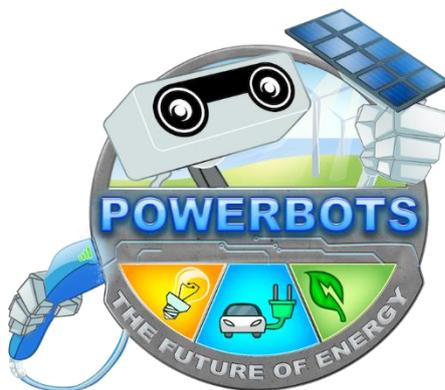


Муниципальное бюджетное учреждение дополнительного образования
«Дворец Детского Творчества имени В. П. Чкалова»



Автоматизированная трамвайная система

АТС АГ

Выполнили:

Гордеев Александр,

Горшунова Ольга

Руководитель:

Волкова Татьяна Николаевна,

педагог доп. образования



Содержание

Введение	3
Глава 1. Достоинства и недостатки трамвая как вида ОТ	4
1. Преимущества и недостатки.....	4
2. Обособление путей	5
3. Экономика транспорта.....	6
Глава 2. Теоретическое обоснование проекта	7
Глава 3. Практическая часть	8
1. Основные компоненты	8
2. Детали и механизмы	8
2.1. Трамвай	8
2.2. Плата управления	9
2.3. Стрелочный перевод	9
2.6. Остановки	9
2.7. Интервалы.....	9
2.8. Рекуперативное торможение.....	10
2.9. Плитка с пьезоэффектом	10
3. Программная часть	10
4. Стоимость проекта.....	11
Глава 4. Сравнительный анализ	11
Глава 5. Дальнейшее развитие проекта	11
Заключение	11
Приложения.....	12
Список литературы	15

Введение

Многие крупные города сейчас всерьёз озадачены проблемами, связанными с выхлопными газами. Разумеется, главные источники подобных загрязнений в городе- личный транспорт и грузовики. Однако доля общественного транспорта, особенно в крупном городе, также велика. Для борьбы с этим, правительство заменяет дизельные автобусы на газовые, на троллейбусы и электробусы. Однако самый экологичный транспорт для города- всё же трамвай. В нём отсутствуют покрышки, которые требуют переработки после выработки ресурса, нет огромного количества аккумуляторов, как в электробусах, загрязняющих природу уже своим производством, не говоря уж о дальнейшей их утилизации.

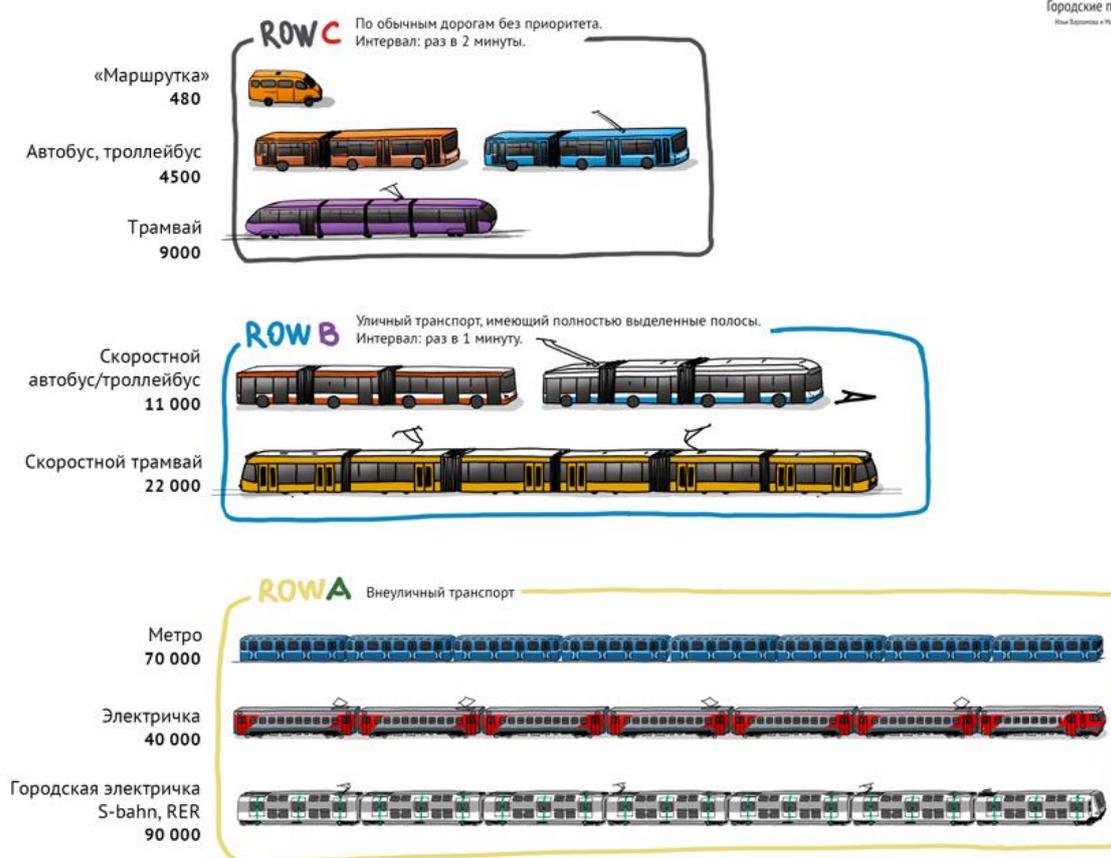
Более того, трамвай также решает транспортную проблему, присущую не самым крупным городам без метрополитена. Ведь трамвай- магистральный и скоростной транспорт, которым можно соединить воедино весь город. И что важно, его можно пустить гораздо дешевле, чем метро, и по уже существующим улицам.

Однако в городах, где уже есть трамвай, он зачастую работает неэффективно. Стоит в пробках с остальными автомобилями, не имеет приоритета на дороге, вынужден снижать скорость из-за несовершенной в технологическом плане инфраструктуры. С энергетической точки зрения трамвай также часто используется неэффективно.

Максимальная провозная способность видов транспорта (человек в час)



Городские проекты
Илья Бартоломеев и Максим Казан



Для сравнения – в автомобилях по одной полосе может проехать максимум 1500 человек в час

Глава 1. Достоинства и недостатки трамвая как вида ОТ

1. Преимущества и недостатки

Преимущества

- Главное преимущество трамвая — его **высокая провозная способность**. Трамвай обеспечивает бóльшую провозную способность, чем автобус или троллейбус (Приложение 2). Возможность сцеплять вагоны в поезда способствует повышению эффективности использования городских территорий. Количество вагонов в составе поезда ограничивается лишь строительными параметрами линии, что позволяет трамвайным поездам достигать длины, сопоставимой с длиной поездов метрополитена (например, в Ганновере — 90 м). Однако чаще всего эксплуатируются поезда из двух-трёх вагонов. Вместимость вагонов обычно выше, чем у автобусов и троллейбусов. Оптимальная загрузка автобусной или троллейбусной линии — до 3-4 тыс. пассажиров в час, «классического» трамвая — до 7 тыс. пассажиров в час, но в определённых условиях и больше.
- Трамваи, как и любой электрический транспорт, **не загрязняют воздух продуктами сгорания**. Также в них не используются покрышки, которые довольно сложно переработать по истечению срока службы и аккумуляторы, пагубно влияющие на природу как при производстве, так и при утилизации.
- **Себестоимость перевозок не столь высока**, что обеспечивается благодаря использованию для трамвайного движения сравнительно дешёвой электрической тяги и длительному сроку службы (по сравнению с автобусом и троллейбусом) трамвайных вагонов.
- **Первоначальные затраты при создании трамвайной системы ниже**, чем затраты, необходимые для строительства метрополитена или городской электрички.
- **Возможность реализации скорости сообщения**, сопоставимой с реализуемой на железных дорогах и метрополитенах. В результате обособления также повышается надёжность сообщения.
- **Высокая безопасность перевозок**, которая обеспечивается за счёт бóльшей массы трамвайных вагонов и изоляции трамвайного сообщения от уличного движения (при использовании собственного или обособленного полотна). В отличие от троллейбусов, трамвай электробезопасен для пассажиров при посадке и высадке, так как его кузов всегда заземлён через колёса и рельсы.
- **Малый минимальный интервал** (в изолированной системе) движения.
- **Трамвай может использовать железнодорожную инфраструктуру**, причём в мировой практике как и одновременно (в небольших городах), так и бывшую (как линия на Стрельну в Санкт-Петербурге).
- Благодаря электроприводу и сравнительно небольшим колёсам, в трамваях легче, чем в автобусе и троллейбусе, **обустроить низкопольную конструкцию**, удобную для посадки инвалидов, пожилых пассажиров и пассажиров с детьми.

Недостатки

- Строительство трамвайной линии **намного дороже строительства троллейбусной и автобусной** (но только в условиях уже существующей дорожной сети, — строительство трамвайной линии всегда обойдётся дешевле, чем строительство автодороги с

двухрядным движением, всегда требующейся для оптимальной организации автобусного или троллейбусного сообщения), но гораздо дешевле постройки метрополитена и городской электрички.

- **Провозная способность трамваев ниже**, чем у метро.
- Неправильно припаркованный автомобиль или дорожно-транспортное происшествие в габарите колеи **могут остановить движение** на большом участке трамвайной линии. В случае поломки трамвая его, как правило, выталкивает в депо следующий за ним состав, что в итоге приводит к сходу с линии двух единиц подвижного состава.
- Трамвайная сеть отличается сравнительно **низкой гибкостью** (что может быть скомпенсировано разветвлённостью сети).
- Прокладка трамвайных линий в черте города требует искусного размещения путей и **усложняет организацию движения**.
- Вызываемые трамваем сотрясения почвы могут создавать звуковое неудобство для жителей ближайших зданий и приводить к повреждению их оснований. Для снижения вибрации необходимо постоянное обслуживание пути (шлифовка для устранения волнообразного износа) и подвижного состава (обточка колёсных пар). При применении усовершенствованных технологий укладки путей вибрации могут быть сведены к минимуму (или вовсе сведены на нет).

2. Обособление путей

Размещение пути

Существует несколько основных вариантов размещения трамвайного полотна:

- **Собственное полотно** (соответствует внеуличному режиму): трамвайная линия проходит отдельно от дороги, например, по лесу, полю, отдельному мосту или эстакаде, отдельному туннелю (Приложение 3).
- **Обособленное полотно** (соответствует уличному режиму): полотно трамвая проходит вдоль дороги, но обособленно от проезжей части (Приложение 4).
- **Совмещённое полотно** (соответствует уличному режиму): полотно проходит в пределах проезжей части, не обособлено от неё и может использоваться безрельсовыми транспортными средствами. Иногда полотно, физически являющееся совмещённым, считают обособленным, если на него административным порядком запрещён въезд личного транспорта. Чаще всего совмещённое полотно размещается по центру улицы (Приложение 5).

В пределах своего маршрута трамвайный поезд может следовать в различных режимах.

Причины для обособления. Провозная способность улицы

В среднем в каждой машине едет 1,2-1,3 человека. При этом каждая машина занимает крайне много места на небольшой улице. Выходит, что нерационально съедается много места. У города простая задача: как перевезти максимально много людей в ограниченном пространстве. Тут на помощь приходит трамвай, как самый эффективный вид уличного транспорта. За счёт рельсов трамвай всегда следует по одной траектории, то есть занимает крайне мало места - ему не нужен буфер для манёвров. Из трамвая можно делать сцепки и повышать эффективность каждой единицы выпуска без набора дополнительных

водителей и кондукторов. В утренний и вечерний часы-пик можно прицеплять вагоны для повышения комфорта людей, а днём отцеплять за ненадобностью. За счёт этого трамвай и стоит дороже автобусов и троллейбусов.

Сегодня города по всему миру делают упор на трамвай как раз благодаря его провозной способности и цене: он дешевле и легче, чем метро, зато точно так же является магистральным транспортом и формирует каркас города с запасом на будущее. Поэтому если вам нужно соединить весь город в единый организм, то трамвай – самый эффективный вариант.

3. Экономика транспорта

Трамвай дорого строить, но в долгосрочной перспективе это окупается ценой содержания. Тем не менее, подвижной состав, пути, платформы, сеть, подстанции, персонал нужно постоянно финансировать и содержать в надлежащем состоянии. Поэтому трамвай не должен быть пустым.

Стоять в пробке комфортнее в личной машине, поэтому трамвай должен привлекать людей своей скоростью. Когда есть выбор ехать полчаса на трамвае или полтора часа на машине, то выбор очевиден в 90% случаев. Естественно это должен быть современный и быстрый трамвай.

Если хотя бы на одном участке трамвая есть пробка, то невозможно составить расписание для всего маршрута - скорость проезда улицы в один день может быть 15 минут, а во второй - 45. Из-за этого трамваи (и автобусы) могут ехать со скоростью 11 км/ч по пустой улице ради соблюдения расписания или не доезжать до конечной остановки из-за режима отдыха водителя. Также любая пробка - снижение провозной способности маршрута, необходимость выпускать дополнительную технику для соблюдения расписания и эффект кучкования, когда на остановку приезжает несколько вагонов одного маршрута сразу.

Нельзя ставить в один ряд трамвайные пути с провозной способностью до 22 тысяч человек в час и автомобильную полосу со средней провозной способностью максимум в 1 тысячу человек в час. Факты простые:

- Трамвай в пробке вместе с машинами – убыточный, пустой и медленный транспорт, способствующий ещё большему количеству пробок;
- Машины в пробке, а трамвай нет - прибыль, транспортная справедливость и возможность выбора для населения.

Глава 2. Теоретическое обоснование проекта

1. В настоящее время наблюдается недостаточный уровень автоматизации в сфере общественного транспорта
2. Работники данной сферы каждый день занимаются монотонным трудом
3. Во многих городах нашей страны трамвай используется неэффективно и несёт убытки
4. Многие люди ошибочно считают трамвай медленным и устаревшим видом транспорта

Проект соответствует четырём Целям устойчивого развития планеты, предложенных ООН:



Цель проекта - разработать прототип автоматизированной трамвайной системы и рассмотреть вопросы оптимизации энергопотребления.

Задачи проекта

1. Разработать удалённое(ручное) и автоматическое управление трамваем;
2. Автоматизировать часть трамвайной инфраструктуры (стрелки, светофоры, остановки);
3. Собрать прототип автоматизированной трамвайной системы;
4. Продумать внедрение её в транспортную систему города.

Глава 3. Практическая часть

1. Основные компоненты

- **Arduino nano(4 шт)**
- **NRF24L01+стабилизатор(2шт)**
- **Драйвер двигателей TB6612FNG**
- **Лазерный дальномер VL53LOX**
- **Геркон**
- **Потенциометр**
- **Сервопривод SG-90**
- **Двигатель**
- **Светодиоды**
- **Набор рельс**
- **Корпус вагона**
- **Аккумуляторы**

2. Детали и механизмы

Корпус трамвая, рельсы, стрелки, перекрёстки, элементы крепления светофоров и остановки нами были смоделированы в программе Autodesk Fusion 360 и Tinkercad, затем напечатаны на 3D-принтере.

2.1. Трамвай

Корпус

Так как современный трамвай- магистральный и скоростной транспорт, значит и вместимость у него должна быть соответствующая.

Данная система подойдёт для эксплуатации как одиночных, так и сочленённых вагонов.

В прототипе мы собрали два вагона:

Трёхсекционный восьмиосный (Приложение 5) и

двухсекционный шестиосный (Приложение 6).

Оба вагона оборудованы двумя кабинами, что даёт им возможность работать на маршрутах без разворотных колец.

Тележки

Вагон приводится в движение одной моторной тележкой, расположенной впереди, с помощью коллекторного электродвигателя и небольшого редуктора, подключенного к драйверу TB6612FNG (Приложение 7).

Дальномер

Вагон оборудован лазерным дальномером VL53LOX, расположенным в кабине, что позволяет составу останавливаться перед помехой на путях. На реальном прототипе будут использоваться лидары и камеры.

Двери

Все трамваи будут оборудованы кнопками адресного открытия дверей (для того, чтобы в холодное время года открывать не все двери и тем самым сохранять тепло в салоне) и системой антизащемления.

Так что трамвай не уедет, пока пассажир будет стоять в дверях.

2.2. Плата управления

Изначально вся электроника была собрана на макетной плате и соединена проводами. Однако такое решение не обеспечивало должную надёжность.

Затем была разведена печатная плата в программе EasyEDA (Приложение 8 и 15).

2.3. Стрелочный перевод

При подъезде трамвая к стрелке, RFID-считыватель сканирует уникальную для каждого вагона метку, компьютер по её номеру понимает, по какому маршруту следует трамвай и переключает стрелку в ту или иную сторону при помощи сервопривода (Приложение 9). Наша система подразумевает использование современных стрелок с подогревом.

2.4. Пульт управления трамваем

Используется для управления трамваем в случае сбоя в системе автоматического управления. Позволяет управлять трамваем дистанционно. Электроника собрана на печатной плате, корпус смоделирован и напечатан на 3D принтере (Приложение 10)

2.5. Светофоры

В обычном режиме автомобилям горит зелёный сигнал, трамваю- красный. Но как только трамвай проезжает RFID-считыватель, тут же загорается зелёный, а автомобилям- красный. Благодаря такому решению трамвай не стоит на светофорах и сокращается интервал движения. Представлены в приложении 11.

2.6. Остановки

При подъезде к остановке, трамвай замыкает геркон (на реальном прототипе будут использоваться NFC-метки и считыватели) и автоматически останавливается, ожидает посадки пассажиров.

Для освещения остановки в тёмное время суток, для питания элементов системы и информационных табло используются альтернативные источники энергии:

-солнечные панели на крыше остановочного павильона (Приложение 12)

-пьезоэлементы под брусчаткой на остановках (Приложение 13).

Остановочные павильоны для прототипа были напечатаны на 3D-принтере (Приложение 14).

2.7. Интервалы

Система всегда поддерживает одинаковый интервал между всеми трамваями, вне зависимости от их выхода на линию.

Благодаря такому решению, пассажиры всегда точно будут знать, когда приедет их трамвай.

Пример для отслеживания транспорта: Яндекс.Транспорт.

2.8. Рекуперативное торможение

Для оптимизации энергопотребления на трамваях в системе применяется рекуперативное торможение. При торможении трамвая, двигатель переходит в режим генератора и отдаёт энергию обратно в сеть, эта энергия раскручивает маховик, тем самым переводит энергию в механическую.

При разгоне вагона, накопитель кинетической энергии переходит в режим генератора и отдаёт энергию в сеть. За счёт запасённой энергии трамвай может разогнаться до 50-60 км/ч. Что важно, такая система не требует подключения к подстанции, её можно подключить напрямую к контактной сети.

Внедрение подобной технологии позволит:

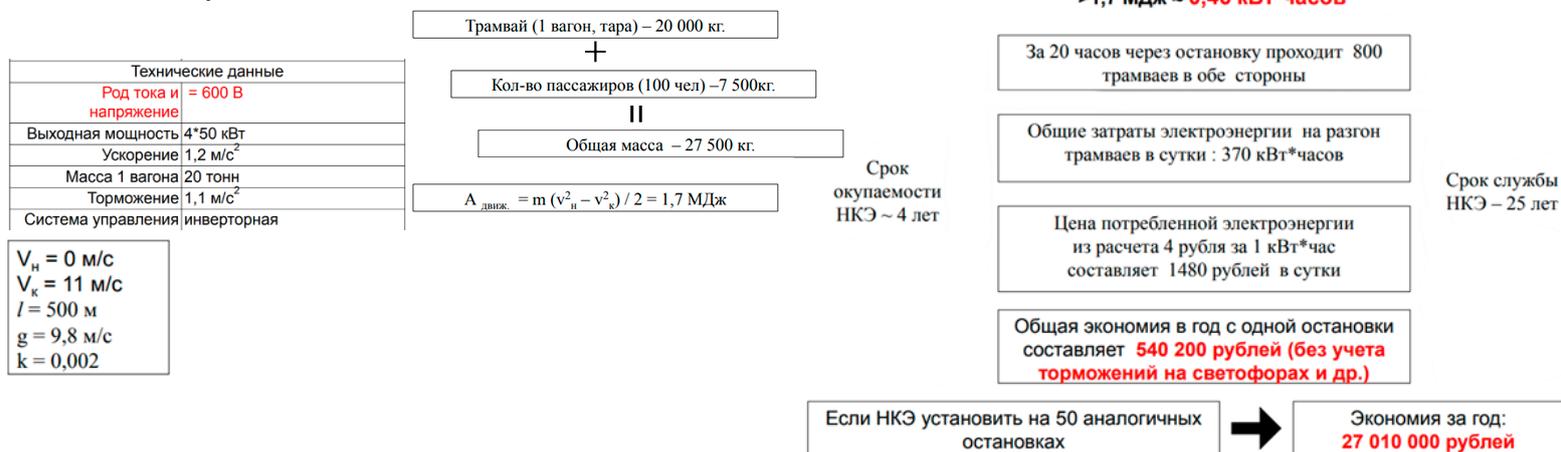
- Снизить платы энергоснабжающим организациям за потребляемую пиковую мощность (именно городской электротранспорт является главным её потребителем)
- Снизить энергопотребление на тягу
- Повысить эксплуатационный ресурс оборудования подвижного состава и тяговых подстанций городского электротранспорта.

Сейчас рекуперированная энергия торможения в сети практически не используется. Однако с применением подобной системы она может полностью направляться на разгон вагона.

По моим расчётам, экономия в год с одной остановки, оборудованной НКЭ, составит более полумиллиона рублей. И это без учёта торможений на светофорах, стрелках и тд.

А если установить такую систему на 50 аналогичных остановках, экономия за год превысит 27 миллионов рублей, что уже сопоставимо с ценой нового трамвайного вагона.

В некоторых европейских городах подобная система уже активно испытывается и показывает внушительные результаты, до 30% экономии годового энергопотребления на участке контактной сети.



2.9. Плитка с пьезоэффектом

Помимо рекуперации, для оптимизации энергопотребления в моей системе будет использоваться плитка с пьезоэффектом на остановках. Подобная плитка предназначена преимущественно для оживлённых остановок. Благодаря такой плитке, механическая энергия шагов пассажиров преобразовывается в электрическую (для освещения остановки, питания элементов системы, информационных табло).

3. Программная часть

Весь код для управляющей платы трамвая, для пульта управления, а также для светофоров и стрелочного перевода был написан в среде Arduino IDE. См. приложения 1-4.

4. Стоимость проекта

Примерная стоимость создания прототипа без учёта работы составила 6200 рублей.

Глава 4. Сравнительный анализ

Достоинства

1. Снижение человеческого фактора за счёт автоматизации большинства процессов
2. Сокращение числа рабочих и затрат на них за ненадобностью
3. Стабильность работы трамваев и сокращение интервала движения
4. Приоритет на дороге

Недостатки

1. При сбое в системе автоматического управления, встают все трамваи
2. Не разработана правовая база по беспилотным ТС

К сильным сторонам подобной системы можно отнести:

1. Автономность работы
2. Относительную дешевизну внедрения, так как система может быть установлена во время КВР вагона
3. Отсутствие необходимости сильно изменять текущую инфраструктуру
4. Такая система украшает город, привлекает туристов
5. Также она будет более привлекательна для пассажиров (по сравнению с обычным трамваем)

Но для подобной системы есть две существенные угрозы:

1. перехват управления
2. утечка данных

Глава 5. Дальнейшее развитие проекта

В дальнейшем планируется полная автоматизация системы, т.е. возможность работы на совмещённом полотне, работа над повышением безопасности, работа над правовой базой по беспилотным ТС, разработка и создание трамвая-лаборатории для диагностики путей и контактной сети, рельсошлифовального вагона, также планируется создать модуль автоматического тестирования систем трамвая перед выходом на линию. В перспективе планируется оптимизация пассажиропотоков, создание объединённой системы управления всем городским транспортом, оптимизация энергопотребления, включающая в себя внедрение рекуперативного торможения и увеличение использования альтернативных источников энергии в системе.

Заключение

В ходе работы благодаря созданию и испытанию прототипа автоматизированной трамвайной системы и более детальному изучению вопроса удалось выяснить основные направления работ, некоторые проблемные места и перспективы дальнейшего развития.

Приложения

```
#include <SPI.h>
#include <nRF24L01.h>
#include <RF24.h>
#include <VL53L0X.h>
#include <Wire.h>
VL53L0X sensor;
const int a1=4;
const int a2=3;
const int pwmA=5;
#define gerk A2
#define gerkGnd A3
int pwm = 0;
const uint64_t pipe = 0xE8E8F0F0E1LL;
RF24 radio(7, 8);
int joystick[4];
void setup()
{ Wire.begin();
  sensor.init();
  sensor.setTimeout(500);
  sensor.setSignalRateLimit(0.1);
  sensor.setVcSELPeriod(VL53L0X::VcSELPeriodPreRange, 18);
  sensor.setVcSELPeriod(VL53L0X::VcSELPeriodFinalRange, 14);
  sensor.setMeasurementTimingBudget(20000);
  delay(1000);
  radio.begin();
  radio.openReadingPipe(1,pipe);
  radio.startListening();
  pinMode(2, OUTPUT);
  pinMode(a1, OUTPUT);
  pinMode(a2, OUTPUT);
  pinMode(pwmA, OUTPUT);
  pinMode(gerk, INPUT);
  pinMode(gerkGnd, OUTPUT);
  digitalWrite(gerkGnd, LOW);
}
void loop()
{ if ( radio.available() ) {
  bool done = false;
  while (!done) {
  done = radio.read( joystick,
  sizeof(joystick));
  if(joystick[2]==0) {
    if(!joystick[1])//автоведение
    {
      if(joystick[0]==0) {
digitalWrite(a1, LOW);
digitalWrite(a2, LOW); }
if(joystick[3]) {
pwm = map(joystick[0],1,1024,0,170);
analogWrite(pwmA, pwm);
digitalWrite(a1, LOW);
digitalWrite(a2, HIGH); }
if(!joystick[3]) {
pwm = map(joystick[0], 1,1024,0,170);
analogWrite(pwmA, pwm);
digitalWrite(a2, LOW);
digitalWrite(a1, HIGH); }}
else //Автоведение
{
if(sensor.readRangeSingleMillimeters(>70) //Лазерник
{ analogWrite(pwmA, 55);
digitalWrite(a2, LOW);
digitalWrite(a1, HIGH); }
else { digitalWrite(a1, LOW);
digitalWrite(a2, LOW); }
if(analogRead(gerk) == 0)//Геркон
{ analogWrite(pwmA, 20);
digitalWrite(a2, LOW);
digitalWrite(a1, HIGH);
delay(2000);
digitalWrite(a1, LOW);
digitalWrite(a2, LOW);
delay(5000); }}}
else { digitalWrite(a1, LOW);
digitalWrite(a2, LOW); }}}
```

Приложение 1.
Программный код трамвая

```
#include <SPI.h>
#include <MFRC522.h>
#define RED1 5
#define ORG1 3
#define GRN1 4
#define RED2 8
#define ORG2 6
#define GRN2 7
MFRC522 mfrc522(10, 9);
unsigned long uidDec, uidDecTemp;
int pause = 1000;
void setup() {
  SPI.begin(); mfrc522.PCD Init();
  pinMode(RED1, OUTPUT);
  pinMode(ORG1, OUTPUT);
  pinMode(GRN1, OUTPUT);
  pinMode(RED2, OUTPUT);
  pinMode(ORG2, OUTPUT);
  pinMode(GRN2, OUTPUT); }
void loop() {
  digitalWrite(RED1, HIGH);
  digitalWrite(ORG1, LOW);
  digitalWrite(GRN1, LOW);
  digitalWrite(RED2, LOW);
  digitalWrite(ORG2, LOW);
  digitalWrite(GRN2, HIGH);
  if (!mfrc522.PICC_IsNewCardPresent())
  { return; }
  if ( ! mfrc522.PICC_ReadCardSerial())
  { return; }
  uidDec = 0;
  for (byte i = 0; i < mfrc522.uid.size
  i++) {
  uidDecTemp = mfrc522.uid.uidByte[i];
  uidDec = uidDec * 256 + uidDecTemp; }
  if ((uidDec == 2305050007) || (uidDec ==
  2464178048)){
    digitalWrite(RED1, HIGH);
    digitalWrite(ORG1, HIGH);
    digitalWrite(GRN1, LOW);
    digitalWrite(RED2, LOW);
    digitalWrite(ORG2, HIGH);
    digitalWrite(GRN2, LOW);
    delay(pause);
    digitalWrite(RED1, LOW);
    digitalWrite(ORG1, LOW);
    digitalWrite(GRN1, HIGH);
    digitalWrite(RED2, HIGH);
    digitalWrite(ORG2, LOW);
    digitalWrite(GRN2, LOW);
    delay(10000);
    digitalWrite(RED1, LOW);
    digitalWrite(ORG1, HIGH);
    digitalWrite(GRN1, LOW);
    digitalWrite(RED2, HIGH);
    digitalWrite(ORG2, HIGH);
    digitalWrite(GRN2, LOW);
    delay(pause); }}}
```

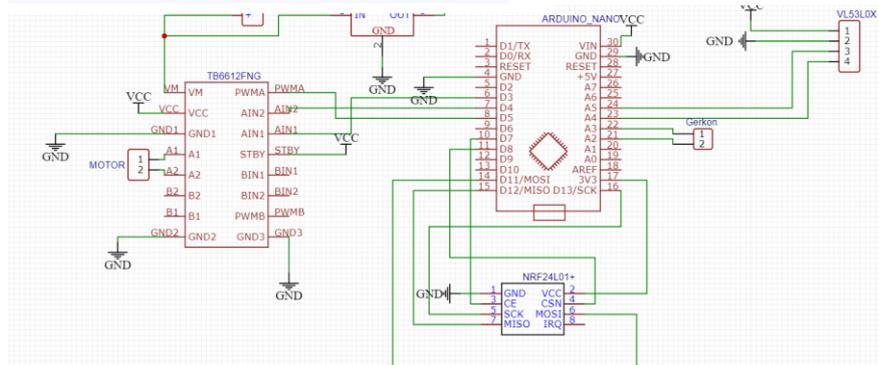
Приложение 2.
Программный код светофоров

```
#include <SPI.h>
#include <nRF24L01.h>
#include <RF24.h>
#define JOYSTICK Y A7
const uint64_t pipe = 0xE8E8F0F0E1LL;
RF24 radio(7, 8);
int joystick[4];
void setup() {
  radio.begin();
  radio.openWritingPipe(pipe);
  pinMode(2, INPUT);
  pinMode(4, INPUT);
  pinMode(A7, INPUT);
  digitalWrite(2, HIGH);
  digitalWrite(4, HIGH);
  digitalWrite(6, HIGH); }
void loop()
{ if(digitalRead(3)) {
  joystick[0] = analogRead(JOYSTICK_Y); }
else { joystick[0] = analogRead(A6); }
joystick[1] = !digitalRead(2);
joystick[2] = !digitalRead(4);
joystick[3] = digitalRead(6);
radio.write( joystick,
  sizeof(joystick) );}
```

Приложение 3.
Программный код пульта

```
#include <Servo.h>
#include <SPI.h>
#include <MFRC522.h>
MFRC522 mfrc522(10, 9);
unsigned long uidDec, uidDecTemp;
Servo servo;
void setup() {
  SPI.begin();
  mfrc522.PCD Init();
  servo.attach(3);
  servo.write(110); }
void loop() {
  if ( !
  mfrc522.PICC_IsNewCardPresent() ) {
    return; }
  if ( !
  mfrc522.PICC_ReadCardSerial() ) {
    return; }
  uidDec = 0;
  for (byte i = 0; i <
  mfrc522.uid.size; i++)
  { uidDecTemp =
  mfrc522.uid.uidByte[i]; uidDec =
  uidDec * 256 + uidDecTemp;
  }
  if (uidDec == 2305050007){
  servo.write(57); }
  if ((uidDec == 2464178048) || (uidDec
  ==1269352972))
  { servo.write(127); } }
```

Приложение 4.
Программный код стрелки



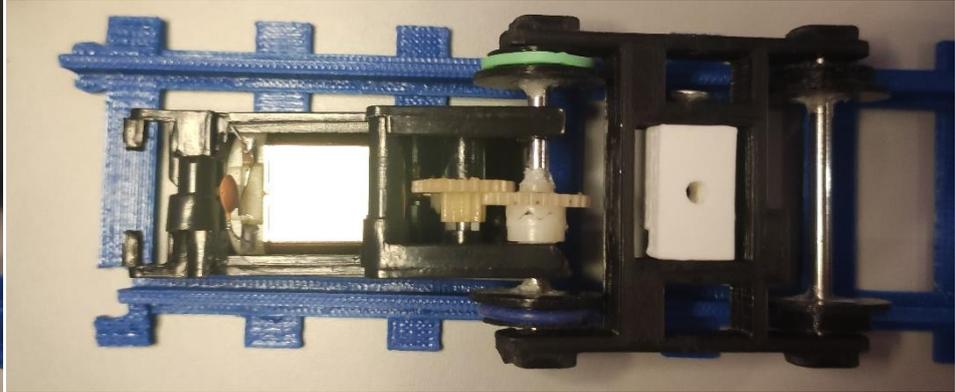
Приложение 15. Принципиальная схема



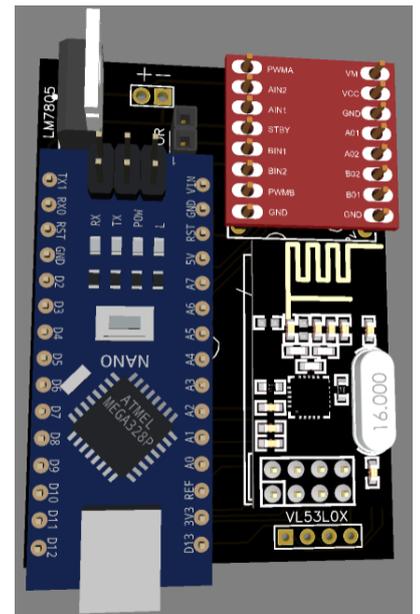
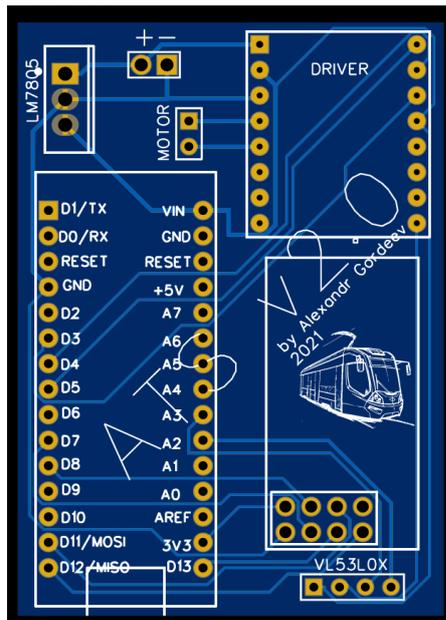
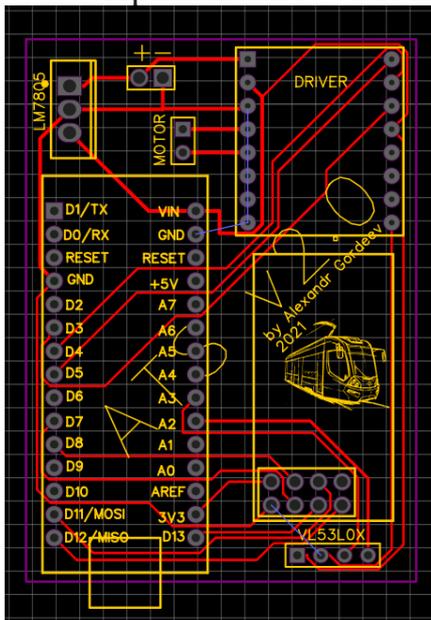
Приложение 5. Трёхсекционный трамвай.



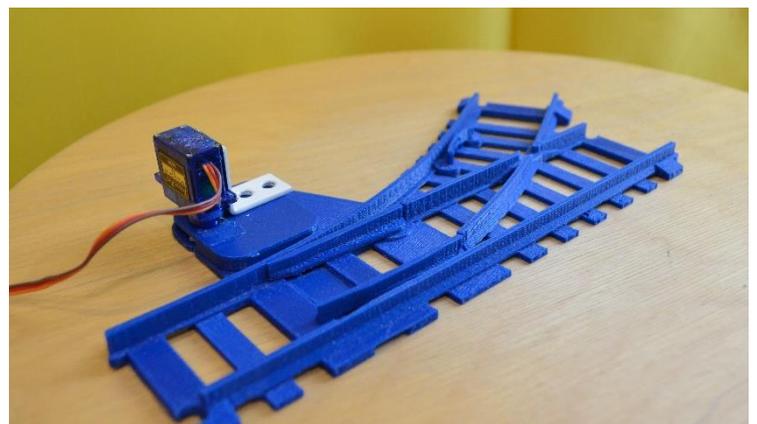
Приложение 6. Двухсекционный трамвай.



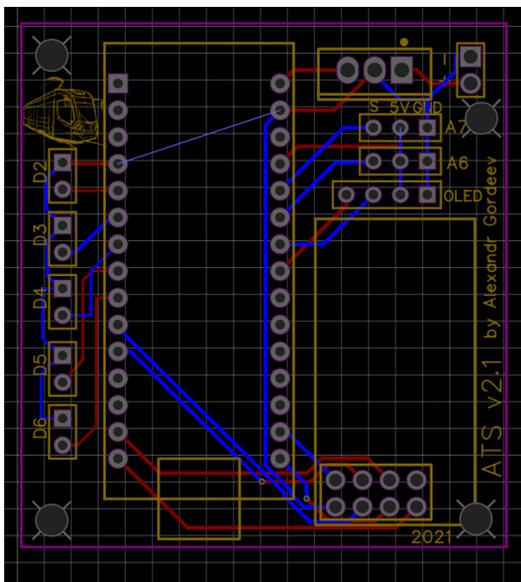
Приложение 7. Моторная тележка



Приложение 8. Плата управления



Приложение 9. Стрелочный перевод



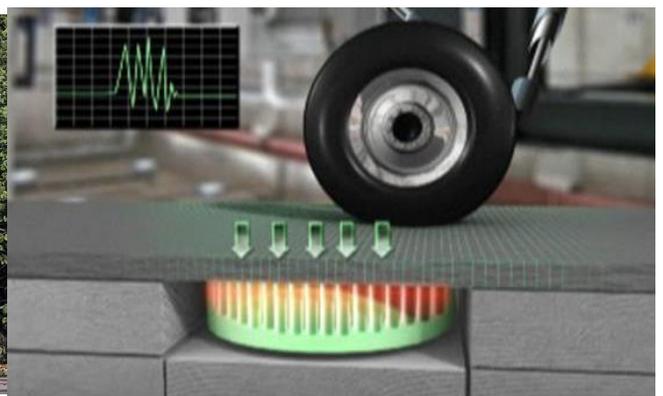
Приложение 10. Пульт ДУ.



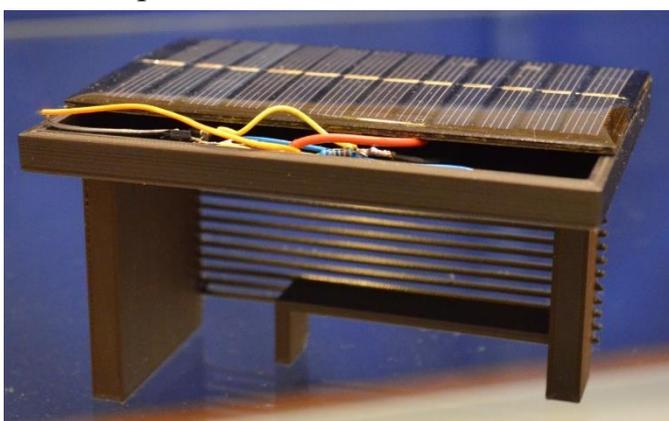
Приложение 11. Светофоры.



Приложение 12. Солнечные панели.



Приложение 13. Пьезоэлемент.



Приложение 14. Остановка на прототипе

Список литературы

Кокунова, М. Л. Достоинства и недостатки трамвая как вида общественного транспорта / *М. Л. Кокунова, А. А. Симоненко* // Организация и безопасность дорожного движения : материалы VI Всероссийской научно-практической конференции, Тюмень, 15 марта 2013 года. – Тюмень: Тюменский государственный нефтегазовый университет, 2013. – С. 87-92.

Жук, И. В. Как сделать трамвай современным видом транспорта? / *И. В. Жук, В. С. Миленский* // Автотранспортное предприятие. – 2016. – № 1. – С. 33-36.

Родионов, В. Г. Большой трамвай для большого города / *В. Г. Родионов* // Автотранспортное предприятие. – 2006. – № 12. – С. 35-37.

Никифоров, И. Трамвай XXI века: безопасность, экономичность, комфорт / *И. Никифоров, В. Зайцев, А. Жилин* // Силовая электроника. – 2013. – Т. 1. – № 40. – С. 72-74.

Михайлов, А. Е. Новые трамваи при скромном бюджете / *А. Е. Михайлов* // Вестник Института проблем естественных монополий: Техника железных дорог. – 2015. – № 1(29). – С. 17.

Марков, С. Б. Исследование вибрационного воздействия, обусловленного движением трамваев в городских условиях / *С. Б. Марков, И. К. Пименов, В. Н. Пшенин* // Защита от повышенного шума и вибрации : Сборник докладов Всероссийской научно-практической конференции с международным участием, Санкт-Петербург, 26–28 марта 2013 года / Под редакцией *Н.И. Иванова*. – Санкт-Петербург: Балтийский государственный технический университет "Военмех", 2013. – С. 578-596.

Горбачёв А.М. Автоматизация синтеза расписаний городского электрического транспорта // Известия Петербургского университета путей сообщения. 2014. №4

Дудкин Евгений Павлович, Черняева Виктория Андреевна, Дороничева Светлана Андреевна, Смирнов Кирилл Александрович Повышение эффективности и конкурентоспособности трамвая на рынке пассажирских перевозок // Известия Петербургского университета путей сообщения. 2017. №2.

<https://gre4ark.livejournal.com/617455.html>

<https://zen.yandex.ru/media/id/5e652f8fb5b1cb0240c85fa5/minusy-tramvaia-5e6661300abd406adb4f1600>

<https://radimir-87.livejournal.com/5474.html>

<https://gre4ark.livejournal.com/678424.html>

<http://tram.city4people.ru/>

<https://habr.com/ru/company/cognitivepilot/blog/498660/>