

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ «МИСИС»

ИНСТИТУТ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ И КОМПЬЮТЕРНЫХ НАУК
КАФЕДРА ИНФОКОММУНИКАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ
НАПРАВЛЕНИЕ 09.03.02 - ИНФОРМАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ И ТЕХНОЛОГИИ

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА БАКАЛАВРА

на тему: Разработка системы для обработки данных с дрона для автономного
инвентарного учета на складе

Студент _____ Картвелишвили Корнели Ильич
Руководитель работы _____ доц. Колистратов М. В.
Нормоконтроль проведен _____ ст. преп. Ватмана А.Б.
Проверка на заимствования проведена _____ ст. преп. Парфенова Е. В.

Работа рассмотрена кафедрой и допущена к защите в ГЭК

Заведующий кафедрой _____ Колистратов М. В.
Директор института _____ Солодов С.В.

Москва 2025

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
«МИСИС»

УТВЕРЖДАЮ

Институт ИТКН

Кафедра ИКТ

Направление 09.03.02

Зав. кафедрой _____

« 10 » февраля 2025 г.

**ЗАДАНИЕ
НА ВЫПОЛНЕНИЕ ВЫПУСКНОЙ
КВАЛИФИКАЦИОННОЙ РАБОТЫ БАКАЛАВРА**

Студенту группы БИСТ-21-3 Картвелишвили Корнели Ильичу

(ф.и.о. полностью)

1. Тема работы Разработка системы для обработки данных с дрона для автономного инвентарного учета на складе.
2. Цель работы разработка системы для автоматизированной инвентаризации складов с помощью дрона.
3. Исходные данные технические и программные средства для автоматизированной инвентаризации с использованием дронов, оснащенных системами компьютерного зрения, ArUco-маркерами и QR-кодами.
4. Основная литература, в том числе:
 - 4.1. Монография, учебники и т. п. не предусмотрено
 - 4.2. Отчеты по НИР, диссертации, дипломные работы и т. п. не предусмотрено
 - 4.3. Периодическая литература не предусмотрено
 - 4.4. Справочники и методическая литература (в том числе литература по методам обработки экспериментальных данных) не предусмотрено
5. Перечень основных этапов исследования и форма промежуточной отчетности по каждому этапу Анализ существующих решений (аналитический отчет, включающий сравнительную таблицу решений, выводы по ключевым технологиям и проблемам), разработка концепции системы (техническое задание: описание выбранных технологий), аппаратная и программная реализация (Листинги кода, скриншоты веб-интерфейса, фотографии прототипа), тестирование системы (фотографии и скриншоты демонстрации работы системы), подготовка итоговой документации(Полный текст ВКР, презентация)
6. Аппаратура и методики, которые должны быть использованы в работе Аппаратура: Квадрокоптер, ArUco-маркеры, QR-коды, сервер (ноутбук), Wi-Fi роутер. Методики: компьютерное зрение, навигация, интеграция данных, тестирование, экономический анализ.

7. Использование ЭВМ Бортовой компьютер (Raspberry Pi 4), ноутбук(сервер) Lenovo с Intel(R) Core(TM) Ultra 9 185H, программное обеспечение: Linux, OpenCV, NumPy, ROS, PX4, Django REST Framework, openpyxl, jQuery

Согласовано:

Консультант по экономике

8. Перечень подлежащих разработке вопросов по экономике НИР не предусмотрено

Согласовано:

Консультант по безопасности жизнедеятельности

9. Перечень подлежащих разработке вопросов по безопасности жизнедеятельности не предусмотрено

Согласовано:

Консультант по охране окружающей среды

10. Перечень подлежащих разработке вопросов по экологии не предусмотрено

Согласовано:

Консультант

11. Перечень (примерный) основных вопросов, которые должны быть рассмотрены и проанализированы в литературном обзоре текущие методы инвентаризации складов, применение дронов в складской логистике, технологии компьютерного зрения, программные и аппаратные платформы для дронов, интеграция с WMS, экономическая эффективность, ограничения и перспективы развития

Согласовано:

Консультант

Перечень (примерный) графического и иллюстрированного материала Фотография аппаратной платформы, изображение дрона для тестирования системы, пример QR-кода, используемого для маркировки товаров, веб-интерфейс справочника товаров, веб-интерфейс вкладки документов для создания приходного документа, веб-интерфейс отображения документов, веб-интерфейс вкладки остатков на складе, веб-интерфейс журнала операций.

12. Руководитель работы и. о. заведующего кафедрой доцент Колистратов Максим Васильевич
(Должность, звание, ф.и.о.)

(подпись)

13. Консультанты по работе (с указанием относящихся к ним разделов) _____

Дата выдачи задания 10 февраля 2025 г. _____

Задание принял к исполнению студент _____
(подпись)

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа содержит 44 страницы, 15 рисунков, 2 таблицы, 24 источника, 4 приложения.

ДРОН, ИНВЕНТАРИЗАЦИЯ, СКЛАД, КОМПЬЮТЕРНОЕ ЗРЕНИЕ, OPENCV, ARUCO-МАРКЕРЫ, QR-КОД, ROS, PX4, DJANGO, АВТОМАТИЗАЦИЯ

Предмет исследования – технические и программные средства сбора и обработки данных с дрона для автоматического учета товарных запасов.

Целью данной работы является исследование и разработка системы для автоматизированной инвентаризации складов с помощью дронов. В рамках работы будут рассмотрены особенности применения дронов в складской логистике, использованные технологии, а также оценены преимущества и потенциальные экономические выгоды от автоматизации инвентаризации.

В работе рассматривается задача повышения эффективности логистических процессов на складе за счёт автоматизации инвентаризации с использованием беспилотных летательных аппаратов. Проведён аналитический обзор существующих отечественных и зарубежных решений в этой области, определены их ключевые достоинства и недостатки.

В рамках исследования разработана система автономного учёта складских запасов на основе квадрокоптера с установленной камерой и средствами компьютерного зрения. Основной особенностью разработанной системы является использование ArUco-маркеров для навигации дрона внутри помещений и QR-кодов для идентификации товаров. Программная часть реализована с применением фреймворка Django и библиотеки OpenCV. Реализована интеграция с WMS и веб-интерфейс для администрирования и визуализации данных.

Предложенная система DSA (Drone-based Smart Automation) обладает высокой точностью позиционирования, возможностью автономной работы и низкой стоимостью внедрения за счёт использования открытых программных и аппаратных решений (Clover, PX4, ROS). Приведено сравнение с существующими аналогами, описана архитектура и программно-аппаратная реализация системы.

Разработанная система может быть успешно внедрена на складах малого и среднего бизнеса, а также адаптирована под крупные логистические комплексы.

Область применения: автоматизация складской логистики, инвентаризация, робототехнические системы учёта и управления запасами.

ABSTRACT

The final thesis contains 44 pages, 15 figures, 2 tables, 24 sources, 4 appendices.

DRONE, INVENTORY, WAREHOUSE, COMPUTER VISION, OPENCV, ARUCO MARKERS, QR CODE, ROS, PX4, DJANGO, AUTOMATION

The subject of the research is technical and software tools for collecting and processing data from a drone for automatic inventory accounting.

The purpose of this work is to research and develop a system for automated inventory of warehouses using drones. As part of the work, the specifics of the use of drones in warehouse logistics, the technologies used, as well as the advantages and potential economic benefits of inventory automation will be considered.

The paper considers the problem of increasing the efficiency of logistics processes in a warehouse by automating inventory using unmanned aerial vehicles. An analytical review of existing domestic and foreign solutions in this area has been conducted, and their key advantages and disadvantages have been identified.

As part of the research, an autonomous inventory accounting system based on a quadcopter with an installed camera and computer vision equipment has been developed. The main feature of the developed system is the use of ArUco markers for drone navigation indoors and QR codes for product identification. The software part is implemented using the Django framework and the OpenCV library. Integration with WMS and a web interface for data administration and visualization are implemented.

The proposed DSA (Drone-based Smart Automation) system has high positioning accuracy, the possibility of autonomous operation and low cost of implementation due to the use of open software and hardware solutions (Clover, PX4, ROS). A comparison with existing analogues is given, the architecture and hardware and software implementation of the system are described.

The developed system can be successfully implemented in warehouses of small and medium-sized businesses, as well as adapted to large logistics complexes.

Scope of application: automation of warehouse logistics, inventory, robotic accounting and inventory management systems.

СОДЕРЖАНИЕ

ТЕРМИНЫ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ	7
ВВЕДЕНИЕ	9
1 Аналитический обзор существующих решений для инвентаризации складов с использованием дронов	10
1.1 Преимущества и ограничения дронов для инвентаризации	12
1.2 Экономическая эффективность и результаты	14
2 Описание разработанной системы для инвентарного учета на складе DSA (Drone-based Smart Automation) и ее инновационность	17
3 Техническая и программная реализации проекта	20
4 Навигация по ArUco маркерам	22
5 Использование QR-кодов в автоматизированной инвентаризации складов	24
6 Обзор работы системы сканирования	25
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	31
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ	32
ПРИЛОЖЕНИЕ А Листинг программного кода распознавания QR Code на дроне	34
ПРИЛОЖЕНИЕ Б Листинг программного кода распознавания QR Code на сервере	37
ПРИЛОЖЕНИЕ В Листинг программного кода для обработки http-запросов	41
ПРИЛОЖЕНИЕ Г Диаграмма компонентов проекта	44

ТЕРМИНЫ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ

В настоящей выпускной квалификационной работе применяются следующие термины с соответствующими определениями.

QR-код	– это двухмерный штрихкод, представляющий собой квадратный матричный код, состоящий из черных и белых ячеек, расположенных в виде сетки.
Фреймворк	– набор инструментов, компонентов и методов, которые облегчают разработку программного обеспечения.
Дрон	– это БПЛА (беспилотный летательный аппарат), воздушное судно без экипажа на борту. Человек управляет таким аппаратом с земли при помощи заранее заданной программы.
WMS	– это специализированный комплекс ПО, призванный автоматизировать и повысить эффективность всех процессов, происходящих на складском пространстве.
ArUco маркеры	– это технология для позиционирования робототехнических систем с использованием компьютерного зрения.
ROS	– операционная система для роботов. Набор программных библиотек и инструментов, которые помогают создавать приложения для роботов.
PX4	– это профессиональный автопилот. Разработанный разработчиками мирового класса из промышленности и научных кругов при поддержке активного мирового сообщества, он обеспечивает работу всех видов транспортных средств, от гоночных и грузовых дронов до наземных транспортных средств и подводных аппаратов.
GPS	– это система спутниковой навигации, которая позволяет точно определить местоположение устройства с GPS-приемником на Земле и в околоземном пространстве.
Python	– это высокоуровневый язык программирования общего назначения с динамической строгой типизацией и автоматическим управлением памятью.

Django	– свободный фреймворк для веб-приложений на языке Python.
RFID	– способ автоматической идентификации объектов, в котором посредством радиосигналов считываются или записываются данные, хранящиеся в так называемых транспондерах.
3PL	– вид логистики, при котором производитель использует услуги аутсорсинга для управления цепочкой поставок.
Clover	– фреймворк с открытым исходным кодом, построенный на базе ROS, предназначенный для управления дронами, использующими прошивку PX4 [1].

ВВЕДЕНИЕ

Современные предприятия сталкиваются с необходимостью улучшения процессов на складе. Традиционные методы инвентаризации, основанные на ручном труде, являются долгими и трудозатратными, а также сопровождаются ошибками при учете.

Работа направлена на разработку комплексного решения, которое позволит повысить эффективность складских процессов. Результат работы может быть внедрен в существующие логистические процессы различных компаний.

1 Аналитический обзор существующих решений для инвентаризации складов с использованием дронов

Практическое применение технологии складских дронов уже началось в разных странах. Рассмотрим несколько конкретных примеров внедрения, включая зарубежный опыт лидеров ритейла и логистики, а также проекты в России:

Мебельный ритейлер IKEA одним из первых масштабно внедрил автономных дронов для инвентаризаций. К 2023 году в 16 складских центрах IKEA в Европе (Бельгия, Хорватия, Словения, Германия, Италия, Нидерланды, Швейцария) было задействовано 100 дронов. Каждый такой склад содержит порядка 10 000 паллет. Ранее полная инвентаризация могла растягиваться до трех месяцев, тогда как теперь дроны, работая только в ночные смены (22:30-4:00), собирают актуальные данные за одну ночь. Этот проект реализован в сотрудничестве со швейцарским стартапом Verity. Дроны взлетают после закрытия склада, автономно облетают все стеллажи и возвращаются на зарядные базы. Такое решение позволило IKEA повысить точность учета запасов и избавить сотрудников от ручного сканирования паллет, улучшив условия их труда [2].

Крупнейший розничный оператор Walmart начал тестировать дроны на складах еще в 2016 году. На демонстрации для прессы Walmart показал дрон, который летает между стеллажами высотой до потолка, снимая 30 кадров в секунду и сопоставляя их с эталонной базой. По словам представителей компании, дрон позволяет проверить весь склад за примерно 1 день, тогда как вручную на это уходит до месяца. Дроны Walmart оснащены собственными проприетарными технологиями (разработанными внутренней командой) и работают под присмотром оператора из центра управления. Ожидалось, что после успешных тестов в 2016 году, через 6–9 месяцев дроны будут развернуты в большинстве распределительных центров, хотя о полном масштабировании публично не сообщалось. Тем не менее, Walmart [3] задала тон индустрии, явно показав выгоду: вместо того чтобы поднимать сотрудников на подъемниках к каждой полке, дрон быстро облетает ряды и находит отклонения.

Логистический гигант DHL внедряет дронов для инвентаризации на своих складах и для клиентов. В 2020 году DHL Supply Chain в Испании проводила пилот с системой Hardis EyeSee для одного из складов (например, для продукции Dyson). В 2023 году DHL запустила первый в Малайзии склад с поддержкой 5G и ИИ, где автономные дроны осуществляют ежедневный пересчет запасов. По заявлению DHL, такое решение повысило эффективность операций по учету до 20 раз при достижении точности до 100%. Дроны с компьютерным зрением проводят обход многоярусного склада, и результаты сразу отражаются в системе.

Этот проект показал, что современная связь (5G) и дроны вместе могут обеспечить практически непрерывный мониторинг запасов без участия людей. DHL планирует распространить опыт автономных дронов по своим складам по всему миру [4].

В сфере складской логистики третьих сторон (3PL) тоже появляются подобные проекты. Компания UPS Supply Chain Solutions [5] в 2022–2023 гг. начала сотрудничество с Verity, устанавливая системы дронов для инвентаризации на своих складах. В США 3PL-оператор Stacі запустил систему Corvus One [6] с автономными дронами, добившись 99,9% точности учета и возможности проводить инвентаризацию каждую ночь. Также известны проекты с дронами на складах IKEA в США (магазин East Palo Alto), L'Oréal (во Франции с системой EyeSee) и др. Эти примеры демонстрируют, что технология выходит за рамки пилотов и начинает применяться в реальных операциях крупных компаний.

Российская компания UVL Robotics [7], резидент «Сколково», стала одним из пионеров в мире по разработке услуги инвентаризации с помощью дронов. Их решения проходили испытания на крупных российских складах. Например, в 2019 году беспилотник UVL Robotics протестировали на складе группы ЭФКО (пищевое производство): дрон автономно облетел примерно 10 000 палет, отсканировал штрихкоды и передал данные на сервер. Результаты впечатлили: скорость инвентаризации оказалась в 50 раз выше, точность достигла 100%, человеческий фактор был полностью исключен. Представитель разработчика отметил, что при таких показателях «нет упущенной прибыли и замороженных активов» – компания не теряет деньги из-за скрытых недостатков или излишков. Позже UVL Robotics проводила проекты для Metro Cash&Carry: в 2022 году в логистическом центре Metro (порядка 75 000 м²) группа дронов под управлением операторов успешно провела пересчет товара, значительно повысив скорость и точность учета. Также сообщается о внедрении дронов компании UVL на складах таких компаний как: PepsiCo, Kuehne+Nagel, Toyota и др. – компания вышла на Ближний Восток, Европу и США с этой технологией.

Еще одно российское решение от Fast Scanner от компании Fast Sense [8]. Этот проект был замечен около 2020 года: заявлена автономная инвентаризация монопалетных складов (где в каждой ячейке один артикул) с помощью дронов с камерой. Скорость – до 2500 палет в час одним дроном, при 100% распознавании даже поврежденных или нечитаемых штрихкодов. Fast Scanner позиционируется как оборудование, позволяющее в 20 раз ускорить ежегодные и циклические инвентаризации. Дрон (или подобная мобильная платформа) с камерой автоматически поднимается на требуемую высоту, считывает все коды за 1 секунду на ячейку, и формирует отчет. Такие характеристики заинтересовали склады холодильников: Fast Scanner может работать при -24 °C, что критично для морозильных

камер. Среди реализованных проектов упоминаются тесты на складах дистрибуторов продуктов и производителей (например, упоминалось внедрение на складе Pepsi). Несмотря на небольшой масштаб компании, их решения демонстрируют уровень, сопоставимый с зарубежными.

1.1 Преимущества и ограничения дронов для инвентаризации

Использование дронов для складской инвентаризации дает ряд ощутимых преимуществ по сравнению с ручной проверкой, однако имеет и некоторые ограничения [9, 10, 11, 12]. Рассмотрим их:

Преимущества:

1) Дроны способны выполнять инвентаризацию значительно быстрее людей. Средний эффект – сокращение времени на 60–80% относительно традиционных методов, а в отдельных случаях ускорение многократное (в примерах выше – в десятки раз). Это означает, что предприятие может проводить пересчет чаще (например, ежемесячно вместо ежегодно) без остановки операций. Кроме того, дроны могут работать ночью или в выходные, когда склад закрыт, не мешая текущим отгрузкам. Фактически, инвентаризация перестает быть разовым трудоемким мероприятием и превращается в регулярный автоматический процесс.

2) Автоматизация устраняет человеческий фактор – ошибки, пропуски, двойной счет. По данным внедрений, точность данных при использовании дронов возрастает на 50–70% относительно ручных способов, приближаясь к 99–100%. Например, дроны фиксируют каждую адресную позицию с видео/фотофиксацией, что позволяет при расхождениях “отмотать” запись и выяснить, была ли ошибка в коде или действительно не достача. Нередко сразу в процессе облета выявляются и устраняются ошибки (например, неправильная этикетка на паллете) без необходимости снимать паллет с высоты. Высокая точность инвентаризации ведет к более точным остаткам, а значит – отсутствию «замороженных» излишков и снижению потерь от недостач.

3) Ручной пересчет высоких стеллажей – опасная и тяжелая работа (люди поднимаются на высоту, часами сканируют коды). Дроны могут решить эту задачу, благодаря чему сотрудникам не нужно подниматься на подъемниках к верхним ярусам. Что снижает риск несчастных случаев и связанных с ними простоев. Кроме того, исключается монотонный труд – персонал может быть задействован на более интеллектуальных или творческих операциях, а инвентаризация проходит “в фоновом режиме” силами роботов. С точки зрения условий труда – это огромный плюс, повышающий эргономику рабочего места.

4) Оптимизация ресурсов и пространства: автономные дроны выполняют работу без

участия большого количества людей и погрузочной техники. Это высвобождает ресурсы: например, во время автоматической ночной инвентаризации вилочные погрузчики и операторы могут заниматься другими задачами или находиться в простое без затрат. Некоторые системы, помимо учета, собирают данные для оптимизации склада – например, делают 3D-сканы заполненности ячеек. Согласно данным Corvus Robotics, внедрение дронов позволило увеличить полезное использование объема склада на 10% за счет выявления неэффективно занятых ячеек. Также постоянный контроль уменьшает потери (хищения, порча) благодаря частому обнаружению аномалий.

5) Гибкость и масштабируемость: запустить инвентаризацию дроном можно по требованию в любое время, не собирая бригаду ревизоров. Масштабирование также относительно простое: можно добавить больше дронов для параллельной работы, ускоряя процесс практически линейно. В примере IKEA 100 дронов распределены по 16 складам – при необходимости можно увеличить парк и покрыть больше точек. ПО многих систем позволяет легко адаптироваться под другой склад (загрузив новую карту или даже автоматически облетав периметр для построения карты). Таким образом, технология масштабируется под рост бизнеса без пропорционального увеличения трудозатрат.

Ограничения:

1) Внедрение дронов требует инвестиций – нужно приобрести сами беспилотники, зарядные станции, установить систему позиционирования (если требуется) и интегрировать ПО с WMS. Стоимость одного промышленного инвентаризационного дрона с системой может быть значительной. Однако многие провайдеры предлагают модель Robotics-as-a-Service (например, Corvus или Gather AI), то есть оборудование берется в аренду/лизинг, что снижает порог входа. Тем не менее, для небольших складов экономический эффект должен оправдать затраты, что не всегда очевидно.

2) Дроны имеют ограниченное время полета (обычно 20–30 минут на батарее). Для больших складов приходится организовывать пит-стопы: либо несколько дронов сменяют друг друга, либо дрон делает промежуточные посадки на подзарядку. Хотя современные системы и умеют автоподзаряжаться, это немного усложняет процесс. Также требуется регулярное обслуживание дронов – замена батарей, калибровка сенсоров, ремонт при поломках. Если на складе пыльно или слишком темно, камеры могут работать хуже – возможно, понадобится улучшить освещение или уборку. В экстремальных температурах хоть дроны и могут работать (есть решения для -25 °C), но износ техники выше. Еще важный нюанс – надежность связи: в больших складах может пропадать Wi-Fi, поэтому иногда нужно инвестировать в улучшение беспроводной инфраструктуры или использовать офлайн-режим

записи с последующей выгрузкой данных.

3) Дроны отлично считывают стандартные этикетки на паллетах и коробках, но, если товар мелкий и лежит на полке (розничный стеллаж), эффективность ниже. Для магазинов или низких полок дроны не всегда удобны – здесь лучше стационарные сканеры или ручные терминалы. Также если на паллете отсутствует штрихкод либо он закрыт, дрон не сможет его прочитать без вмешательства человека. Система может выявить “проблемную” паллету (нет данных или нечеткий код) и пометить ее для проверки вручную. Таким образом, полностью исключить человека не всегда возможно: персонал нужен для разрешения исключительных ситуаций – заменить этикетку, пересчитать содержимое проблемного места и т. п.

4) Для успешной работы дронов желательно, чтобы склад был достаточно структурирован: ровные ряды стеллажей, устойчиво стоящие паллеты, стандартизированные адреса и этикетки. В очень хаотичных или тесных складах (где много узких проходов, нависающих объектов) настройка маршрутов может быть сложнее. Кроме того, на складе во время облета не должны работать погрузчики в тех же зонах – вопрос безопасности: хотя дроны обнаруживают объекты, но движение вилочного погрузчика может представлять риск столкновения. Поэтому чаще дроны запускают либо в нерабочие часы, либо в огороженной зоне. Еще один нюанс – законодательство: в некоторых странах могут быть нормативы по эксплуатации беспилотников внутри помещений (например, требования по безопасности, сертификация операторов). В помещении это обычно не так строго, как для уличных полетов, но компания должна прописать регламенты использования дронов на складе.

В общем и целом, преимущества дронов в скорости, точности и безопасности значительно перевешивают ограничения. Последние в основном связаны с начальным внедрением и настройкой процессов. По мере развития технологий (более емкие батареи, более умные алгоритмы) многие технические ограничения сглаживаются. Уже сегодня дроны рассматриваются как новая норма для крупных складов, и ожидается, что со временем они станут таким же обычным инструментом, как когда-то сканеры штрихкодов.

1.2 Экономическая эффективность и результаты

Внедрение автоматизированной инвентаризации с помощью дронов показывает высокую экономическую эффективность. Она проявляется в нескольких аспектах:

1) Прямой экономический эффект – значительное уменьшение человеко-часов, затрачиваемых на инвентаризацию. Например, Walmart оценивал, что вместо 30 дней работы бригады один дрон справится менее чем за день. IKEA сократила длительность инвентаризации с месяцев до одной ночи. Для компании это означает экономию на оплате сверхурочных, на отвлечении персонала от основной работы и на простое склада.

Циклическая инвентаризация, проводимая дронами регулярно, вовсе устраняет необходимость выделять специальные смены под инвентаризацию – то есть нет потери производительности в эти дни. В пересчете на деньги: если бригада из 5 человек работала бы 10 дней (50 человеко-дней) и это заменено полетом дронов за 1 ночь (скажем, 2–3 дрона, контроль одним оператором), экономия может составлять десятки тысяч рублей за одну операцию, не считая побочных выгод.

2) Каждая ошибка в учете – это либо недостача, ведущая к финансовым потерям, либо излишек, ведущий к заморозке оборотных средств. Автономные дроны практически исключают ошибки учета, обеспечивая 99–100% точность данных. Это значит, что компания больше не теряет товары «по бумаге» – уменьшаются списания, выявляется и предотвращается воровство. По словам представителей ЭФКО, отсутствие человеческого фактора и 100% точность приводят к тому, что нет упущенной прибыли и замороженных активов – все товары либо продаются, либо четко числятся как запас. Также высокоточный учет позволяет оптимизировать запас: не надо держать избыточную страховку на случай ошибок, можно уверенно полагаться на данные системы. Результат – снижение затрат на хранение и высвобождение части оборотных средств (те самые 10% места на стеллажах, о которых сообщала Staci Americas).

3) Так как дроны работают автономно, компания может перераспределить работников складской службы на другие задачи. Фонд заработной платы может не расти даже при увеличении объемов склада – ведь добавив пару дронов, можно покрыть больший объем работы без найма новых людей. Кроме того, уменьшается использование складской техники для проверок (меньше моточасов подъемников, экономия электроэнергии или топлива). В отчете DHL указано, что применение дронов позволило еще и снизить потребление энергии за счет работы в темное время (lights-out склад). Не требуется включать яркое освещение и гонять технику – дроны потребляют немного электроэнергии от батарей. Сами по себе дроны электрические и не выделяют выхлопов, что косвенно сокращает расходы на вентиляцию и улучшает экологичность (что все более важно и может давать налоговые льготы).

4) Быстрая окупаемость инвестиций: хотя точные цифры ROI зависят от масштаба склада, многие компании сообщают, что инвестиции в систему дронов окупаются в течение 1–2 лет за счет вышеупомянутой экономии. Например, если за год удастся избежать нескольких случаев незапланированного дефицита товара (когда из-за ошибки учета что-то отсутствовало и продажи были упущены), то сохраненная выручка может покрыть стоимость дронов. Также отсутствие необходимости останавливать склад на дни инвентаризации означает, что компания не теряет выручку в эти дни – для ритейла это критично. Отдельно

стоит учесть эффект от быстрого получения данных: менеджмент может принимать решения оперативнее, пополнять запас вовремя, что улучшает уровень обслуживания клиентов и, как следствие, финансовые показатели (лояльность, повторные продажи).

2 Описание разработанной системы для инвентарного учета на складе DSA (Drone-based Smart Automation) и ее инновационность

Разработанная система [13] реализована на открытых инструментах для разработки. В таблице 1 представлено сравнение компонентов разработанной системы с традиционными решениями.

Таблица 1 – Описание компонентов разработанной системы

Компонент	Разработанное решение	Традиционные решения	Инновационность
Основной фреймворк	Django 3.1, Django REST Framework	PHP, Flask, другие фреймворки	Использование Django для быстрой разработки и удобного взаимодействия через API.
База данных	SQLite	MySQL, PostgreSQL, Oracle	Легковесная и простая в настройке база данных для небольших складов.
Обработка изображений	OpenCV, NumPy	Собственные решения или менее развитые библиотеки	Использование OpenCV для компьютерного зрения и распознавания QR-кодов.
Навигация дронов	ArUco маркеры	GPS, магнитные компасы, лидары	Использование ArUco маркеров для точной навигации дронов в закрытых помещениях.
Архитектура	REST API, MVT (Model-View-Template), ViewSets, Serializers	MVC (Model-View-Controller) или безструктурные решения	Четкая структура архитектуры с использованием REST API для взаимодействия.
Безопасность	Token-based Authentication, CSRF Protection	Простая аутентификация через сессии или формы, без защит от CSRF	Высокий уровень безопасности благодаря защищенной аутентификации и CSRF-защите.
Работа с данными	openpyxl, requests, pytz, sqlparse	Ручной ввод данных, ограниченная работа с файлами	Программная интеграция с Excel и работа с данными через API для упрощения ввода и обработки.
Интеграция с внешними системами	HTTP API, WebSocket	Ограниченная интеграция с внешними сервисами	Реализация гибкой интеграции через API и WebSocket для работы в реальном времени.
Управление дронами	Clover Drone, PX4, ROS	Сложные и дорогие решения для профессиональных дронов	Открытая аппаратная платформа Clover с простым и доступным ПО для управления дронами.
Оптимизация запросов и данных	Caching, Database Indexing, Query Optimization	Минимальная оптимизация	Внедрение кэширования и индексации для улучшения производительности и быстродействия системы.
Тестирование	Django Test Framework, API Testing	В основном тестирование вручную, минимальные средства для автоматизации	Полная автоматизация тестирования с использованием стандартных и кастомных тестов.

Основные компоненты системы описаны ниже.

Веб-платформа для управления складом реализована с помощью передовых открытых инструментов для разработки, а именно:

1) Django 3.1 и Django REST Framework используются для построения RESTful API, которые позволяют эффективно управлять взаимодействием с клиентами и внешними системами [14, 15, 16].

2) SQLite применяется в качестве легковесной базы данных, подходящей для работы с небольшими и средними складами [17].

3) Библиотека jQuery JavaScript используется для создания удобного интерфейса для пользователей.

4) Библиотека Python requests применяется для обработки HTTP-запросов.

Обработка изображений и компьютерное зрение реализовано с помощью Python и использования подходящих библиотек [18]:

1) Библиотека OpenCV используется для работы с видеопотоком и распознавания QR-кодов является одной из ключевых технологий. Это позволяет автоматически идентифицировать товары, а также отслеживать их расположение на складе, что значительно ускоряет процесс инвентаризации [19].

2) Библиотека NumPy применяется для работы с массивами данных и математических вычислений поддерживает высокую производительность при обработке больших объемов данных.

Работа с данными происходит с помощью Python, а именно с использованием данных библиотеки `openpyxl`, которая позволяет работать с Excel файлами, что делает систему совместимой с существующими корпоративными решениями и упрощает интеграцию данных из других систем.

Навигация дронов по ArUco маркерам осуществляется с помощью следующих технологий:

1) Для навигации используются ArUco маркеры, которые позволяют дрону летать с высокой точностью и позиционироваться в пределах склада, обеспечивая высокую точность движения в условиях закрытого пространства.

2) Для управления автономным дроном используется автопилот на базе PX4 [20].

Таблица 2 содержит обзор существующих систем автоматизированной инвентаризации и сравнение с проектом DSA (Drone-based Smart Automation) [13].

Таблица 2 – Сравнительная таблица существующих решений и разработанного проекта DSA

Решение (компания)/ Платформа	Разработчик (страна)	Тип дронов	Навигация	Сканирование QR-кодов	Точность учета	Примеры внедрения
Verity Inventory Drones	Verity (Швейцария)	Дроны собственной сборки	OpenCV + ИИ для навигации	Нейросеть для сканирования	99%	ИКЕА (100 дронов / 16 складов в Европе); UPS, DSV
UVL Robotics	UVL Robotics (Россия)	Дроны собственной сборки	Локальная навигация без GPS	Нейросеть для сканирования	99%	Metro Ногинск (75 тыс. м²); ЭФКО; PepsiCo, Toyota
Fast Scanner	Fast Sense (Россия)	Дроны собственной сборки	Навигация без внешних маяков	Программное распознавание	99%	Тесты на складах (PepsiCo, и др.)
Hardis EyeSee	Hardis Group (Франция)	Дроны собственной сборки	Полеты по заданным точкам (SLAM - навигация по заданному маршруту)	Программное распознавание	99%	DHL, L'Oréal (Франция)
Corvus One	Corvus Robotics (США)	Дроны собственной сборки	Генеративный ИИ для навигации	Нейросеть для сканирования	99%	Staci Americas (3PL, США); GNC (США)
MIT Rfly [21]	MIT США	Дроны собственной сборки	Навигация вдоль рядов с помощью RFID	Программное распознавание	99%	Лабораторный образец, потенциал для бизнеса
DSA [13]	Россия	Открытая платформа квадрокоптера	Навигация по ArUco маркерам	Программное распознавание	99%	Интеграция в складские системы, тесты на малых и средних складах

Ключевые преимущества разработанного проекта DSA для автоматизированной инвентаризации складов:

- 1) Высокая точность навигации из-за использования ArUco маркеров: позволяет дрону точно ориентироваться на складе с точностью до 1–2 см.
- 2) Открытая платформа квадрокоптера: делает систему доступной для малого и среднего бизнеса.
- 3) Программное распознавание QR-кодов с помощью OpenCV и NumPy: обеспечивает точное распознавание товаров.
- 4) Использование открытых программных инструментов для разработки.

Разработанный проект сочетает инновационные технологии для точности, доступности, эффективности и безопасности складской инвентаризации.

3 Техническая и программная реализации проекта

Для реализации системы автоматизированной инвентаризации склада с помощью дронов была выбрана открытая аппаратная платформа квадрокоптера компании ООО «Сверх» (рисунок 1) [22]. А для обеспечения обработки программных алгоритмов на бортовом компьютере использовался дистрибутив Ubuntu на базе Linux с установленным фреймворком ROS. Управление автономным полетом осуществлялось посредством использования фреймворка Clover на базе PX4.

Выбранная платформа, которая сочетает в себе аппаратные решения для управления дроном и программные компоненты для обработки данных и взаимодействия с внешними системами. Дрон для разработки системы был дооснащен необходимыми компонентами для выполнения инвентаризации (рисунок 2).

Аппаратная платформа включает в себе следующие компоненты:

- 1) Миниатюрная аппаратная платформа квадрокоптер, а именно дрон.
- 2) Производительный бортовой компьютер Raspberry Pi 4 Compute Module.
- 3) Камера для навигации.
- 4) Датчик расстояния для измерения высоты.
- 5) Камера для сканирования QR-кодов.

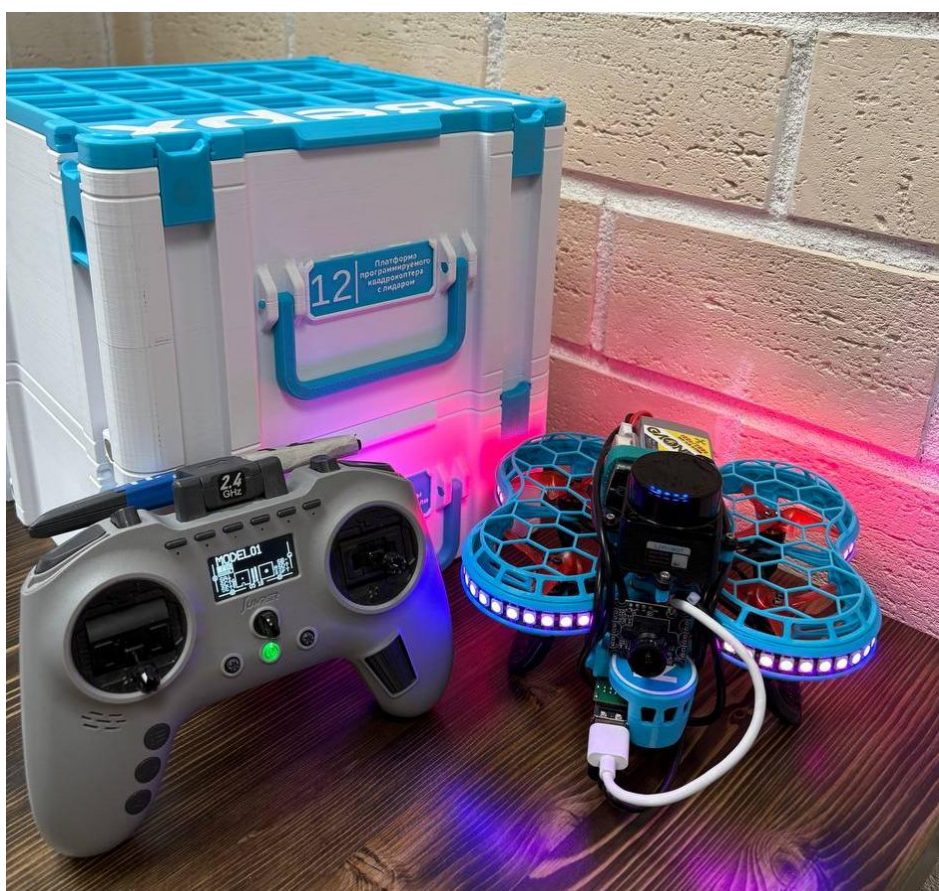


Рисунок 1 – Аппаратная платформа для разработки системы



Рисунок 2 – Внешний вид дрона

4 Навигация по ArUco маркерам

ArUco-маркеры представляют собой набор двумерных штрихкодов, специально созданных для использования в компьютерном зрении и системах распознавания объектов. Они широко применяются в робототехнике и компьютерном зрении для определения положения и ориентации объектов в пространстве. В рамках разработанной системы автоматизированной инвентаризации с помощью дронов ArUco маркеры применяются для навигации и позиционирования БПЛА. Пример ArUco маркеров представлен на рисунке 3.

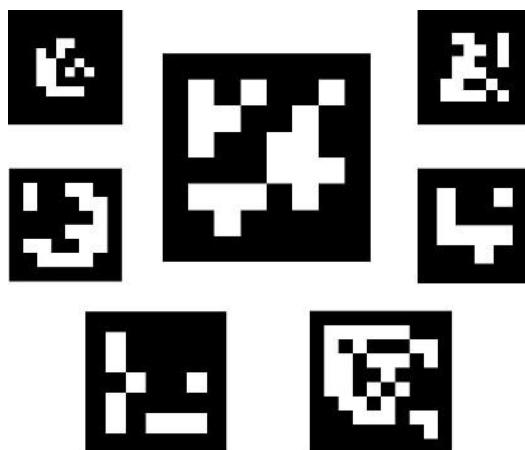


Рисунок 3 – Примеры изображений ArUco маркеров

Четкая контрастность между черными и белыми областями делает ArUco-маркеры различимыми визуальными объектами в различных условиях. Каждый маркер содержит свой уникальный идентификатор.

Рассмотрим рисунок 4, на котором изображена карта ArUco маркеров с системой координат. По соглашению в ROS в маркерном поле используется стандартная система координат ENU:

- ось x указывает на правую сторону карты маркеров;
- ось y указывает вверх карты маркеров;
- ось z указывает от плоскости карты маркеров.

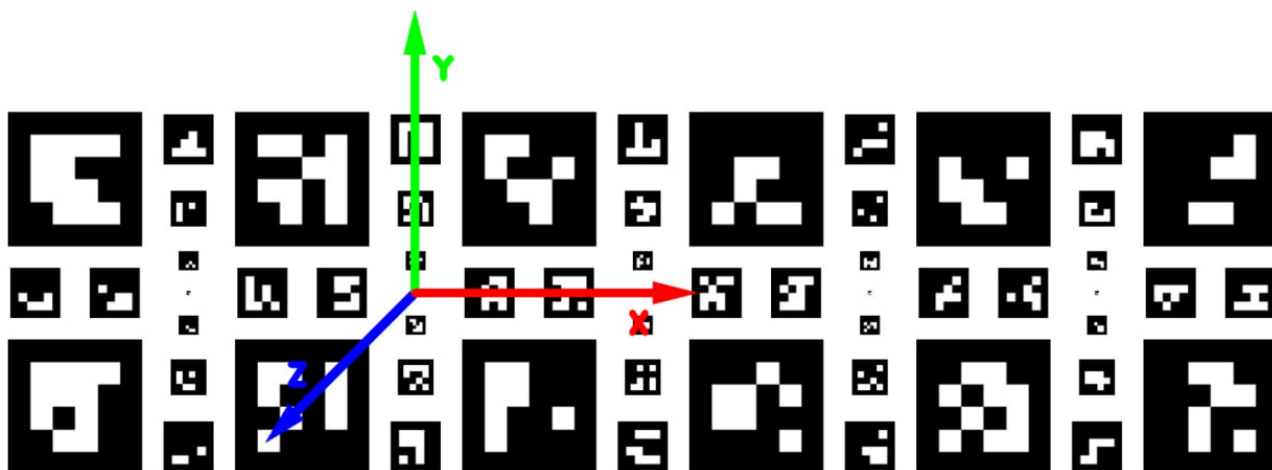


Рисунок 4 – Карта ArUco маркеров с системой координат

Распознавание карты маркеров происходит с помощью камеры на дроне, которая захватывает изображение маркеров. Бортовой компьютер дрона распознает маркеры, используя алгоритмы компьютерного зрения, извлекает их идентификатор и определяет положение дрона в пространстве. Пример распознавания карты маркеров представлен на рисунке 5. Для полета нужно указать направление, расстояние и скорость движения. Благодаря такому методу навигации можно подлететь для сканирования к нужному товару, облетать препятствия и летать с высокой точностью в условиях ограниченного пространства склада.



Рисунок 5 – Изображение, получаемое с камеры дрона, с примерами распознанной информации

5 Использование QR-кодов в автоматизированной инвентаризации складов

QR-коды на современных складах являются удобными и доступными метками, которые используются для маркировки товаров. Каждый товар получает уникальный код, содержащий всю необходимую информацию: наименование, количество, стоимость, срок годности, компанию и другие данные. QR-коды способны хранить гораздо больше информации, чем одноразовые штрихкоды, и могут содержать до 7000 символов [23, 24]. На рисунке 6 представлен пример QR-кода.

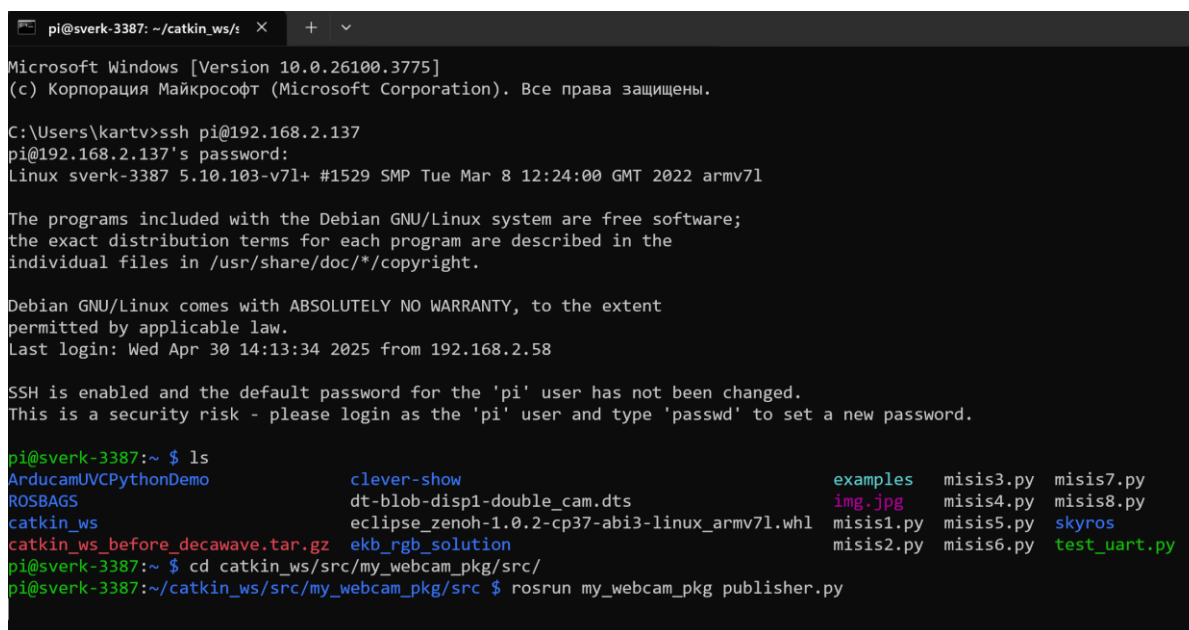


Рисунок 6 – Пример QR-кода

В рамках проекта для передачи данных была выбрана сетевая архитектура “клиент-сервер”. Клиент (дрон с установленной веб-камерой) движется по заданной траектории, отправляет видеопоток через ROS-топик на сервер (ноутбук). Приложение А включает программный код сканирования QR-кодов [см. прил. А]. Сервер получает видеопоток, распознает QR-коды и отправляет данные в складскую систему учета через HTTP запрос. Приложение Б содержит программный код распознавания QR-кодов на сервере [см. прил. Б], а приложение В – модуль обработки HTTP-запросов [см. прил. В].

6 Обзор работы системы сканирования

Разработанный проект DSA (Drone-based Smart Automation) направлен на создание системы автоматизированной инвентаризации на складах с использованием дронов. В данном обзоре будет представлена последовательность шагов, которые показывают, как работает проект и какие ключевые этапы нужны для запуска система автоматизированного учета. Приложение Г содержит блок-схему архитектуры проекта [см. прил. Г].



```
pi@sverk-3387: ~/catkin_ws/src
Microsoft Windows [Version 10.0.26100.3775]
(c) Корпорация Майкрософт (Microsoft Corporation). Все права защищены.

C:\Users\kartv>ssh pi@192.168.2.137
pi@192.168.2.137's password:
Linux sverk-3387 5.10.103-v7l+ #1529 SMP Tue Mar 8 12:24:00 GMT 2022 armv7l

The programs included with the Debian GNU/Linux system are free software;
the exact distribution terms for each program are described in the
individual files in /usr/share/doc/*/copyright.

Debian GNU/Linux comes with ABSOLUTELY NO WARRANTY, to the extent
permitted by applicable law.
Last login: Wed Apr 30 14:13:34 2025 from 192.168.2.58

SSH is enabled and the default password for the 'pi' user has not been changed.
This is a security risk - please login as the 'pi' user and type 'passwd' to set a new password.

pi@sverk-3387:~ $ ls
ArducamUVCPythonDemo  clever-show  examples  misis3.py  misis7.py
ROSBAGS               dt-blob-disp1-double_cam.dts  img.jpg  misis4.py  misis8.py
catkin_ws             eclipse_zenoh-1.0.2-cp37-abi3-linux_armv7l.whl  misis1.py  misis5.py  skyros
catkin_ws_before_decawave.tar.gz  ekb_rgb_solution  misis2.py  misis6.py  test_uart.py
pi@sverk-3387:~ $ cd catkin_ws/src/my_webcam_pkg/src/
pi@sverk-3387:~/catkin_ws/src/my_webcam_pkg/src $ rosrun my_webcam_pkg publisher.py
```

Рисунок 7 – Команды для включения системы сканирования на дроне

Этап, представленный на рисунке 7, показывает, с помощью каких команд происходит подключение к дрону и как запускается камера, установленная на нем, для сканирования QR-кодов. Подключение к дрону осуществляется с помощью сетевого протокола SSH (Secure Shell) для безопасного удалённого подключения к серверу. Данные при подключении шифруются, что защищает их от перехвата.

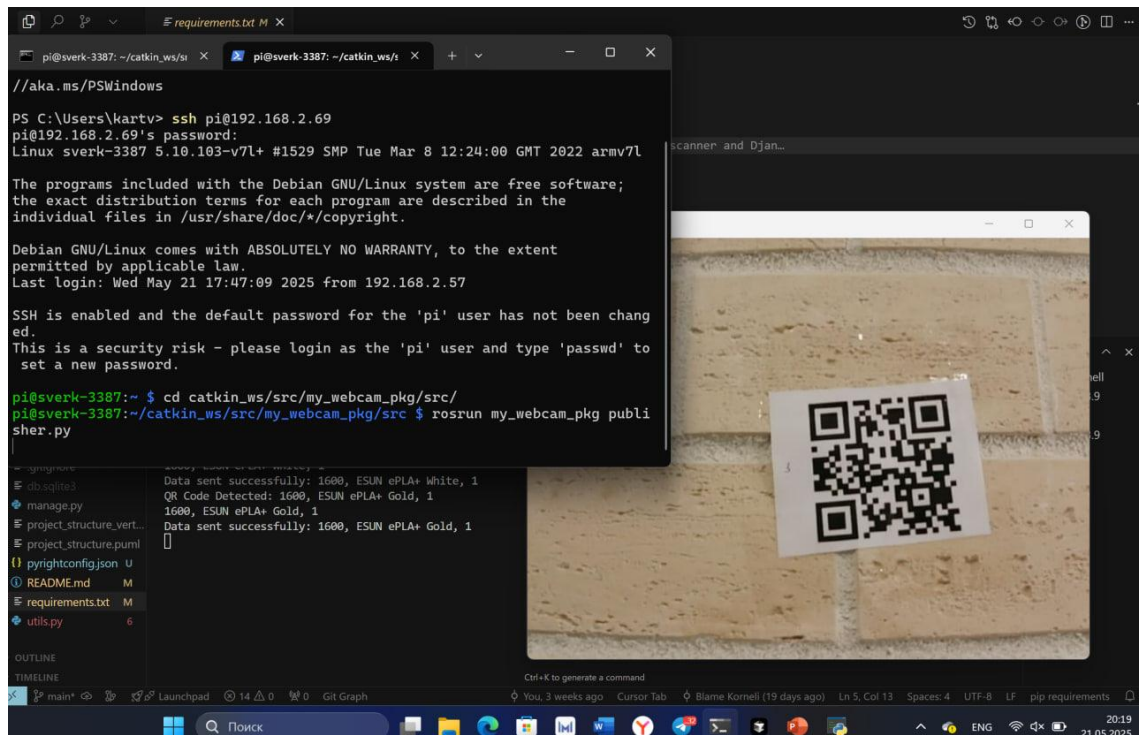


Рисунок 8 – Вывод результата работы системы сканирования в терминал

После того как дрон начинает полет, видеопоток с камеры передается на сервер для обработки данных. Далее с помощью алгоритмов компьютерного зрения распознаются QR-коды и при успешной идентификации их информация выводится в терминал как представлено на рисунке 8.

Корнели Картвелишвили
Справочники
Документы
Отчеты
Сервис

Справочник товаров

Создать
Найти
Очистить

Номер(-)	Наименование	Описание	Цена	Дата создания	Дата изменения	Удл.
198635	ESUN ePLA+ Gold		1600	21.05.2025 20:19	21.05.2025 20:19	-
198634	ESUN ePLA+ White		1600	21.05.2025 20:17	21.05.2025 20:17	-
198633	ESUN ePLA+ Light blue		1600	21.05.2025 20:15	21.05.2025 20:15	-
198630	ESUN ePLA+ White		1600	16.05.2025 23:29	16.05.2025 23:29	-
198629	ESUN ePLA+ White		1600	16.05.2025 21:18	16.05.2025 21:18	-
198628	ESUN ePLA+ Orange		1600	16.05.2025 19:55	16.05.2025 19:55	-
198627	ESUN ePLA+ White		1600	16.05.2025 19:44	16.05.2025 19:44	-
198626	Bambu lab X1C		160000	16.05.2025 19:44	16.05.2025 19:44	-
198625	Bambu lab X1 Carbon		105000	15.05.2025 20:35	15.05.2025 20:35	-
198624	Apple Watch 9		35000	30.04.2025 16:21	30.04.2025 16:21	-
198623	Apple Watch 8		30000	30.04.2025 15:32	30.04.2025 15:32	-
198622	Apple Watch SE		25000	30.04.2025 14:48	30.04.2025 14:48	-
198621	iPhone 16 Pro Max 512		1200000	30.04.2025 03:57	30.04.2025 03:57	-
198620	iPhone 16 Pro Max 512		1200000	30.04.2025 03:31	30.04.2025 03:31	-
198619	iPhone 16 Pro Max 256		1100000	29.04.2025 23:50	29.04.2025 23:50	-

Следующая страница

Рисунок 9 – Веб-интерфейс справочника товаров

После распознавания обработанные данные добавляются в складскую систему учета в реальном времени. В веб-интерфейсе справочника товаров, представленном на рисунке 9, отображается актуальная информации о количестве, ценах, операциях с товарами. В нем операторы и администраторы могут редактировать характеристики товаров.

Корнели Картвелишвили
Справочники
Документы
Отчеты
Сервис

Документы

Приходный документ

ОАО Газпром

Найти

Очистить

Пометить на удаление:
☐

	Номер	Наименование	Количество	Цена	Сумма
Удалить	198617	iPhone 16 Pro 256	2	85000	170000
Итого: 170000			Отмена	Сохранить	Сохранить и провести

Рисунок 10 – Веб-интерфейс создания документов

В данном разделе веб-интерфейса, представленного на рисунке 10, пользователи системы могут создавать приходные и расходные документы.

Документы

Показать фильтры

Создать приходный документ

Создать расходный документ

Номер(-)	Дата создания	Дата изменения	Контрагент	Тип	Проведен	Удл.
1694	30.04.2025 16:25	30.04.2025 16:25	ОАО Газпром	Приход	X	-
1693	30.04.2025 14:33	30.04.2025 14:33	Google Inc.	Приход	X	-
1692	29.04.2025 15:06	29.04.2025 15:06	Иванов Иван Иванович	Приход	-	-
1691	29.04.2025 15:06	29.04.2025 15:06	ООО "СТУДИЯ АРТЕМИЯ ЛЕБЕДЕВА"	Приход	-	-
1690	29.04.2025 15:06	29.04.2025 15:06	ООО Ретейл	Приход	-	-
1689	29.04.2025 15:06	29.04.2025 15:06	Google Inc.	Приход	-	-
1688	29.04.2025 15:06	29.04.2025 15:06	NASA	Расход	-	-
1687	29.04.2025 15:06	29.04.2025 15:06	ООО Pora и копыта	Расход	-	-
1686	29.04.2025 15:06	29.04.2025 15:06	Google Inc.	Расход	-	-
1685	29.04.2025 15:06	29.04.2025 15:06	ООО "СТУДИЯ АРТЕМИЯ ЛЕБЕДЕВА"	Расход	-	-
1684	29.04.2025 15:06	29.04.2025 15:06	Travor Philips Inc.	Приход	-	-
1683	29.04.2025 15:06	29.04.2025 15:06	Иванов Иван Иванович	Приход	-	-
1682	29.04.2025 15:06	29.04.2025 15:06	Microsoft	Расход	-	-
1681	29.04.2025 15:06	29.04.2025 15:06	ООО "СТУДИЯ АРТЕМИЯ ЛЕБЕДЕВА"	Расход	-	-
1680	29.04.2025 15:06	29.04.2025 15:06	Microsoft	Расход	-	-

Следующая страница

Рисунок 11 – Веб-интерфейс журнал документов

Все операции с товарами на складе автоматически фиксируются и отображаются в журнале документов, представленного на рисунке 11. В этом разделе веб-интерфейса пользователи могут просматривать сформированные документы, а также видеть их статус.

Корнели Картвелишвили Справочники Документы Отчеты Сервис					
Остатки на складе					
<input type="text"/> Найти Очистить +					
Номер	Наименование	Количество	Дата создания(-)	Дата изменения	Удл.
198635	ESUN ePLA+ Gold	1	21.05.2025 20:19	21.05.2025 20:19	-
198634	ESUN ePLA+ White	1	21.05.2025 20:17	21.05.2025 20:17	-
198633	ESUN ePLA+ Light blue	1	21.05.2025 20:15	21.05.2025 20:15	-
198630	ESUN ePLA+ White	1	16.05.2025 23:29	16.05.2025 23:29	-
198629	ESUN ePLA+ White	1	16.05.2025 21:18	16.05.2025 21:18	-
198628	ESUN ePLA+ Orange	1	16.05.2025 19:55	16.05.2025 19:55	-
198627	ESUN ePLA+ White	1	16.05.2025 19:44	16.05.2025 19:44	-

Рисунок 12 – Веб-интерфейс остатков на складе

На вкладке остатков, представленной на рисунке 12, отображаются текущие данные о товарах на складе. В данном разделе показывается количество товаров на складе и их статус. Все обновления происходят автоматически, когда дрон выполняет инвентаризацию.

Корнели Картвелишвили Справочники Документы Отчеты Сервис		
Журнал операций		
<input type="text"/> Найти Очистить		
Дата	Пользователь	Операция
30.04.2025 16:25	Корнели Картвелишвили	Документ 1694 от: 2025-04-30 13:25:31 проведен
30.04.2025 16:25	Корнели Картвелишвили	В документ 1694 от: 2025-04-30 13:25:31 добавлен товар iPhone 16 Pro 256. Количество 2
30.04.2025 16:25	Корнели Картвелишвили	Создан Документ: 1694 от: 2025-04-30 13:25:31
30.04.2025 14:33	Корнели Картвелишвили	Документ 1693 от: 2025-04-30 11:33:39 проведен
30.04.2025 14:33	Корнели Картвелишвили	В документ 1693 от: 2025-04-30 11:33:39 добавлен товар iPhone 16 Pro Max 256. Количество 3
30.04.2025 14:33	Корнели Картвелишвили	Создан Документ: 1693 от: 2025-04-30 11:33:39
29.04.2025 21:23	Корнели Картвелишвили	Изменен Товар: 198610 iPhone 15

Рисунок 13 – Веб-интерфейс журнала операций

Журнал операций, представленный на рисунке 13, отображает историю всех выполненных действий на складе, связанных с движением товаров. В этом разделе отображается вся информация, связанная с товарами и их изменениями.

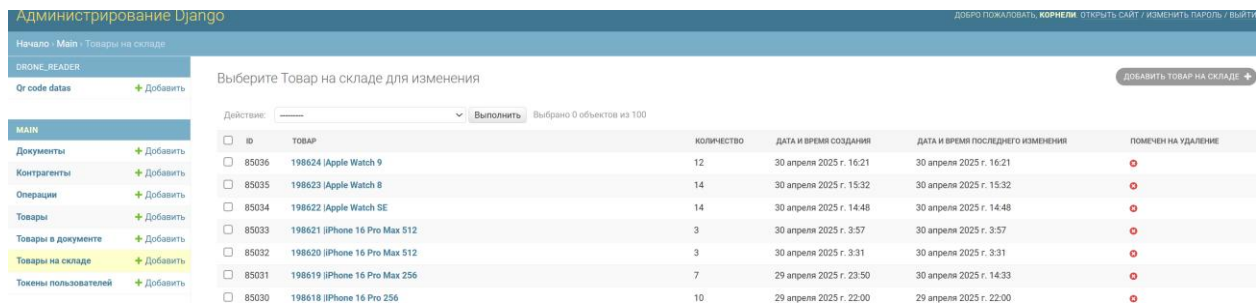


Рисунок 14 - Веб-интерфейс панели администрирования Django

Администраторы используют веб-интерфейс панели администрирования, представленный на рисунке 14, для просмотра операций, происходящих в системе. В этом разделе предоставляется наиболее подробная информация обо всех товарах и операциях с ними.

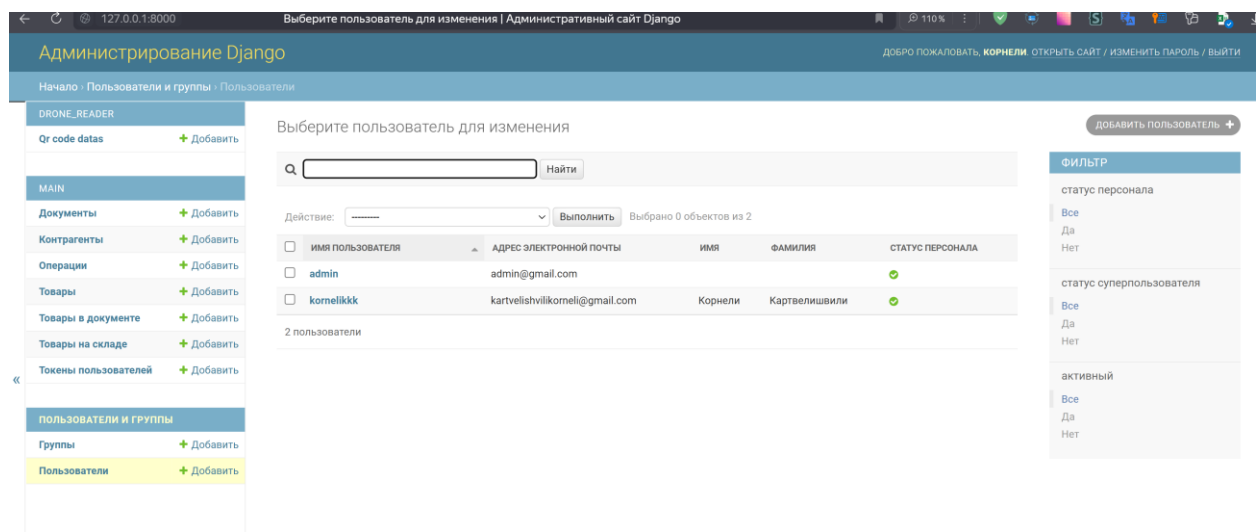


Рисунок 15 – Веб-интерфейс списка пользователей

Интерфейс на рисунке 15 отображает информацию о пользователях системы и их уровнях доступа. Администраторы обладают всеми правами доступа: добавлять новых пользователей, изменять их роли, редактировать и удалять товары и документы. А операторы могут проводить операции, связанные с товарами и документами, но не могут удалять их из системы.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

DSA (Drone-based Smart Automation), разработанная в рамках выпускной квалификационной работы, представляет собой инновационное решение для автоматизированной инвентаризации склада. При разработке использовались доступные технологии, которые обеспечивают низкую стоимость внедрения и использования.

При вводе в эксплуатацию данная система способствует ускорению инвентаризации и повышению точности при учете товаров. Данный проект отлично подойдет для складов малого и среднего бизнеса, а также для крупных складов.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

- 1) CopterExpress. Clover: документация и исходный код [Электронный ресурс] // GitHub. – URL: <https://github.com/CopterExpress/clover> (дата обращения: 20.04.2025).
- 2) IKEA задействует дроны для автоматизации инвентаризаций [Электронный ресурс] // Robotrends. – URL: <https://robotrends.ru/pub/2314/ikea-zadyaystvuet-drony-dlya-avtomatizacii-inventarizaciy> (дата обращения: 20.03.2025).
- 3) Walmart использует БПЛА в распределительных центрах [Электронный ресурс] // Robotrends. – URL: <https://robotrends.ru/pub/1624/walmart-ispolzuet-bla-v-raspredelitelnyh-centrah> (дата обращения: 20.03.2025).
- 4) DHL. Drones in logistics [Электронный ресурс] // DHL Logistics Trend Radar. – URL: <https://www.dhl.com/us-en/home/innovation-in-logistics/logistics-trend-radar/drones-logistics.html> (дата обращения: 20.03.2025).
- 5) UPS Supply Chain Solutions deploys Verity drones [Электронный ресурс] // Supply Chain Dive. – URL: <https://www.supplychaindive.com/news/ups-supply-chain-solutions-deploys-verity-drones/734224/> (дата обращения: 20.03.2025).
- 6) Corvus Robotics. Autonomous warehouse inventory drones [Электронный ресурс] // Corvus Robotics Blog. – URL: <https://blog.corvus-robotics.com/autonomous-warehouse-inventory-drones> (дата обращения: 20.03.2025).
- 7) UVL Robotics [Электронный ресурс]. – URL: <https://uvl.io/> (дата обращения: 20.03.2025).
- 8) FastSense. Официальный сайт FastSense [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.fastsense.tech> (дата обращения: 20.03.2025).
- 9) Drone-based warehouse inventory management of perishables [Электронный ресурс] // ScienceDirect. – URL: <https://www.sciencedirect.com/> (дата обращения: 20.03.2025).
- 10) Feasibility of Warehouse Drone Adoption and Implementation [Электронный ресурс] // ResearchGate. – URL: <https://www.researchgate.net/> (дата обращения: 20.03.2025).
- 11) Towards an autonomous industry 4.0 warehouse [Электронный ресурс] // arXiv. – URL: <https://arxiv.org/> (дата обращения: 20.03.2025).
- 12) Utilisation of drones in smart warehouse management [Электронный ресурс] // ResearchGate. – URL: <https://www.researchgate.net/> (дата обращения: 20.03.2025).
- 13) Kornelikk2. Полный код проекта DSA [Электронный ресурс] // GitHub. – URL: <https://github.com/kornelikk2/DSA> (дата обращения: 30.04.2025).
- 14) Django Software Foundation. Django Documentation [Электронный ресурс]. – URL: <https://docs.djangoproject.com/> (дата обращения: 20.03.2025).

- 15) Django REST Framework Documentation [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.django-rest-framework.org/> (дата обращения: 20.03.2025).
- 16) Vincent W. S. Building REST APIs with Django. – USA: WelcomeToCode, 2020. – 200 с.
- 17) SQLite Documentation [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.sqlite.org/docs.html> (дата обращения: 20.03.2025).
- 18) Howse J., Kaehler A. Learning OpenCV 4 Computer Vision with Python 3. – Birmingham: Packt Publishing, 2020. – 364 с.
- 19) Bradski G., Kaehler A. Learning OpenCV. – Sebastopol: O'Reilly Media, 2008. – 555 с.
- 20) ROS Wiki [Электронный ресурс]. – URL: <https://wiki.ros.org> (дата обращения: 19.03.2025).
- 21) MIT builds drone fleet and RFID tech [Электронный ресурс] // Electronic Products. – URL: <https://www.electronicproducts.com/mit-builds-drone-fleet-and-rfid-tech-that-can-track-warehouse-inventory-and-save-billions/> (дата обращения: 20.03.2025).
- 22) ООО «Сверх». Официальный сайт [Электронный ресурс]. – URL: <https://sverh.tech/> (дата обращения: 28.04.2025).
- 23) ISO/IEC 18004:2015. Информационные технологии. Автоматическая идентификация и сбор данных. Спецификация символики QR-кода. – Женева: Международная организация по стандартизации, 2015. – 126 с.
- 24) QR Code Detection and Recognition [Электронный ресурс] // IEEE Xplore. – URL: <https://ieeexplore.ieee.org/> (дата обращения: 20.03.2025).

ПРИЛОЖЕНИЕ А

Листинг программного кода распознавания QR Code на дроне

```
#!/usr/bin/env python3

import rospy
from sensor_msgs.msg import Image
from cv_bridge import CvBridge
import cv2
import numpy as np

class WebCamPublisher:
    def __init__(self):
        rospy.init_node('webcam_publisher', anonymous=True)
        self.bridge = CvBridge()
        self.image_pub = rospy.Publisher('/webcam/image_raw', Image, queue_size=10)
        self.qr_detector = cv2.QRCodeDetector()
        # Use 1 for the second webcam (0 would be the first camera)
        self.cap = cv2.VideoCapture(0)
        self.cap.set(cv2.CAP_PROP_FOURCC, cv2.VideoWriter_fourcc(*'MJPG'))
        self.cap.set(cv2.CAP_PROP_FRAME_WIDTH, 640) # Reduce from typical 1280
        self.cap.set(cv2.CAP_PROP_FRAME_HEIGHT, 480)
        self.cap.set(cv2.CAP_PROP_FPS, 15) # Reduce frame rate
        self.cap.set(cv2.CAP_PROP_BUFFERSIZE, 1) # Reduce buffer size

        if not self.cap.isOpened():
            rospy.logerr("Cannot open webcam")
            exit(1)

    def scan_qr_code(self, frame):
        results = []
        ret_val, decoded_info, points = self.qr_detector.detectAndDecode(frame)
        if ret_val:
            for decoded_text, qr_points in zip(decoded_info, points):
```

```

        results.append({'data': decoded_text, 'points': qr_points.astype(int)})
    return results

def draw_qr(self, frame, qr_points):
    n = len(qr_points)
    for j in range(n):
        cv2.line(frame, tuple(qr_points[j]), tuple(qr_points[(j+1) % n]), (0, 255, 0), 3)
    return frame

def do_smth_with_qr_result(self, qr_text):
    if qr_text:
        print(f'QR Code Detected: {qr_text}')

def publish_images(self):
    rate = rospy.Rate(30) # 30 Hz
    while not rospy.is_shutdown():
        ret, frame = self.cap.read()
        if ret:
            # qr_results - содержит массив с содержимым qr-кода
            qr_results = self.scan_qr_code(frame)
            # for i in range(len(qr_results)):
            #     self.do_smth_with_qr_result(qr_results[i]['data'])
            #     frame = self.draw_qr(frame, qr_results[i]['points'])
            try:
                if frame.shape[0] > 0 and frame.shape[1] > 0:
                    ros_image = self.bridge.cv2_to_imgmsg(frame, "bgr8")
                    self.image_pub.publish(ros_image)
                else:
                    rospy.logwarn("Empty frame dimensions")
            except AttributeError:
                rospy.logwarn("Invalid frame data")
            rate.sleep()

# Release the camera when shutdown

```

```
def __del__(self):
    self.cap.release()

if __name__ == '__main__':
    publisher = WebCamPublisher()
    try:
        publisher.publish_images()
    except rospy.ROSInterruptException:
        pass
```

ПРИЛОЖЕНИЕ Б

Листинг программного кода распознавания QR Code на сервере

```
import cv2
import numpy as np
import requests
import time
from django.conf import settings
import rospy
from sensor_msgs.msg import Image
from cv_bridge import CvBridge

def draw_qr(frame, qr_points):
    n = len(qr_points)
    for j in range(n):
        cv2.line(frame, tuple(qr_points[j]), tuple(qr_points[(j+1) % n]), (0, 255, 0), 3)
    return frame

def send_to_server(qr_data):
    """Функция для отправки данных на сервер"""
    server_url = "http://localhost:8000/api/qr_codes/" # URL Django сервера
    print(qr_data)
    try:
        response = requests.post(
            server_url,
            json={"qr_data": qr_data, "timestamp": time.time()},
            timeout=2
        )
        if response.status_code == 200:
            print(f'Data sent successfully: {qr_data}')
        else:
            print(f'Server returned status code: {response.status_code}')
    except requests.exceptions.RequestException as e:
        print(f'Error sending data to server: {e}')
```

```

def do_smth_with_qr_result(qr_text):
    if qr_text:
        print(f'QR Code Detected: {qr_text}')
        send_to_server(qr_text)

def show_video(frame):
    cv2.imshow('QR Code Scanner', frame)

def scan_qr_code(frame, qr_detector):
    results = []
    retval, decoded_info, points, _ = qr_detector.detectAndDecodeMulti(frame)
    if retval:
        for decoded_text, qr_points in zip(decoded_info, points):
            results.append({
                'data': decoded_text,
                'points': qr_points.astype(int)
            })
    return results

class QRScanner:
    def __init__(self):
        self.bridge = CvBridge()
        self.qr_detector = cv2.QRCodeDetector()
        self.sent_qrs = {}

    def image_callback(self, msg):
        try:
            # Convert ROS Image message to OpenCV image
            frame = self.bridge.imgmsg_to_cv2(msg, "bgr8")

            # Scan for QR codes
            qr_results = scan_qr_code(frame, self.qr_detector)

            # Process detected QR codes

```

```

    for result in qr_results:
        qr_text = result['data']

        if qr_text not in self.sent_qrs:
            do_smth_with_qr_result(qr_text)
            self.sent_qrs[qr_text] = time.time()
            frame = draw_qr(frame, result['points'])

        current_time = time.time()
        self.sent_qrs = {k: v for k, v in self.sent_qrs.items() if current_time - v < 600}

    # Display the frame
    show_video(frame)

    if cv2.waitKey(1) & 0xFF == ord('q'):
        rospy.signal_shutdown('User requested shutdown')

except Exception as e:
    rospy.logerr(f'Error processing image: {e}')

def main():
    # Initialize ROS node
    rospy.init_node('qr_scanner', anonymous=True)

    # Create QR scanner instance
    scanner = QRScanner()

    # Subscribe to the drone's camera topic
    rospy.Subscriber("/webcam/image_raw", Image, scanner.image_callback)

    try:
        rospy.spin()
    except KeyboardInterrupt:
        print("Shutting down...")
    finally:
        cv2.destroyAllWindows()

```

```
if __name__ == "__main__":  
    main()
```


ПРИЛОЖЕНИЕ В

Листинг программного кода для обработки http-запросов

```
from django.shortcuts import render
from django.http import JsonResponse
from django.views.decorators.csrf import csrf_exempt
from django.views.decorators.http import require_POST
import json
from .models import QRCodeData
from main.models import Product, StorageItem
from decimal import Decimal
import logging

logger = logging.getLogger(__name__)

@csrf_exempt
@require_POST
def receive_qr_data(request):
    try:
        data = json.loads(request.body)
        qr_data = data.get('qr_data')

        if not qr_data:
            return JsonResponse({'error': 'No QR data provided'}, status=400)

        logger.info(f"Received QR data: {qr_data}")

        # Парсим данные QR-кода (формат: "стоимость за единицу, наименование,
        количество")
        try:
            # Разделяем строку по запятым и убираем пробелы
            parts = [part.strip() for part in qr_data.split(',')]

            if len(parts) != 3:
                logger.error(f"Invalid QR format. Got {len(parts)} parts instead of 3")
```

```

        return JsonResponse({
            'error': 'Invalid QR format. Expected: price per unit, title, quantity'
        }, status=400)

price, title, quantity = parts

# Преобразуем значения в нужные типы данных
try:
    price = Decimal(price)
    if price <= 0:
        logger.error("Price must be greater than 0")
        return JsonResponse({
            'error': 'Price per unit must be greater than 0'
        }, status=400)

    quantity = int(quantity)
    if quantity <= 0:
        logger.error("Quantity must be greater than 0")
        return JsonResponse({
            'error': 'Quantity must be greater than 0'
        }, status=400)
except (ValueError, TypeError) as e:
    logger.error(f'Error converting values: {str(e)}')
    return JsonResponse({
        'error': f'Invalid number format: {str(e)}'
    }, status=400)

# Создаем запись в базе данных
qr_record = QRCodeData.objects.create(
    qr_data=qr_data,
    title=title,
    price=price,
    quantity=quantity
)

```

```

# Создаем или обновляем запись в StorageItem
if qr_record.product:
    storage_item, created = StorageItem.objects.get_or_create(
        product=qr_record.product,
        defaults={'count': quantity}
    )
    if not created:
        storage_item.count += quantity
        storage_item.save()

logger.info(f'Successfully created QR record with ID: {qr_record.id}')

return JsonResponse({
    'status': 'success',
    'message': 'QR data received and processed',
    'qr_id': qr_record.id,
    'product_id': qr_record.product.id if qr_record.product else None,
    'product_code': qr_record.code
})

except ValueError as e:
    logger.error(f'Value error: {str(e)}')
    return JsonResponse({
        'error': f'Invalid data format: {str(e)}'
    }, status=400)

except json.JSONDecodeError as e:
    logger.error(f'JSON decode error: {str(e)}')
    return JsonResponse({'error': 'Invalid JSON data'}, status=400)
except Exception as e:
    logger.error(f'Unexpected error: {str(e)}')
    return JsonResponse({'error': str(e)}, status=500)

```

ПРИЛОЖЕНИЕ Г

Диаграмма компонентов проекта

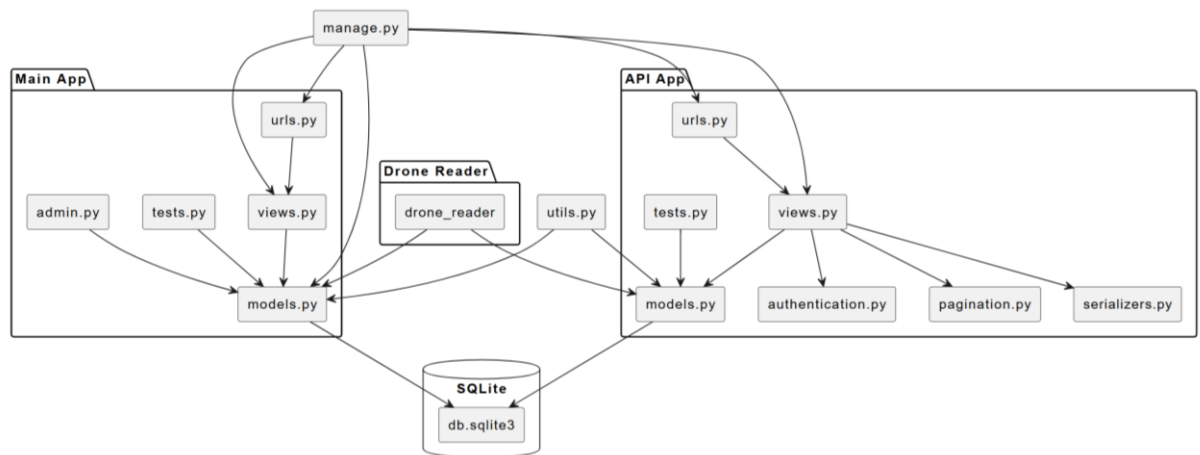


Рисунок Г.1 - Диаграмма компонентов проекта