

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации

Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего образования
«Комсомольский-на-Амуре государственный университет»

На правах рукописи

Емельянова Валерия Родионовна

**Разработка интеллектуальной системы для автоматизации
технологического процесса взвешивания
автотранспортных средств**

Направление подготовки 09.04.03
«Прикладная информатика»

**АВТОРЕФЕРАТ
МАГИСТЕРСКОЙ ДИССЕРТАЦИИ**

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ДИСЕРТАЦИОННОЙ РАБОТЫ

Актуальность работы

В условиях стремительной цифровой трансформации промышленности возрастающее внимание уделяется внедрению интеллектуальных технологий в ключевые производственные процессы. Одним из таких процессов, играющих важную роль в логистических и производственных цепочках, является взвешивание автотранспортных средств. От точности и эффективности данного этапа зависят не только корректность учета перевозимого груза, но и соблюдение норм безопасности, а также оптимизация внутренних производственных операций. Актуальность исследования обусловлена необходимостью повышения эффективности весомоизмерительных процессов за счёт внедрения интеллектуальных систем. В традиционных схемах взвешивания автотранспорта по-прежнему наблюдаются существенные недостатки: высокая зависимость от человеческого фактора, ограниченная точность, низкая степень автоматизации и подверженность влиянию внешней среды. Развитие искусственного интеллекта, машинного обучения и цифровых сенсорных технологий открывает новые горизонты в решении этих задач, позволяя создать интеллектуальные системы, способные к самообучению, адаптации к изменяющимся условиям и принятию решений в реальном времени.

Цель работы

Целью настоящей работы является разработка интеллектуальной системы для автоматизации технологического процесса взвешивания автотранспортных средств, обеспечивающей повышение точности измерений, снижение влияния человеческого фактора и повышение общей эффективности производственного цикла.

Задачи работы

Для достижения поставленной цели в работе решаются следующие задачи:

- провести теоретический анализ современных подходов к цифровизации промышленности и интеллектуализации производственных процессов;
- изучить применяемые в настоящее время методы автоматизации и интеллектуальные технологии в контексте весоизмерительных операций;
- провести исследование текущего состояния и выявить недостатки существующих процессов взвешивания автотранспорта;
- разработать математическую модель и алгоритм интеллектуальной системы автоматического взвешивания;
- реализовать прототип интеллектуальной системы и провести её тестирование.
- провести сравнительный анализ существующих аналогов и обосновать преимущества предлагаемого решения.

Методология

Методологическую основу исследования составляют общенаучные методы анализа, синтеза, сравнения, систематизации и обобщения. В процессе работы осуществлялось изучение и критический анализ научной и технической литературы по вопросам цифровизации, автоматизации промышленных процессов, применения машинного обучения и искусственного интеллекта. Были использованы методы логического моделирования, построения алгоритмов и апробации разработанных решений на основе экспериментальных данных.

Научная новизна

Научная новизна работы заключается в разработке концептуального подхода к автоматизации взвешивания автотранспортных средств с применением алгоритмов интеллектуальной обработки данных, способных к адаптации к различным условиям эксплуатации. Предложенная система может быть легко интегрирована в существующие производственные и

логистические процессы, а её модульность обеспечивает гибкость масштабирования. Практическая значимость исследования состоит в возможности внедрения разработанной системы на промышленных предприятиях, логистических терминалах и транспортных узлах. Это позволит существенно повысить точность и скорость весоизмерительных операций, сократить затраты на персонал, минимизировать влияние внешних факторов и повысить общую надежность технологического процесса.

Структура работы

Структура работы включает введение, четыре главы, заключение и список использованных источников. В первой главе рассматриваются теоретические основы цифровизации промышленности и интеллектуальных технологий, включая их классификацию, методы машинного обучения и опыт внедрения на промышленных предприятиях, а также перспективы применения в транспортной отрасли. Вторая глава посвящена исследованию существующего процесса взвешивания автотранспортных средств. Представлены недостатки традиционных методов, обоснована необходимость внедрения интеллектуальных систем, рассмотрены современные тенденции автоматизации весоизмерительных процессов. В третьей главе проводится сбор и анализ данных, относящихся к рассматриваемой предметной области, включая технические параметры, требования к точности измерений и условия эксплуатации. В четвёртой главе изложена разработка интеллектуальной системы автоматизации процесса взвешивания. Представлена концепция, математическая постановка задачи, алгоритмы обработки данных, процесс внедрения и результаты тестирования. Также проведён обзор аналогичных решений на рынке. В заключении подводятся итоги исследования, формулируются выводы и предлагаются направления дальнейших исследований.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

В введении обоснована актуальность разработки интеллектуальной системы контроля посещаемости студентов в условиях цифровой

трансформации образования, определены цели и задачи исследования, методологическая база, новизна и практическая значимость, а также дана общая характеристика структуры работы.

В 1 главе была рассмотрена теоретическая база, необходимая для понимания сути цифровой трансформации в промышленности и роли интеллектуальных технологий в автоматизации производственных процессов. Акцент был сделан на том, как современные предприятия переходят от традиционных моделей управления и производства к цифровым и интеллектуальным системам, позволяющим существенно повысить производительность, сократить издержки и минимизировать влияние человеческого фактора (рис. 1). Цифровизация была рассмотрена не просто как внедрение новых технологий, а как стратегический подход, меняющий организационные, технологические и логистические процессы на всех уровнях.



Рисунок 1 – Технологии, интегрируемые в стратегии Индустрия 4.0

Особое внимание было уделено интеллектуальным технологиям как ядру автоматизации промышленности. Были проанализированы существующие классы интеллектуальных систем, методы их классификации и

ключевые принципы их применения в реальном производстве. Рассматривались такие подходы, как применение машинного обучения для предиктивного анализа, построение цифровых двойников, использование систем технического зрения и автоматизированных решений для адаптивного управления ресурсами (рис. 2). Также был изучен опыт успешного внедрения ИИ на российских и зарубежных предприятиях, продемонстрировавших рост эффективности после цифровой трансформации.



Рисунок 2 – Изменения в промышленности за счет цифровизации

Дополнительно в главе были исследованы области применения искусственного интеллекта в измерительных и контрольных системах. Подчеркивалось, что автоматизация сбора, обработки и анализа параметров — это основа для создания адаптивных и саморегулируемых производственных сред. Были выделены перспективные направления применения интеллектуальных систем в транспортной логистике, системах весового контроля, технической диагностике и мониторинге промышленных объектов. В результате, сформировалось обоснование необходимости перехода к новым технологическим парадигмам, соответствующим требованиям Индустрии 4.0

и ориентированным на интеллектуальную устойчивость и адаптивность производства.

В 2 главе основное внимание было сосредоточено на исследовании технологического процесса взвешивания автотранспортных средств, его текущем состоянии и возможностях модернизации с использованием интеллектуальных технологий (рис. 3). Первоначально был проведён подробный анализ существующих технологических схем, применяемых на промышленных предприятиях, включая ручной и полуавтоматический подходы к фиксации массы. Обозначены типовые этапы процедуры, технические средства, применяемые в процессе, а также ключевые участники, включая операторов весовых комплексов и диспетчеров.

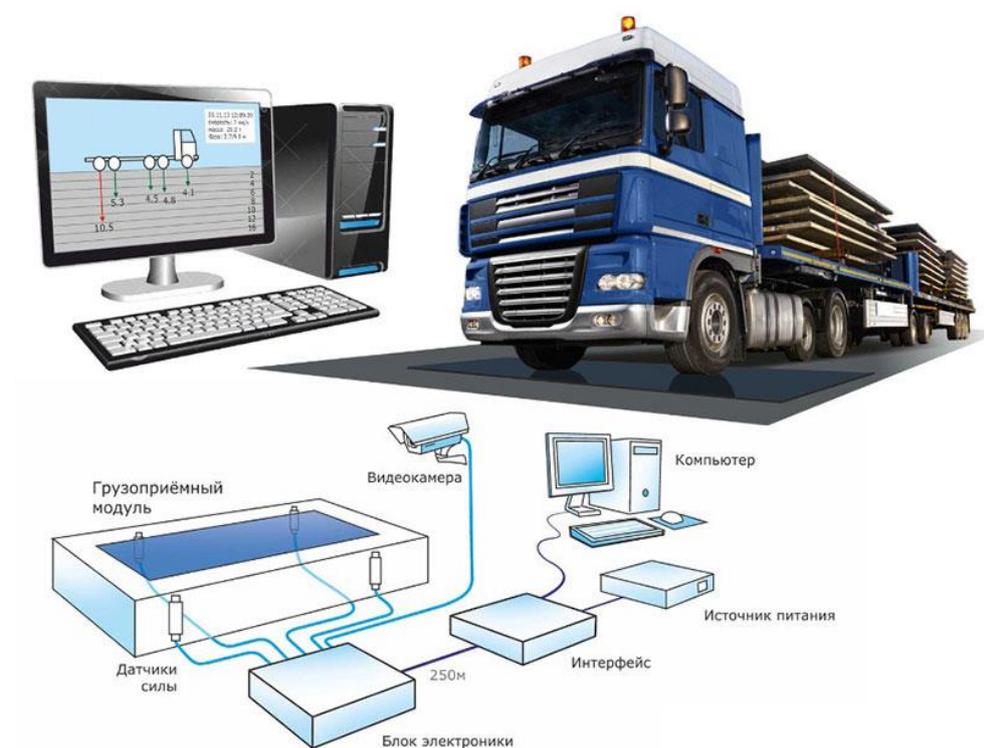


Рисунок 3 – Состав весового контроля

Отдельно была раскрыта проблематика, связанная с традиционными методами взвешивания. Установлено, что в условиях массового потока транспорта такие методы демонстрируют низкую эффективность,

обусловленную рядом факторов: ограниченной точностью измерительных приборов, субъективностью действий оператора, уязвимостью к внешним воздействиям (например, погодным условиям), а также сложностью ведения достоверного учёта. Значительная часть ошибок и сбоев в работе весовых постов, как показал анализ, связана именно с человеческим фактором и отсутствием надёжной цифровой среды фиксации и хранения данных.

На основании выявленных недостатков обоснована необходимость интеллектуализации процесса взвешивания. В главе показано, что автоматизация отдельных операций даёт лишь частичный эффект, тогда как полное внедрение интеллектуальной системы способно обеспечить сквозной контроль, от идентификации транспортного средства до передачи информации в цифровую систему учёта. Рассматривались преимущества перехода на новые архитектуры, включающие системы компьютерного зрения, алгоритмы машинного обучения, интеллектуальный анализ отклонений и интеграцию с внутренними ИТ-системами предприятий.

Также была дана оценка современным тенденциям в области автоматизации весоизмерительных процессов. Изучены отечественные и зарубежные разработки, отражающие переход к концепции «умного предприятия», где весовой контроль становится частью цифрового производственного контура. Делается вывод о том, что интеллектуализация взвешивания не только снижает трудозатраты, но и обеспечивает точность, прозрачность и оперативность принятия решений на всех уровнях производственного управления.

В третьей главе выполнена разработка алгоритмов и самого приложения. Активное внедрение цифровых технологий в логистические цепочки выдвигает новые требования к узлам учета транспортных потоков. Погрешность ручного взвешивания, задержки при заполнении сопроводительных документов и отсутствие надёжной идентификации машин приводят к экономическим потерям предприятия и нарушению регламентов безопасности. Предлагаемая интеллектуальная система устраняет указанные

трудности за счет одновременного получения массы транспортного средства и его уникальных признаков (государственного номера, марки, типа кузова, доминирующего цвета) в полностью автоматическом режиме.

Концепция опирается на идею сквозного информационного контура, где данные формируются прямо на площадке весовой платформы и сразу попадают в корпоративное хранилище. Оператор взаимодействует с системой через привычный веб-браузер, поэтому не требуется специализированное клиентское ПО. В момент подъезда автомобиля специалист загружает фотографию, сделанную встроенной или внешней видеокамерой, и инициирует процесс. Контекст взаимодействий участников и внешних сервисов представлен на рисунке 4. На схеме отчетливо виден раздел ролей: браузер оператора служит тонким клиентом, Flask-приложение выполняет всю бизнес-логику, весовая платформа поставляет измеренное значение массы, а облачный сервис OpenAI Proxy GPT-4o берет на себя сложную задачу семантической интерпретации изображения. После завершения операции приложение сохраняет запись в локальной базе SQLite и отдает браузеру сформированный отчет в формате HTML с возможностью выгрузки JSON или XML.

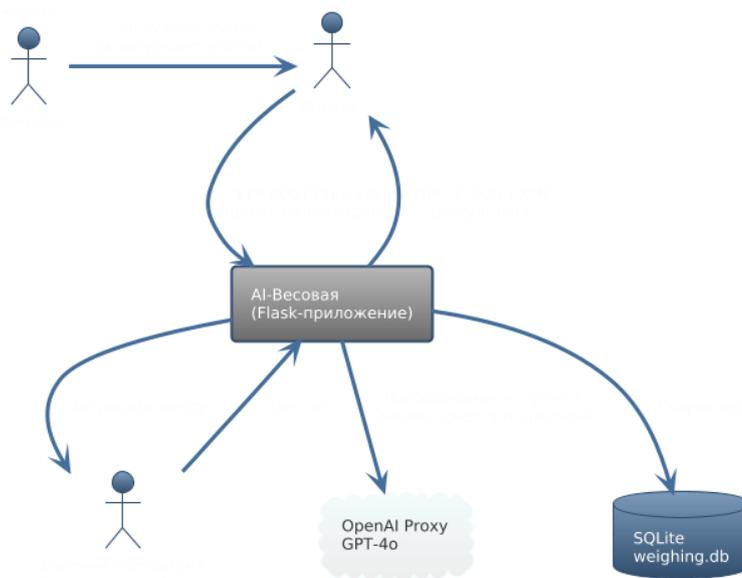


Рисунок 4 – Контекстная диаграмма интеллектуальной системы взвешивания

Исходя из указанного потока данных, архитектура реализована в виде компактного, но модульного Flask-сервиса. Выбор единого исполняемого файла оправдан невысокой сложностью и желанием упростить деплоймент на промышленных объектах, где зачастую отсутствуют DevOps-команды, способные развернуть контейнерные или распределенные решения. В то же время внутри монолита предусмотрена четкая компонентная декомпозиция, что позволяет при необходимости вынести отдельные блоки в сторонние сервисы без перестройки кода. Взаимное расположение компонентов и их связей демонстрирует рисунок 5.

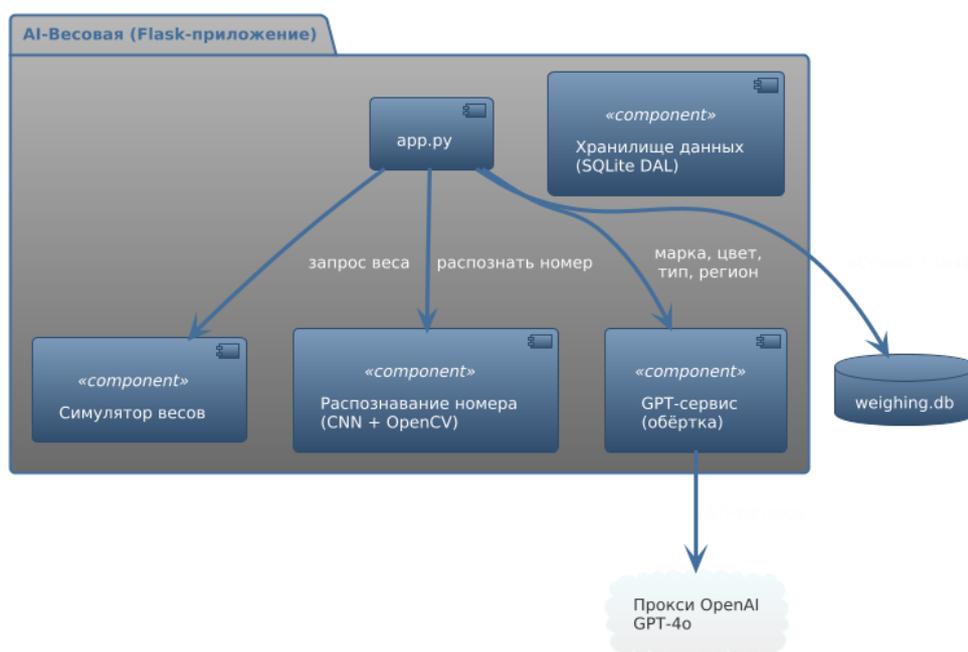


Рисунок 5 – Компонентная диаграмма интеллектуальной системы взвешивания

Центральное место в компонентной модели занимает модуль `app.py`. Он принимает HTTP-запросы, управляет жизненным циклом задачи и координирует работу остальных элементов. Получение массы реализовано абстракцией `ScaleSimulator`, которую достаточно заменить на драйвер реального контроллера, чтобы перейти от лабораторного стенда к промышленной платформе. Блок «Распознавание номера (CNN + OpenCV)»

обеспечивает детектирование номерного знака и разбивку на символы, после чего сверточная нейросеть классифицирует каждую букву или цифру. Результаты дополнительного семантического анализа – марка, цвет кузова и категория транспортного средства – вычисляются посредством GPT-service, инкапсулирующего вызовы модели GPT-4o через прокси-точку доступа. Для долговременного хранения сведений выбран файл-ориентированный движок SQLite; он не требует отдельного сервера, что особенно важно в цеховых условиях.

Производственный стенд развернут на сервере с ОС Ubuntu 22.04 LTS, оснащенный четырехъядерным процессором Intel Core i5-10500 и 16 ГБ оперативной памяти. Такой конфигурации достаточно для обслуживания до 25 параллельных запросов без заметного роста латентности. Схема развертывания представлена на рисунке 6. Здесь отчетливо выделяется демаркационная линия между полевым уровнем, где располагается весовая платформа с тензометрическим датчиком, и уровнем обработки, реализованным в связке Gunicorn + Flask. Драйвер контроллера весов обменивается данными по протоколу Modbus RTU через USB-RS-485 преобразователь; при переходе на промышленный Ethernet достаточно заменить физический интерфейс, оставив прикладную часть кода неизменной.

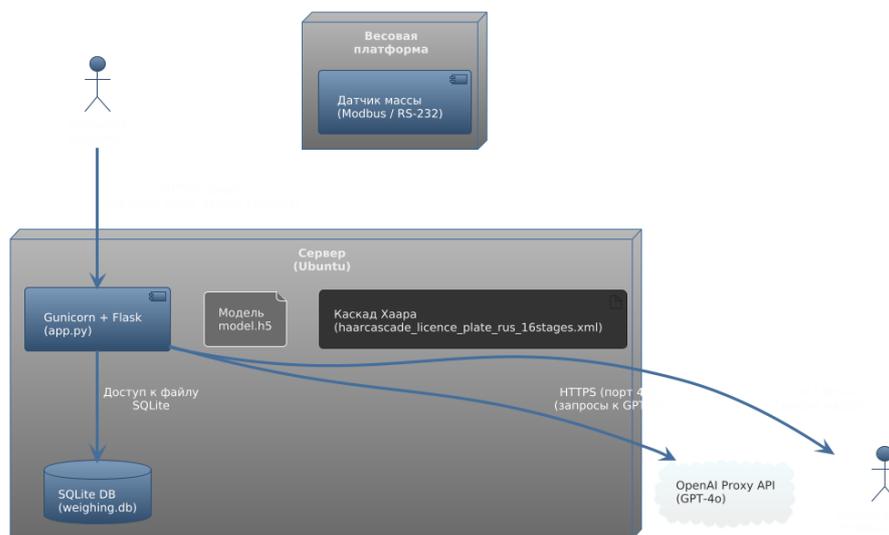


Рисунок 6 – Инфраструктура размещения и сетевые взаимодействия

Внутреннее логическое устройство приложения отражается на рисунке 7. Центральный объект FlaskApp инкапсулирует маршруты /, /analyze, /export/* и /stats, за счет чего навигационная логика остается компактной и легко читаемой. Вычислительные узлы (CNNRecognizer, GPService, ScaleSimulator) подключаются по принципу слабой связности: веб-слою известен лишь публичный интерфейс, тогда как детали реализации скрыты. Такое разделение облегчает замену классов на аппаратно-специфичные аналоги при переносе решения в новое технологическое окружение. Коммутация между модулями реализована через асинхронный исполнитель concurrent.futures.ThreadPoolExecutor – при расширении парка оборудования достаточно увеличить пул потоков, не прибегая к изменению исходного алгоритма.

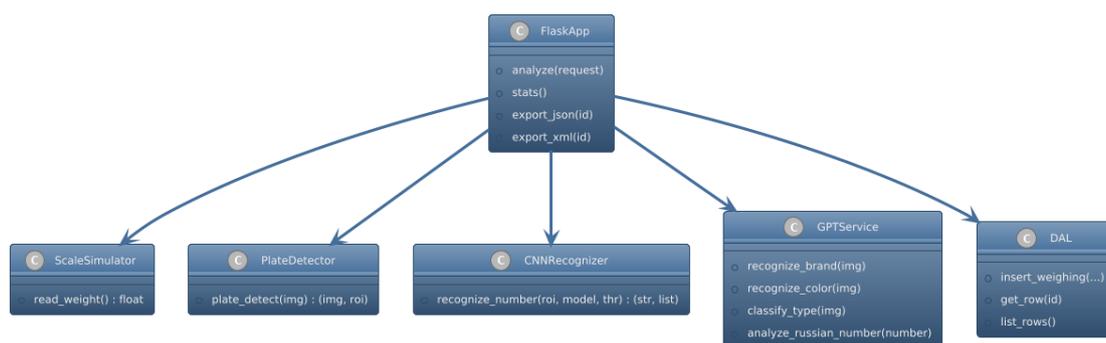


Рисунок 7 – Упрощенная классовая модель модулей AI-весовой

После установки зависимостей (pip install flask gunicorn opencv-python-headless tensorflow pillow) и загрузки модельных файлов система запускается сервисом systemd, что обеспечивает автоматический рестарт в случае непредвиденных сбоев. Тестовая процедура охватывает полный жизненный цикл запроса: оператор загружает фотографию, выбирает формат номера, задает порог уверенности и указывает требуемую операцию. Стартовую форму демонстрирует рисунок 8. Пользовательский интерфейс построен на Bootstrap 5, поэтому корректно отображается как на стационарных рабочих местах, так и на планшетах операторов погрузчиков. Перечень

поддерживаемых сценариев представлен выпадающим списком; пример взаимодействия показан на рисунке 9.

Функциональные испытания включали 200 последовательных запусков в режиме «Все сразу» с потоковыми JPG-файлами размером от 80 до 160 КБ. Среднее время обработки полного цикла составило 7,4 с при отклонении 0,8 с, причем 68 % задержки приходилось на сетевой вызов GPT-4o. Оптимизация трафика путем агрессивной JPEG-квантизации позволила сократить выходной объем изображения до 10 КБ без ухудшения качества распознавания атрибутов. Итоговый отчет, отображаемый после успешного завершения анализа, приведен на рисунке 10. Кнопки скачивания генерируют JSON и XML-структуры, полностью соответствующие XSD-шаблону, утвержденному службой ИТ-дирекции.

AI-Весовая (Flask)

Фото автомобиля (jpg/png):
Выберите файл | ex2.jpg

Формат номера: Новые РФ номера | Порог уверенности (CNN): 0,5 | Задача: Все сразу

Шаг весовой платформы
При нажатии на кнопку «Взвесить» система запросит массу у датчика (сейчас – эмулятор). После взвешивания выполнится анализ выбранной задачи.

Взвесить и анализировать | Статистика

Рисунок 8 – Стартовая форма веб-интерфейса оператора

AI-Весовая (Flask)

Фото автомобиля (jpg/png):
Выберите файл | Файл не выбран

Формат номера: Новые РФ номера | Порог уверенности (CNN): 0,5 | Задача: Все сразу

Старые РФ номера
Зарубежные номера

Взвесить и анализировать | Статистика

Все сразу
Распознать номер
Определить марку
Определить тип автомобиля
Определить цвет

Рисунок 9 – Выбор формата номера и типа операции в клиенте

Функциональные испытания включали 200 последовательных запусков в режиме «Все сразу» с потоковыми JPG-файлами размером от 80 до 160 КБ. Среднее время обработки полного цикла составило 7,4 с при отклонении 0,8 с, причем 68 % задержки приходилось на сетевой вызов GPT-4o. Оптимизация трафика путем агрессивной JPEG-квантизации позволила сократить выходной объем изображения до 10 КБ без ухудшения качества распознавания атрибутов. Итоговый отчет, отображаемый после успешного завершения анализа, приведен на рисунке 3.12. Кнопки скачивания генерируют JSON и XML-структуры, полностью соответствующие XSD-шаблону, утвержденному службой ИТ-дирекции.

Результат анализа



| | |
|-------------|---------------------|
| Номер: | E716AX35 |
| Марка: | Jeep |
| Тип: | Легковой. |
| Цвет: | Чёрный. |
| Масса (кг): | 36786.4 |
| Время: | 2025-05-19 00:32:30 |

[Скачать JSON](#)[Скачать XML](#)[Новый анализ](#)

Рисунок 10 – Веб-страница с результатами анализа и ссылками на отчеты

В ходе опытной эксплуатации система показала устойчивость к нестандартным ситуациям: при обрыве соединения с облаком GPT-4o значение атрибутов марки и цвета автоматически переходит в состояние «N/A», а запись о взвешивании сохраняется в базе со статусом `partial_success`. Поврежденные или избыточно затемненные фотографии корректно отфильтровываются механизмом проверки средней яркости; при выходе

изображения за допустимые пределы оператор получает уведомление о необходимости перезафиксировать кадр. Особое внимание уделено целостности данных. Запись в SQLite выполняется внутри атомарной транзакции; в случае сбоев на любом этапе – от чтения веса до получения ответа GPT-4o – триггер отката предотвращает появление частично заполненных строк. Лабораторные тесты инъекций ошибок (отключение источника питания датчика, симуляция ConnectionResetError при обращении к интернету) подтвердили сохранение репликации журнала без нарушений структуры таблицы.

Полученные результаты демонстрируют готовность программно-аппаратного комплекса к промышленному внедрению: существующая архитектура масштабируется горизонтально, интерфейс не требует дополнительного обучения операторов, а интеграция с корпоративной сетью осуществлена через единственный открытый порт, что упрощает работу службы информационной безопасности.

В заключение приводятся основные результаты исследований, проводится анализ, полученных результатов и их сравнение с существующими аналогами.

СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ ПО ТЕМЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

1