

АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ ТРАМВАЙНАЯ СИСТЕМА

ВЫПОЛНИЛ
ГОРДЕЕВ АЛЕКСАНДР

РУКОВОДИТЕЛЬ
ВОЛКОВА Т. Н.

ПЕДАГОГ ДОП. ОБРАЗОВАНИЯ

Russian
Robot
Olympiad
Krasnoyarsk
2021



СОВРЕМЕННЫЙ ТРАМВАЙ



ТРАМВАЙ В РОССИИ



ДОСТОИНСТВА И НЕДОСТАТКИ ТРАМВАЯ, КАК ВИДА ОБЩЕСТВЕННОГО ТРАНСПОРТА



МАРШРУТКА

480
чел/час



АВТОБУС

4000
чел/час



ТРОЛЛЕЙБУС

5000
чел/час



ТРАМВАЙ

9000
чел/час



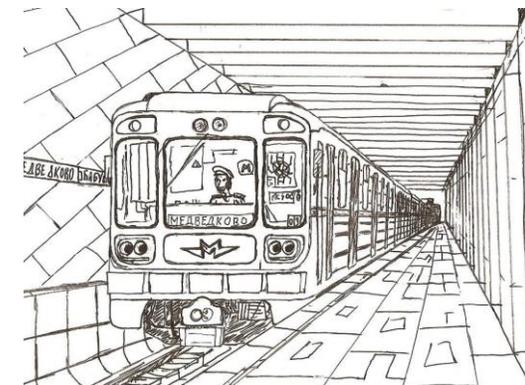
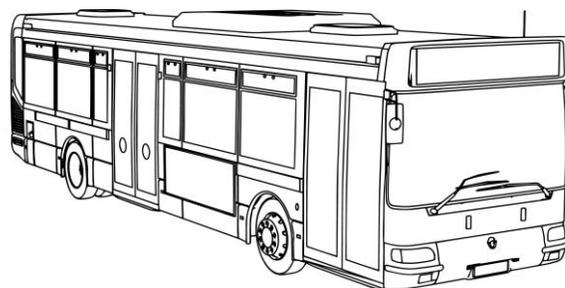
ЭЛЕКТРИЧКА

40000
чел/час



МЕТРО

70000
чел/час



ЦЕЛЬ ПРОЕКТА- РАЗРАБОТАТЬ ПРОТОТИП АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ ТРАМВАЙНОЙ СИСТЕМЫ



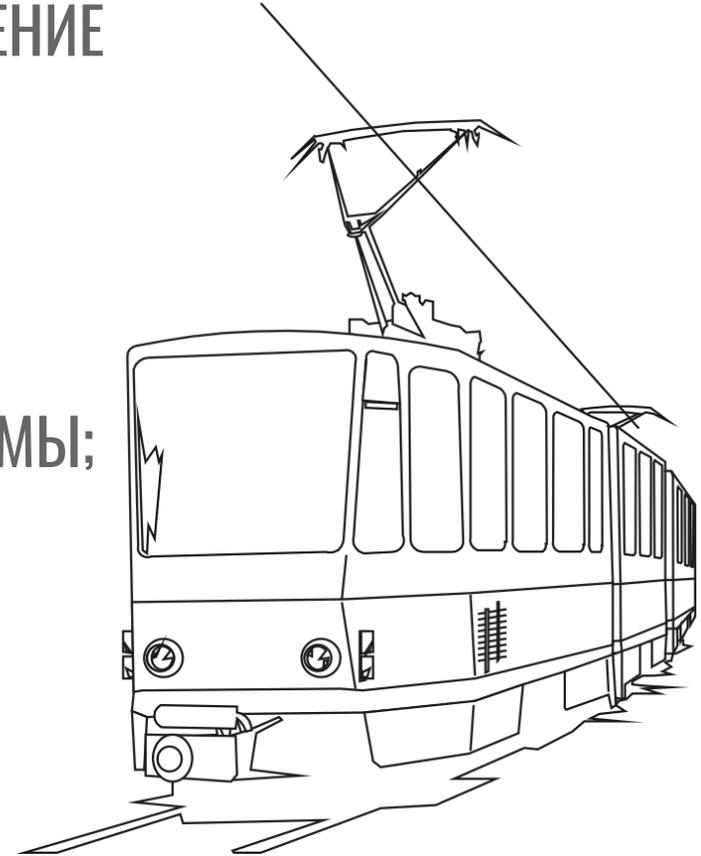
ЗАДАЧИ ПРОЕКТА

РАЗРАБОТАТЬ УДАЛЁННОЕ (РУЧНОЕ) И АВТОМАТИЧЕСКОЕ УПРАВЛЕНИЕ ТРАМВАЕМ;

АВТОМАТИЗИРОВАТЬ ЧАСТЬ ТРАМВАЙНОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ (СТРЕЛКИ, СВЕТОФОРЫ, ОСТАНОВКИ);

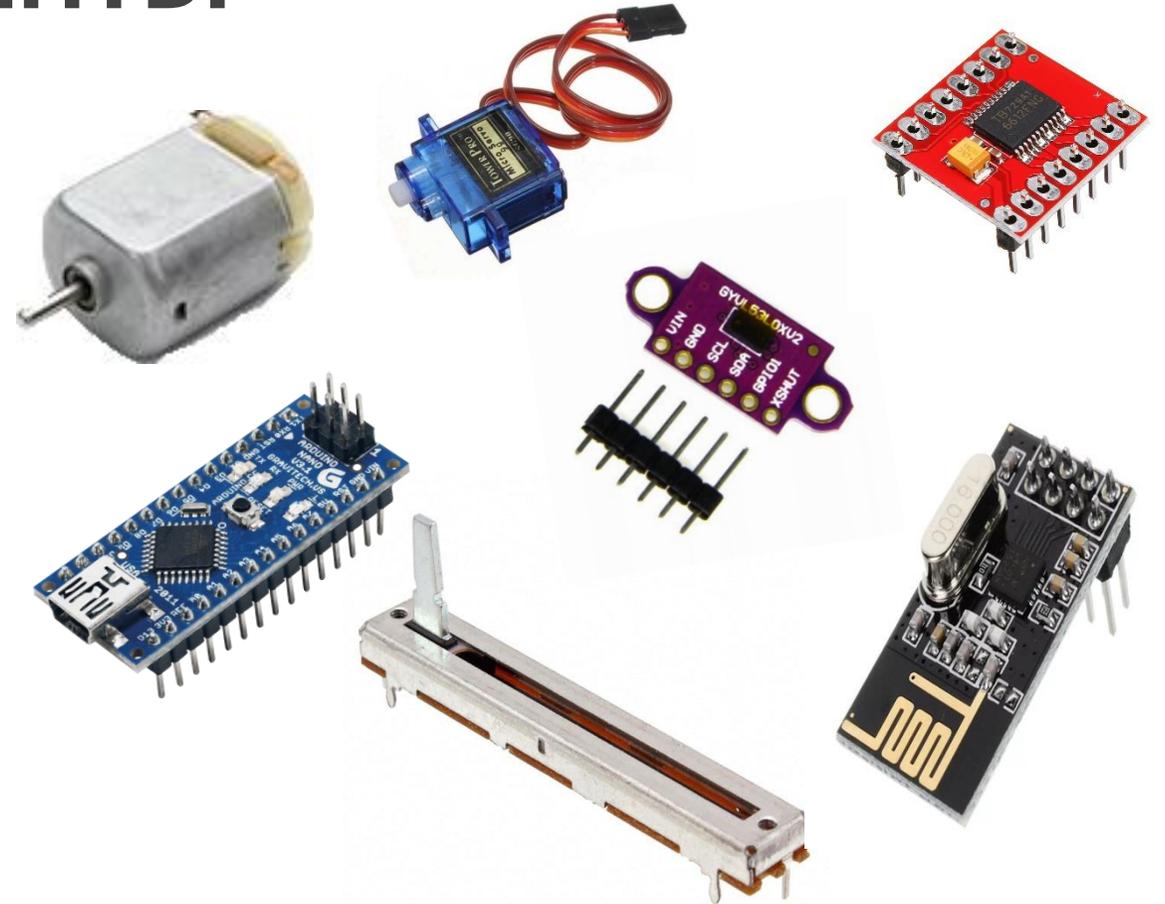
СОБРАТЬ ПРОТОТИП АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ ТРАМВАЙНОЙ СИСТЕМЫ;

ПРОДУМАТЬ ВНЕДРЕНИЕ ЕЁ В ТРАНСПОРТНУЮ СИСТЕМУ ГОРОДА



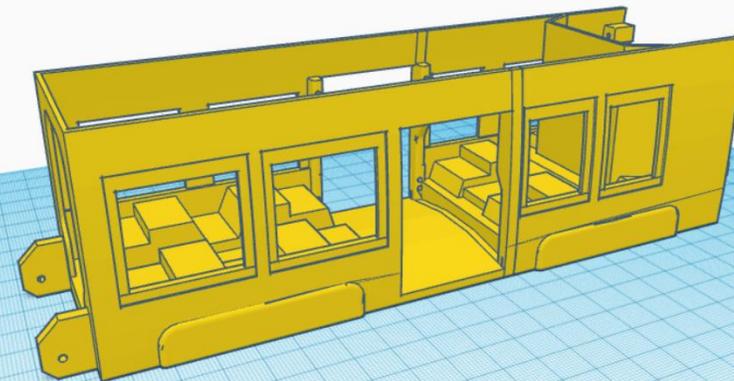
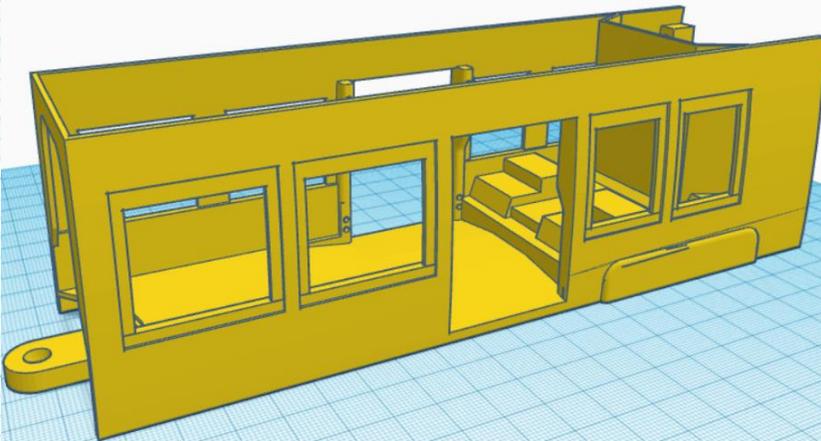
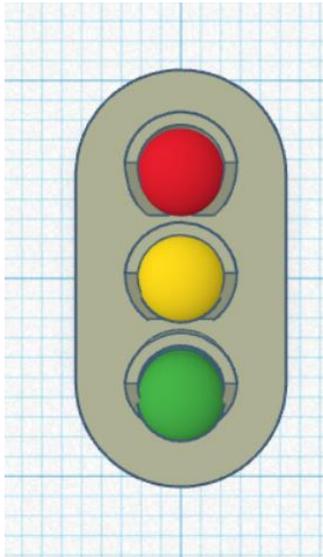
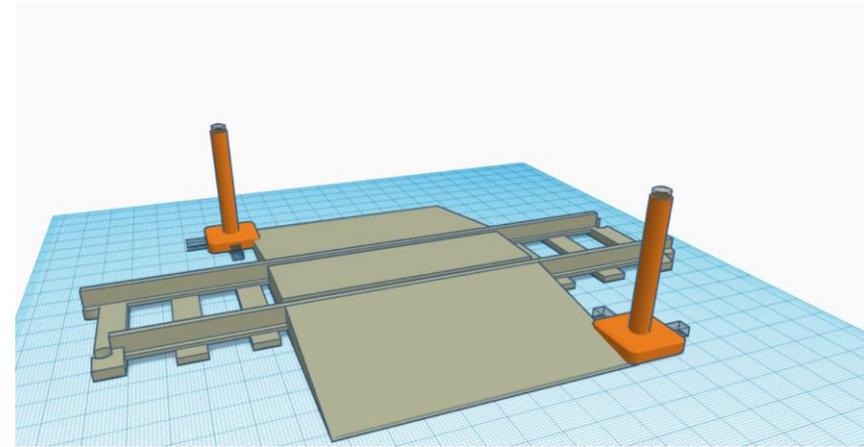
ОСНОВНЫЕ КОМПОНЕНТЫ

ARDUINO NANO(4 ШТ)
ПЛАТА РАСШИРЕНИЯ
NRF24L01(2ШТ)
ДРАЙВЕР ДВИГАТЕЛЕЙ TB6612FNG
ЛАЗЕРНЫЙ ДАЛЬНОМЕР VL53LOX
ГЕРКОН
ПОТЕНЦИОМЕТР
СЕРВОПРИВОД SG-90
ДВИГАТЕЛЬ
СВЕТОДИОДЫ
НАБОР РЕЛЬС
КОРПУС ВАГОНА
АККУМУЛЯТОРЫ



ДЕТАЛИ И МЕХАНИЗМЫ

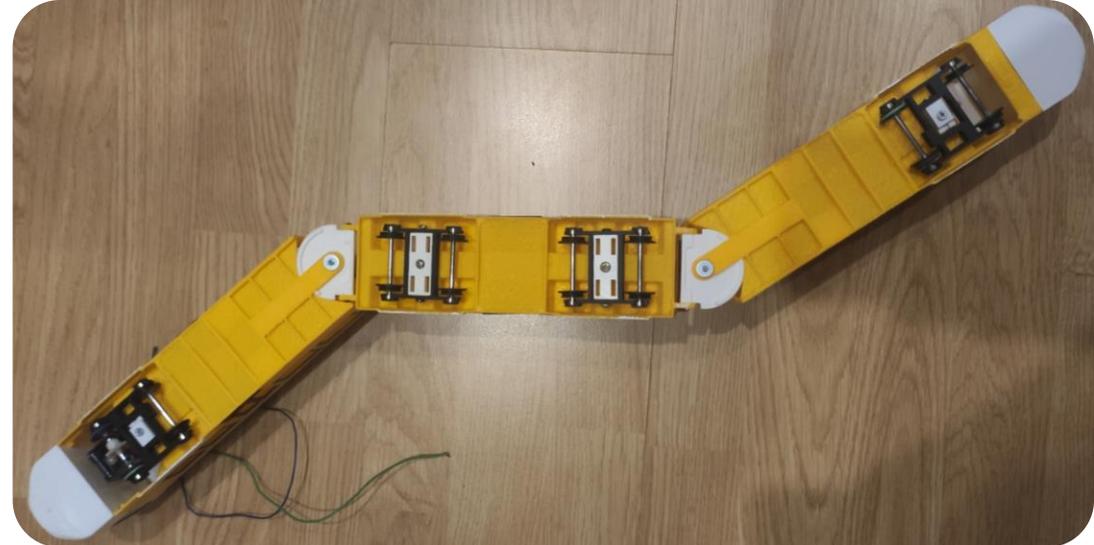
Корпус трамвая, рельсы, стрелки, перекрёстки, элементы крепления светофоров были смоделированы и напечатаны на 3D-принтере



ТРАМВАЙ

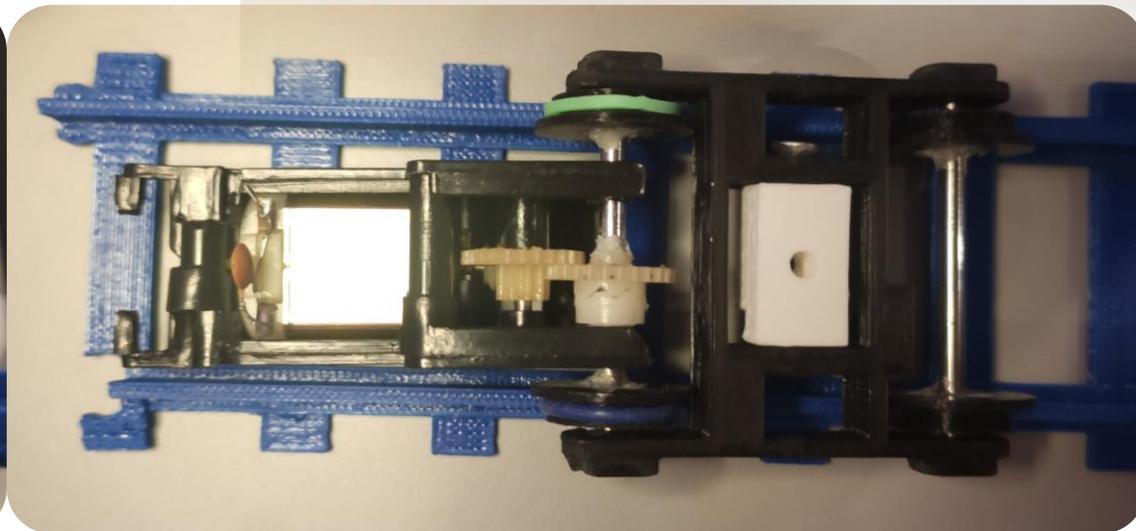
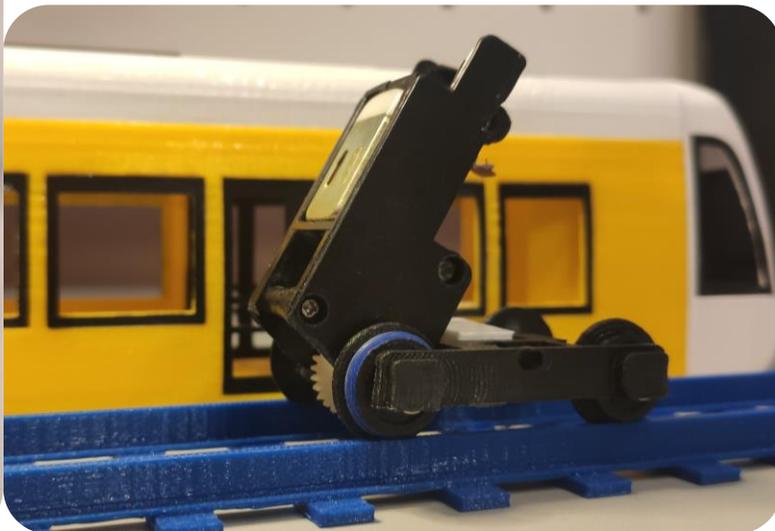
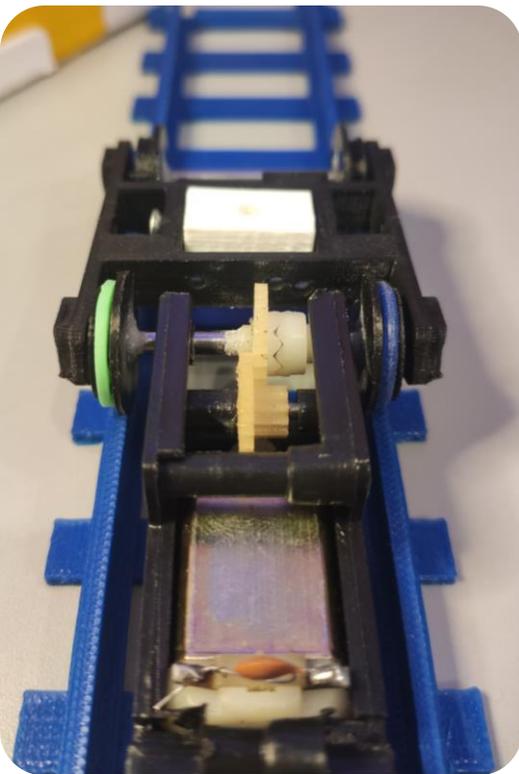


ТРАМВАЙ

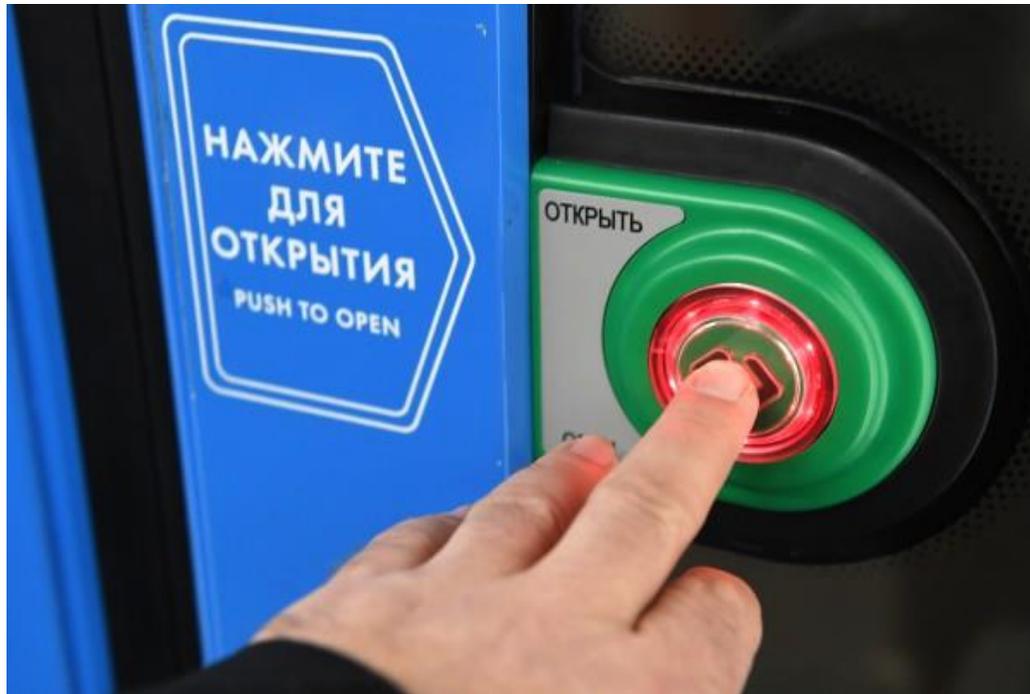


ТРАМВАЙ. Тележки

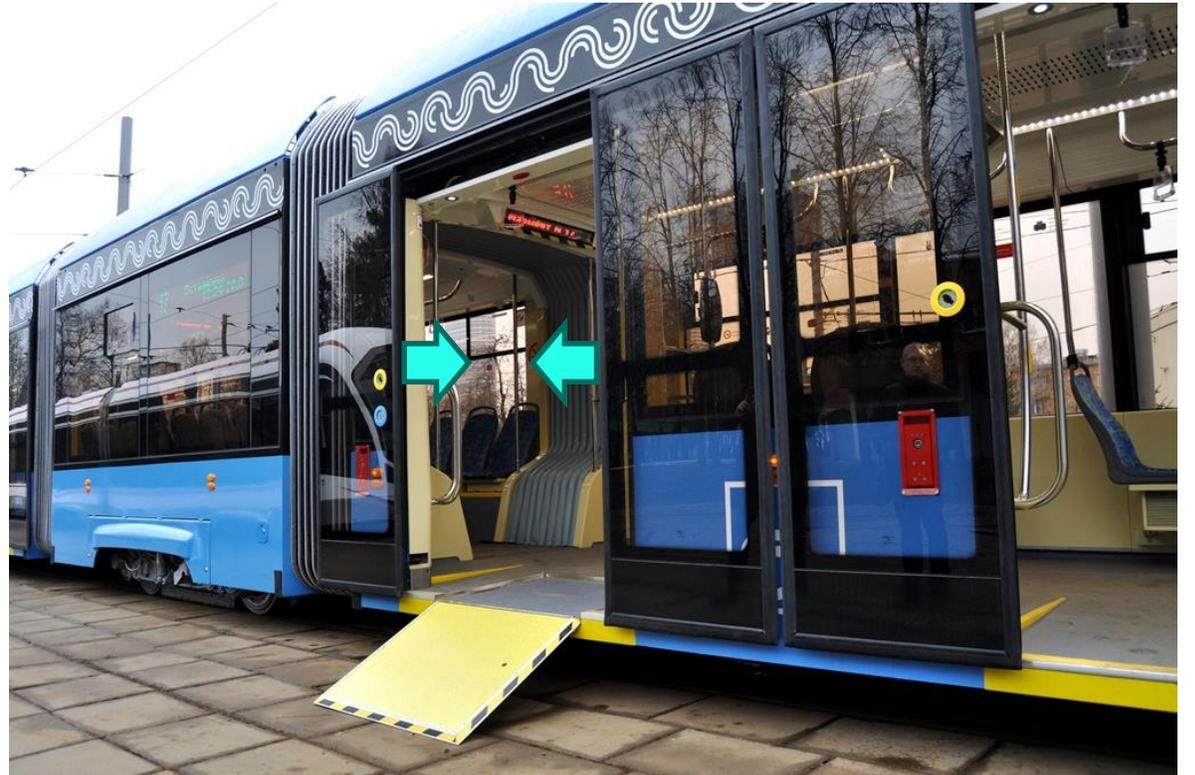
ВАГОН ПРИВОДИТСЯ В ДВИЖЕНИЕ ОДНОЙ
МОТОРНОЙ ТЕЛЕЖКОЙ, РАСПОЛОЖЕННОЙ ВПЕРЕДИ,
С ПОМОЩЬЮ КОЛЛЕКТОРНОГО
ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ И НЕБОЛЬШОГО
РЕДУКТОРА



ТРАМВАЙ. Двери



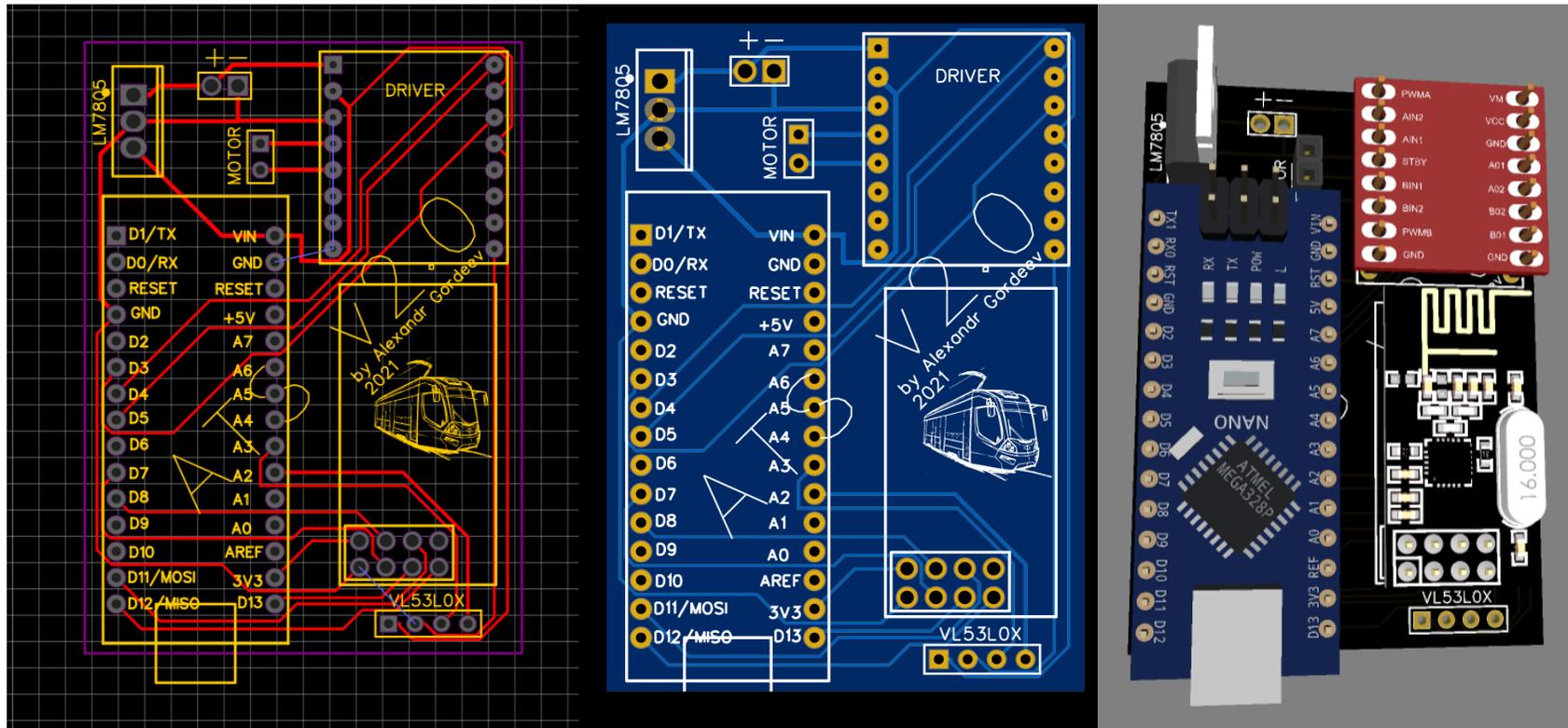
КНОПКИ АДРЕСНОГО ОТКРЫТИЯ ДВЕРЕЙ



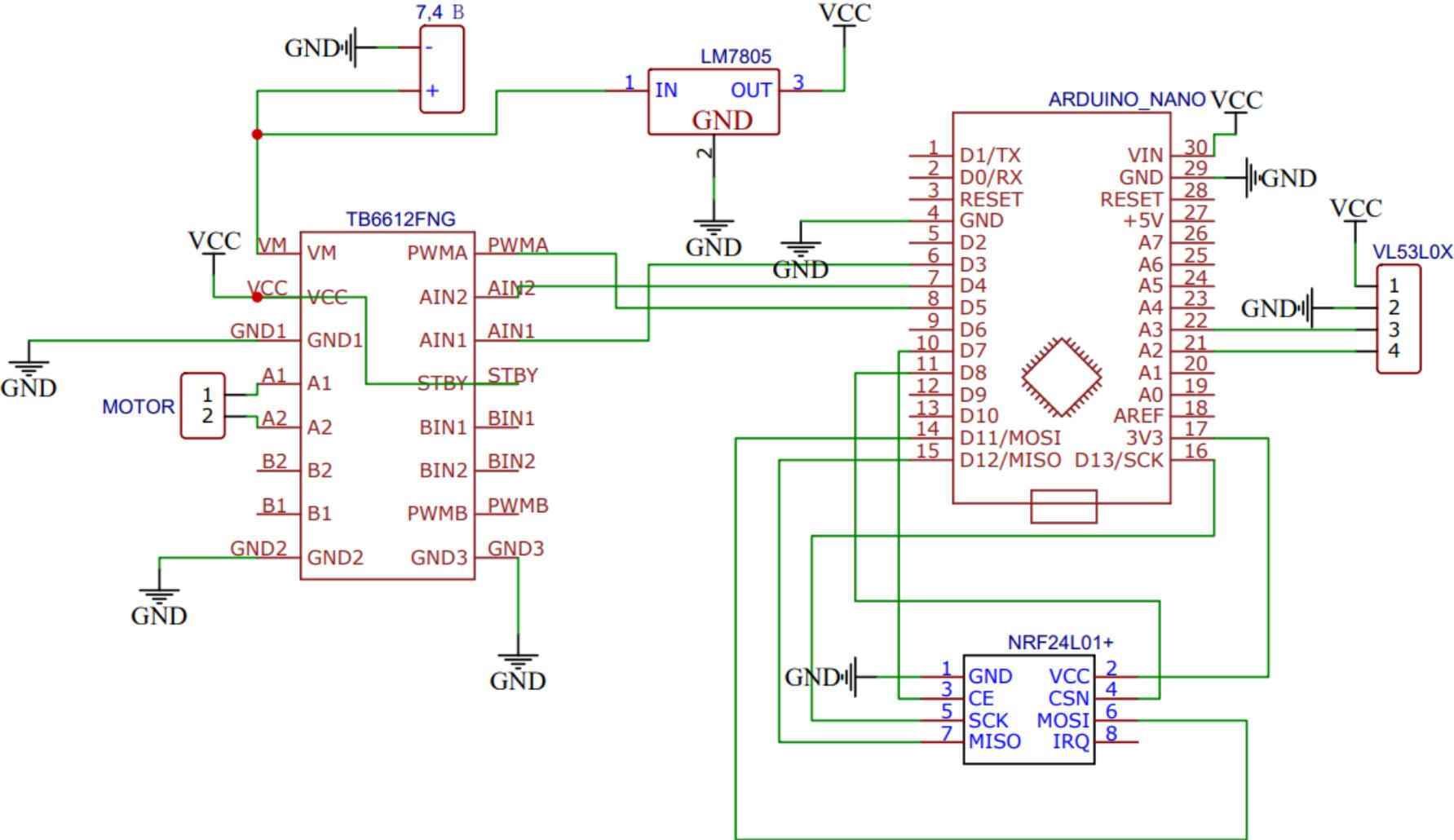
СИСТЕМА АНТИЗАЩЕМЛЕНИЯ

ПЛАТА УПРАВЛЕНИЯ

ЗАТЕМ БЫЛА РАЗВЕДЕНА ПЕЧАТНАЯ ПЛАТА В ПРОГРАММЕ EasyEDA



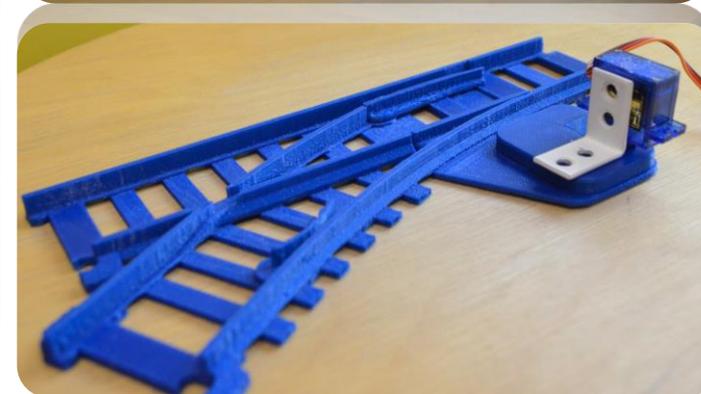
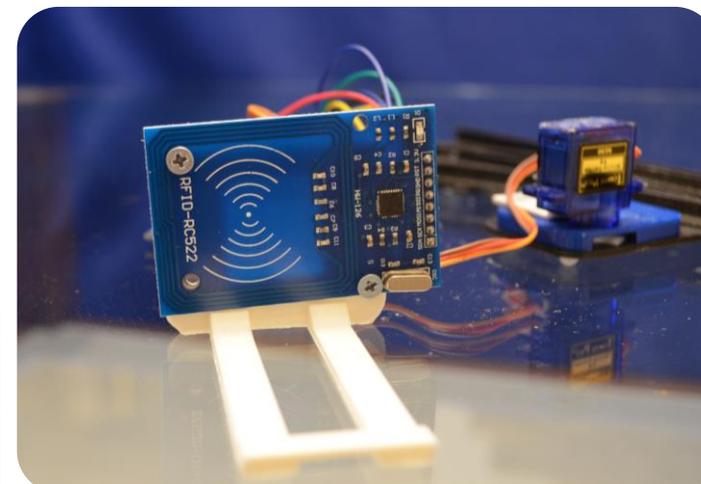
ПРИНЦИПИАЛЬНАЯ СХЕМА



СТРЕЛОЧНЫЙ ПЕРЕВОД

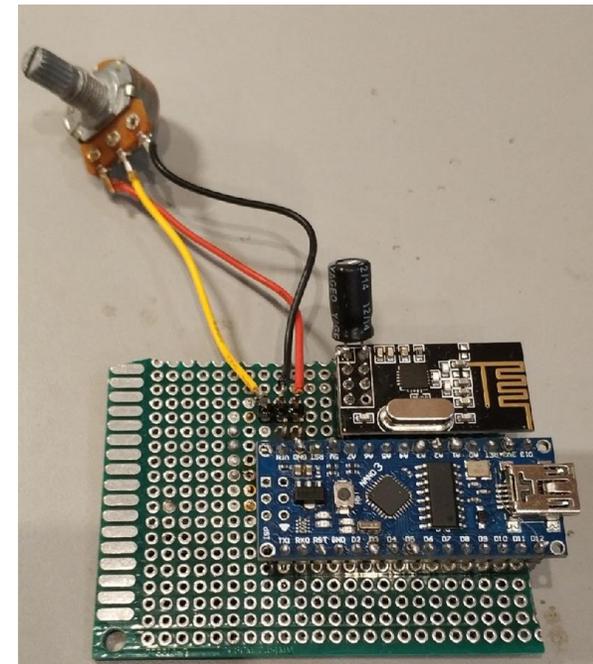
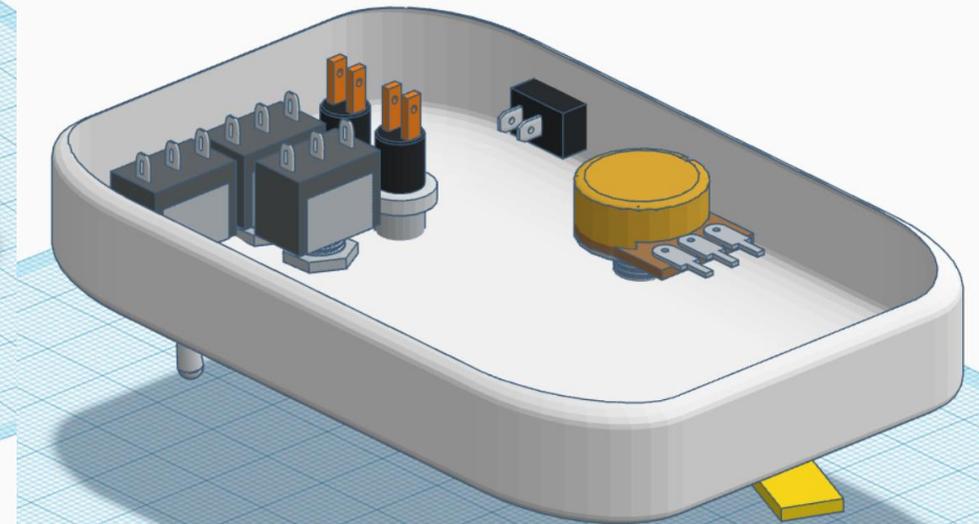
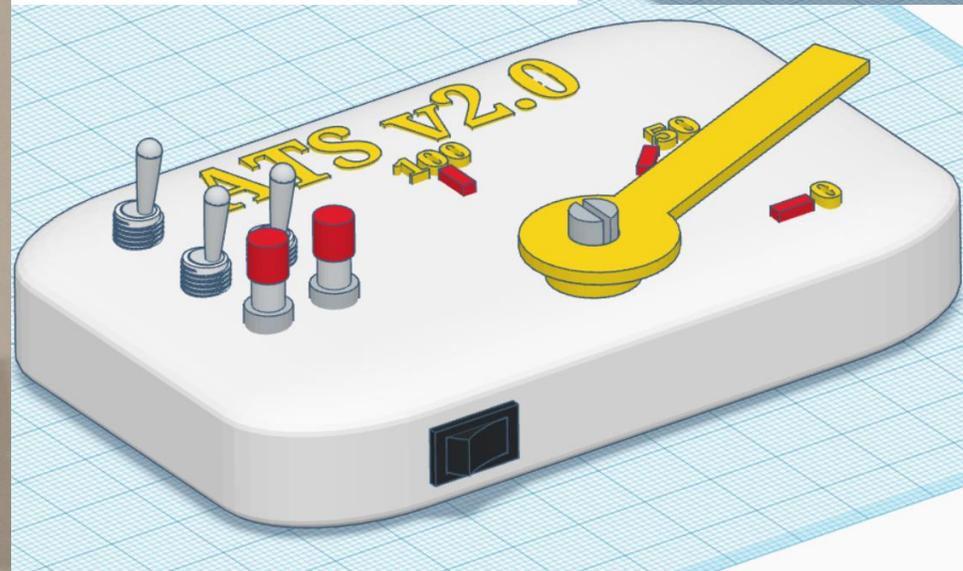
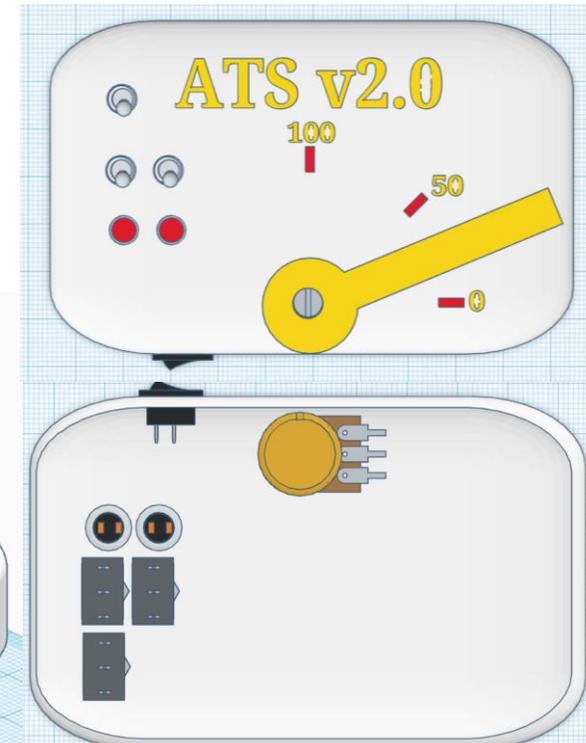
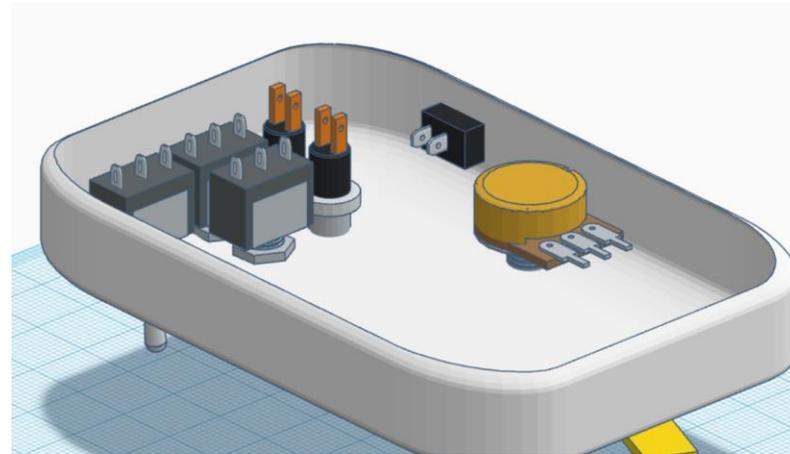


СТРЕЛОЧНЫЙ ПЕРЕВОД



ПУЛЬТ УПРАВЛЕНИЯ ТРАМВАЕМ

ИСПОЛЬЗУЕТСЯ ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ
ТРАМВАЕМ В СЛУЧАЕ СБОЯ В
СИСТЕМЕ АВТОМАТИЧЕСКОГО
УПРАВЛЕНИЯ



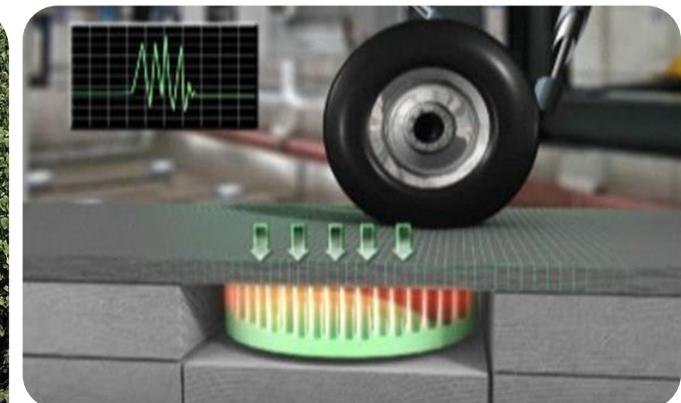
СВЕТОФОРЫ



ОСТАНОВКИ



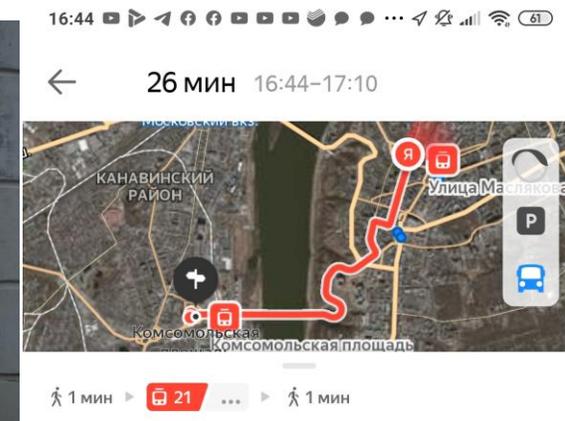
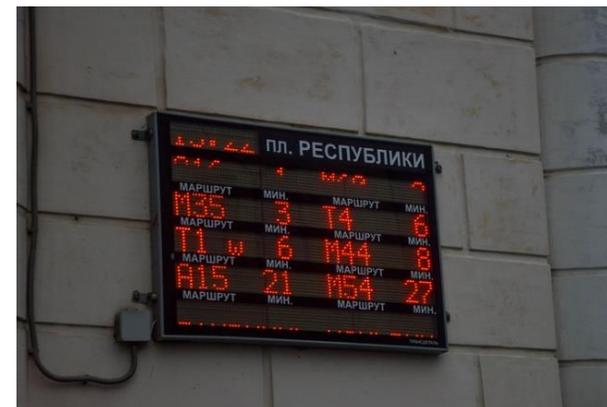
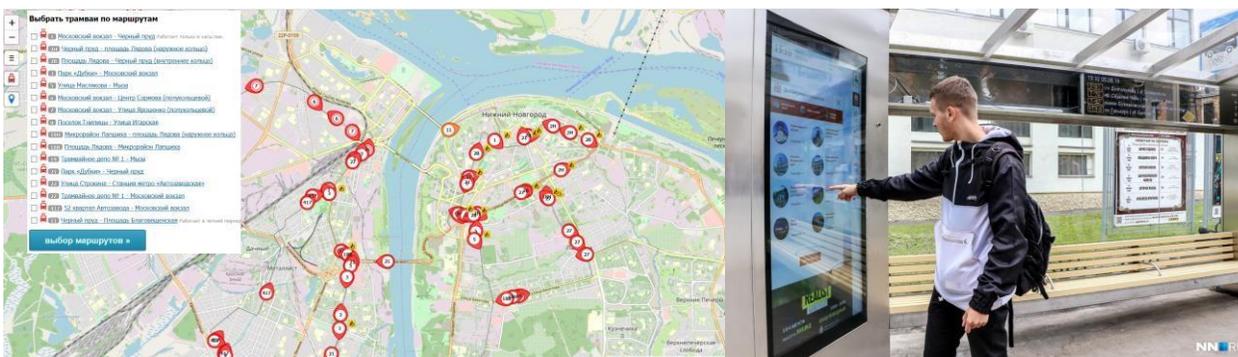
СОЛНЕЧНЫЕ ПАНЕЛИ НА КРЫШЕ
ОСТАНОВОЧНОГО ПАВИЛЬОНА



ПЬЕЗОЭЛЕМЕНТЫ ПОД
БРУСЧАТКОЙ НА ОСТАНОВКАХ

ИНТЕРВАЛЫ

СИСТЕМА ВСЕГДА ПОДДЕРЖИВАЕТ
ОДИНАКОВЫЙ ИНТЕРВАЛ МЕЖДУ ВСЕМИ
ТРАМВАЯМИ, ВНЕ ЗАВИСИМОСТИ ОТ ИХ
ВЫХОДА НА ЛИНИЮ.
БЛАГОДАРЯ ЭТОМУ, ПАССАЖИРЫ ВСЕГДА
ТОЧНО БУДУТ ЗНАТЬ, КОГДА ПРИЕДЕТ ИХ
ТРАМВАЙ.



Трамвай

6 7

Прогноз прибытия

7
Московский вокзал • **прибывает**
6 мин

6
Московский вокзал • **3 мин**

Смотрите на остановке,
когда придет трамвай [Попробовать](#)

Метро и остановки рядом

М Бурнаковская 1,2 км 2 ▾

Школа № 149 810 м 3 ▾

Моё местоположение

97 м • 1 мин

Улица Маслякова
21 Трамвай
В направлении «Парк Дубки»
Интервал 10 мин

Трамвай

1 21

[Открыть варианты и расписание](#)

3 остановки • 14 мин ▾

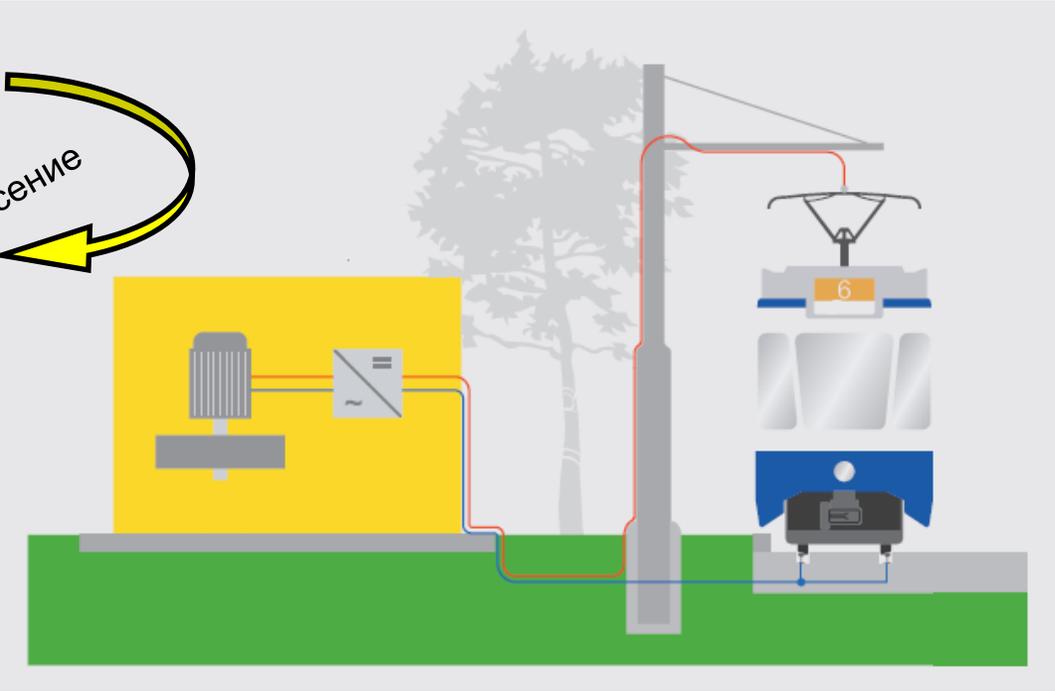
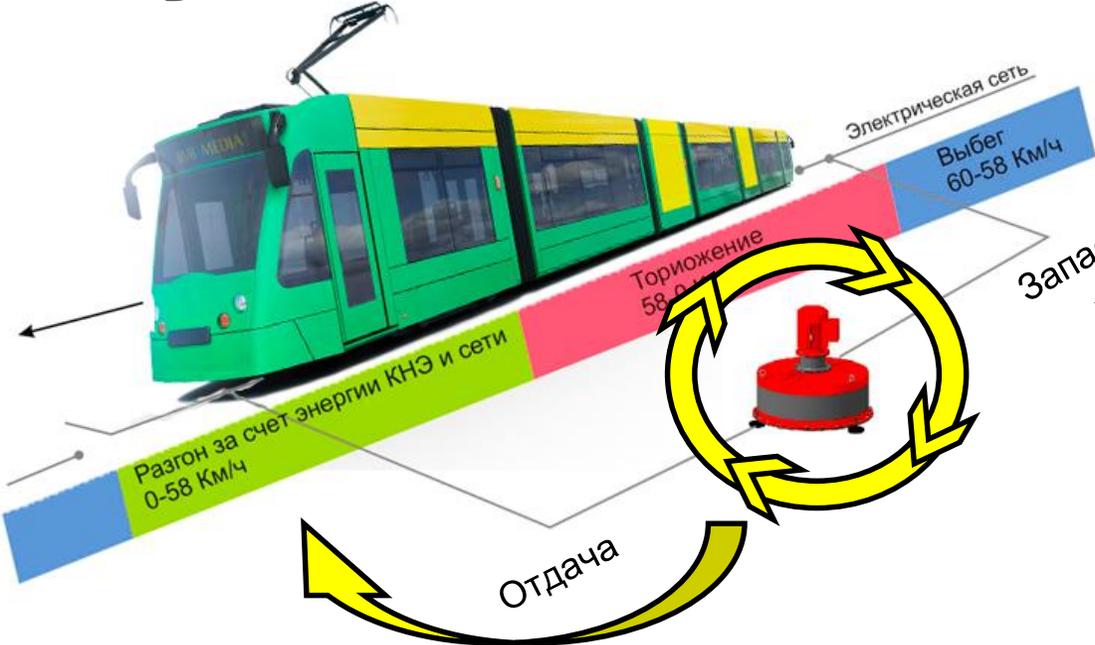
Комсомольская площадь

95 м • 1 мин

Комсомольская площадь

Пример: Яндекс.Транспорт

РЕКУПЕРАТИВНОЕ ТОРМОЖЕНИЕ

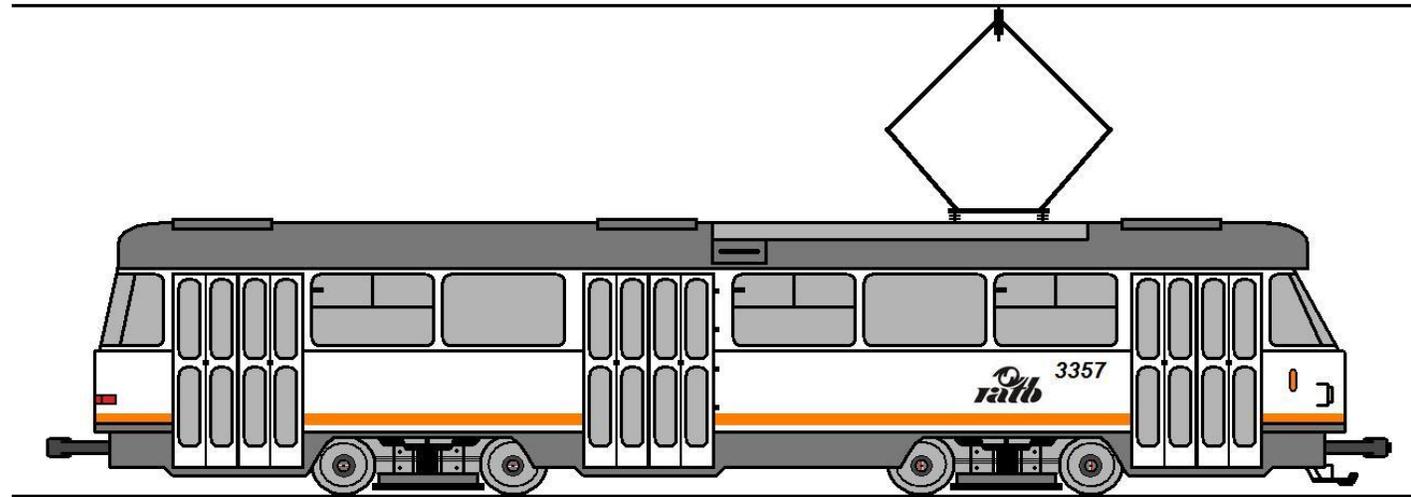


ПОДКЛЮЧЕНИЕ СТАЦИОНАРНОГО НКЭ К КОНТАКТНОЙ СЕТИ
(Связь напрямую с участком контактной сети, не требуется подключения к подстанции)



ЭКОНОМИЧЕСКИЙ ЭФФЕКТ

- ✓ Снижение платы энергоснабжающим организациям за потребляемую пиковую мощность
- ✓ Снижение энергопотребления на тягу
- ✓ Повышение эксплуатационного ресурса оборудования ПС и тяговых подстанций.



ПРИМЕНЕНИЕ



Производитель	Татра (ЧССР)
Технические данные	
Род тока и напряжение	= 600 В
Выходная мощность	4*50 кВт
Ускорение	1,2 м/с ²
Масса 1 вагона	20 тонн
Торможение	1,1 м/с ²
Система управления	инверторная

Сейчас рекуперируемая энергия торможения в сети практически не используется. С применением подобной системы она может полностью направляться на разгон вагона.

ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ

Трамвай (1 вагон, тара) – 20 000 кг.

+

Кол-во пассажиров (100 чел) – 7 500 кг.

||

Общая масса – 27 500 кг.

$$A_{\text{движ.}} = m (v_{\text{н}}^2 - v_{\text{к}}^2) / 2 = 1,7 \text{ МДж}$$

$$\begin{aligned} V_{\text{н}} &= 0 \text{ м/с} \\ V_{\text{к}} &= 11 \text{ м/с} \\ l &= 500 \text{ м} \\ g &= 9,8 \text{ м/с} \\ k &= 0,002 \end{aligned}$$

Срок окупаемости НКЭ ~ 4 лет

Энергозатраты для разгона 1 трамвая
>1,7 МДж ≈ **0,46 кВт*часов**

За 20 часов через остановку проходит 800 трамваев в обе стороны

Общие затраты электроэнергии на разгон трамваев в сутки : 370 кВт*часов

Цена потребленной электроэнергии из расчета 4 рубля за 1 кВт*час составляет 1480 рублей в сутки

Общая экономия в год с одной остановки составляет **540 200 рублей (без учета торможений на светофорах и др.)**

Срок службы НКЭ – 25 лет

Если НКЭ установить на 50 аналогичных остановках



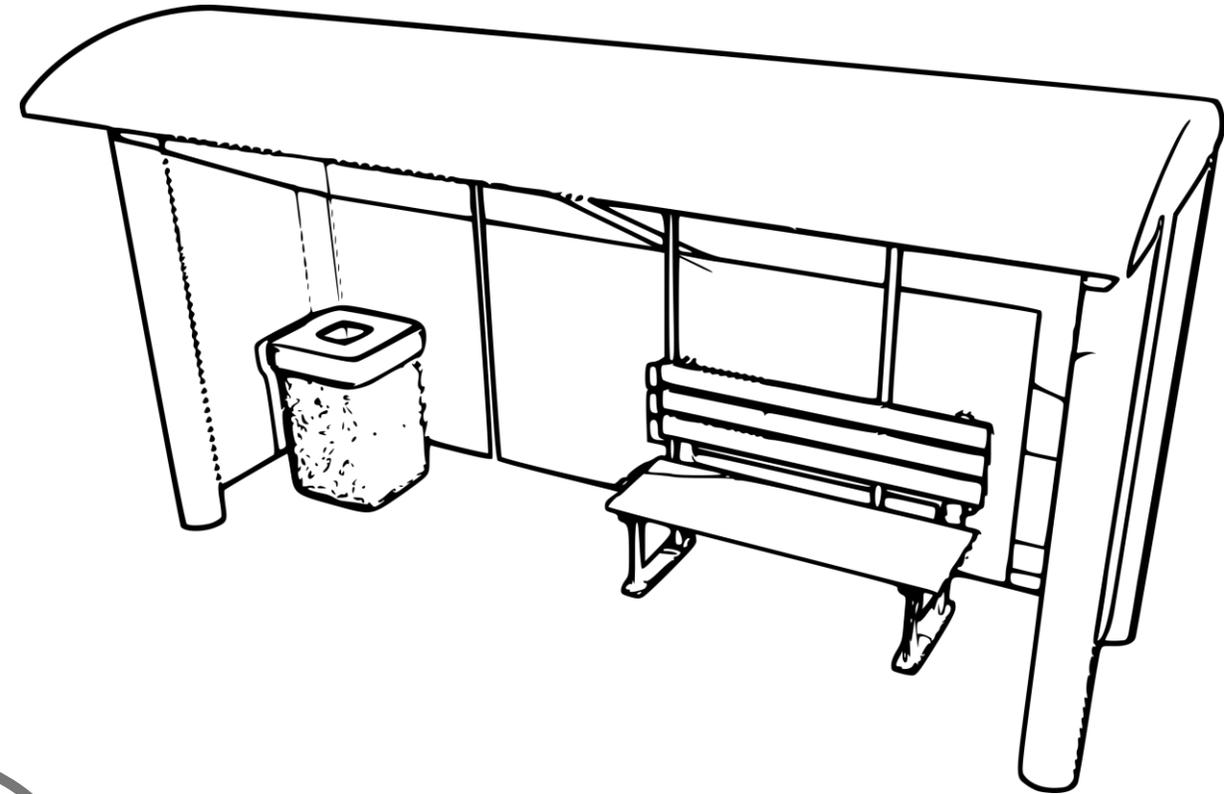
Экономия за год:
27 010 000 рублей

ПРИМЕРЫ В МИРЕ

- Европейский экспериментальный аналог – стационарный НКЭ для использования рекуперированной энергии трамваев.
- Экономия на участке контактной сети - до 30% годового энергопотребления.



ПЛИТКА С ПЬЕЗОЭФФЕКТОМ



Электрическая
энергия

Механическая
энергия
(изгиб пластины)

Пьезоэффект

ПРОИЗВОДИТЕЛИ

- ❑ Smart Energy Floor (SEF) от Veranu (Италия);
- ❑ Плитка от Pavegen Systems (Великобритания);
- ❑ Sustainable Energy Floor от Energy Floors (Нидерланды).



ПРИМЕРНАЯ СТОИМОСТЬ ПРОЕКТА

(БЕЗ УЧЁТА РАБОТЫ)

Наименование	Кол-во	Стоимость за 1шт	Всего
Изготовление плат	6шт.		800руб.
Arduino Nano	3шт.	200руб.	600руб.
Драйвер двигателя TB6612FNG	1шт.	70руб.	70руб.
Двигатель	1шт.	50руб.	50руб.
Сервопривод SG-90	1шт.	150руб.	150руб.
Модуль беспроводной связи NRF24L01	2шт.	125руб.	250руб.
Аккумулятор	3шт. Li-Po 1шт. Li-Ion	300руб. 173руб.	900руб. 173руб.
Геркон	1шт.	50руб.	50руб.
Потенциометр	1шт.	25руб.	25руб.
Светодиоды	6шт.	3руб.	18руб.
Резисторы	4шт.	5руб.	20руб.
Затраты на печать			≈2000 руб.
Макетная плата Arduino Nano	1шт.	150руб.	150руб.
Лазерный дальномер VL53L0X	1шт.	450руб.	450руб.
Подшипники	20 шт.		500 руб.
			Всего:≈6206руб.

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ

<p style="text-align: center;">Достоинства</p> <ol style="list-style-type: none">1. Снижение человеческого фактора2. Сокращение числа рабочих и затрат на них3. Стабильность работы трамваев и сокращение интервала движения4. Приоритет на дороге	<p style="text-align: center;">Недостатки</p> <ol style="list-style-type: none">1. При сбое в системе автоматического управления, встают все трамваи2. Не разработана правовая база по беспилотным ТС
<p style="text-align: center;">Сильные стороны</p> <ol style="list-style-type: none">1. Автономность работы2. Относительная дешевизна внедрения, так как система может быть установлена во время КВР вагона3. Нет необходимости сильно изменять текущую инфраструктуру4. Украшает город, привлекает туристов5. Более привлекателен для пассажиров(по сравнению с обычным трамваем)	<p style="text-align: center;">Угрозы</p> <ol style="list-style-type: none">1. Перехват управления2. Утечка данных

ДАЛЬНЕЙШЕЕ РАЗВИТИЕ ПРОЕКТА

ПОЛНАЯ АВТОМАТИЗАЦИЯ (ВОЗМОЖНОСТЬ РАБОТЫ НА
СОВМЕЩЕННОМ ПОЛОТНЕ);

РАБОТА НАД ПОВЫШЕНИЕМ
БЕЗОПАСНОСТИ;

РАБОТА НАД ПРАВОВОЙ БАЗОЙ;

ТРАМВАЙ-ЛАБОРАТОРИЯ (ДИАГНОСТИКА ПУТЕЙ И
КОНТАКТНОЙ СЕТИ), РЕЛЬСОШЛИФОВАЛЬНЫЙ ВАГОН;



ДАЛЬНЕЙШЕЕ РАЗВИТИЕ ПРОЕКТА

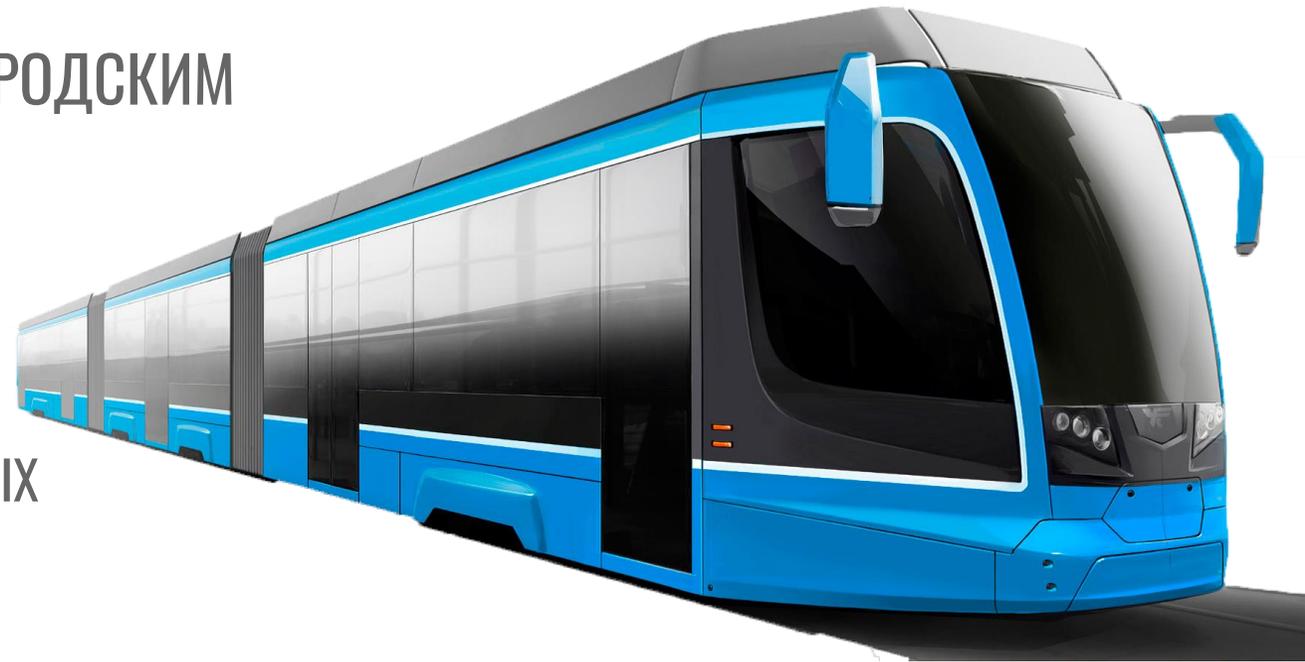
МОДУЛЬ АВТОМАТИЧЕСКОГО
ТЕСТИРОВАНИЯ СИСТЕМ ТРАМВАЯ;

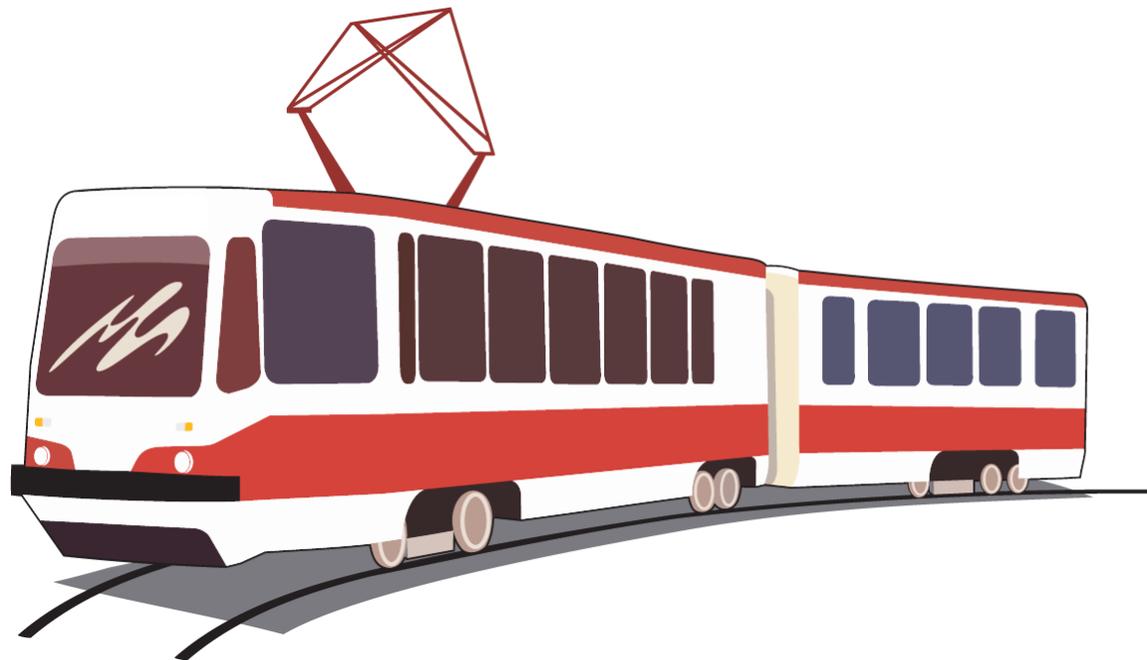
ОБЪЕДИНЁННАЯ СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ГОРОДСКИМ
ТРАНСПОРТОМ;

ОПТИМИЗАЦИЯ ПАССАЖИРОПОТОКОВ;

ОПТИМИЗАЦИЯ ЭНЕРГОПОТРЕБЛЕНИЯ

- РЕКУПЕРАТИВНОЕ ТОРМОЖЕНИЕ
- УВЕЛИЧЕНИЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ АЛЬТЕРНАТИВНЫХ
ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ





ВЫВОД

БЛАГОДАРЯ СОЗДАНИЮ ПРОТОТИПА АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ ТРАМВАЙНОЙ СИСТЕМЫ И ДЕТАЛЬНОМУ ИЗУЧЕНИЮ ВОПРОСА, УДАЛОСЬ ВЫЯСНИТЬ ОСНОВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ РАБОТ, НЕКОТОРЫЕ ПРОБЛЕМНЫЕ МЕСТА И ПЕРСПЕКТИВЫ ДАЛЬНЕЙШЕГО РАЗВИТИЯ.

