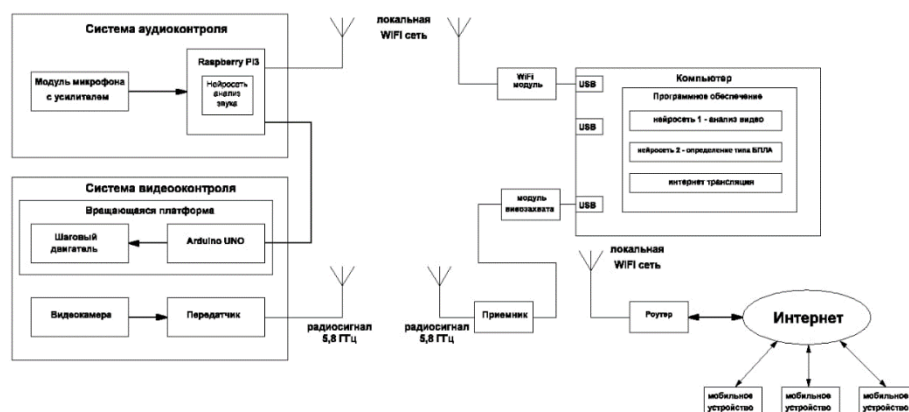


Рисунок 1. Структурная схема устройства

Акустический модуль

Акустический модуль предназначен для улавливания, усиления и анализа звуков подлетающих БПЛА. В его состав входят:

1. **Микрофон «Шорох 12».** Характеристики: Чувствительность: **-35 дБ.** Частотный диапазон: **20 Гц – 20 кГц** (перекрывает спектр шумов БПЛА). Аналоговый выход с низким уровнем собственных шумов (рисунок 1).



Рисунок 2. Активный микрофон для фото и видеокамер с акустической дальностью до 15м

Микрофон Шорох 12 – это миниатюрный активный микрофон с сверхвысоким уровнем чувствительности без автоматической регулировки усиления для систем аудио-фиксации и камер видео наблюдения. Он выбран для прототипа потому, что способен улавливать высокочастотные звуки на расстоянии до 100–150 метров, совместим с Raspberry Pi 3В, у него доступная цена по сравнению с профессиональными микрофонами.

2. Рупорная система, напечатанная на 3D-принтере.

Акустический модуль оснащен коническим рупором, обеспечивающим эффективный захват и усиление звуковых волн.

- 1) Материал: PETG-пластик.
- 2) Геометрические параметры: входное отверстие: 180 мм, выходное отверстие: 10 мм (точное согласование с микрофоном), форма: прямой конус с линейным профилем сужения.
- 3) Крепление микрофона: на выходном конце рупора расположен точёный держатель, обеспечивающий плотную фиксацию микрофона «Шорох 12» без акустических зазоров.

Внешний вид рупорной системы представлен на рисунке 3.



Рисунок 3. Рупорная система

3. Raspberry Pi 3B.

Компактный одноплатный компьютер, выступающий в проекте в качестве вычислительного ядра для обработки звука (рисунок 4).



Рисунок 4. Одноплатный компьютер Raspberry Pi 3B

Raspberry Pi 3B выбран за оптимальное сочетание цены, производительности и энергопотребления. Его 4-ядерный процессор и 1 ГБ ОЗУ достаточно для обработки аудио и работы lightweight-нейросетей.

Функции в системе:

1. Обработка аудиосигнала в реальном времени с микрофона.
2. Запуск нейросетевой модели для идентификации звуков БПЛА (на базе библиотеки TensorFlow).
3. Организация передача данных в компьютерное приложение через локальную Wi-Fi сеть.

4. Нейросетевая модель для идентификации БПЛА.

Для классификации звуковых сигналов БПЛА была разработана специализированная **Temporal Convolutional Network (TCN)** - современная архитектура для обработки временных последовательностей, обладающая преимуществами как сверточных, так и рекуррентных сетей. Основные преимущества TCN включают возможность захвата долгосрочных

зависимостей и параллельной обработки временных данных. Модель включает несколько слоев с расширяющимися сверточными фильтрами и остаточными соединениями для улучшения обучения.

Обучение модели проводилось в среде Google Colab с использованием графических процессоров для ускорения процесса. Использовались функции потерь и оптимизаторы из библиотеки TensorFlow для достижения наилучших результатов. Датасет содержал 250 записей БПЛА + 270 фоновых шумов. Для увеличения датасета использовался метод синтетической аугментации. Обучение проходило на 100 эпохах. Достигнутая точность: 96,3% на тестовой выборке.

Оптико-механический блок

Оптико-механический блок является важным компонентом акустико-оптической системы для обнаружения БПЛА в условиях сложного рельефа, обеспечивающим гибкость и управляемость в процессе наблюдения. Он включает в себя вращающуюся платформу с камерой, систему беспроводной передачи видео и интерфейс ручного управления, позволяя оператору эффективно контролировать направление камеры.

Компоненты оптико-механического блока

1. **Вращающаяся платформа.** Вращающаяся платформа является ключевым компонентом оптико-механического блока. На ней установлена видео камера. Платформа позволяет камере поворачиваться в горизонтальной плоскости, что обеспечивает панорамное видеонаблюдение. Для реализации вращения используется шаговый двигатель, который обеспечивает высокую точность позиционирования и плавность движения.

2. **Шаговый двигатель и драйвер.** В качестве приводного механизма используется шаговый двигатель 28BYJ-48, подключенный к Arduino через драйвер ULN 2003 (рисунок 5).



Рисунок 5. Шаговый двигатель 28BYJ-48 с драйвером управления для Arduino

Он обеспечивает точное управление углом поворота, что позволяет оператору устанавливать камеру под необходимым углом. Драйвер ULN 2003

управляет подачей напряжения на обмотки двигателя, что позволяет осуществлять его вращение в нужном направлении и с необходимой скоростью.

Оператор может управлять углом поворота с помощью интерфейса ручного управления. Нажимая клавиши на клавиатуры компьютера оператор может изменять угол поворота платформы, выбирая нужное направление наблюдения. Так же есть возможность управления поворотом платформы из мобильного приложения.

3. **Камера.** На платформе установлена мини FPV камера (рисунок 6).



Рисунок 6. Используемая камера для видео наблюдения

Данная камера обеспечивает высокое качество изображения и хорошую видимость в условиях низкой освещенности, что делает ее подходящей для использования в прототипе системы.

4. **Система беспроводной передачи видео.** Для передачи видеосигнала используется беспроводной AV-передатчик TS832 в связке с приемником RC832. Эта система обеспечивает надежную передачу видеопотока на расстоянии до 1 километра (в зависимости от условий), что позволяет оператору наблюдать за происходящим в реальном времени без необходимости прокладывать кабели (рисунок 7).



Рисунок 7. Система беспроводной передачи видео.

Система энергоснабжения.

Энергопитание акустико-оптической системы осуществляется от трех литий-ионных аккумуляторов NCR18650B, которые обеспечивают необходимую энергию для работы Arduino, Raspberry Pi, мотора, микрофона, камеры и передатчика.

Система включает два тумблера включения:

- Первый тумблер управляет подачей питания на Raspberry Pi, от USB порта которого питается Arduino.
- Второй тумблер управляет подачей питания на активный микрофон и передатчик видеосигнала. На рисунке 8 представлена схема подключения аккумуляторов.

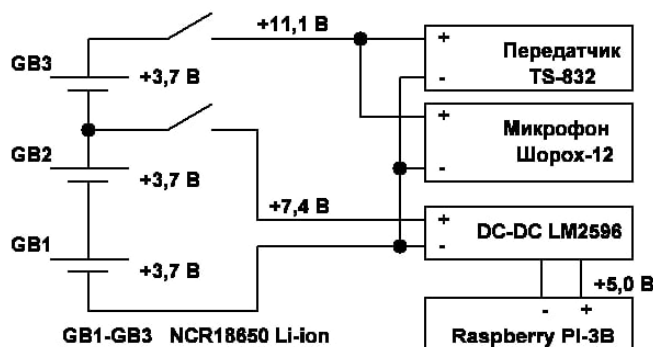


Рисунок 8. Схема подключения аккумуляторов

2.3 Программное обеспечение

Программное обеспечение Raspberry Pi 3B

Программное обеспечение для одноплатного компьютера Raspberry Pi 3B, предназначено для обработки звуковых сигналов с микрофона и определения беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) по звуку. Программное обеспечение реализовано на языке Python и представляет собой консольное приложение. Оно состоит из следующих ключевых компонентов:

- Модуль захвата звука: использует микрофон для записи звуковых сигналов.
- Нейросеть: обрабатывает аудиоданные и производит классификацию звуков для определения наличия БПЛА.
- Сетевой интерфейс: обеспечивает передачу данных через Wi-Fi с использованием сокетов для организации двух каналов связи.
- Для обеспечения стабильности соединения используется динамический IP-адрес.

Для захвата звука с микрофона программа использует библиотеку `sounddevice`. Звуковые данные обрабатываются с помощью нейросетевой модели, обученной на выборке аудиозаписей БПЛА и других звуков. После обработки данные классифицируются, и в случае обнаружения БПЛА отправляется уведомление через сетевой интерфейс. Данные передаются по Wi-Fi с использованием сокетов, что позволяет организовать связь между устройствами в реальном времени.

Программное обеспечение для компьютерного приложения

Приложение предназначено для работы с видеопотоком с камеры, автоматического сохранения фотографий БПЛА и их последующего анализа. [4]. Скриншот экрана приложения представлен на рисунке 9.

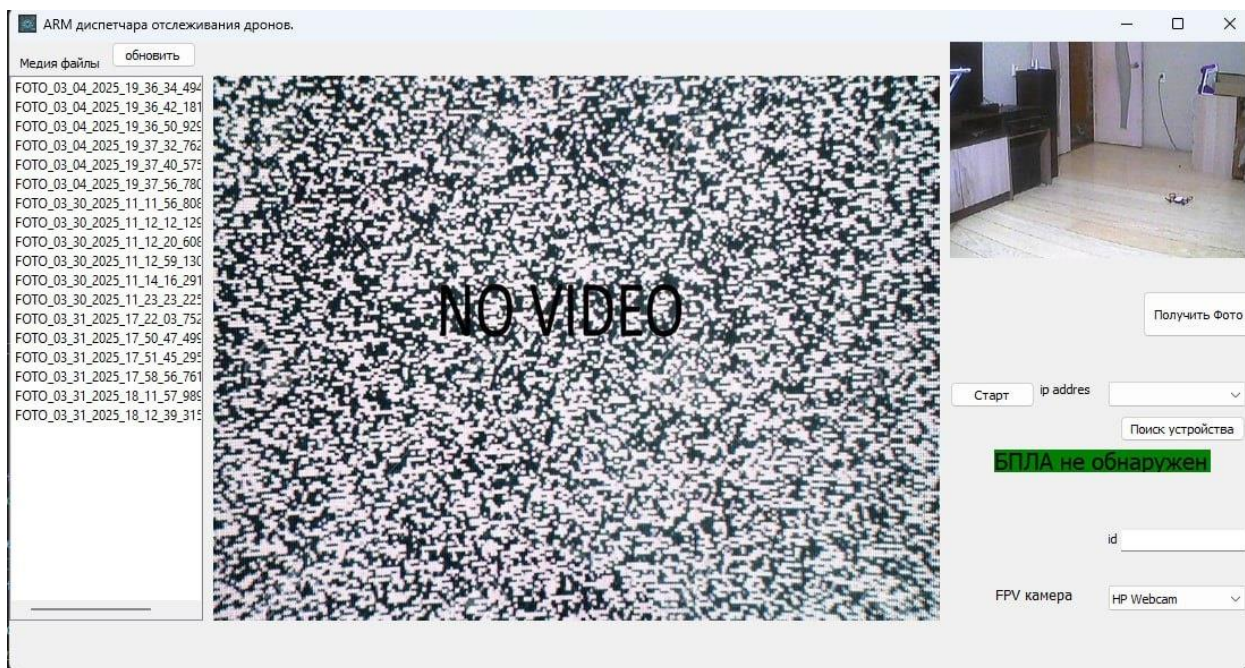


Рисунок 9. Скриншот компьютерного приложения

Основные функции приложения.

- **Видеопоток с камеры.** Программа осуществляет захват и вывод видео с подключенной камеры в реальном времени.
- **Сохранение фотографий БПЛА.** При получении сигнала от Raspberry Pi о том, что БПЛА обнаружен, приложение автоматически сохраняет фотографию в заранее определенную папку. Пользователь также имеет возможность вручную сделать снимок в любое время.
- **Просмотр сохраненных фотографий.** В приложении предусмотрено поле, для вывода сохраненные фотографии.
- **Уведомления об обнаружении БПЛА.** Приложение выводит сообщения о статусе обнаружения БПЛА. Если БПЛА обнаружен, на экране появляется сообщение с красным фоном: "БПЛА обнаружен". В противном случае выводится сообщение с зеленым фоном: "БПЛА не обнаружен".
- **Классификация типа БПЛА.** С помощью другой нейросети приложение определяет тип обнаруженного БПЛА (вертолетный или самолетный тип) и выводит соответствующее сообщение под уведомлением об обнаружении.
- **Трансляция на YouTube.** Приложение осуществляет трансляцию видео с камеры на платформу YouTube, позволяя пользователям следить за происходящим в реальном времени.
- **Уведомления в мобильное приложение и Telegram.** При обнаружении БПЛА компьютерное приложение отправляет уведомление в мобильное приложение, а также отправляет сообщение в Telegram-бота, информируя пользователей о ситуации.

Программное обеспечение реализовано с использованием библиотеки PyQT5 для создания графического интерфейса пользователя (GUI). Основные компоненты включают:

- Модуль захвата видео. Используется библиотека OpenCV для захвата видеопотока и его отображения в интерфейсе.
- Обработка сигналов от Raspberry Pi. Программа получает сообщения о обнаружении БПЛА через сокет.
- Сохранение изображений. Функция сохранения фотографий реализована с помощью стандартных методов обработки изображений в Python, что позволяет сохранять снимки в заданной директории.
- Классификация изображений. Нейросеть обрабатывает сохраненные фотографии для определения типа БПЛА и использует заранее обученные модели для классификации.
- Интеграция с YouTube и Telegram. Для трансляции видео используется приложение OBS Studio. Для передачи потока в неё, используется виртуальная камера. Для отправки сообщений в Telegram — Telegram Bot API.

Разработанное программное обеспечение на базе PyQt5 представляет собой мощный инструмент для мониторинга и анализа беспилотных летательных аппаратов. Оно объединяет функции видеонаблюдения, автоматического сохранения изображений, классификации типов БПЛА и уведомлений пользователей, что делает его полезным как для индивидуальных пользователей, так и для профессиональных служб безопасности.

Программное обеспечение для контроллера Arduino Uno.

Код для контроллера Arduino UNO разрабатывался в среде Arduino IDE, с использованием библиотек и инструментов, обеспечивающих взаимодействие с периферийными устройствами и датчиками.

Программа составлена на языке C/C++. При написании программы использовались стандартные методы Arduino. Также была разработана библиотека для работы с драйвером шагового двигателя, отличительной особенностью написанной библиотеки является отсутствие необходимости указания количества шагов на оборот, что снижает сложность настройки. Библиотека включает функции для управления скоростью и направлением вращения, что позволяет легко интегрировать её в различные проекты и упрощает процесс разработки.

Программное обеспечение для мобильного приложения.

Приложение было разработано в среде Android Studio на языке Kotlin [7] (рисунок 10)

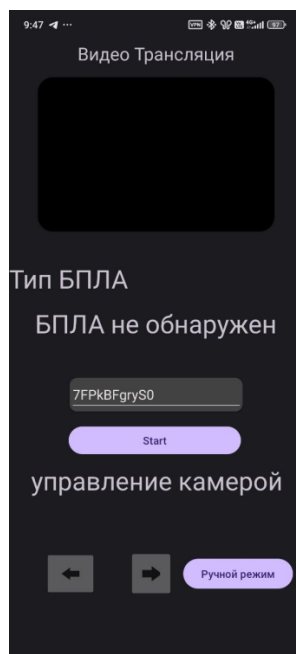


Рисунок 10. Внешний вид мобильного приложения

Для передачи данных использовался удаленный сервер, на котором запущена программа, написанная на языке Python с использованием фреймворка Flask для создания API сервиса. Запросы на сервер происходят каждые 2 секунды. Приложение выводит YouTube трансляцию с видеокamеры и информацию о состоянии системы – обнаружение БПЛА и тип БПЛА. В приложении имеется возможность управления поворотной платформой через интуитивно понятный интерфейс. Кроме того, реализованы уведомления о событиях, что позволяет пользователям оперативно реагировать на изменения в системе и повышает общую эффективность контроля.

Нейросеть для определения БПЛА по видео.

В рамках проекта была разработана нейросеть для обнаружения БПЛА на видео с использованием архитектуры YOLOv11m. Обучение проводилось в Google Colab на протяжении 100 эпох с использованием Ultralytics Hub для отслеживания метрик. На рисунке 11 представлены метрики оценки точности получившейся нейросетевой модели. [5, 6]

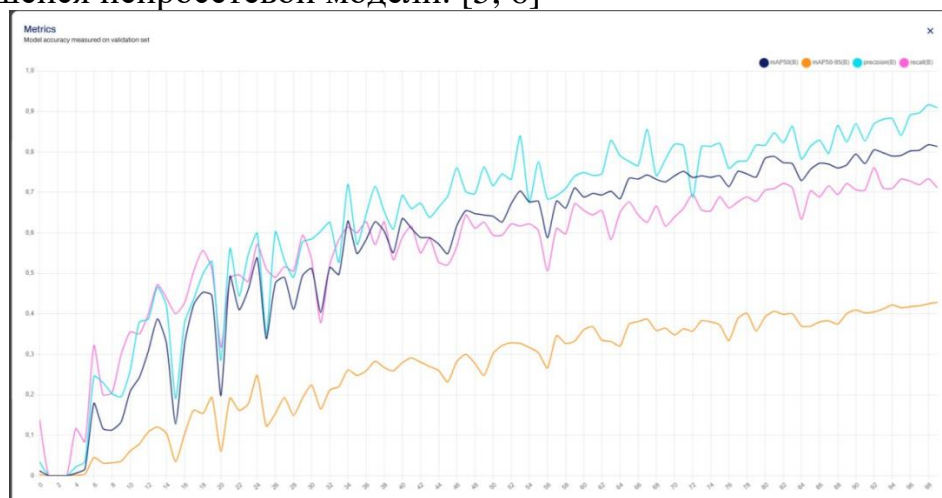


Рисунок 11. Метрики оценки точности нейросетевой модели определения БПЛА по видео

Датасет состоял из 1000 изображений, разделённых на 80% для обучения и 20% для валидации. Для разметки использовалась программа LabelIMG, что обеспечивало точность аннотаций. Для улучшения качества модели применялись техники увеличения данных, такие как вращение и обрезка изображений, что позволило значительно расширить обучающую выборку без создания новых изображений вручную.

Нейросеть для определения типа БПЛА.

Для автоматического определения типа беспилотного летательного аппарата была разработана нейросетевая модель на основе архитектуры YOLOv11. В качестве обучающего датасета использовалось около 10 000 изображений: по 5 000 для каждого класса — вертолётного и самолётного типа. Изображения были получены путём разложения видеозаписей полётов дронов на кадры с использованием библиотеки OpenCV. Для организации датасета применялись инструменты Python и модуль os для сортировки изображений по соответствующим папкам.

Обработка и дальнейшая подготовка изображений для обучения осуществлялась на платформе Ultralytics HUB, что позволило ускорить настройку модели. Обучение проводилось в среде Google Colab в течение 100 эпох. YOLOv11 была выбрана за её высокую точность и скорость в задачах объектного детектирования.

Результирующая модель способна определять класс БПЛА в реальном времени, что существенно повышает эффективность системы обнаружения и оповещения в составе всего комплекса (рисунок 12).

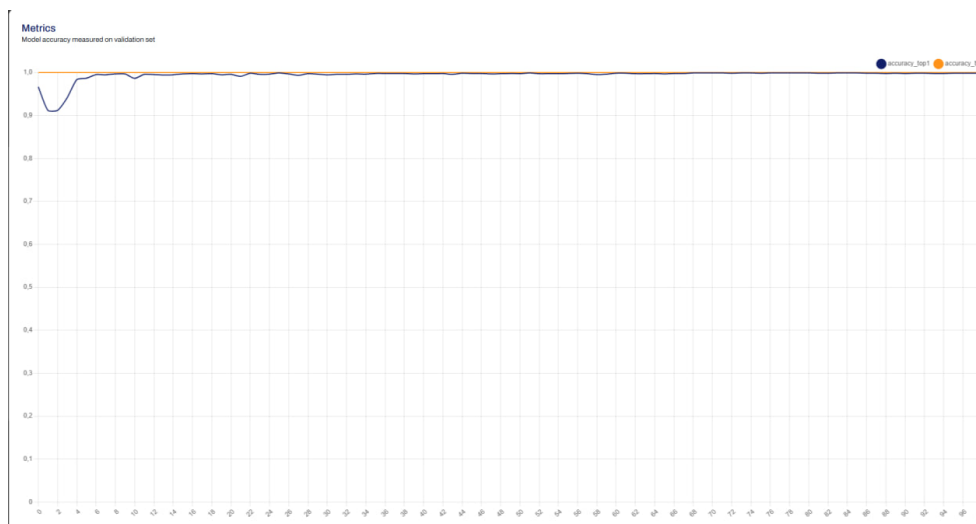


Рисунок 12. Метрики оценки точности нейросетевой модели определения типа БПЛА

ГЛАВА 3 ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ

3.1 Расчет себестоимости разработки прототипа

При расчете себестоимости разработки системы обнаружения БПЛА

учитываются затраты на оборудование, программное обеспечение и трудозатраты.

Аппаратные затраты включают все необходимые компоненты для сборки рабочего прототипа системы. В таблице приведена детализированная стоимость оборудования с учётом рыночных цен и технических характеристик (таблица 2).

Наименование	Количество, ед.	Стоимость (руб)	Примечание
Микрофон «Шорох-12»	1	535	Аудиодетекция
Raspberry Pi 3B	1	6500	Основная плата обработки
Видеокамера	1	1500	Видеозахват
Arduino UNO	1	500	Управление двигателем
Шаговый двигатель с драйвером	1	250	Поворот платформы
AV-передатчик TS832 + Приемник RC832	1	2500	Передача видео на 5.8 ГГц и прием видеосигнала
Аккумуляторы	3	400	Автономное питание (3.7В, 3400мАч)
Прочие комплектующие	1	450	Кабели, разъемы, крепления
3D-печать			
Пластик PETG	0,3 кг	330	1000 р за кг.
Электроэнергия		19	Потребление 0,15 кВт, время 20 часов, Тариф: 6.37 руб за 1 кВт/ч
Амортизация оборудования, электроэнергия		500	Стоимость принтера 25 000, срок службы 10 000 часов работы, время работы по проекту: 20 часов
ИТОГО			13 484

Таблица 2. Аппаратные затраты

Трудовые затраты проекта рассчитывались исходя из 4-месячного периода разработки с ежедневной нагрузкой от 1 до 4 часов на специалиста. В

таблице представлен детализированный расчёт по каждому специалисту с указанием ставок и выполняемых задач (таблица 3).

Должность	Часы работы	Зарботная плата	Примечание
Инженер-электроник	40	24000	Разработка схем, тестирование оборудования, оптимизация энергопотребления. Ставка: 600 руб/ч
Data Scientist	80	80000	Обучение нейросетей (YOLO, TCN), аугментация данных, анализ метрик. Ставка: 1000 руб/ч
Python-разработчик	120	96000	Разработка GUI (PyQt5), интеграция API (Telegram, YouTube), работа с сокетами. Ставка: 800 руб/ч
ИТОГО	240		200 000

Таблица 3. Трудовые затраты

3.2 SWOT-анализ проекта

Для оценки и планирования стратегии проекта мы провели SWOT-анализ и выявили сильные и слабые стороны проекта, а также потенциальные возможности для развития и роста проекта и угрозы – факторы, которые могут негативно повлиять на проект.

Сильные стороны:

- Эффективность в зонах, недоступных для радаров.
- Относительно низкая стоимость по сравнению с традиционными системами.
- Гибкость и модульность конструкции.

Слабые стороны:

- Зависимость от погодных условий (дождь, ветер может мешать акустике).
- Низкая дальность обнаружения по сравнению с военными радарами.
- Необходимость дообучения нейросети под новые типы БПЛА.

Возможности:

- Рост спроса на защиту от БПЛА.
- Госконтракты в сфере охраны границ и инфраструктуры.
- Потенциал для экспорта и адаптации под зарубежные рынки.
- Интеграция с другими системами (тепловизоры, сотовые датчики и т.п.).

Угрозы:

- Конкуренция со стороны более мощных промышленных решений.
- Быстрое развитие технологий маскировки БПЛА.
- Ограничения по законодательству на использование систем перехвата.

Мы считаем, что в целом, проект обладает значительным потенциалом для коммерциализации и развития, особенно при дальнейшем улучшении точности обнаружения и расширении функционала.

3.3 Перспективы коммерциализации

Разработанная система мониторинга воздушного пространства может быть востребована в сфере безопасности, охраны периметра и научных исследований. Себестоимость прототипа составляет 13 484 рублей без учёта трудозатрат. Для выхода на рынок необходимо использовать более качественные комплектующие — высокочувствительный микрофон и камеру с высоким разрешением, что увеличит стоимость оборудования до ориентировочно 25 000 рублей. Затраты на разработку программного обеспечения и сборку оцениваются в 200 000 рублей. При цене реализации в 40 000 рублей и серийном производстве (от 100 устройств) проект может быть рентабельным уже при продаже первых 50 единиц. Коммерциализация возможна через участие в стартап-инкубаторах, технологических конкурсах и привлечении частных инвестиций. Устройство может заинтересовать частные охранные предприятия, фермерские хозяйства, МЧС и учебные заведения как пример инновационной, недорогой альтернативы традиционным средствам наблюдения.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе выполнения проекта была разработана и протестирована система для обнаружения беспилотных летательных аппаратов в условиях сложного рельефа. Разработка включает акустико-оптический модуль, управление поворотной камерой, нейросетевые алгоритмы классификации и средства оповещения пользователей. Прототип успешно продемонстрировал возможность обнаружения БПЛА в зонах, недоступных для традиционных радиолокационных систем.

Благодаря модульной конструкции, проект может быть масштабирован и адаптирован под различные задачи: от охраны объектов до мониторинга территорий в труднодоступных местах. Проведённый SWOT-анализ и расчёты показали перспективу дальнейшего развития проекта — как в техническом, так и в коммерческом направлении. При улучшении оборудования и доведении до серийного производства система может занять свою нишу на рынке систем безопасности.

Проект показал, что даже с ограниченным бюджетом и ресурсами возможно создать работоспособное устройство, решающее актуальную задачу. В дальнейшем планируется улучшение дальности обнаружения, повышение устойчивости к внешним условиям и расширение функционала.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРНЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Красненко Н. П., Богушевич А. Я., Кураков С. А., Раков А. С., Рыбаков И. А. Обнаружение беспилотных летательных аппаратов: существующие решения и возможности // Всероссийская открытая научная конференция «Современные проблемы дистанционного зондирования, радиолокации, распространения и дифракции волн» – Муром, 2024. – С. 429–440.
2. Тулкин М., Мишук Б., Евстифеев Ю. Комбинирование способов противодействия применению беспилотных летательных аппаратов // Радиоэлектронные технологии. - 2023. - № 2. - С. 82-85.
3. Решение задачи обнаружения объекта с помощью нейросетевых технологий / С.О. Власов [и др.] // Препринты ИПМ им. М.В.Келдыша. 2023 № 16 27 с.
4. Н. А. Прохоренок, В. А. Дронов. Python 3 и PyQt 5 Разработка приложений. — 2-е изд., перераб. и доп. / Н. А. Прохоренок, В. А. Дронов. — СПб.: БХВ-Петербург, 2018 — 832 с.
5. Анализ аудиоданных с помощью глубокого обучения и Python (часть 1) [Электронный ресурс]. – URL: <https://nuancesprog.ru/p/6713/?ysclid=m93yc57xvb633383906> / (дата обращения: 05.04.2025).
6. Анализ аудиоданных с помощью глубокого обучения и Python (часть 2) [Электронный ресурс]. – URL: <https://nuancesprog.ru/p/6758/> (дата обращения: 05.04.2025).
7. Макаров С. Л. Учебное пособие по выполнению практических заданий по курсам "Разработка облачных и мобильных приложений на платформе Google Android" и "Введение в Android-разработку на Kotlin" в среде Android Studio [Электронный ресурс]. - Москва, 2017-2025. - 125 с. - URL: <https://clck.ru/3KfPpn> (дата обращения: 05.04.2025).

Внешний вид устройства



Все дополнительные материалы находятся в облачном хранилище по ссылке <https://disk.yandex.ru/d/ZMpbUA-in7Z2Tg>

1. Видеообзор проекта
2. Код компьютерного приложения
3. Код программы для Arduino UNO
4. Код мобильного приложения
5. Презентация