Всероссийский конкурс «Инженеры транспорта» · Задание № 2
«Автономные беспилотные технологии»

АРГУС-01

Переносной роботизированный комплекс для автономного мониторинга и диагностики на объектах железнодорожной инфраструктуры



Кардашов Дмитрий Сергеевич
схемотехник-электронщик

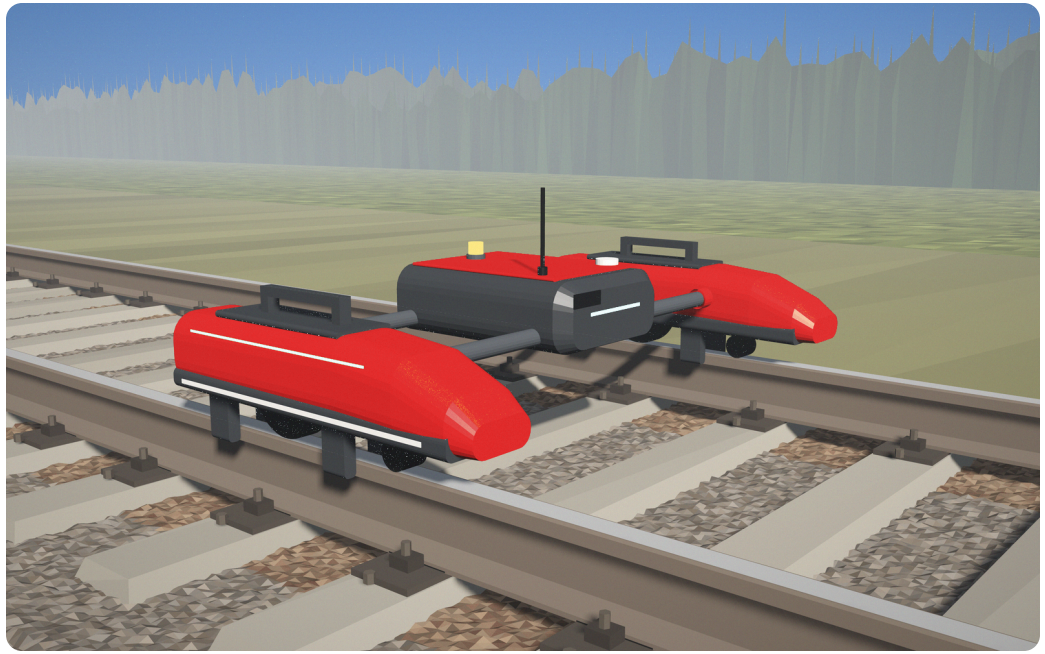


Андриянов Владислав Евгеньевич
программист (компьютерное зрение)



Штыров Артур Сергеевич
инженер-конструктор

Организация: детский технопарк «Кванториум» НЭЛ, г. Пенза
Технологический партнёр: ООО «ГеосАэро», г. Пенза



Концепт серийного исполнения

ПРОБЛЕМА

Актуальность и постановка проблемы

- **Между проходами** вагонов-путеизмерителей и дефектоскопов путь осматривают пешком.
- **Бригада не менее 2 человек** на действующем пути, около 10 км за смену.
- **Ограничения** в туман и сильные осадки (приказ Минтруда № 652н).
- **Результат зависит от человека** и не оставляет цифрового следа: нет снимка, координаты и истории.

«Аргус-01» не заменяет вагон-путеизмеритель и дефектоскопы, а закрывает промежутки между их проходами, которые сейчас закрывает пеший обход.

2
человека на пути при пешем осмотре

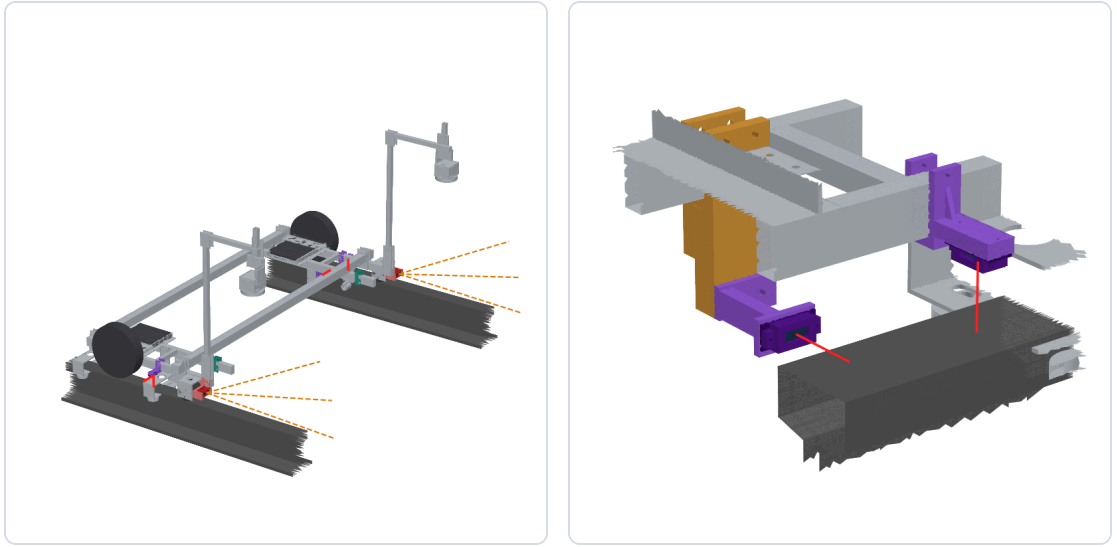
≈ 10 км
за смену пешком

7 680
чел.-ч в год меньше работы людей на пути

ОПИСАНИЕ РЕШЕНИЯ

Инженерное решение

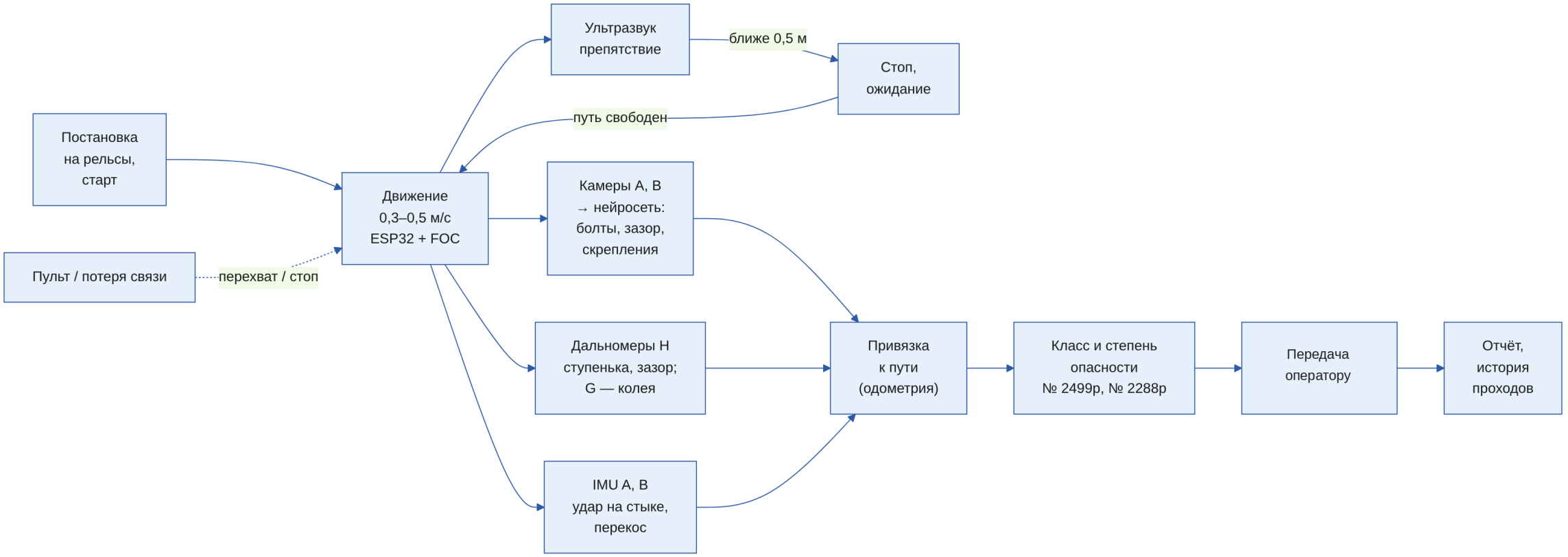
- **Две рельсовые тележки** на мотор-колёсах, связанные съёмными поперечинами.
- **Над каждым рельсом** — свой комплект датчиков; камера на постоянной высоте.
- **Рельс задаёт маршрут:** навигация не нужна, положение дефекта — по одометрии от точки старта.
- **Комплекс сам** проходит участок, выявляет и классифицирует дефекты рельсов, стыков и скреплений и передаёт находку оператору.
- **Съёмный:** снимается с пути и не требует отдельной нитки графика движения поездов.



Тележка с датчиками: общий вид и узел лазерных дальномеров

СХЕМА РАБОТЫ

Принцип работы



Показания всех датчиков имеют общую метку времени и привязываются к пройденному пути по одометрии мотор-колёс.

ФУНКЦИИ

Обнаружение дефектов

Дефект	Чем выявляется	Признак
Отсутствие стыковых болтов	камера → нейросеть	число болтов по каждую сторону стыка меньше нормы (№ 2288р)
Стыковой зазор более 35 мм	лазерный дальномер высоты + одометрия	над зазором луч уходит с головки рельса; длина скачка по одометрии равна зазору
Перекос пути более 12 мм	IMU обеих тележек	поперечный наклон рамы
Ступенька в стыке	дальномер высоты, IMU	разность высот «до / после» стыка, пороги 1 / 2 / 4 / 5 мм (№ 2288р)
Ширина колеи	два дальномера на рабочие грани	отклонение от номинала, допуски −4 / +8 мм

По запросу заказчика — до 18 классов дефектов по № 2499р и № 2288р с кодом и степенью опасности. В прототипе реализованы 3 класса: стыковые болты, зазор, перекос.

ХАРАКТЕРИСТИКИ

Ключевые технические характеристики

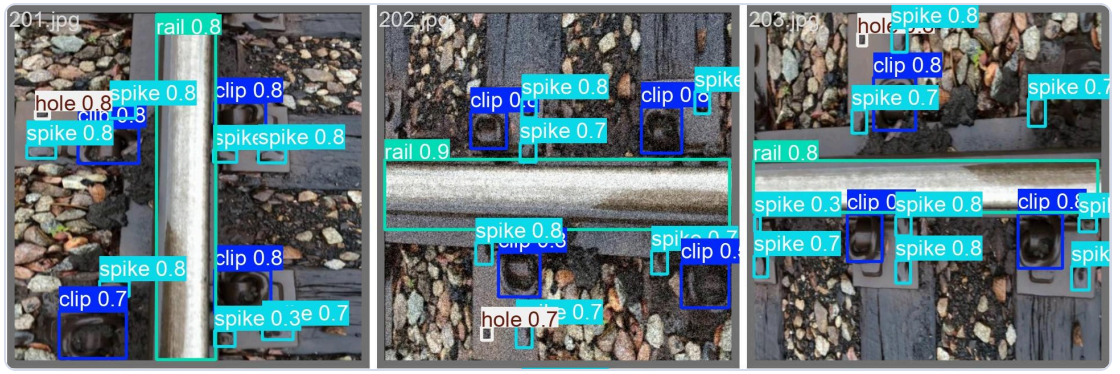
Параметр	Значение
Тип	наземная рельсовая платформа: две тележки, мотор-колёса Ø254 мм
Колея	проект — 1520 мм, прототип — 750 мм; смена поперечин и параметр ПО
Скорость осмотра	0,3–0,5 м/с
Датчики (на рельс)	камера с LED-подсветкой, 2 лазерных дальномера, IMU, ультразвук
Обработка и связь	ноутбук с GPU, ESP32; Wi-Fi, пульт
Время работы / ход	прототип — до 15 мин / до 0,45 км; серийный — до 5 ч / до 9 км
Автономность	не менее 70 % времени без оператора (план — 90 %)
Масса, установка	≈ 40 кг, разборный; установка на путь — 15 мин
Нештатные ситуации	препятствие — стоп за 0,5 м; потеря связи — стоп; низкий заряд — возврат на базу

ТЕХНОЛОГИИ

Компьютерное зрение и результаты тестов

- **Отечественная разработка** пензенской компании ООО «ГеосАэро», созданная под инфраструктуру РЖД.
- **Свой датасет:** команда собрала и разметила более 1000 снимков российских путей и более 5000 зарубежных.
- **Вывод:** рамка, класс и уверенность на снимке; журнал CSV и сводка по проходу.

Показатель (контрольная выборка, 258 объектов)	Значение
Точность (precision)	97,2 %
Полнота (recall)	96,8 %
mAP50 / mAP50-95	97,8 % / 59,1 %
Найдено объектов	255 из 258



Снимки с рамками: rail — рельс, clip — клемма, spike — костыль, hole — отверстие

ЭКСПЛУАТАЦИЯ

Путь оператора

1
Монтаж
Перемещение оборудования в защитном корпусе и установка на путь — 15 минут.

2
Инициализация
Задание на устройстве оператора: дистанция, выбор и активация датчиков.

3
Проверка
Калибровка колеи по шаблону, статус «норма».

4
Диагностика пути
Комплекс работает автономно; на экране — выявленные дефекты. Пульт: аварийная остановка и перехват.

5
Отчёт
Таблица дефектов, снимки и сводка сразу после прохода.

6
Демонтаж
Снятие комплекса с пути и укладка в защитный корпус.

СРАВНЕНИЕ

Преимущества перед аналогами

Аналог	Плюсы	Минусы
Вагон-лаборатория «Интеграл»	≈ 200 параметров, до 140 км/ч	дорого, проходы по графику, редко
Путеизмерительная тележка ПТ-7МК	колея ± 1 мм	≈ 2,3 млн ₽, ведёт человек
RailPod (США)	автономна, камеры и лидар	колея 1435 мм, в России недоступна

- **Отечественное компьютерное зрение** и собственный датасет российских путей.
- **Измерение без контакта:** ступенька и зазор — лазерным дальномером, колея — двумя дальномерами на рабочие грани.
- **Цена серийного комплекта** — 44 % цены ПТ-7МК; работает без человека на пути.

ПРИМЕНЕНИЕ

Сферы применения и эффект от внедрения

Где применим

- магистральные, станционные и подъездные пути, метрополитен — 1520 мм;
- европейская колея — 1435 мм;
- узкоколейные и детские железные дороги — 750 мм;
- промышленные и карьерные пути — 600–1067 мм.

Колея задаётся длиной поперечин и параметром ПО, пороги — под тип рельса (Р24–Р75).

Эффект

- **1 км осмотра — 537 ₽** против 862 ₽ пешком (−38 %).
- **Меньше людей на действующем пути:** на 7 680 чел.-ч в год.
- **Цифровой след:** снимок, класс, место и время каждого дефекта; сравнение повторных проходов.
- **Регулярность:** осмотр между проходами диагностических средств.

ЭКОНОМИКА

Экономическое обоснование

Статья затрат (прототип)	Сумма, ₽
Расходные материалы и комплектующие	56 607
Работа специалистов (227,5 ч)	158 584
Использование оборудования	58 563
Интеграция в инфраструктуру	62 859
Итого	**336 614**

Серийный комплект — 1,02 млн ₽ при партии 100 шт.

Выигрыш покупателя

2 соседние дистанции по 100 км, 4 осмотра в месяц, 50 % пеших осмотров передано комплексам: 3 комплекса и 1 оператор.

4,07 млн ₽
вложения

2,38 млн ₽
экономия в год

21 мес
окупаемость

4,09 млн ₽
NPV за 5 лет (14 %)

При 30 % осмотров окупаемость 38 мес, при 70 % — 20 мес.

РАЗВИТИЕ

Планы развития

- **Все 18 классов** дефектов в модели; привязка к километражу по ГЛОНАСС/GPS с РТК; выгрузка отчёта в систему дистанции пути.
- **Серийное исполнение:** алюминиевая рама из модулей до 25 кг, мотор-колёса с изолирующими бандажами, LiFePO4 с подогревом (до 5 ч работы), корпуса IP65, защитный корпус для перевозки.
- **Сервисная операция:** метка краской на шпале у дефекта, затем сменный ремонтный модуль.
- **Отечественная компонентная база:** замена импортных датчиков и контроллеров прототипа на отечественные аналоги.
- **Версия для стрелочных переводов.**

Нормативная база: ПТЭ железных дорог РФ (приказ Минтранса России № 250 от 23.06.2022); распоряжения ОАО «РЖД» № 2288р, № 2499р, № 2676р; приказ Минтруда № 652н; ГОСТ Р 51685-2022, ГОСТ 32698-2014, ГОСТ IEC 60825-1-2013, ГОСТ 14254-2015.