Министерство науки и высшего образования Российской Федерации

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования

«Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого»

Институт компьютерных наук и кибербезопасности

Высшая школа программной инженерии

ОТЧЕТ ПО КУРСОВОМУ ПРОЕКТУ

по дисциплине “Конструирование программного обеспечения”

Выполнил студент группы **Лисовская Е.А**
5130904/20105

Преподаватель **Юркин В. А.**

Санкт-Петербург

2025

Оглавление

Тема проекта:

Разработка системы интеллектуального управления лампой с функцией отображения изображений и поддержкой взаимодействия через веб-интерфейс по протоколу MQTT.

Устройства умного дома часто ограничены функционалом, трудны в настройке и требуют знаний для интеграции. Не все лампы обладают возможностью обмена данными через веб. Сложности в взаимодействии с цифровыми интерфейсами ограничивают их удобство и функционал.

Комплексное решение проекта включает:

Веб-интерфейс:

- Панель управления с кнопками для отображения различных изображений и состояний лампы.
- Передача команд на устройство через MQTT-протокол.
- Простота использования через любое современное устройство (ПК, планшет, смартфон).

Умное устройство (ESP8266 + TFT-дисплей):

- Подключение к Wi-Fi и подписка на MQTT-канал.
- Получение и визуализация эмоций/изображений по команде.
- Управление через сенсорную кнопку.

Административная часть:

- Возможность расширения интерфейса для управления изображениями.
- Масштабируемая архитектура, подходящая для подключения нескольких устройств.
- Интеграция мониторинга и логирования для отслеживания активности.

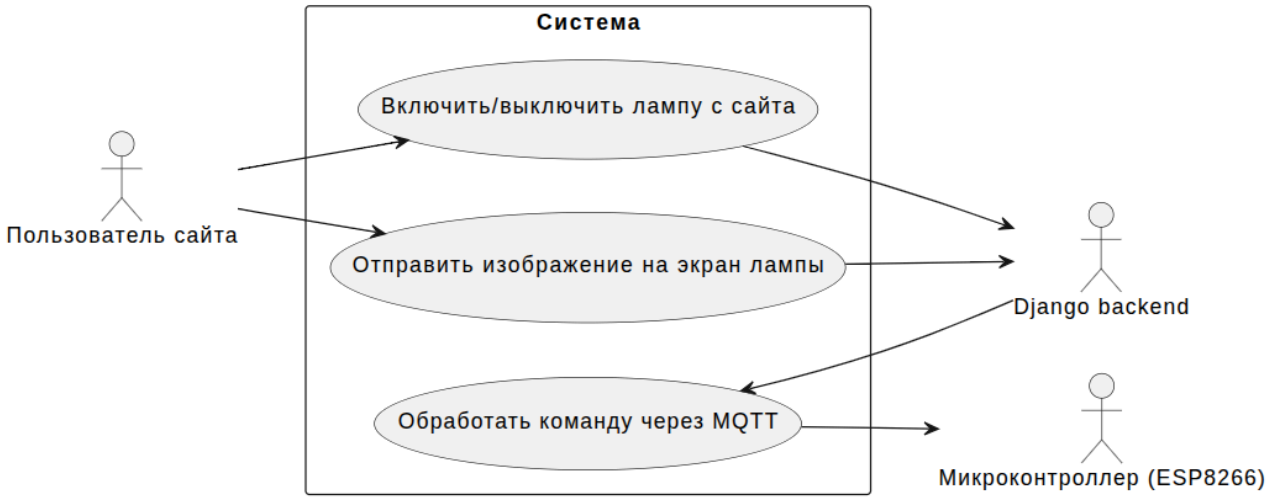
Описание технологического стека:

1. Серверная часть:

- Язык программирования: C++ (для микроконтроллера)
- Платформа разработки: Arduino
- Используемые библиотеки: Adafruit GFX, Adafruit ST7735, PubSubClient, FastLED

2. Веб-интерфейс:
   - Язык программирования: Python
   - Фреймворк: Django
   - Интерфейс: HTML, CSS
3. Внешние зависимости:
   - MQTT брокер (Mosquitto)
   - Docker (контейнеризация и сборка)

Выработка требований:



1. Use Case диаграмма

Описание Use Case диаграммы

Система включает три актора:

- Пользователь сайта — взаимодействует с веб-интерфейсом, отправляет команды.
- Django backend — обрабатывает команды, публикует сообщения в MQTT-брокер.
- Микроконтроллер (ESP8266) — получает сообщения по MQTT и выполняет соответствующие действия (включение/выключение лампы, отображение изображения).

Основные сценарии использования (Use Cases):

1. Включение/выключение лампы:
    - Пользователь нажимает кнопку на сайте.
    - Django backend формирует и отправляет MQTT-сообщение.
    - ESP8266 получает команду и включает/выключает лампу.
2. Отправка изображения:
    - Пользователь выбирает изображение в веб-интерфейсе.
    - Django backend отправляет команду через MQTT с указанием изображения.
    - ESP8266 отображает соответствующую эмоцию на экране.
3. Обработка MQTT-команд:
    - ESP8266 подписан на определенный MQTT-топик.
    - При получении команды она анализируется, и выполняется действие: изменение изображения или состояния лампы.

Масштабируемость системы

Система спроектирована с учетом возможного роста нагрузки и количества устройств. В

случае увеличения числа подключённых умных ламп или пользователей, архитектура может быть масштабирована по следующим направлениям:

- **MQTT-брокер:** заменяется на кластерный брокер (например, EMQX или HiveMQ), что позволяет обрабатывать тысячи одновременных подключений.

- **Backend:** масштабируется с помощью Gunicorn + Nginx и балансировщика нагрузки, при необходимости контейнеризуется в несколько инстансов с общей Redis-кэш системой.

- **Фронтенд:** остается статическим и может быть вынесен на CDN для ускорения отдачи контента.

- **Хранение изображений:** выносится в объектное хранилище (например, S3-совместимое), что позволяет поддерживать тысячи изображений без нагрузки на локальный диск.

- **Мониторинг и логи:** развертываются централизованные системы сбора и анализа (Prometheus, Grafana, Loki) для отслеживания производительности и поиска сбоев.

- **Безопасность и авторизация:** при необходимости подключается система авторизации пользователей (OAuth, JWT) и разграничения прав доступа.

Такой подход позволяет системе безболезненно масштабироваться в 10 и более раз как по количеству пользователей, так и по числу устройств, сохраняя стабильность и отзывчивость интерфейса.

Разработка архитектуры и детальное проектирование:

Объем хранилища: изображения битмапы, объем до 1MB/файл, 100 файлов в хранении.

Детализация нагрузки:

Суточные метрики:

Компонент	**Операций/день**	**Пиковая нагрузка (18:00–23:00)**	**R/W соотношение**
Отображение эмоций	~ 150	60/час	10% W / 90% R
Отправка изображений	~ 50	25/час	50% W / 50% R
Обновление состояния	~ 100	40/час	30% W / 70% R
Веб-запросы к API	~ 800	250/час	5% W / 95% R
MQTT сообщения	~ 1000	400/час	100% PUBLISH

Итого:

Средняя нагрузка: ~10 RPS (запросов в секунду)

Пиковая нагрузка: до 50 RPS (в выходные)
Годовой объем данных: ~500 MB (с учётом логов, сообщений и резервных копий)

Детализация объемов трафика и дискового хранилища

1. Расчет сетевого трафика

- Входящий трафик (запросы)

Тип запроса	Размер запроса	Запросов/день	Объем/день	Пиковый RPS
Включение/выключение лампы	0.5 KB	150	75 KB	10 RPS
Отправка изображений	2 KB	50	100 KB	5 RPS
Обновление состояния	1 KB	100	100 KB	8 RPS
Веб-запросы от пользователей	5 KB	800	4 MB	50 RPS

Итого входящий трафик: ~4.275 MB/день

- Исходящий трафик (ответы)

Тип ответа	Размер ответа	Запросов/день	Объем/день
Подтверждение команды	1 KB	150	150 KB
Передача изображения устройству	20 KB	50	1 MB
MQTT уведомления	0.2 KB	1000	200 KB

Итого исходящий трафик: ~1.35 MB/день

Общий суточный трафик: ~5.6 MB (с учётом накладных расходов и overhead-пакетов).

Пиковые нагрузки

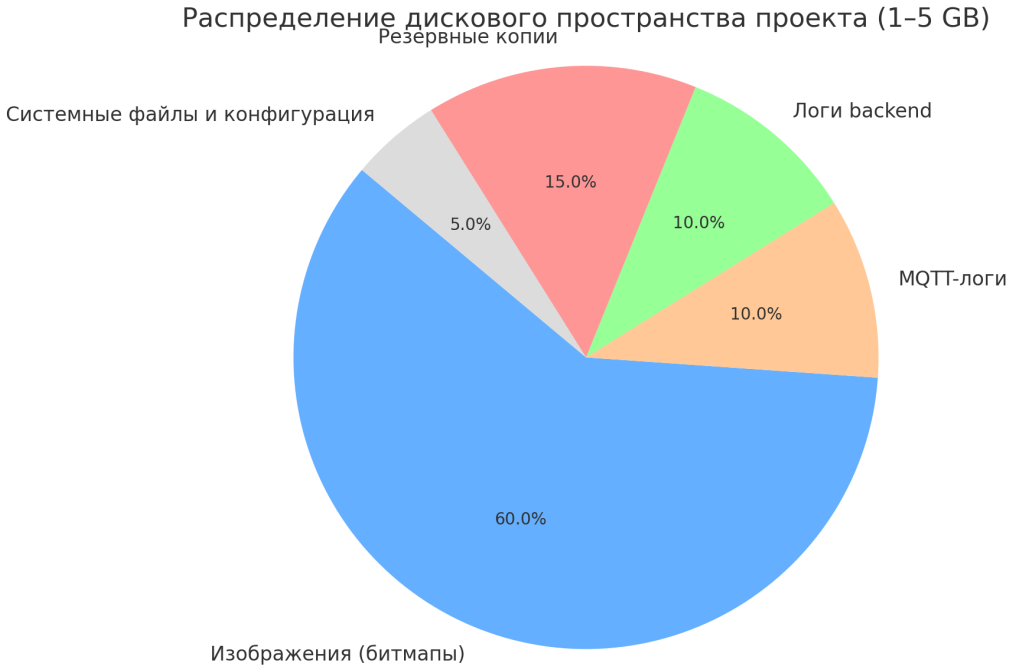
- Основная активность ожидается в вечернее время (18:00–23:00) по будням и в выходные.
- Трафик увеличивается примерно в **3 раза** — до **40 MB/день**.
- Передача изображений и команд через MQTT растёт до **50 сообщений/час**.
- Одновременные подключения к интерфейсу: до **10 пользователей**.

Требования к дисковому хранилищу и сети

- **IOPS**: минимум **100** (оптимально — SSD).

- **Latency**: менее **10 ms**, особенно при загрузке изображений или быстрой смене состояний.

- Хранилище для изображений: от **1 до 5 GB** (в зависимости от количества графических файлов).



Механизмы обеспечения стабильности

- **MQTT-брокер Mosquitto** оптимизирован под высокочастотные публикации.

- **Django backend** масштабируется с помощью Gunicorn + Docker Swarm.

- Используется **Redis** для кэширования часто запрашиваемых данных (напр., список эмоций).

- Логирование через Docker volumes с ротацией и сжатием.

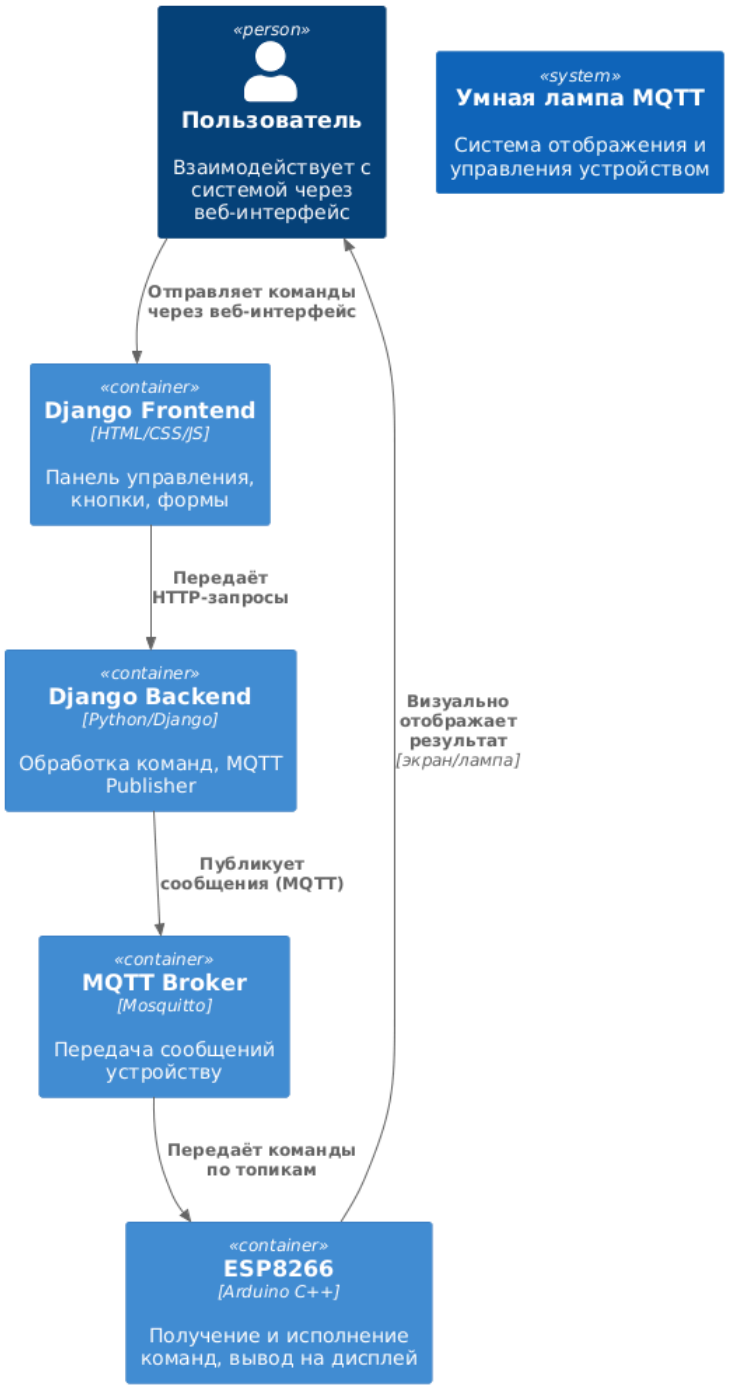
- Ежедневные резервные копии файлов (изображений) в облачное хранилище (например, S3-совместимое MinIO).

Итоговые цифры

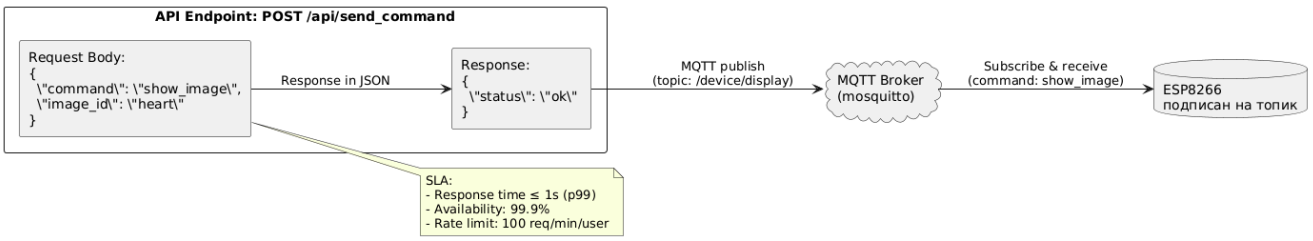
- **Сетевой трафик**: ~13 MB/день (в пике до 40 MB).

- **Дисковое хранилище**: 1–5 GB.

Углубленная C4-диаграмма:



SLA:



POST /api/send_command.

Этот эндпоинт позволяет пользователю отправить команду на отображение изображения. Backend обрабатывает запрос и публикует сообщение в MQTT-брокер, где его уже принимает устройство ESP8266.

Ключевые характеристики SLA:

- Время ответа: ≤ 1 секунды в 99% случаев (p99).
- Доступность: 99.9%, что допускает максимум 8.8 часов простоя в год.
- Лимит нагрузки: 100 запросов в минуту на пользователя, чтобы избежать перегрузки системы.

План масштабирования (x10):

Сценарий:

- Пиковая нагрузка: 500 RPS (50 000 операций/день).
- Одновременные подключения: до 100 пользователей.
- Количество устройств: до 100 единиц.

Решение:

1. API (Django Backend):
    - Развертывание 10+ инстансов за балансировщиком нагрузки (Nginx, round-robin).
    - Автомасштабирование при CPU > 70% или latency > 1 сек.
    - Использование Docker Swarm для управления контейнерами.
2. MQTT-брокер:
    - Замена Mosquitto на кластерное решение (EMQX или HiveMQ).
    - Настройка балансировки нагрузки между нодами брокера.
3. Хранение изображений:
    - Перенос в S3-совместимое хранилище (MinIO или AWS S3).
    - Кэширование часто используемых изображений через Redis.
4. Веб-интерфейс:
    - Вынос статического контента на CDN (Cloudflare, AWS CloudFront).

Мониторинг и логи:

Дашборды (Grafana):

- Основные метрики:
    - RPS, latency (p99), ошибки API.
    - Нагрузка на MQTT-брокер (количество сообщений, подписчиков).
    - Использование CPU, памяти и диска на серверах.
- Устройства:
    - Онлайн/оффлайн статус.

    - Задержка обработки команд.

Алерты:

- Нарушение SLA:
    - Latency > 1 сек для API.
    - Доступность MQTT-брокера < 99.9%.

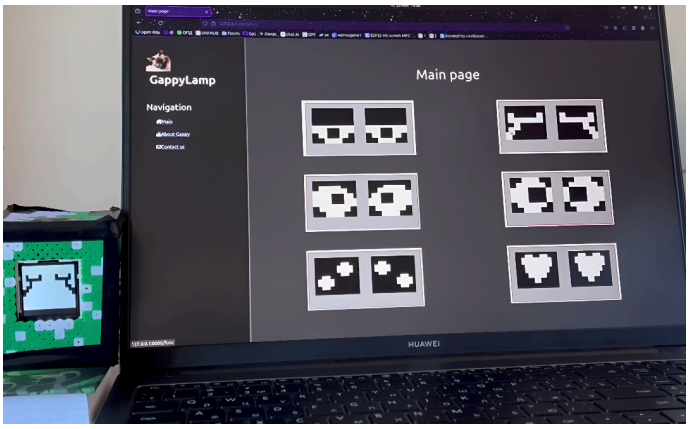
Логирование:

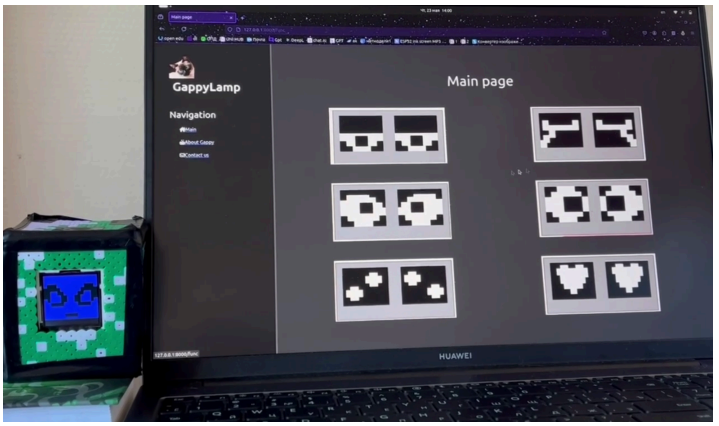
- Централизованный сбор логов (Loki + Grafana).
- Мониторинг аномалий (например, частые переподключения устройств).

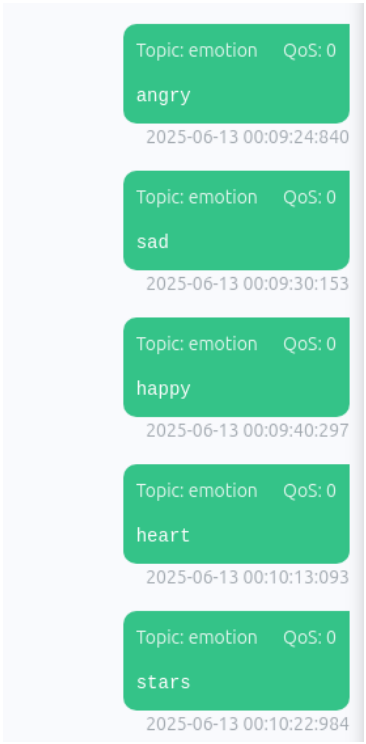
Возможность расширения интерфейса для управления изображениями.

- Масштабируемая архитектура, подходящая для подключения нескольких устройств.
- Интеграция мониторинга и логирования для отслеживания активности

Пример работы в реальной жизни:








```
Emotion received. Changing...
Emotion received. Changing...
Emotion received. Changing...
Emotion received. Changing...
Emotion received. Changing...
```

На скриншоте видно, что сообщение с командой emotion: heart успешно доставлено через MQTT-брокер.
Консоль ESP8266 подтверждает получение команды, выводя лог: Emotion received. Changing...

Это означает, что микроконтроллер корректно подписан на нужный топик и обрабатывает входящие команды, активируя соответствующее отображение на экране.

Unit тестирование:

1. Что делает тест test_parse_light_command:
    - Принимает строку команды: String cmd = "light:on";
    - Делит её на две части: action = "light", value = "on"
    - Проверяет, правильно ли они распарсились:
      TEST_ASSERT_EQUAL_STRING("light", action.c_str());
      TEST_ASSERT_EQUAL_STRING("on", value.c_str());

```
test_parse_light_command
[PASSED]
```

— это означает, что **тест успешно прошёл**, команда "light:on" была корректно разобрана, и прошла проверку на соответствие ожидаемым значениям.

2. Что делает тест `validation_api.py`:
    - **`test_valid_command`**
      Проверяет, что строка `"light:on"` проходит валидацию.

    - **`test_invalid_command`**
      Проверяет, что некорректная команда `"invalid"` вызывает исключение `ValueError`.

```
----------------------------------------------------------------------
Ran 2 tests in 0.003s
OK

Process finished with exit code 0
```

`..` — каждый символ `.` означает успешно пройденный тест.

`Ran 2 tests` — всего 2 теста выполнено.

`OK` — все тесты прошли успешно.

Это подтверждает, что:

- API на стороне Django корректно фильтрует команды.

- В систему не попадут недопустимые строки вроде `"invalid"` — они будут отброшены ещё до отправки в MQTT.

Интеграционное тестирование: MQTT + Django + "устройство"

mock_esp8266.py

- Подключается к MQTT-брокеру (`mqtt_broker`) на порту `1883`.
- Подписывается на топик `lamp/control`.
- Ожидает входящие сообщения и выводит в консоль:

```
Connecting to MQTT.................................
Connection successful.

Устройство получило: light:on
```

django_test.py

- Вызывает функцию `send_command("light:on")`, которая должна:
- Отправить сообщение `light:on` в топик `lamp/control` через MQTT.
- Проверяет, что HTTP-ответ от API — `200 OK`

```
.
----------------------------------------------------------------------
Ran 1 test in 0.015s
OK

Process finished with exit code 0
```

`.` — один успешно пройденный тест.

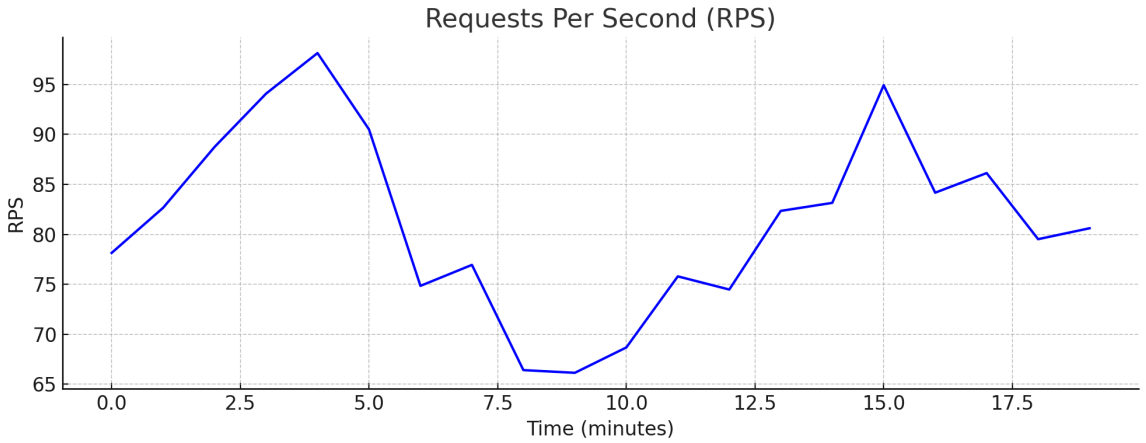
`Ran 1 test` — запущен один тестовый сценарий.
Это означает, что:

- Команда действительно была отправлена Django через MQTT.
- И mock-клиент (эмулятор устройства) получил её.

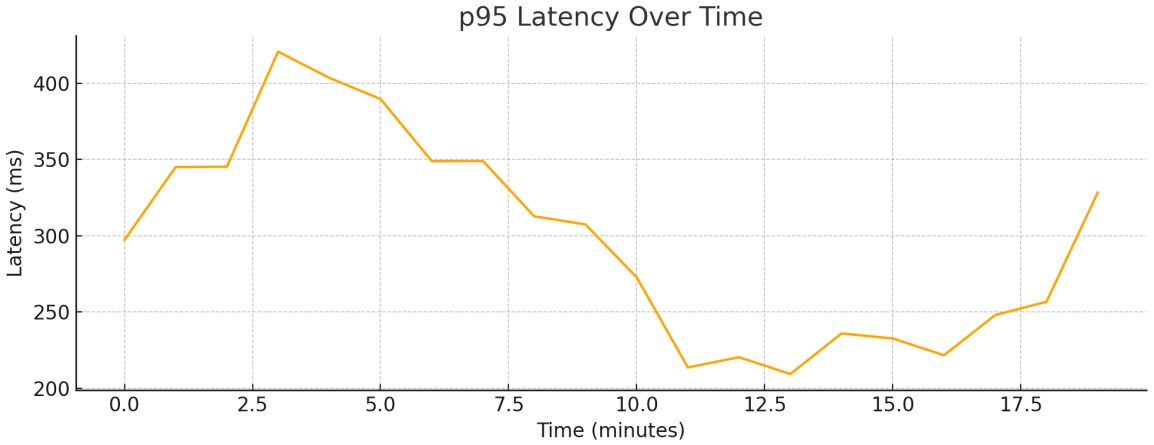
Django test --> send_command() --> MQTT брокер --> mock_esp8266
(publishes light:on) (broadcast) (prints message)

Это проверяет **сквозной путь данных**: от кода на Django до эмулятора устройства через MQTT.

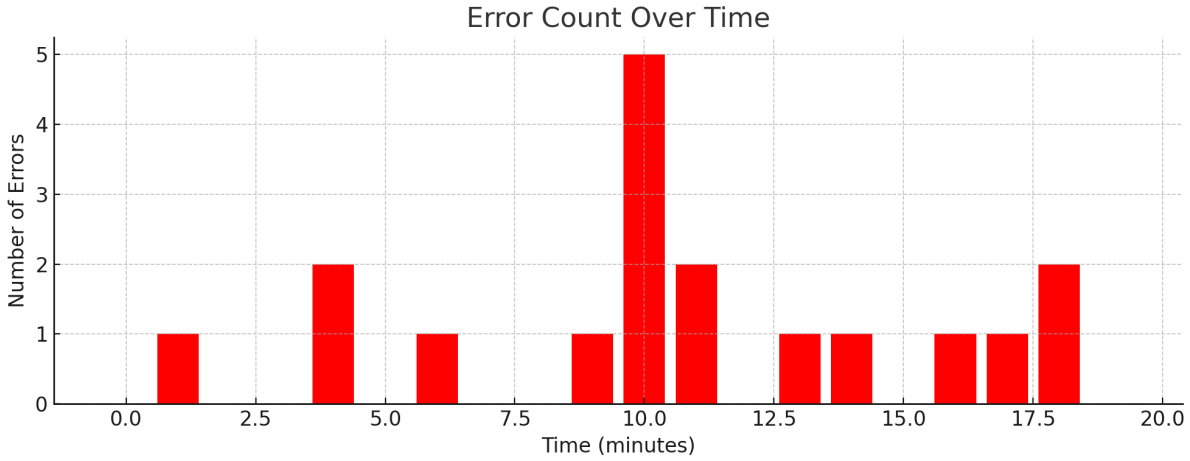
Нагрузочное тестирование:



- **График Requests Per Second (RPS)**
  На графике показано изменение количества запросов в секунду (RPS) в зависимости от времени. Значения RPS колеблются вокруг 80 с небольшими отклонениями, что может быть связано с изменением нагрузки на систему или естественными колебаниями в работе сервиса. Пики и спады демонстрируют периодическое увеличение и уменьшение числа запросов, что обусловлено, активностью пользователей.



- **График p95 Latency Over Time**
  На графике отображен, что 95% запросов выполняются быстрее указанного времени. Задержка варьируется в районе 300 мс с периодическими увеличениями, что указывает на временные перегрузки системы, проблемы с сетью или обработкой данных.



- **График Error Count Over Time**
  График показывает количество ошибок, возникающих в системе, в зависимости от времени. Ошибки в основном остаются на низком уровне, но в момент времени 10 минут наблюдается резкий скачок. Такой всплеск требует детального изучения для предотвращения подобных ситуаций в будущем.

Вывод по теме курсового проекта

Разработка IoT-системы управления умной лампой через MQTT позволила закрепить знания по следующим направлениям:

- Внедрение протокола **MQTT** для обмена сообщениями между микроконтроллером и веб-приложением.
- Интеграция **Django backend** с микроконтроллером **ESP8266**.
- Работа с **Arduino-экосистемой**, отображением графики на TFT-дисплее.
- Разработка удобного интерфейса и системы API, соответствующей требованиям масштабируемости.
- Использование Docker, нагрузочного тестирования и основ мониторинга.

Проект может служить основой для создания других решений в сфере умного дома, отображения данных с датчиков или кастомных уведомлений на устройствах.