

А. С. Чулкова^{1✉}, Я. А. Карташов¹, А. А. Шаранов¹

Разработка системы мониторинга состояния дорожного покрытия для анализа и принятия решения о дальнейшей эксплуатации

¹Сибирский государственный университет геосистем и технологий,
г. Новосибирск, Российская Федерация
e-mail: a.chulkova03@mail.ru

Аннотация. В данной статье рассматривается процесс разработки системы мониторинга состояния дорожного покрытия для анализа и принятия решения о дальнейшей эксплуатации. Описывается сравнительный анализ современных разработок в сфере мониторинга состояния дорожного покрытия, выявляются основные плюсы и минусы для определения функциональных возможностей. Анализирование фреймворков, для оптимального написания кода. Проектирование архитектуры системы, подбор компонентов аппаратной части, и моделирование интерфейса веб-сервиса. Разработка программно-аппаратного комплекса и функционала веб-сервиса сбора данных мониторинга о состоянии дорожного покрытия, тестирование и доработка.

Ключевые слова: программно-аппаратный комплекс, веб-сервис, сбор данных, обработка данных, передача данных, распознавание данных, мониторинг состояния покрытия, состояние дорожного покрытия, анализ, проектирование

A. S. Chulkova^{1✉}, Y. A. Kartashov¹, A. A. Sharapov¹

Development of a road surface condition monitoring system for analysis and decision-making on further operation

¹Siberian State University of Geosystems and Technologies, Novosibirsk, Russian Federation
e-mail: a.chulkova03@mail.ru

Abstract. This article discusses the process of developing a road surface condition monitoring system for analysis and decision-making on further operation. It describes a comparative analysis of modern developments in the field of road surface condition monitoring, identifies the main advantages and disadvantages for determining functional capabilities. Analysis of frameworks for optimal code writing. Design of system architecture, selection of hardware components, and modeling of web service interface. Development of software and hardware complex and functionality of web service for collecting monitoring data on road surface condition, testing and refinement.

Keywords: hardware and software complex, web service, data collection, data processing, data transmission, data recognition, monitoring of road surface conditions, road surface conditions, analysis, design

Введение

В современных условиях эксплуатации дорожной инфраструктуры остро стоит проблема эффективного мониторинга состояния покрытия и оперативного принятия решений о его ремонте или замене. Традиционные методы оценки, основанные на визуальном осмотре и ручном сборе данных, не позволяют получать актуальную и объективную информацию в масштабах всей дорожной сети. Это приводит к запаздыванию реагирования, нерациональному распределению ресурсов и, как следствие,

ухудшению качества дорог. Целью является разработка системы мониторинга состояния дорожного покрытия для анализа и принятия решения о дальнейшей эксплуатации. Для этого необходимо решить следующие задачи:

- выполнить проектирование аппаратно-программного комплекса;
- выполнить проектирование структуры и интерфейса веб-сервиса;
- разработать программного-аппаратный комплекс;
- реализовать функционал веб-сервиса сбора данных мониторинга о состоянии дорожного покрытия.

Разработка системы мониторинга состояния дорожного покрытия позволит автоматизировать выявление дефектов (ям, трещин и других неровностей) и улучшить эффективность и постоянность ремонтных работ, за счет визуального представления. Это сократит затраты, путем своевременного устранения проблем и улучшит безопасность дорожного движения.

Обзор современных разработок

Существует множество различных современных разработок предназначенных для сбора данных мониторинга о состоянии покрытия и анализа повреждений. Наиболее распространенные из них:

DRIVECONTROL – это коммерческая система мониторинга состояния дорожной инфраструктуры, разработанная российской компанией «Интеллектуальные дорожные технологии». Система устанавливается на транспортные средства и использует видеокамеры, GPS/ГЛОНАСС-модули, а также алгоритмы компьютерного зрения и машинного обучения для распознавания дефектов дорожного полотна. Также поддерживается анализ дорожной разметки, бордюров и дорожных знаков [1].

АЛЬФАДОРПРОЕКТ – разработка в рамках национального проекта «Безопасные качественные дороги». Внедряется Росавтодором совместно с научными организациями. Представляет собой комплекс, включающий в себя автомобильные лаборатории с видеосъемкой и ИИ-обработкой [2].

RoadAR Analytics – это инновационная система видеомониторинга, позволяющая распознавать различные события. Благодаря искусственному интеллекту, RoadAR Analytics значительно расширяет возможности видеонаблюдения и сбора данных. Система выполняет основную работу: распознает, классифицирует и анализирует события в автоматическом режиме, предупреждая о значимых ситуациях. Оператору остается только принять решение [3].

Каждая из этих разработок имеет свои преимущества и недостатки. Сделав данный анализ, стало понятно какие требуемые функциональные возможности необходимы для веб-сервиса сбора данных мониторинга о состоянии дорожного покрытия.

Проектирование программно-аппаратного комплекса

Первым этапом в разработке стало создание общей технологической схемы (рис. 1).

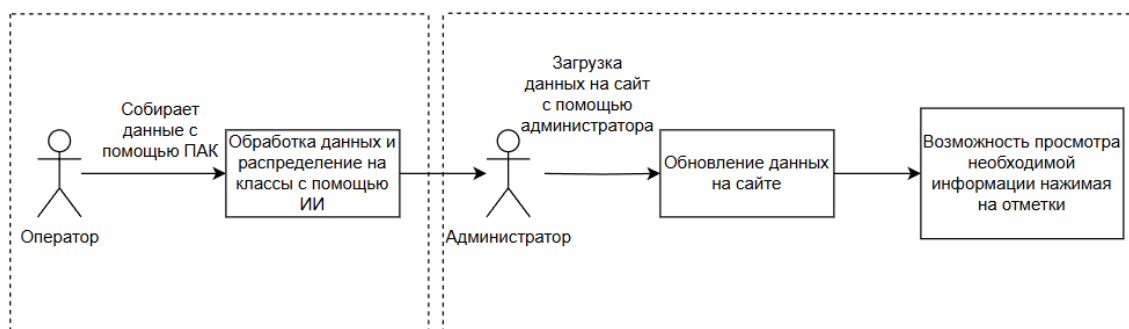


Рис. 1. Общая технологическая схема

При проектировании аппаратно-программного комплекса (АПК) особое внимание уделялось выбору компонентов, обеспечивающих устойчивую работу в различных условиях и отсутствия постоянного интернет-соединения. Предпочтение отдавалось недорогим, но надежным компонентам, которые совместимы с ОС Linux и экосистемой Python.

Для этого первоначально была спроектирована общая схема работы АПК (рис. 2).

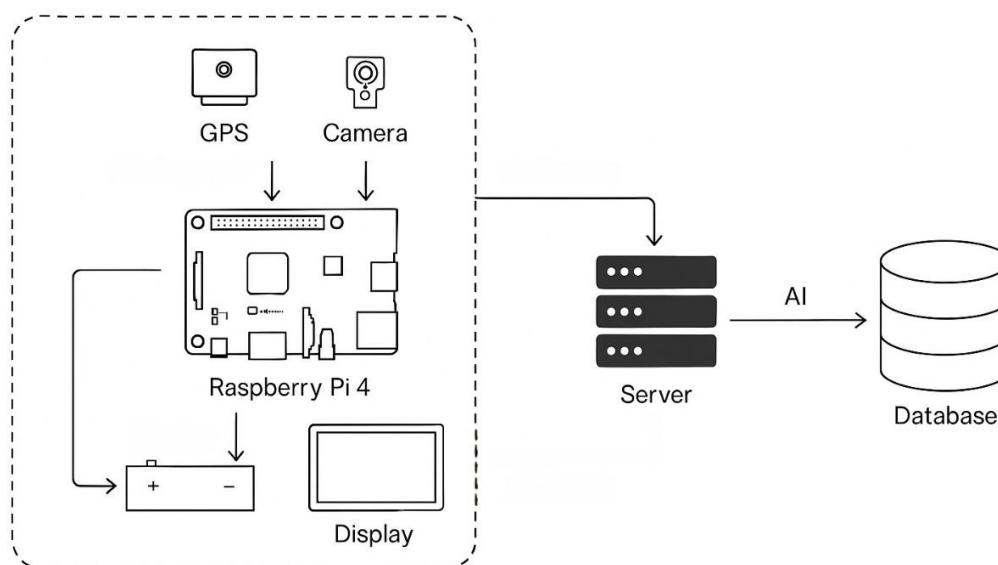


Рис. 2. Схема работы АПК

На этой схеме хорошо видно, как работает аппаратно-программный комплекс.

Сам комплекс представляет из себя компактное, мобильное устройство на базе Raspberry Pi 4, к которой подключена встроенная Pi Camera через специальный соединительный шлейф, GPS модуль для считывания координат, дисплей с возможностью сенсорного управления, на котором будет отображен сам веб-интерфейс и сам аккумулятор, с помощью него аппаратно-программный комплекс сможет работать автономно.

Ниже представлена тестовая модель АПК, которая была собрана по предыдущей схеме (рис. 3).



Рис. 3. Тестовая модель АПК

Далее был спроектирован веб-интерфейс для управления аппаратно-программным комплексом.

Веб-интерфейс является ключевым инструментом взаимодействия оператора с аппаратно-программным комплексом. Он обеспечивает простое и интуитивно понятное управление процессом сбора данных: запуск и остановку съемки, отслеживание текущего статуса, перезагрузки либо выключение системы, а также передачу собранной информации на удаленный сервер или внешний носитель.

Поэтому для функциональных возможностей был спроектирован веб-интерфейс «Главного экрана», на котором отображены кнопки управления комплексом (рис. 4).

Также был продуман статус системы, с помощью которого оператор может наблюдать в реальном времени процесс работы аппаратно-программного комплекса.

Когда камера подключена, под надписью «статус системы» высвечивается статус камеры, и информация с каким промежутком времени комплекс делает фотографии. После того как оператор останавливает систему высвечивается количество фотографий, которые были сделаны во время съемки. При выгрузке данных на сервер отображается количество отправленной информации, а также в самой системе сохраняются лог-файл с возможными ошибками в системе.

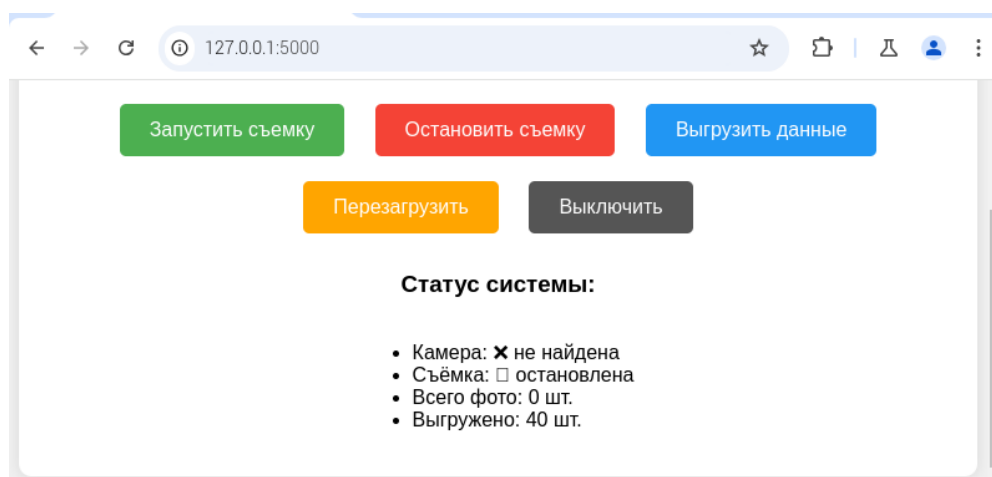


Рис. 4. Интерфейс главного экрана

Веб-интерфейс был написан на фреймворке Flask, выбран он был из-за того, что он очень гибкий, что позволяет не нагружать плату RPi 4 и работать только с нужными компонентами.

В рамках реализации аппаратно-программного комплекса (АПК) особое внимание уделяется этапу автоматической обработки изображений с целью выявления и классификации дефектов дорожного покрытия. Для решения этой задачи была выбрана модель нейронной сети YOLO.

В качестве вычислительной платформы использовался ноутбук с видеокартой NVIDIA RTX 3070, поддерживающей аппаратное ускорение на базе CUDA версии 12.5. Также система была оснащена процессором Intel Core i7-12700H, 32 гигабайтами оперативной памяти и двумя твердотельными накопителями объемом 1 и 2 ТБ, что обеспечивало высокую скорость обработки данных и стабильность работы при длительном обучении модели.

Проектирование структуры и интерфейса веб-сервиса

Были спроектированы схемы структуры работы роли «Пользователь» и работы роли «Администратор» (рис. 5, 6)

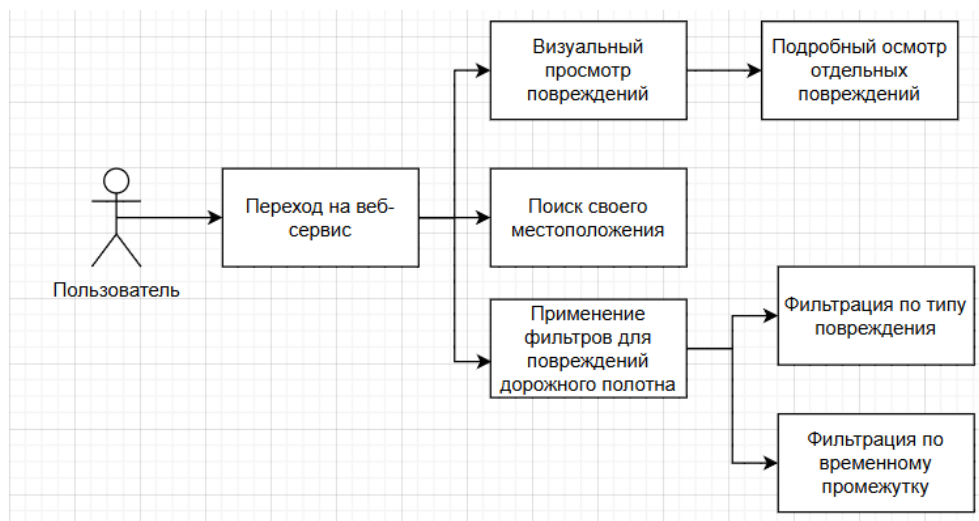


Рис. 5. Структура работы роли «Пользователь»

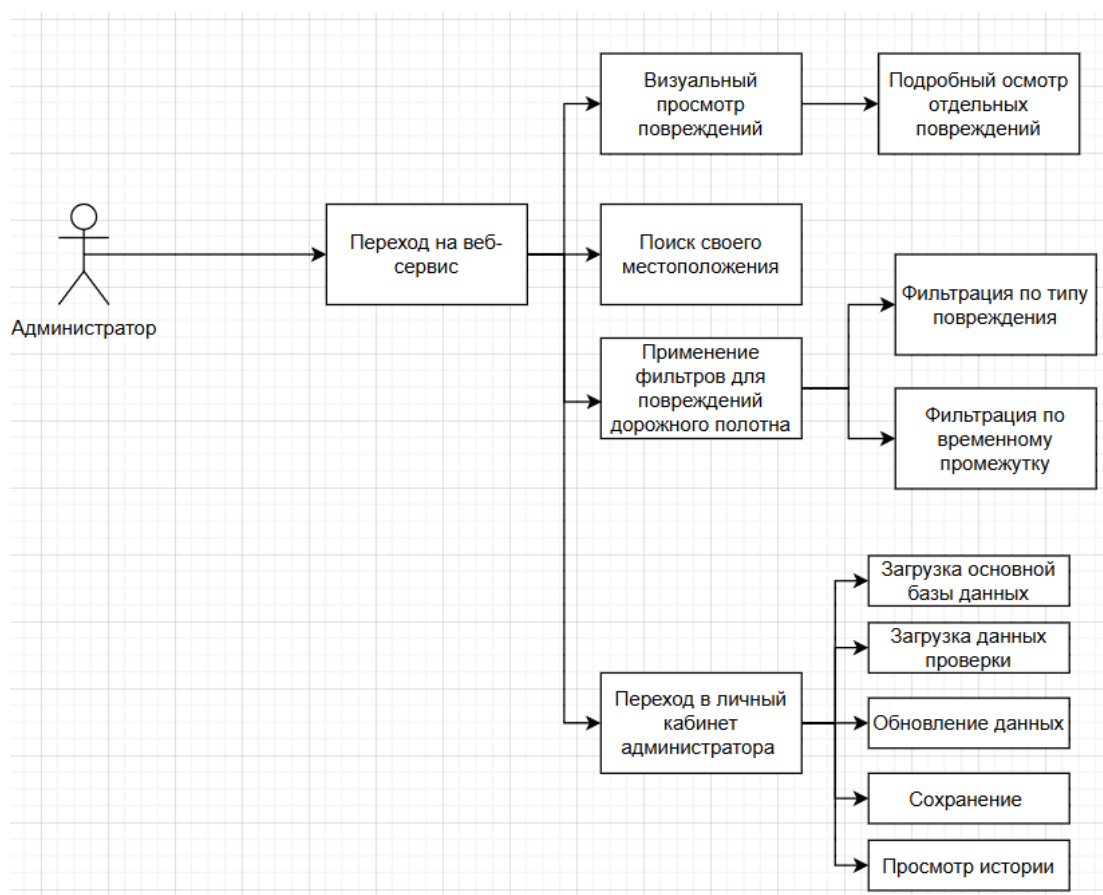


Рис. 6. Структура работы роли «Администратор»

После структуры функционирования был спроектирован интерфейс веб-сервиса на платформе Figma (рис. 7, 8). За основу была взята карта компании 2ГИС, для наглядного представления. В последующей разработке будет отображаться карта OpenStreetMap.

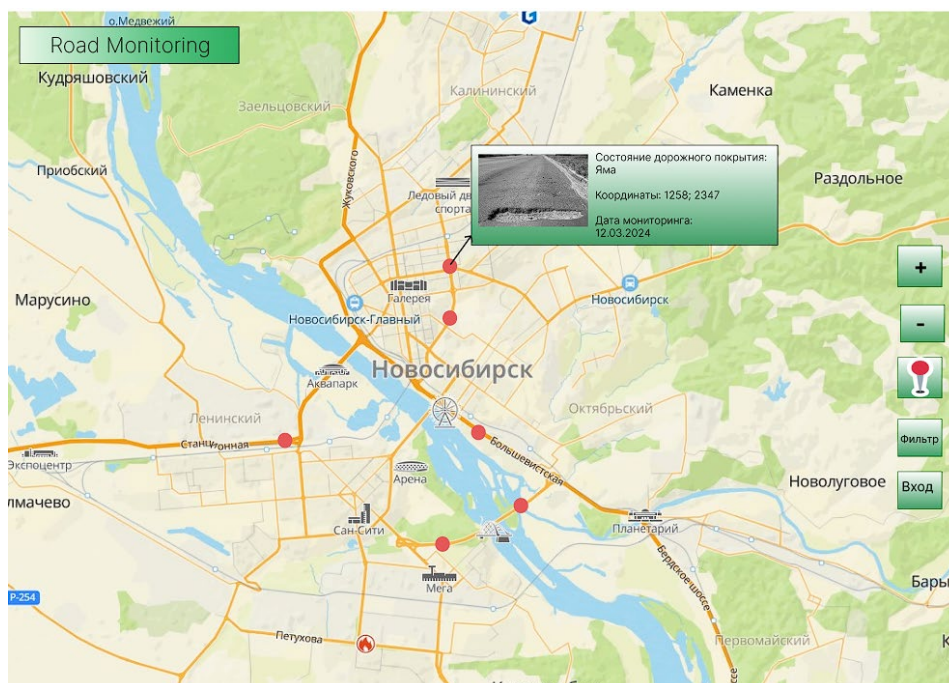


Рис. 7. Дизайн-макет интерфейса главной страницы

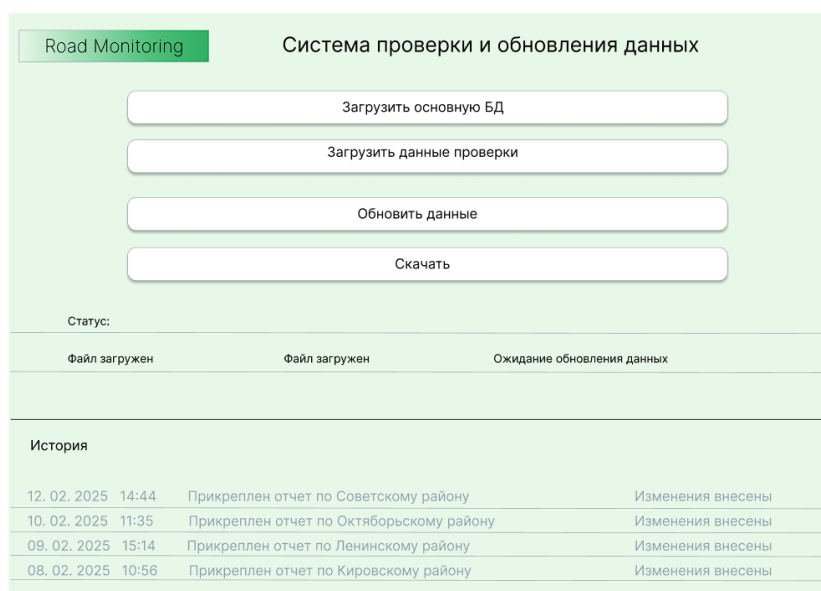


Рис. 8. Дизайн-макет интерфейса системы проверки и обновления данных

Также был проведен сравнительный анализ фреймворков, которые понадобятся для написания кода и по результатам анализа был выбран фреймворк FastAPI, по причине того, что он отвечает самым важным критериям для создания веб-сервиса, а именно: поддержка OpenStreetMap и большая скорость. Таким образом был определен следующий стек технологий для написания веб-сервиса:

- язык программирования для frontend HTML, JavaScript;
- язык программирования для backend Python;

- Framework FastAPI;
- база данных SQLite.

Результат разработки

В результате работ, описанных в данном разделе, была завершена полноценная реализация аппаратно-программного комплекса (АПК) мониторинга состояния дорожного покрытия с применением методов искусственного интеллекта. На этапе разработки была выполнена интеграция аппаратных компонентов, обеспечивающих сбор изображений и GPS-координат, а также реализован веб-интерфейс для управления комплексом с планшета.

Сформированы и протестированы алгоритмы автоматического сбора данных, загрузки изображений по сетевым протоколам SSH и SCP, а также дальнейшей передачи на удаленный сервер для обработки. Особое внимание было уделено построению устойчивой архитектуры взаимодействия между модулями комплекса.

Для решения задачи автоматического выявления дефектов дорожного покрытия была обучена модель на базе YOLO, адаптированная к специфике изображений с мобильных средств съемки. Модель продемонстрировала удовлетворительные результаты при тестировании на реальных дорогах, с корректной классификацией и локализацией объектов контроля.

Результаты работы АПК (рис. 9).



Рис. 9. Результат работы АПК

По итогам разработки веб-сервиса сбора данных мониторинга о состоянии дорожного покрытия для анализа и принятия решения о дальнейшей эксплуатации были осуществлены четыре основных процесса:

- настройка приложения;
- работа с базой данных;
- аутентификация;
- API для работы с данными;

– обработка данных.

Карта отображается с сервиса OpenStreetMap. Основные функции сервиса сделаны, а именно визуальный анализ оценки состояния дорожного покрытия, фильтрация данных, подробная информация про каждое повреждение. Также разработан личный кабинет администратора, где сотрудник может добавлять новые данные, обновлять карту, и скачивать базу данных. Из дополнительных функций осуществлено отслеживание состояния файлов и просмотр истории действий (рис. 10–12).

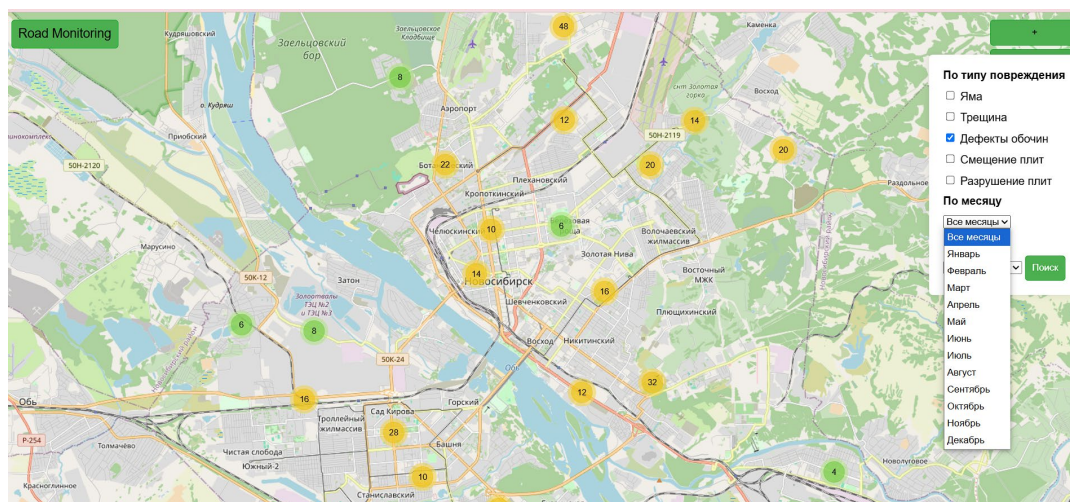


Рис. 10. Результат разработки веб-сервиса

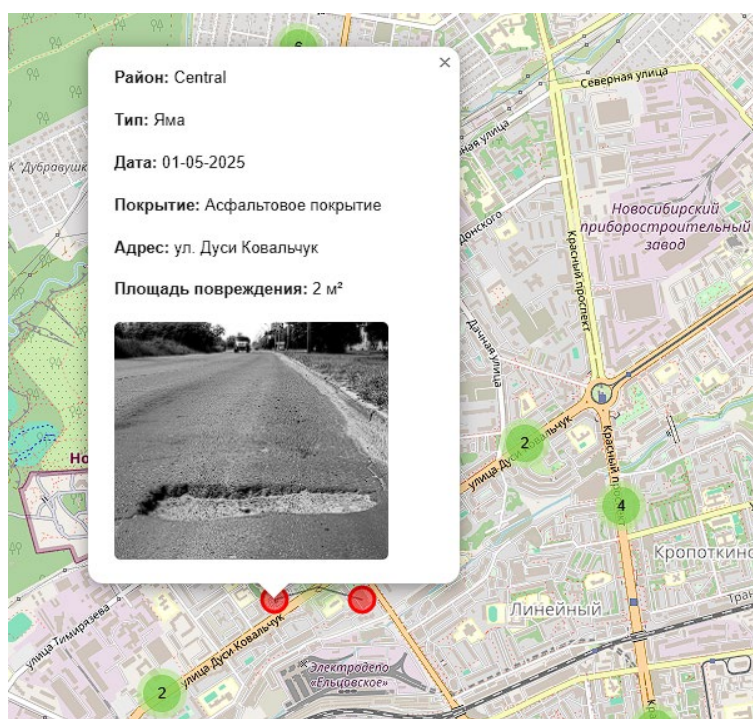


Рис. 11. Результат разработки веб-сервиса

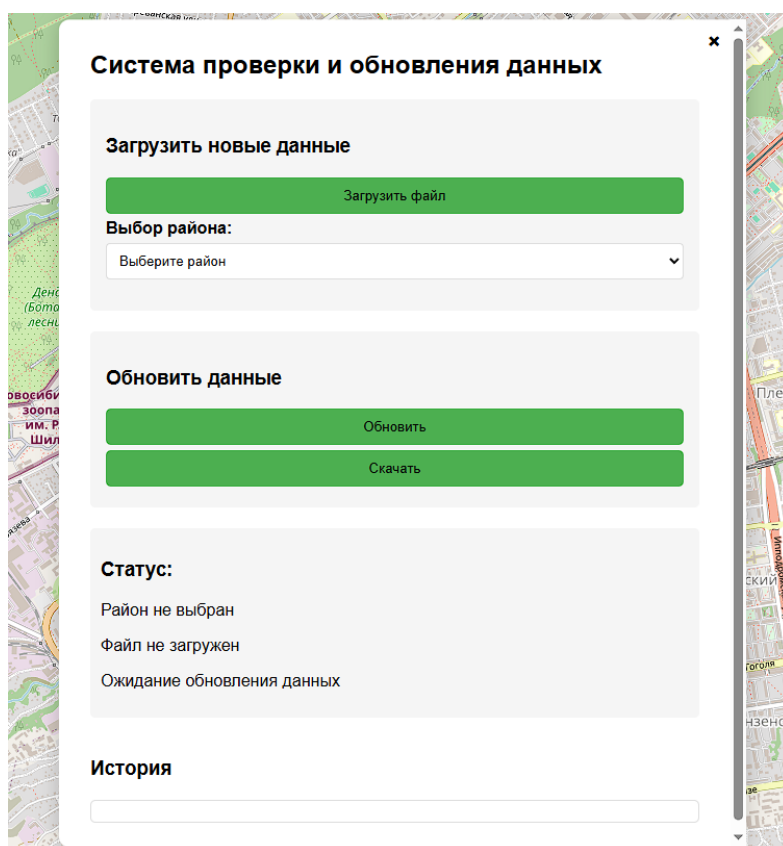


Рис. 12. Результат разработки веб-сервиса

Заключение

В результате выполнена работа на тему «Разработка системы мониторинга состояния дорожного покрытия для анализа и принятия решения о дальнейшей эксплуатации». Было выполнено проектирование аппаратно-программного комплекса, выполнено проектирование структуры и интерфейса веб-сервиса, разработан программно-аппаратный комплекс, реализовать функционал веб-сервиса сбора данных мониторинга о состоянии дорожного покрытия. Данный система сбора данных мониторинга о состоянии дорожного покрытия, позволит эффективно оценивать ситуацию и оперативно принимать решения.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Drivecontrol. 2025. URL: <https://драйвконтроль.рф/> (дата обращения:21.04.2025).
2. Альфадорпроект. 2025. URL: <https://alfadorproekt2008.ru/> (дата обращения:21.04.2025).
3. Raodar 2013-2024. URL: <https://roadar.ru/> (дата обращения:21.04.2025).

© А. С. Чулкова, Я. А. Карташов, А. А. Шаранов, 2025