

# 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



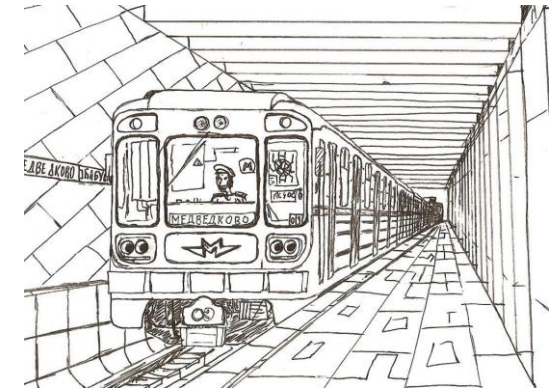
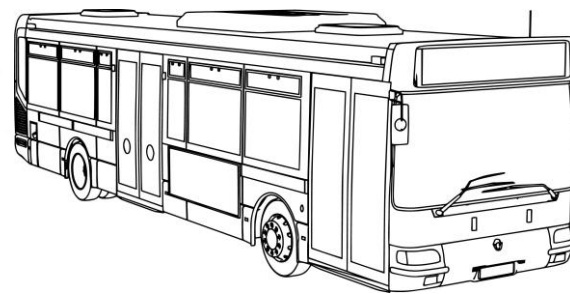
ЭЛЕКТРИЧКА

40000  
чел/час



МЕТРО

70000  
чел/час



# ЦЕЛЬ ПРОЕКТА- РАЗРАБОТАТЬ ПРОТОТИП АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ ТРАМВАЙНОЙ СИСТЕМЫ



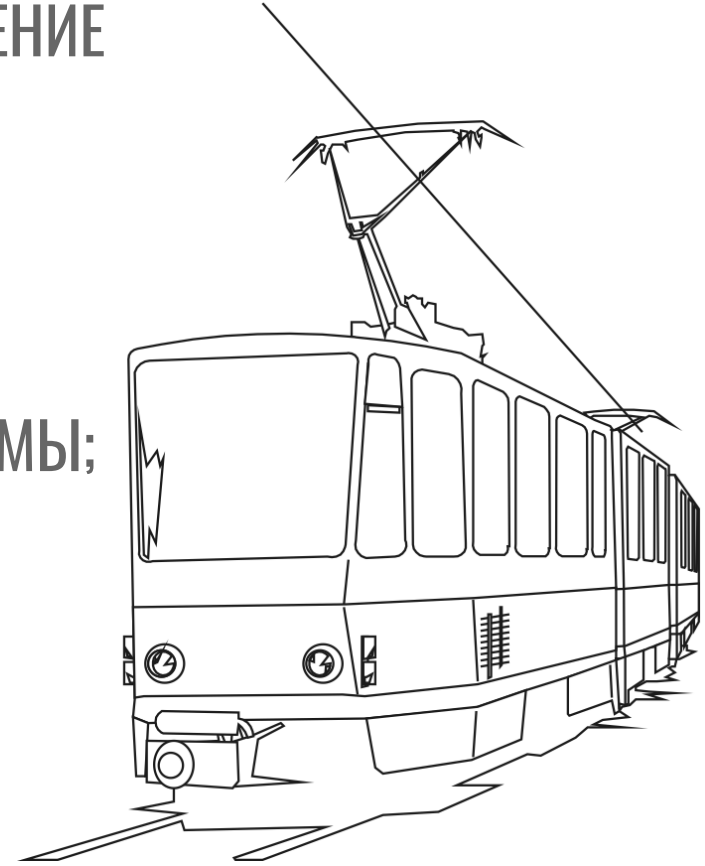
# ЗАДАЧИ ПРОЕКТА

РАЗРАБОТАТЬ УДАЛЁННОЕ (РУЧНОЕ) И АВТОМАТИЧЕСКОЕ УПРАВЛЕНИЕ ТРАМВАЕМ;

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

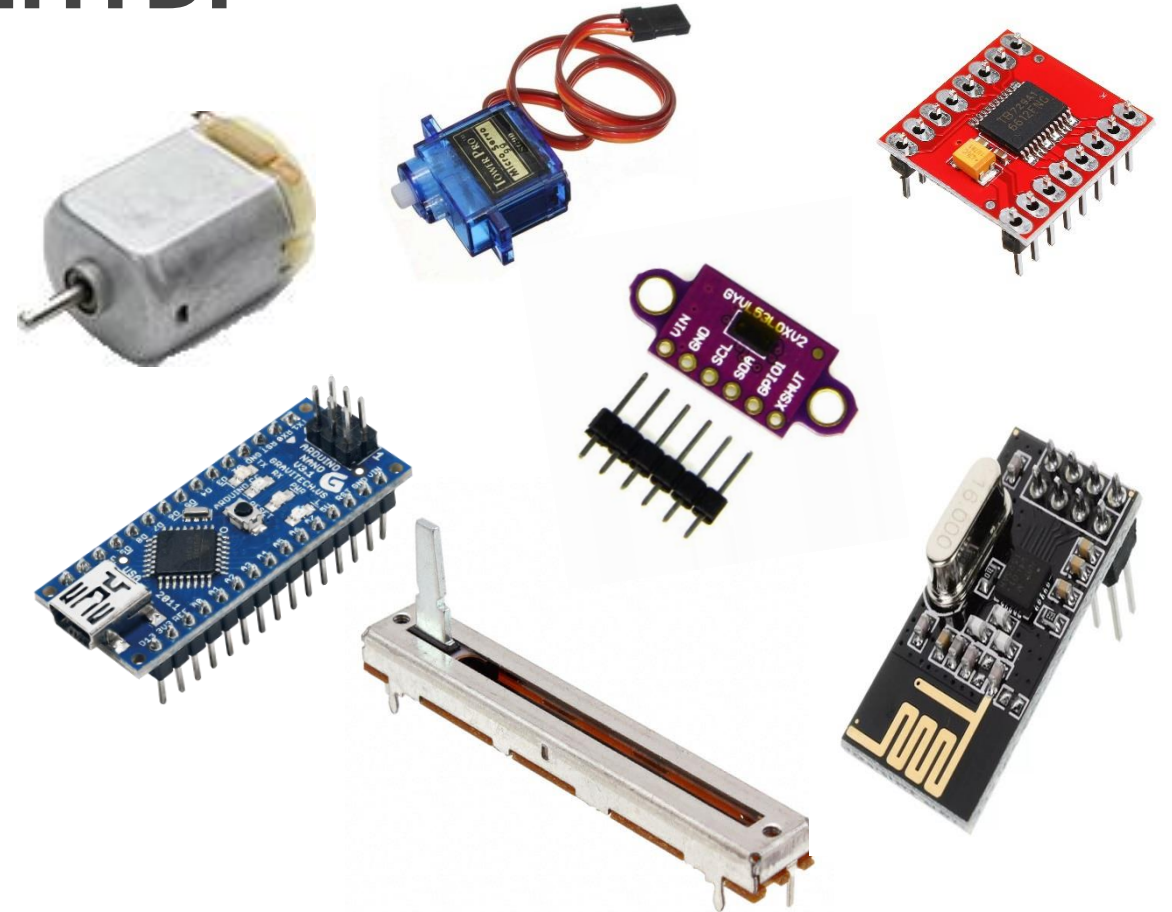
СОБРАТЬ ПРОТОТИП АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ ТРАМВАЙНОЙ СИСТЕМЫ;

ПРОДУМАТЬ ВНЕДРЕНИЕ ЕЁ В ТРАНСПОРТНУЮ СИСТЕМУ ГОРОДА



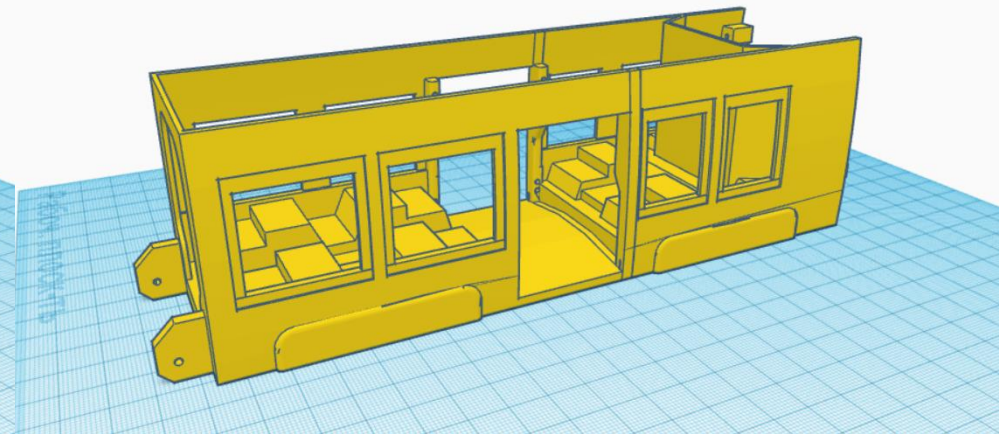
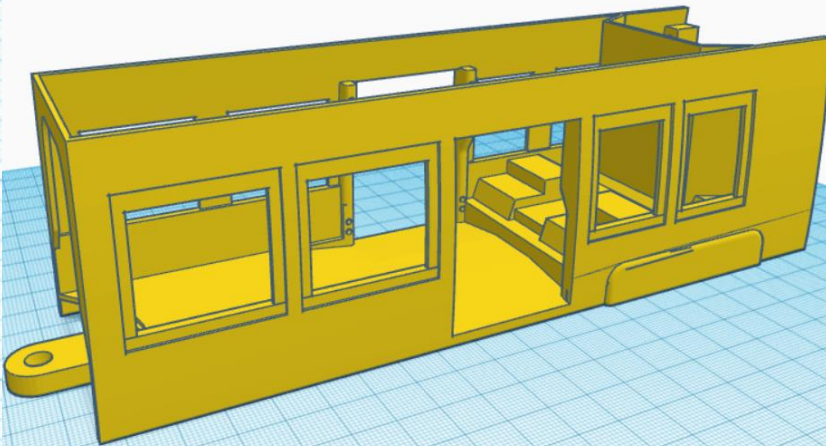
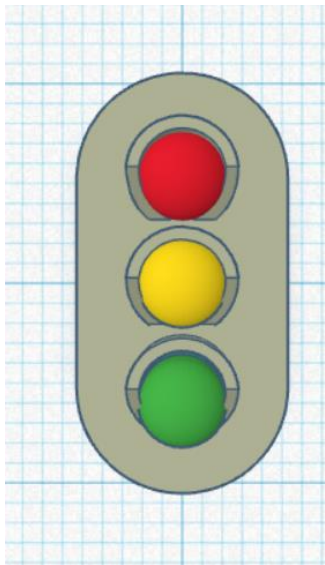
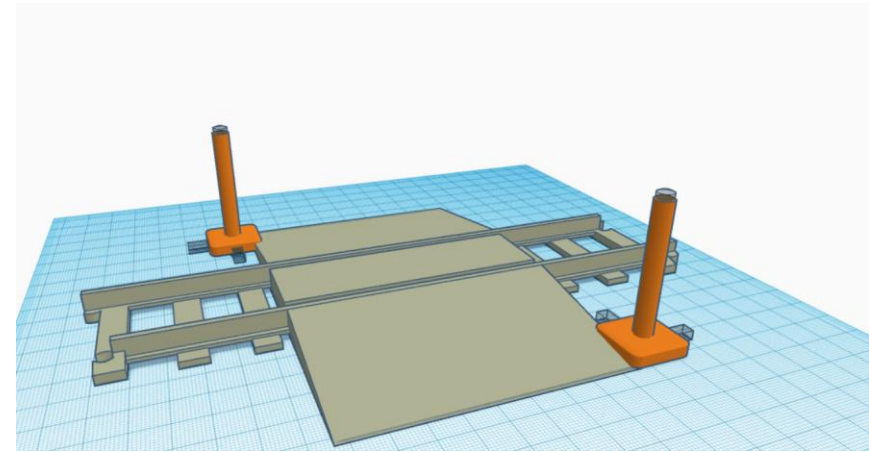
# ОСНОВНЫЕ КОМПОНЕНТЫ

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

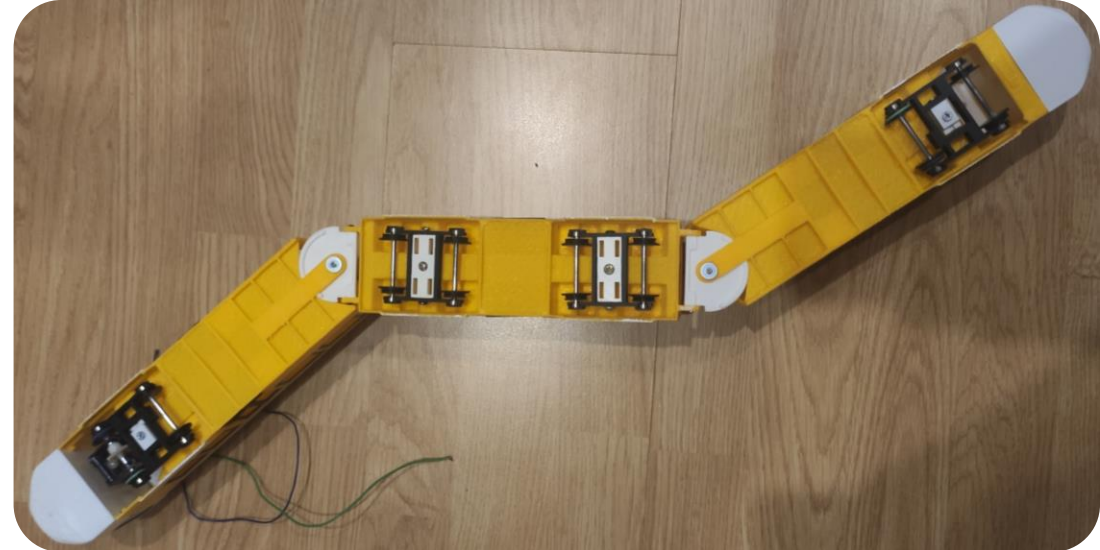




# ТРАМВАЙ

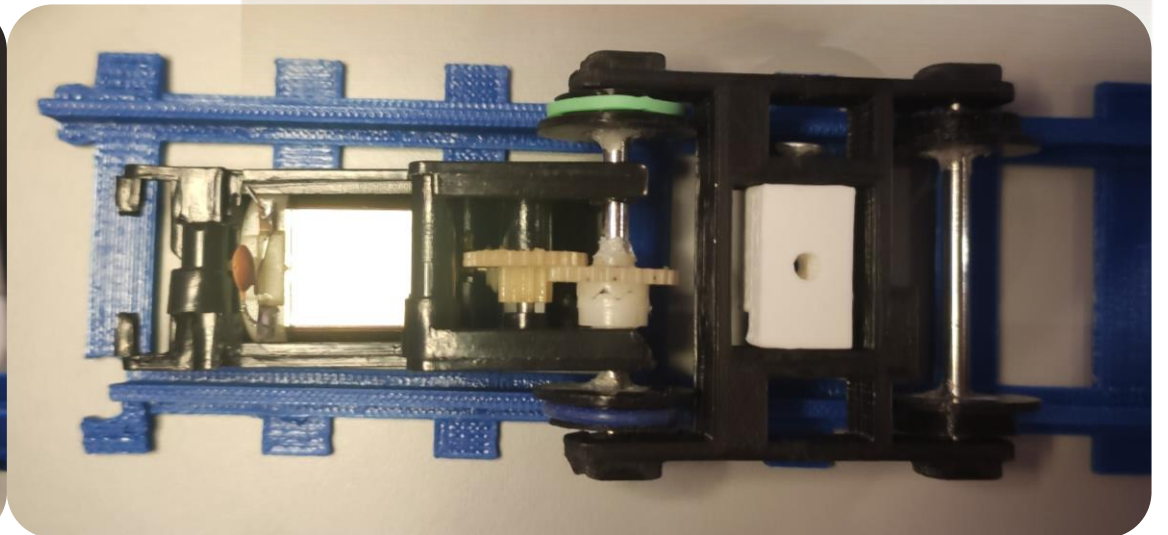
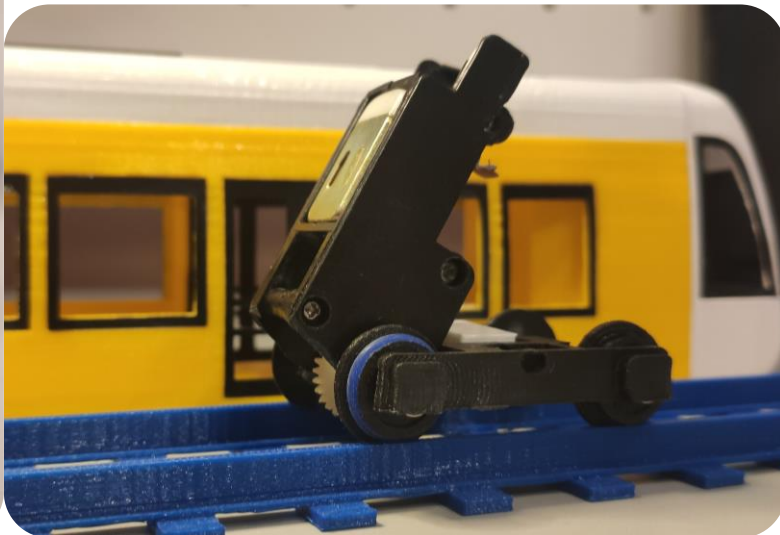
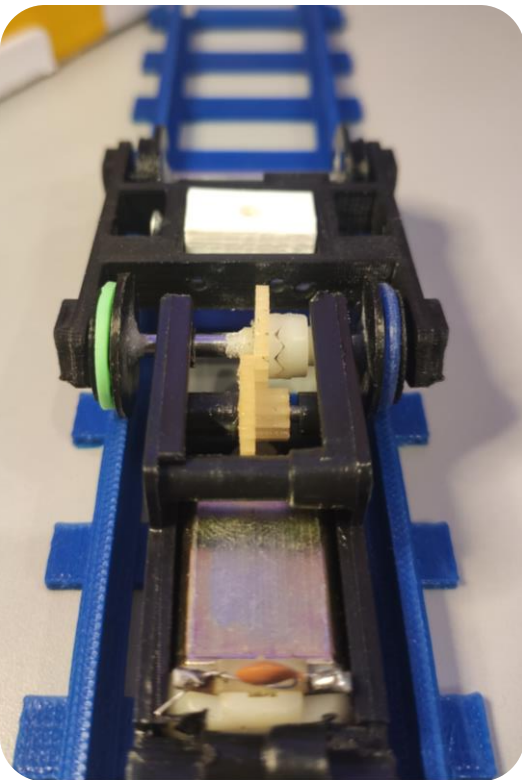


# ТРАМВАЙ

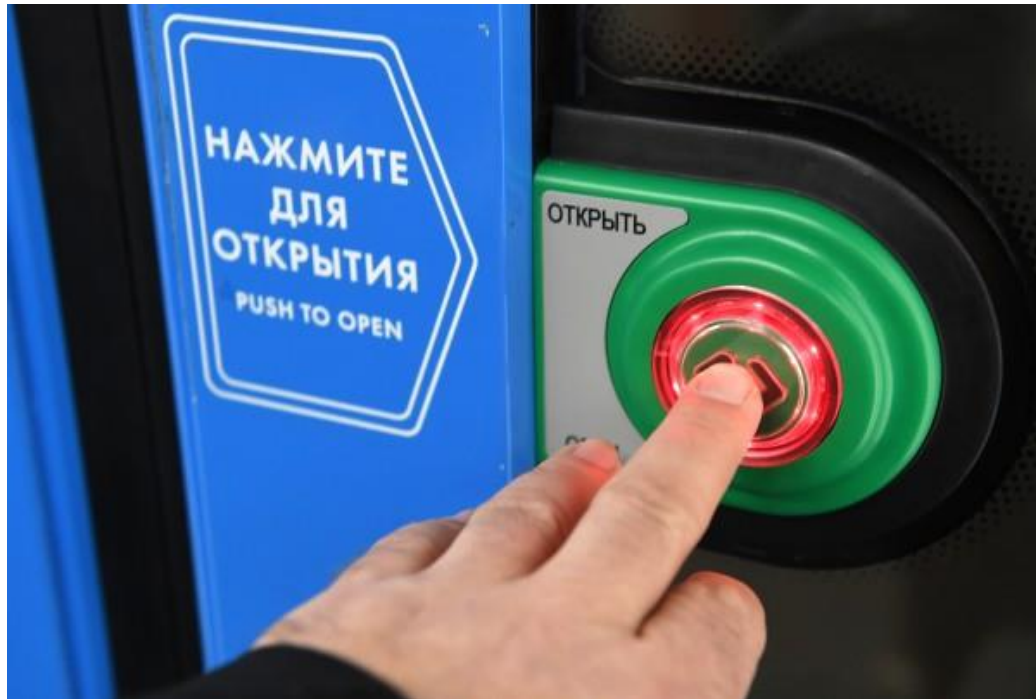


# ТРАМВАЙ. Тележки

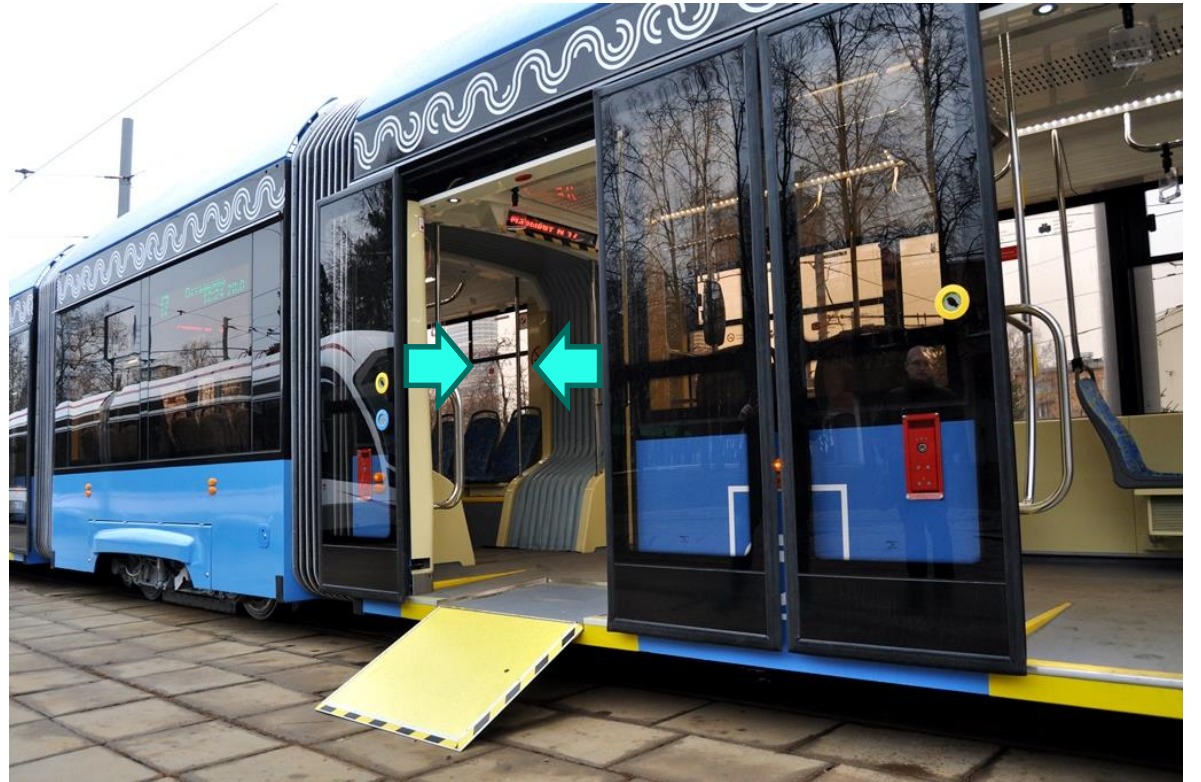
ВАГОН ПРИВОДИТСЯ В ДВИЖЕНИЕ ОДНОЙ  
МОТОРНОЙ ТЕЛЕЖКОЙ, РАСПОЛОЖЕННОЙ ВПЕРЕДИ,  
С ПОМОЩЬЮ КОЛЛЕКТОРНОГО  
ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ И НЕБОЛЬШОГО  
РЕДУКТОРА



# ТРАМВАЙ. Двери



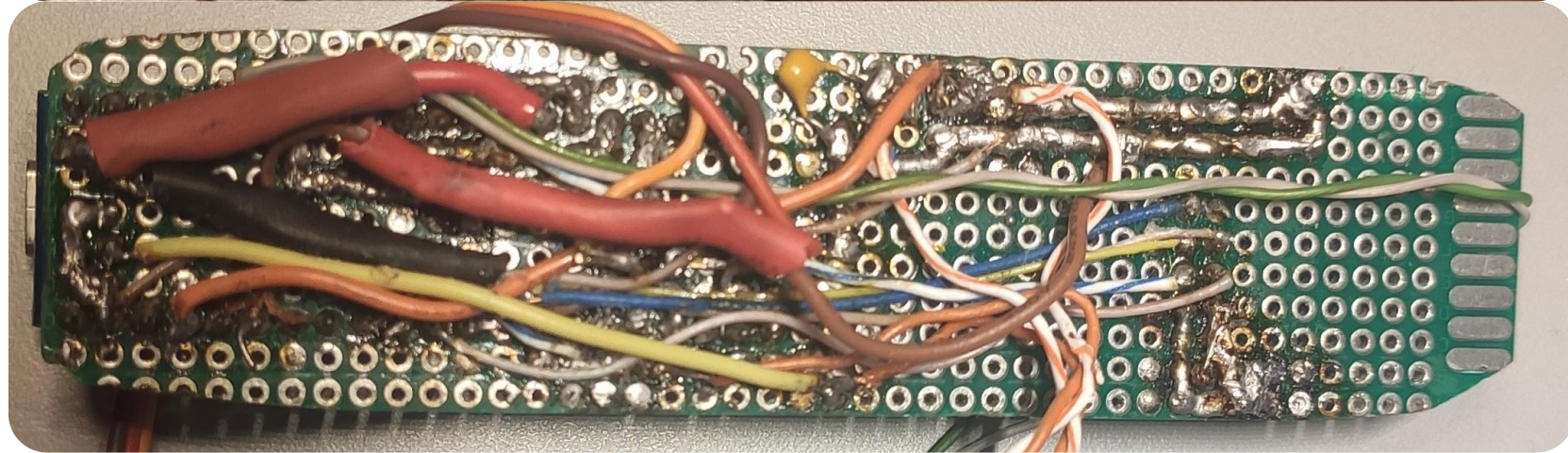
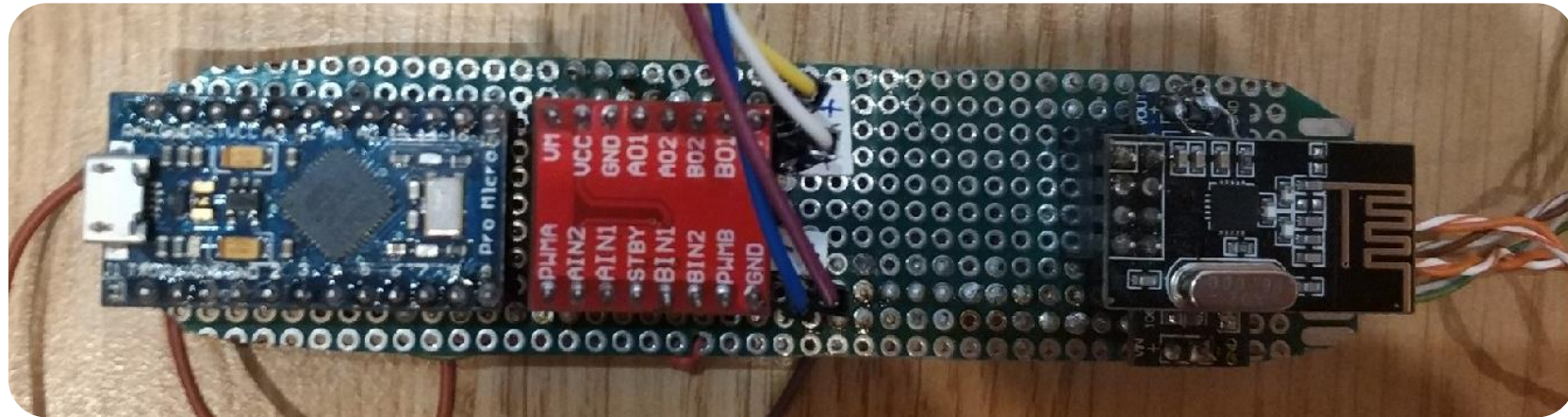
КНОПКИ АДРЕСНОГО ОТКРЫТИЯ ДВЕРЕЙ



СИСТЕМА АНТИЗАЩЕМЛЕНИЯ

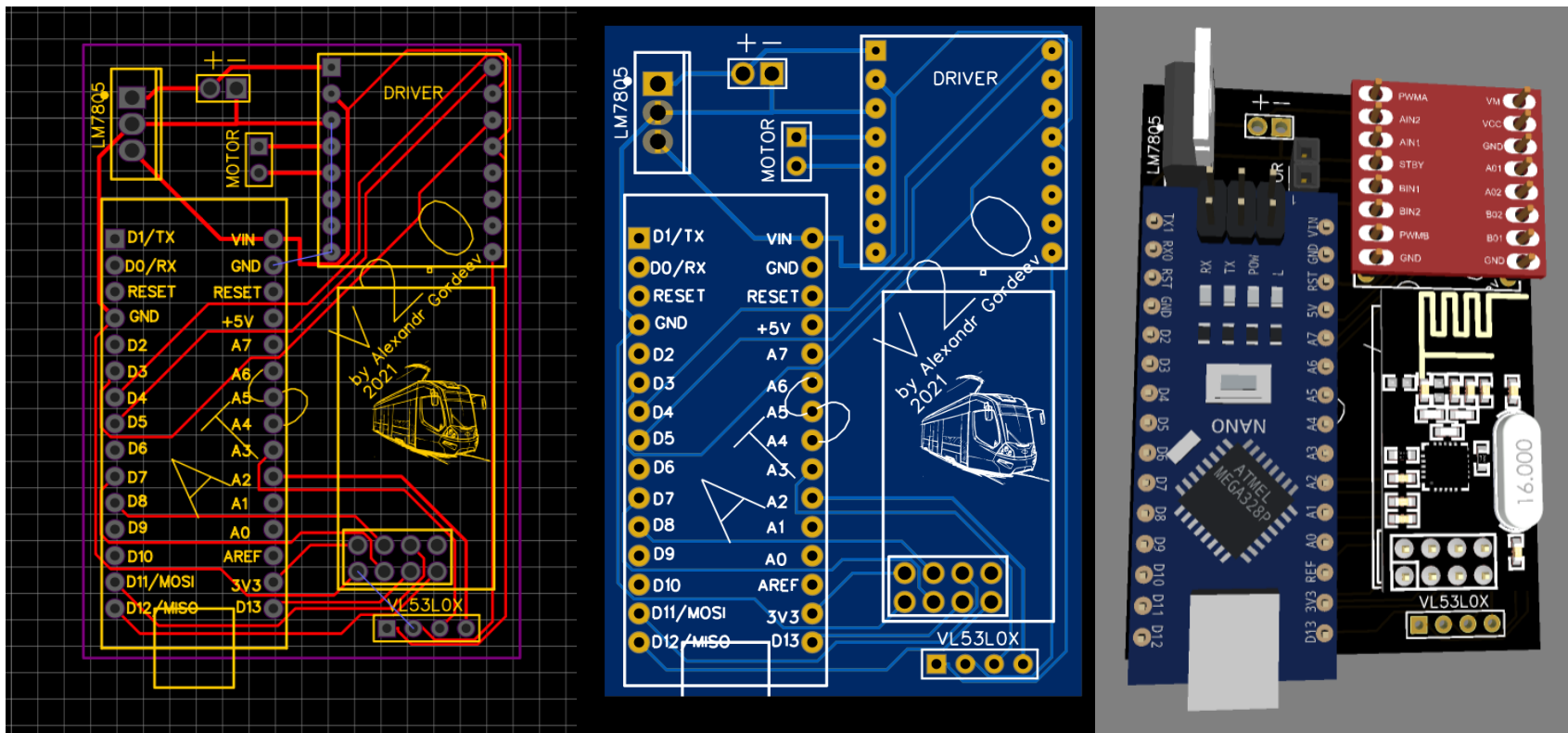
# ПЛАТА УПРАВЛЕНИЯ

ИЗНАЧАЛЬНО ВСЯ ЭЛЕКТРОНИКА БЫЛА СОБРАНА НА МАКЕТНОЙ ПЛАТЕ

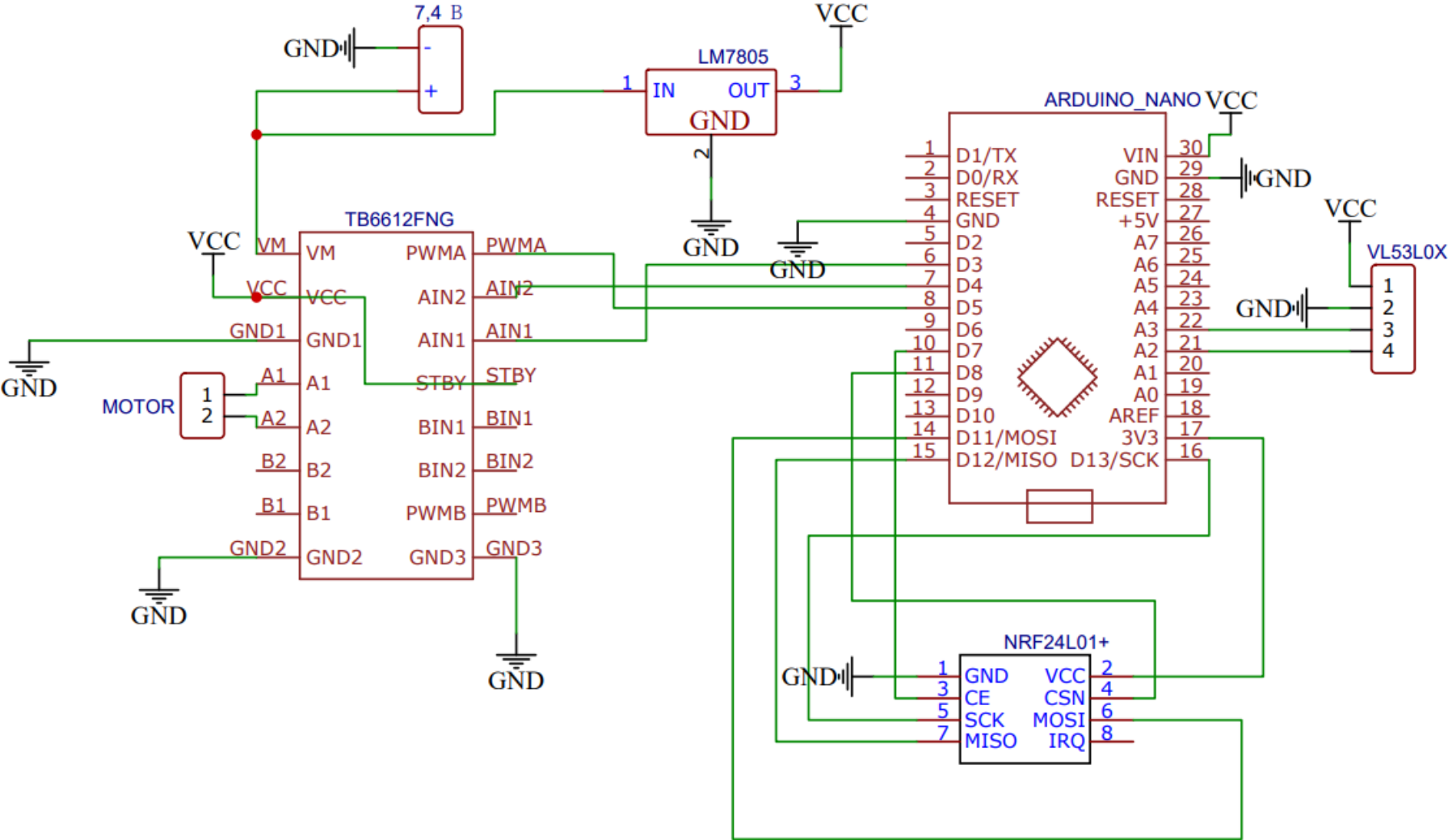


# ПЛАТА УПРАВЛЕНИЯ

ЗАТЕМ БЫЛА РАЗВЕДЕНА ПЕЧАТНАЯ ПЛАТА В ПРОГРАММЕ EasyEDA



# ПРИНЦИПИАЛЬНАЯ СХЕМА

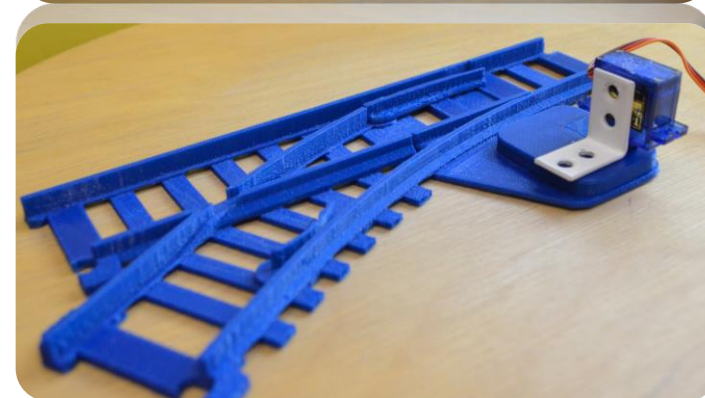
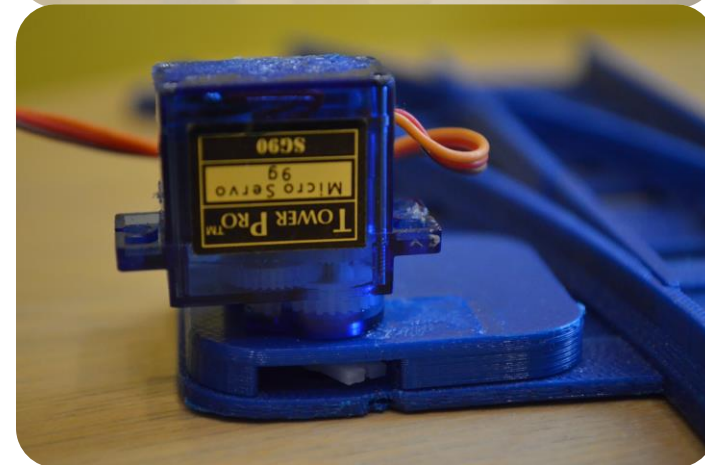
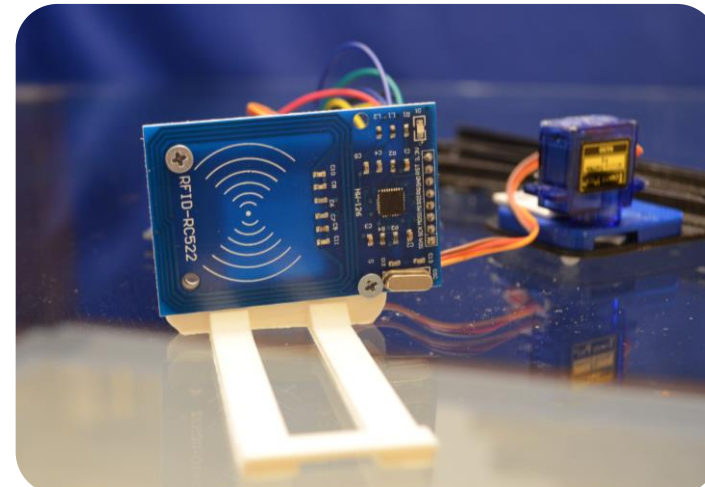


# СТРЕЛОЧНЫЙ ПЕРЕВОД



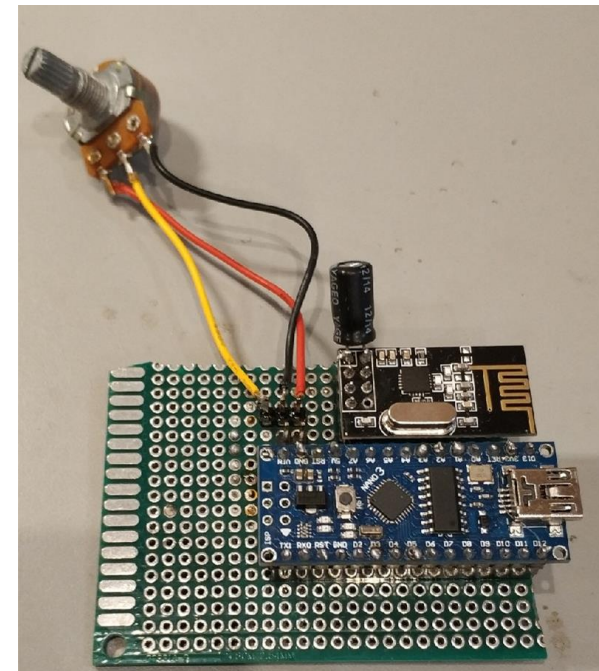
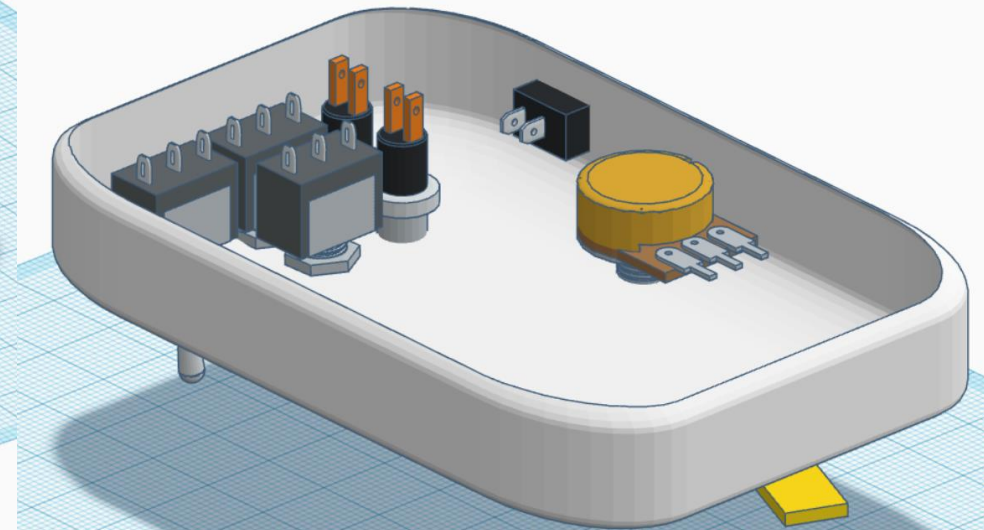
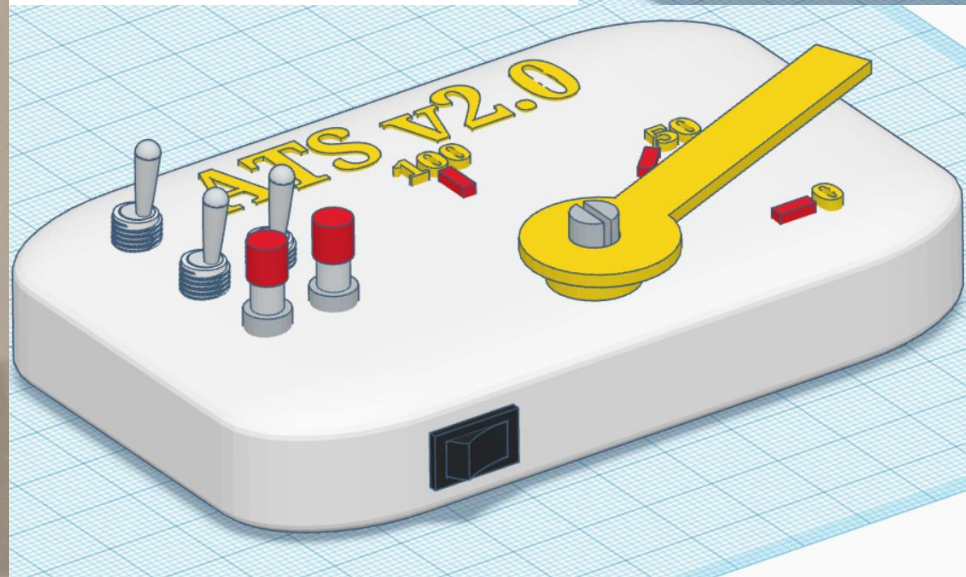
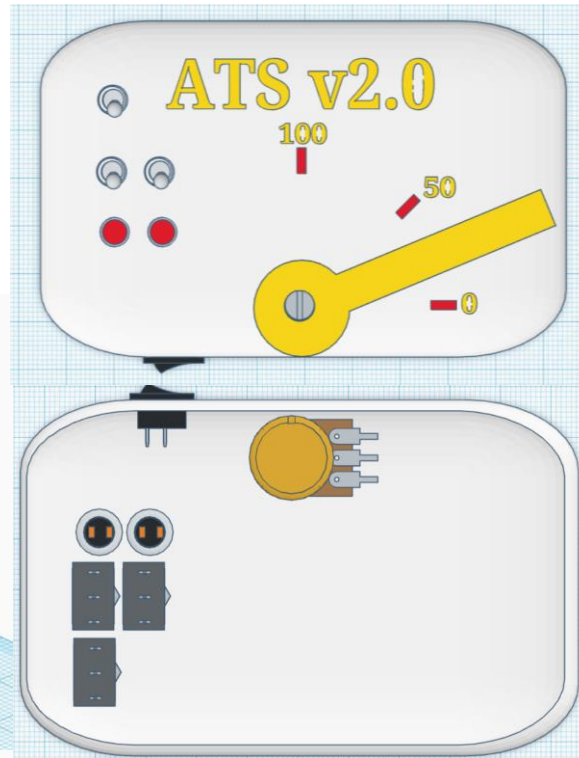
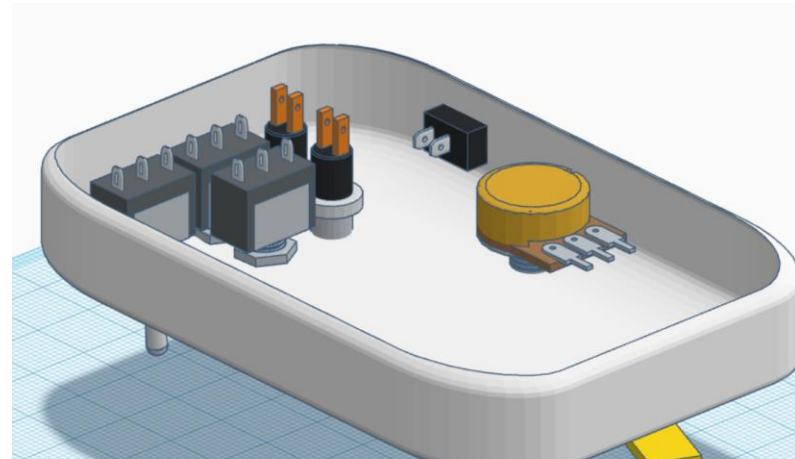


# СТРЕЛОЧНЫЙ ПЕРЕВОД



# ПУЛЬТ УПРАВЛЕНИЯ ТРАМВАЕМ

ИСПОЛЬЗУЕТСЯ ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ  
ТРАМВАЕМ В СЛУЧАЕ СБОЯ В  
СИСТЕМЕ АВТОМАТИЧЕСКОГО  
УПРАВЛЕНИЯ



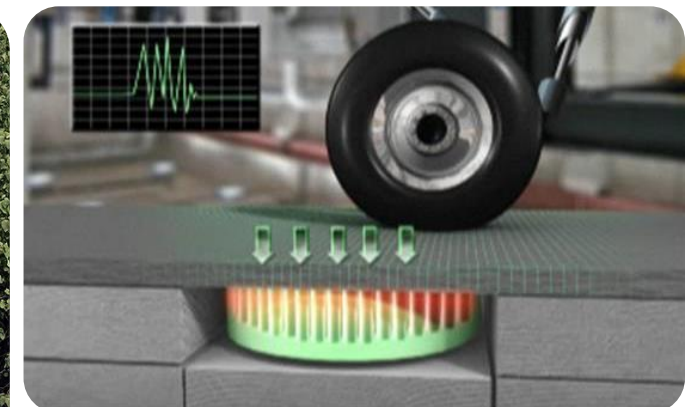
# СВЕТОФОРЫ



# ОСТАНОВКИ



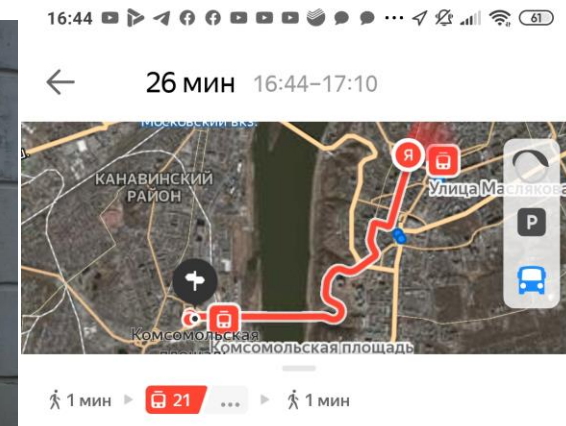
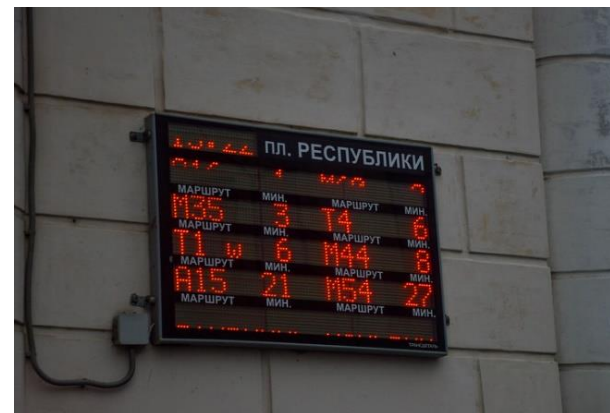
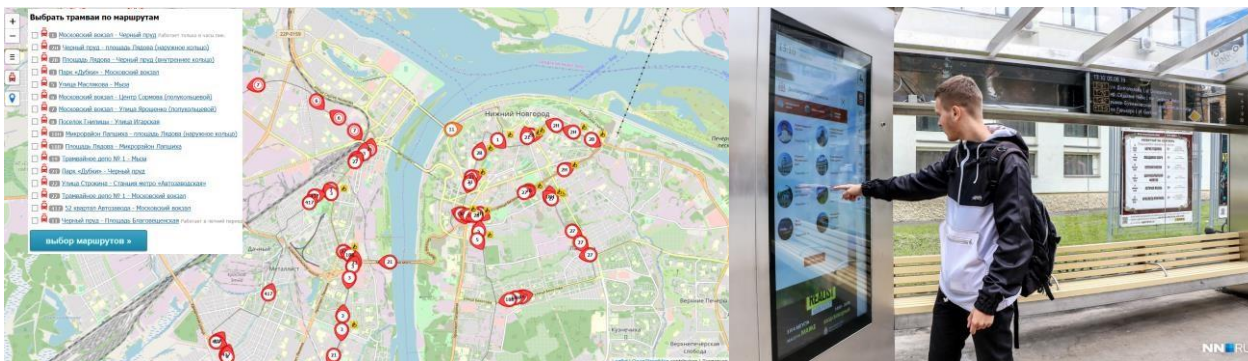
СОЛНЕЧНЫЕ ПАНЕЛИ НА КРЫШЕ  
ОСТАНОВОЧНОГО ПАВИЛЬОНА



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 ▾

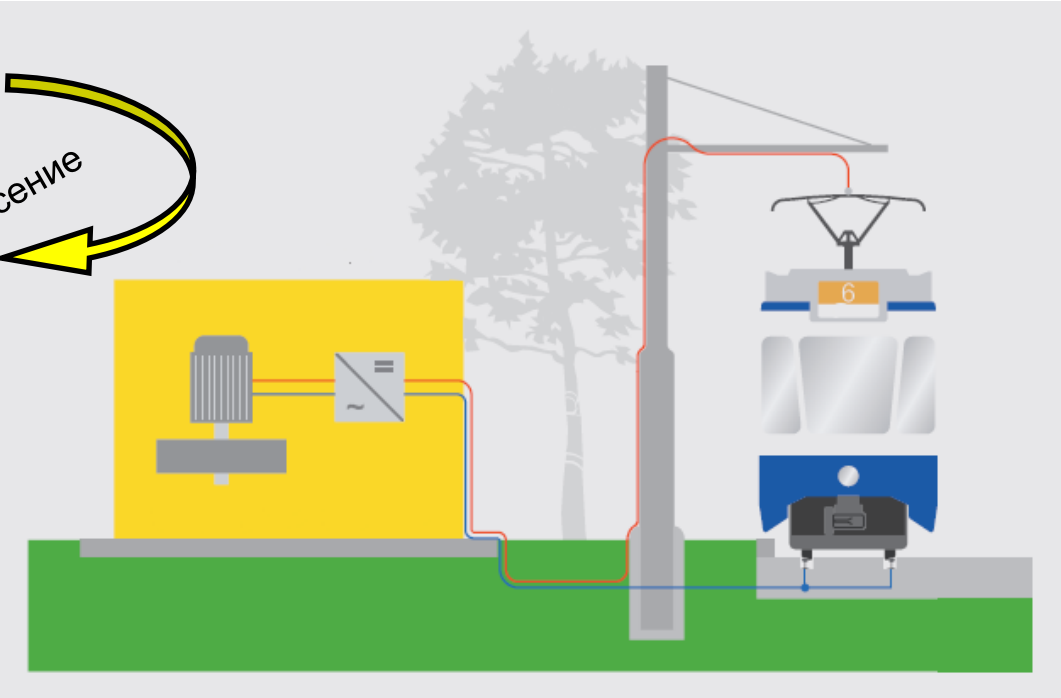
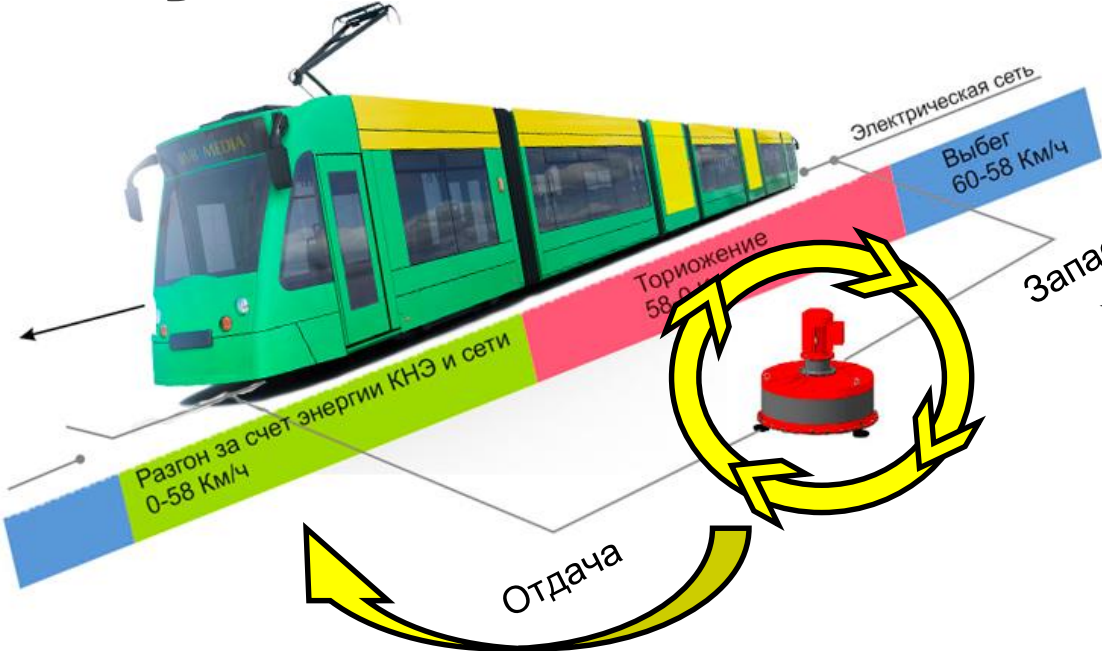
Комсомольская площадь

95 м • 1 мин

Комсомольская площадь

Пример: Яндекс.Транспорт

# РЕКУПЕРАТИВНОЕ ТОРМОЖЕНИЕ

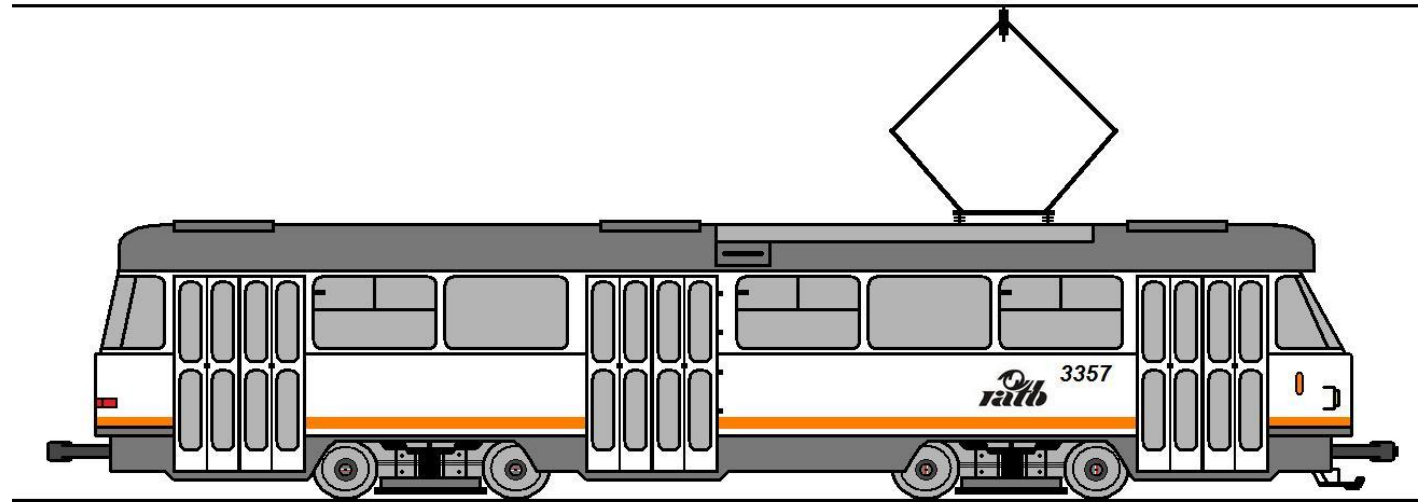


**ПОДКЛЮЧЕНИЕ СТАЦИОНАРНОГО НКЭ К КОНТАКТНОЙ СЕТИ**  
(Связь напрямую с участком контактной сети, не требуется подключения к подстанции)



# 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 <sup>2</sup>
Масса 1 вагона	20 тонн
Торможение	1,1 м/с <sup>2</sup>
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



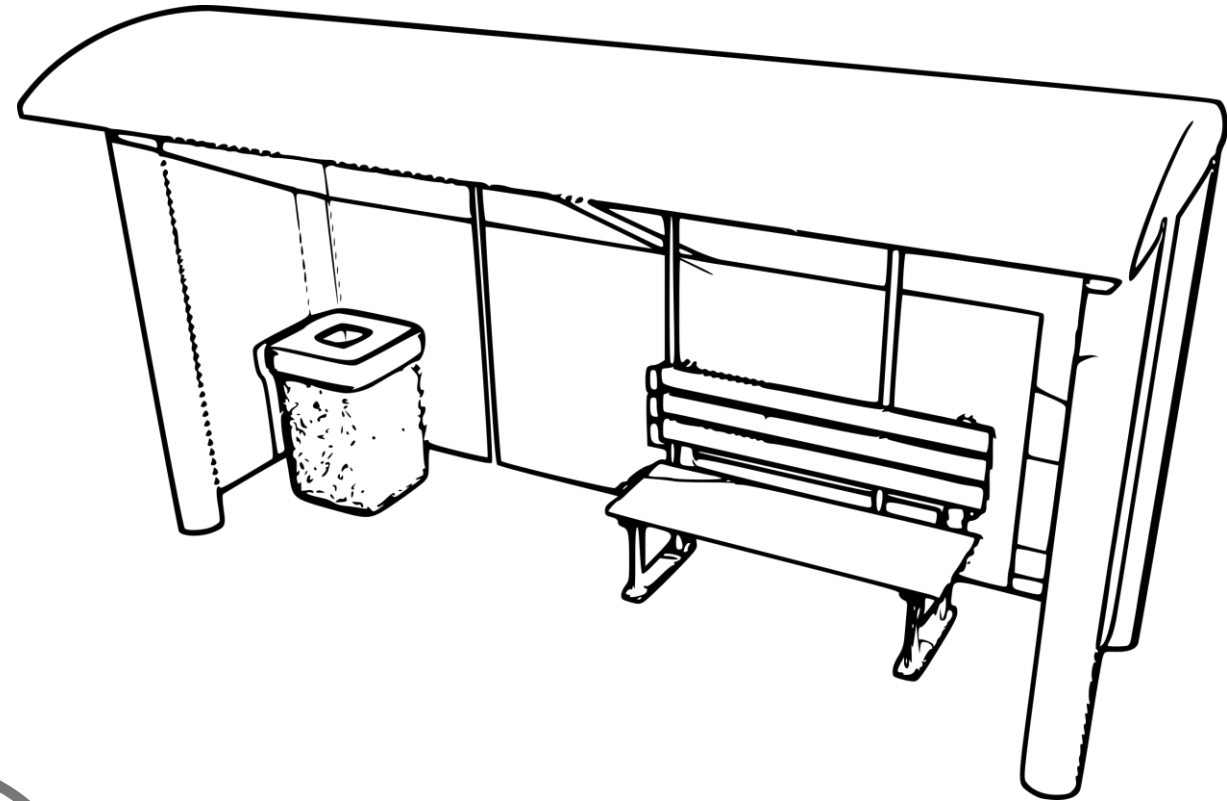
Экономия за год:  
**27 010 000 рублей**

# 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;"><b>Достоинства</b></p> <ol style="list-style-type: none"><li>1. Снижение человеческого фактора</li><li>2. Сокращение числа рабочих и затрат на них</li><li>3. Стабильность работы трамваев и сокращение интервала движения</li><li>4. Приоритет на дороге</li></ol>	<p style="text-align: center;"><b>Недостатки</b></p> <ol style="list-style-type: none"><li>1. При сбое в системе автоматического управления, встают все трамваи</li><li>2. Не разработана правовая база по беспилотным ТС</li></ol>
<p style="text-align: center;"><b>Сильные стороны</b></p> <ol style="list-style-type: none"><li>1. Автономность работы</li><li>2. Относительная дешевизна внедрения, так как система может быть установлена во время КВР вагона</li><li>3. Нет необходимости сильно изменять текущую инфраструктуру</li><li>4. Украшает город, привлекает туристов</li><li>5. Более привлекателен для пассажиров(по сравнению с обычным трамваем)</li></ol>	<p style="text-align: center;"><b>Угрозы</b></p> <ol style="list-style-type: none"><li>1. Перехват управления</li><li>2. Утечка данных</li></ol>

# 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;

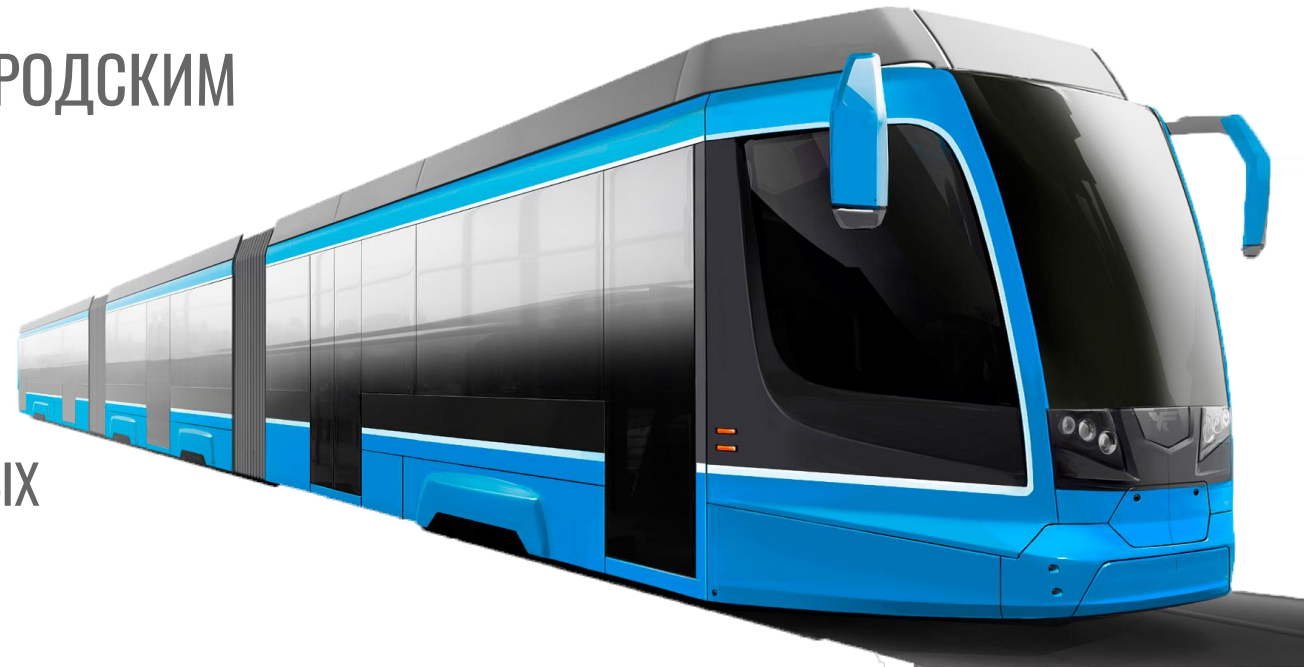
ОБЪЕДИНЁННАЯ СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ГОРОДСКИМ  
ТРАНСПОРТОМ;

ОПТИМИЗАЦИЯ ПАССАЖИРОПОТОКОВ;

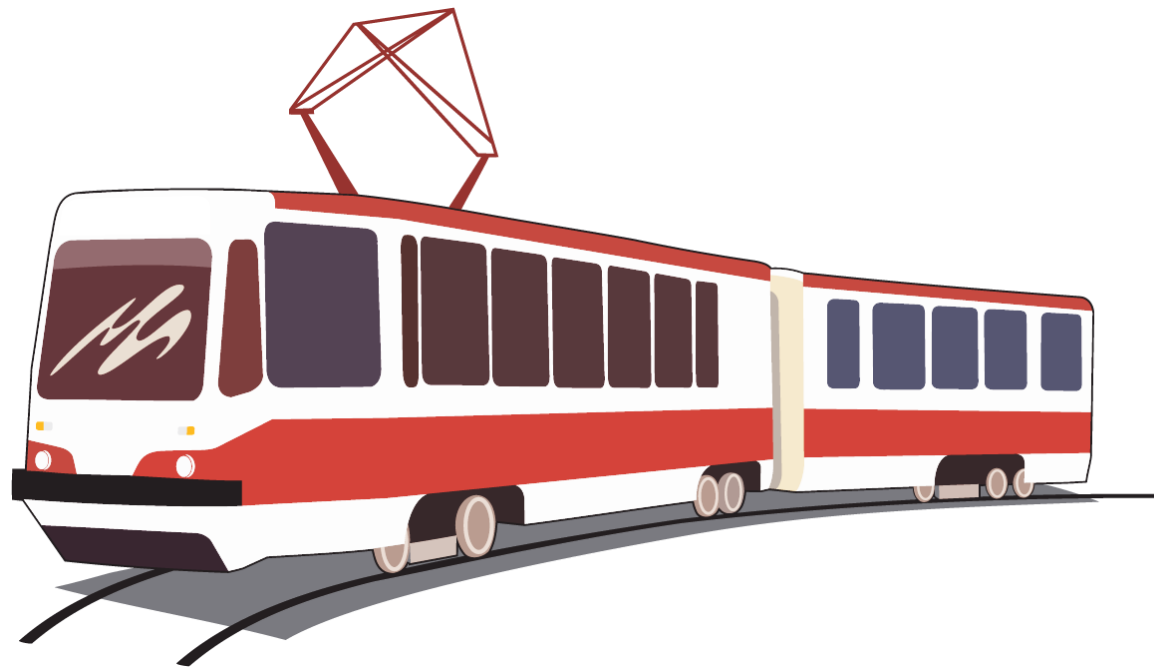
ОПТИМИЗАЦИЯ ЭНЕРГОПОТРЕБЛЕНИЯ

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.

