

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

Автоматизированная трамвайная система

Выполнил:

Гордеев Александр Андреевич

Руководитель:

Волкова Татьяна Николаевна,
педагог доп. образования

Н. Новгород
2021

Содержание

Введение	3
Глава 1. Достоинства и недостатки трамвая как вида ОТ	4
1. Преимущества и недостатки.....	4
2. Обособление путей.....	7
3. Экономика транспорта.....	8
Глава 2. Теоретическое обоснование проекта	10
Глава 3. Практическая часть.....	11
1. Основные компоненты	11
2. Детали и механизмы	11
2.1. Трамвай.....	11
2.2. Плата управления	12
2.3. Стрелочный перевод.....	12
2.6. Остановки	13
2.7. Интервалы	13
2.8. Рекуперативное торможение	14
2.9. Плитка с пьезоэффектом.....	14
3. Программная часть.....	15
4. Стоимость проекта.....	15
Глава 4. Сравнительный анализ	16
Глава 5. Дальнейшее развитие проекта	17
Заключение.....	18
Приложения.....	19
Список литературы.....	33

Введение

Как известно, трамвай- самый экологичный и любимый вид общественного транспорта у пассажиров. При равных условиях многие предпочтут трамвай автобусу или маршрутке. Трамвай имеет массу преимуществ перед другим городским транспортом. Он способен перевозить куда больше пассажиров, чем троллейбус, автобус или маршрутное такси. Он идеально подходит как для исторического центра города, так и для окраин. Более того, трамвай является единственным видом общественного транспорта, который можно совмещать с пешеходными улицами.

Однако в середине прошлого века во многих городах мира трамвай начал исчезать. Тогда он мешал автомобилям. Казалось, что если убрать пути и расширить дороги, то пробок станет меньше. Спустя еще 50 лет многие города поняли, что такое решение было великой ошибкой, и трамвай начал возвращаться на улицы европейских городов. Сейчас мы переживаем те же проблемы, что и Европа тогда. Пассажиры считают трамвай устаревшим транспортом, который только занимает место на городских улицах. И это величайшее заблуждение.

Во всех европейских городах ещё несколько лет назад поняли важность скоростного трамвая и с тех пор активно его развивают. Современный рельсовый транспорт очень сильно отличается от того, что мы видим в России.

Быстрые, бесшумные и экологически чистые составы скользят по рельсам, не портящим городской пейзаж (Приложение 1).

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.
- 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 (при обособлении трамвайного полотна от безрельсовых транспортных средств). В результате обособления также повышается надёжность сообщения.
- Трамваи, как и любой электрический транспорт, не загрязняют воздух продуктами сгорания.

- Высокая безопасность перевозок, которая обеспечивается за счёт бóльшей массы трамвайных вагонов (в сравнении с автобусом и троллейбусом) и изоляции трамвайного сообщения от уличного движения (при использовании собственного или обособленного полотна). При участии трамвая в дорожно-транспортных происшествиях трамвайные вагоны могут воспринимать бóльшую ударную нагрузку по сравнению с безрельсовым транспортом, поэтому пассажиры трамвая оказываются в выигрышном положении. 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. Например в Кривом Роге он составляет даже 40 секунд при трёх вагонах, по сравнению с пределом в 1:20 на метрополитене. На трамвае возможно применение интервальных систем, используемых на железной дороге и метрополитене (например, автоматическая локомотивная сигнализация в Волгограде). Это даёт возможность увеличить провозную способность линий.
- 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, где не используются массивные спаренные вагонные тележки, 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 обойдется

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: обычно не более 20 000 пассажиров в час у трамвая, и до 80 000 пассажиров в час в каждом направлении у метро «советского типа» (только в Москве и Санкт-Петербурге).
- Открытые трамвайные рельсы представляют опасность для велосипедистов и мотоциклистов, пытающихся пересечь их под острым углом.
- 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, выталкивают в депо следующий за ним состав, что в итоге приводит к сходу с линии двух единиц подвижного состава. В некоторых городах нет практики как можно более быстрого освобождения трамвайных путей при авариях и поломках, что часто приводит к длительным простоям в движении.
- Трамвайная сеть отличается сравнительно низкой гибкостью (что может быть скомпенсировано разветвлённостью сети). Автобусную сеть очень легко изменить в случае необходимости (например, в случае ремонта улицы), а при использовании троллейбусов с системами автономного хода, гибкой становится и троллейбусная сеть.
- Прокладка трамвайных линий в черте города требует искусного размещения путей и усложняет организацию движения. При плохом проектировании отвод ценной городской земли под трамвайное движение может оказаться неоправданным.
- 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. Многие люди ошибочно считают трамвай медленным и устаревшим видом транспорта

Цель проекта- разработать прототип автоматизированной трамвайной системы.

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 были смоделированы в программе Autodesk Fusion 360 и Tinkercad, затем напечатаны на 3D-принтере (Приложение 6).

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 своём прототипе я собрал два вагона:

Трёхсекционный восьмиосный (Приложение 7) и двухсекционный шестиосный (Приложение 8).

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

Каждый вагон оборудован лазерным дальномером, что позволяет трамваю останавливаться перед препятствием на путях.

Тележки

Вагон приводится в движение одной моторной тележкой, расположенной впереди, с помощью коллекторного электродвигателя и небольшого редуктора, подключенного к драйверу TB6612FNG (Приложение 9).

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 (Приложение 10). Такое решение не обеспечивало должную надёжность.

Затем была разведена печатная плата в программе EasyEDA (Приложение 11).

Принципиальная схема представлена в приложении 12.

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 13).

2.4. Пульт управления трамваем

Используется для управления трамваем в случае сбоя в системе автоматического управления. Позволяет управлять трамваем дистанционно. Электроника собрана на макетной плате, корпус смоделирован и напечатан на 3D принтере (Приложение 14)

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 приложениях 15 и 16.

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 17)
- пьезоэлементы под брусчаткой на остановках (Приложение 18).

Остановочные павильоны для прототипа были напечатаны на 3D-принтере (Приложение 19).

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, оборудованным НКЭ, составит более полумиллиона рублей (Приложение 23). 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 (Приложение 20), для пульта управления (Приложение 21), а также для светофоров и стрелочного перевода был написан в среде Arduino IDE.

4. Стоимость проекта

Примерная стоимость проекта (создания прототипа) без учёта работы представлена в таблице (Приложение 22).

Глава 4. Сравнительный анализ

Данный проект имеет ряд достоинств и недостатков.

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

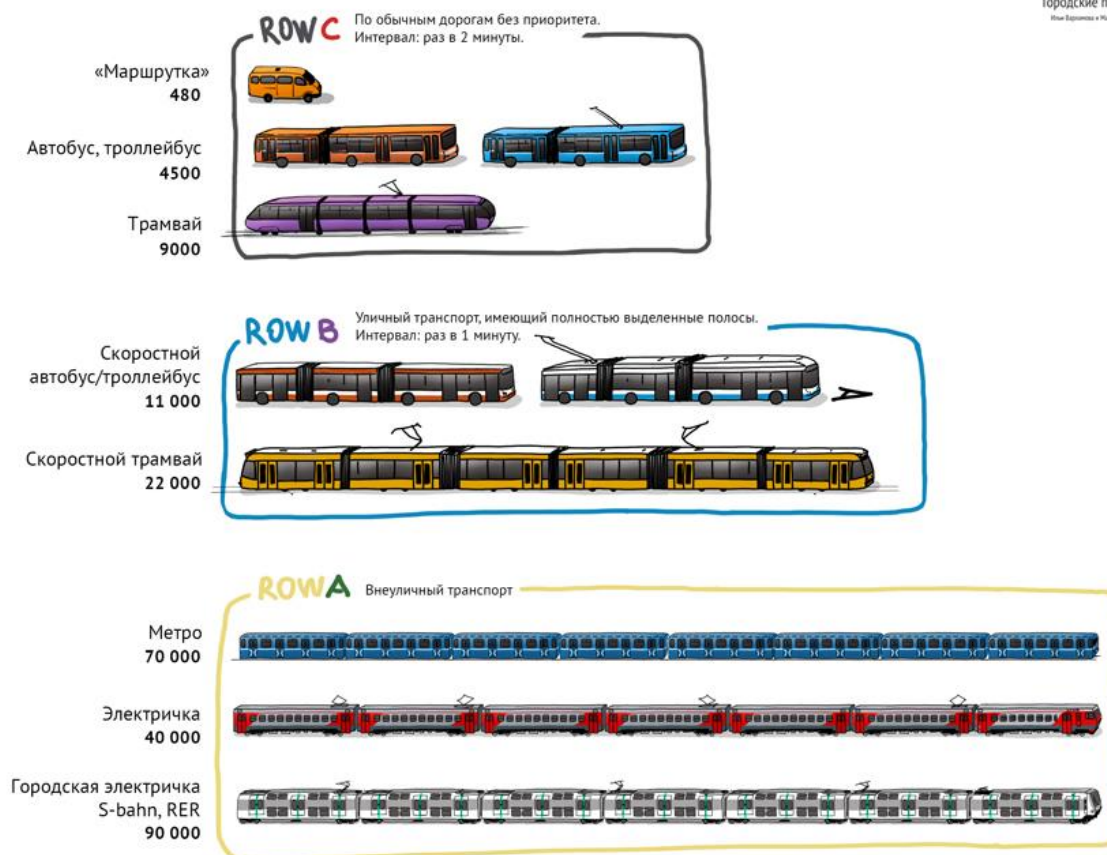
В ходе работы благодаря созданию и испытанию прототипа автоматизированной трамвайной системы и более детальному изучению вопроса удалось выяснить основные направления работ, некоторые проблемные места и перспективы дальнейшего развития.

Приложения



Приложение 1. Современный трамвай.

Максимальная провозная способность видов транспорта (человек в час)



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

Приложение 2. Сравнение с другим ОТ по провозной способности.



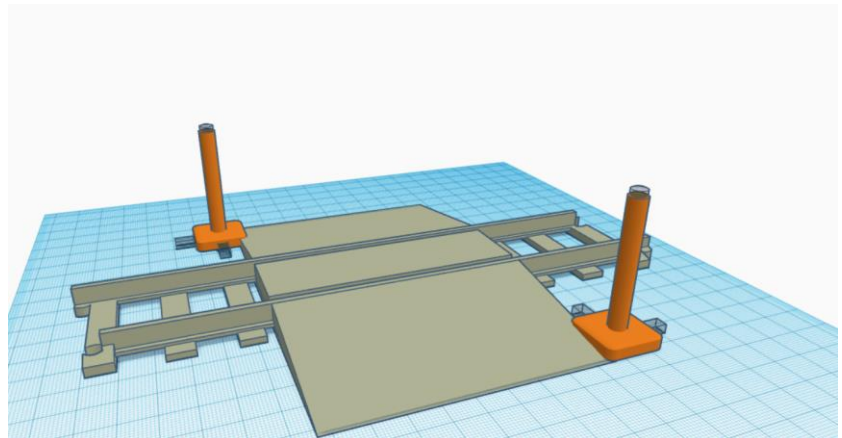
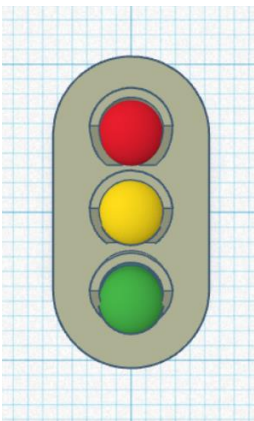
Приложение 3. Собственное полотно.

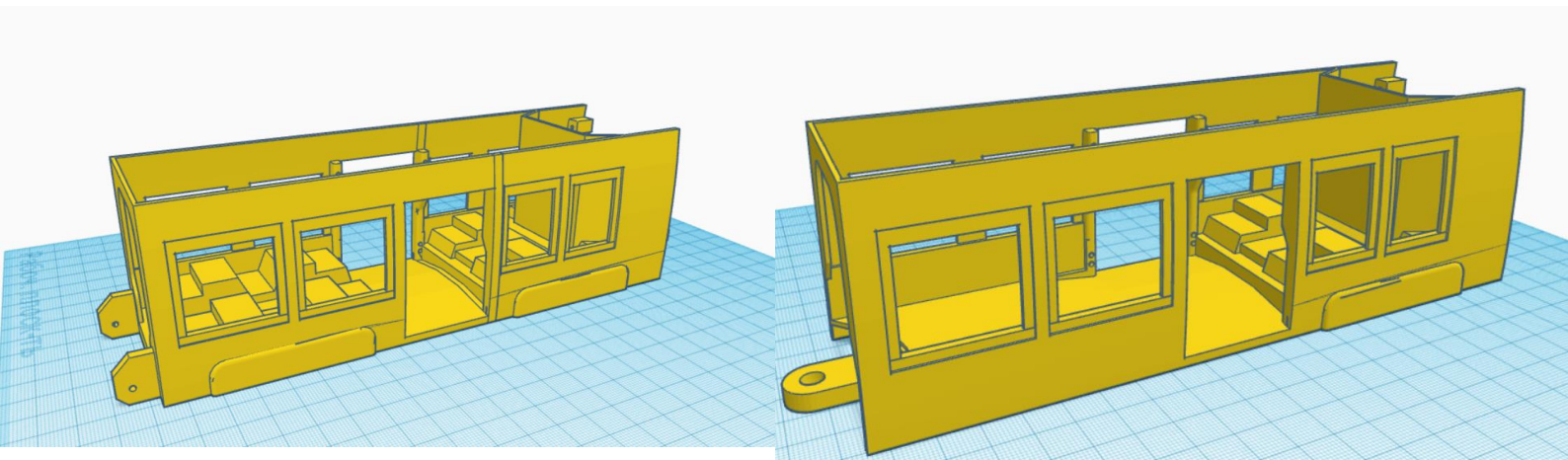


Приложение 4. Обособленное полотно.



Приложение 5. Совмещённое полотно.

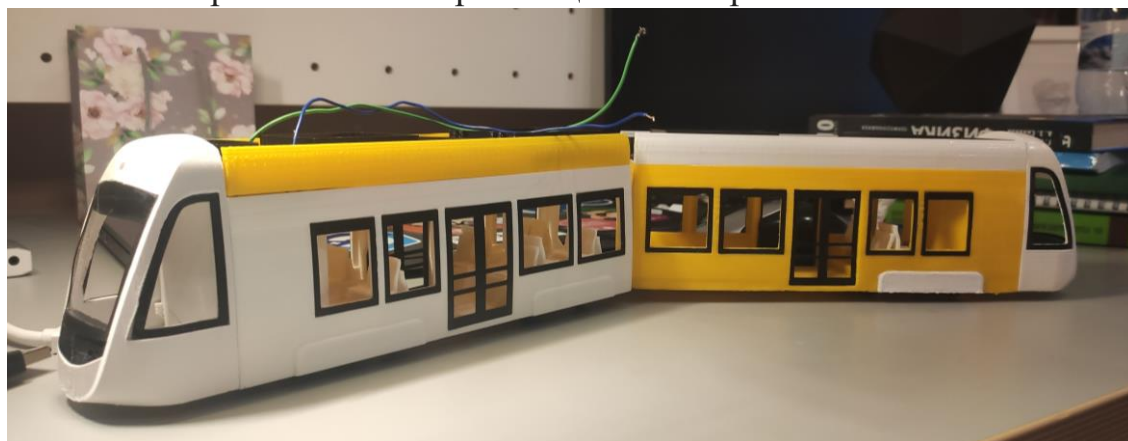




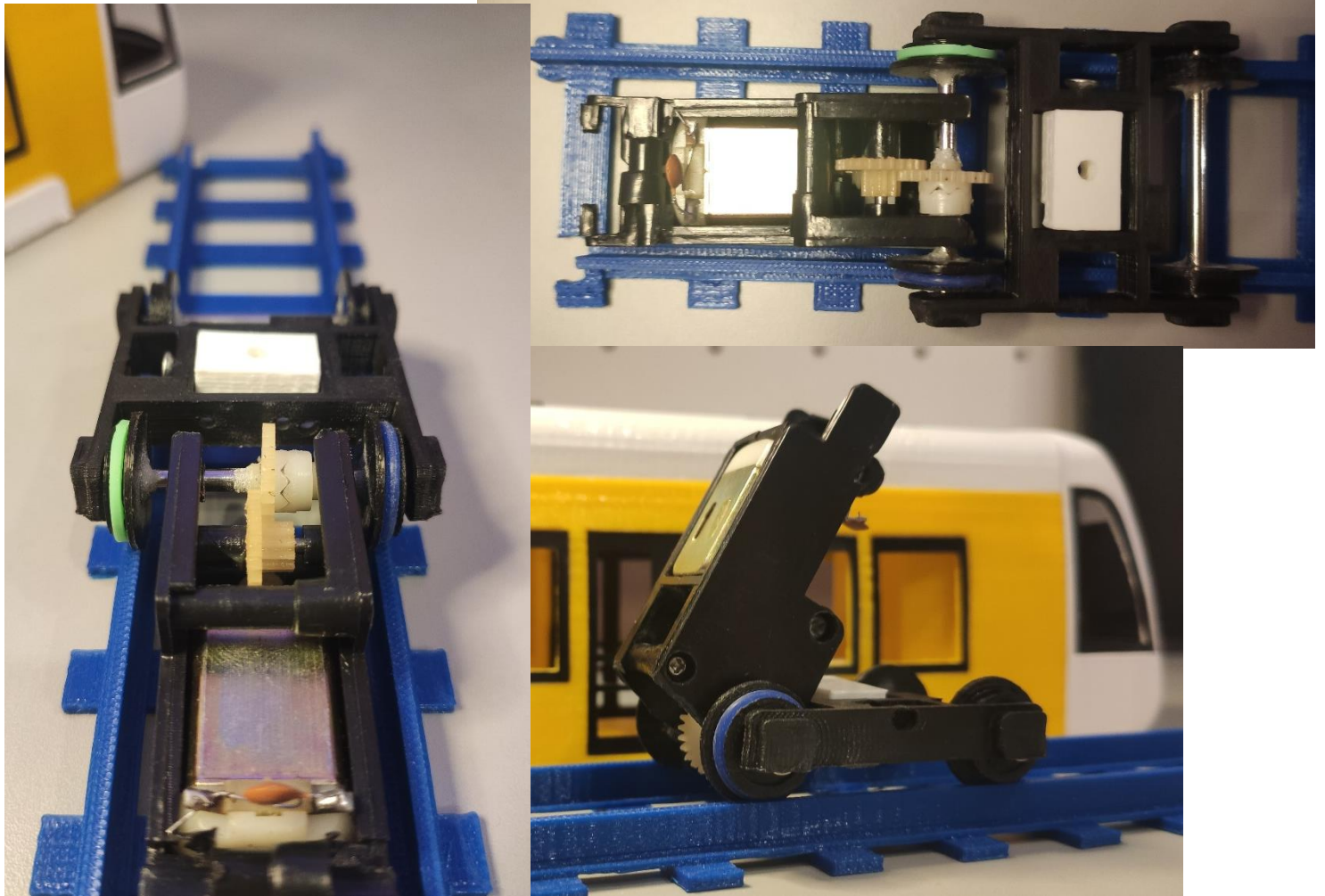
Приложение 6. 3D модели.



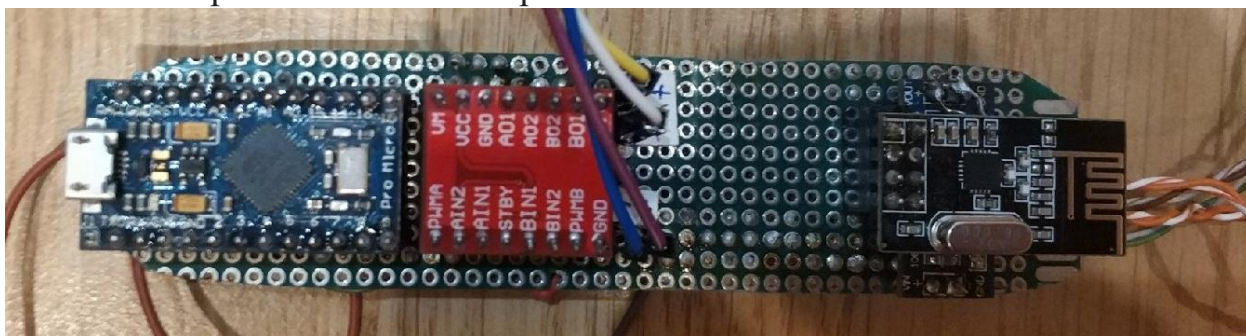
Приложение 7. Трёхсекционный трамвай.



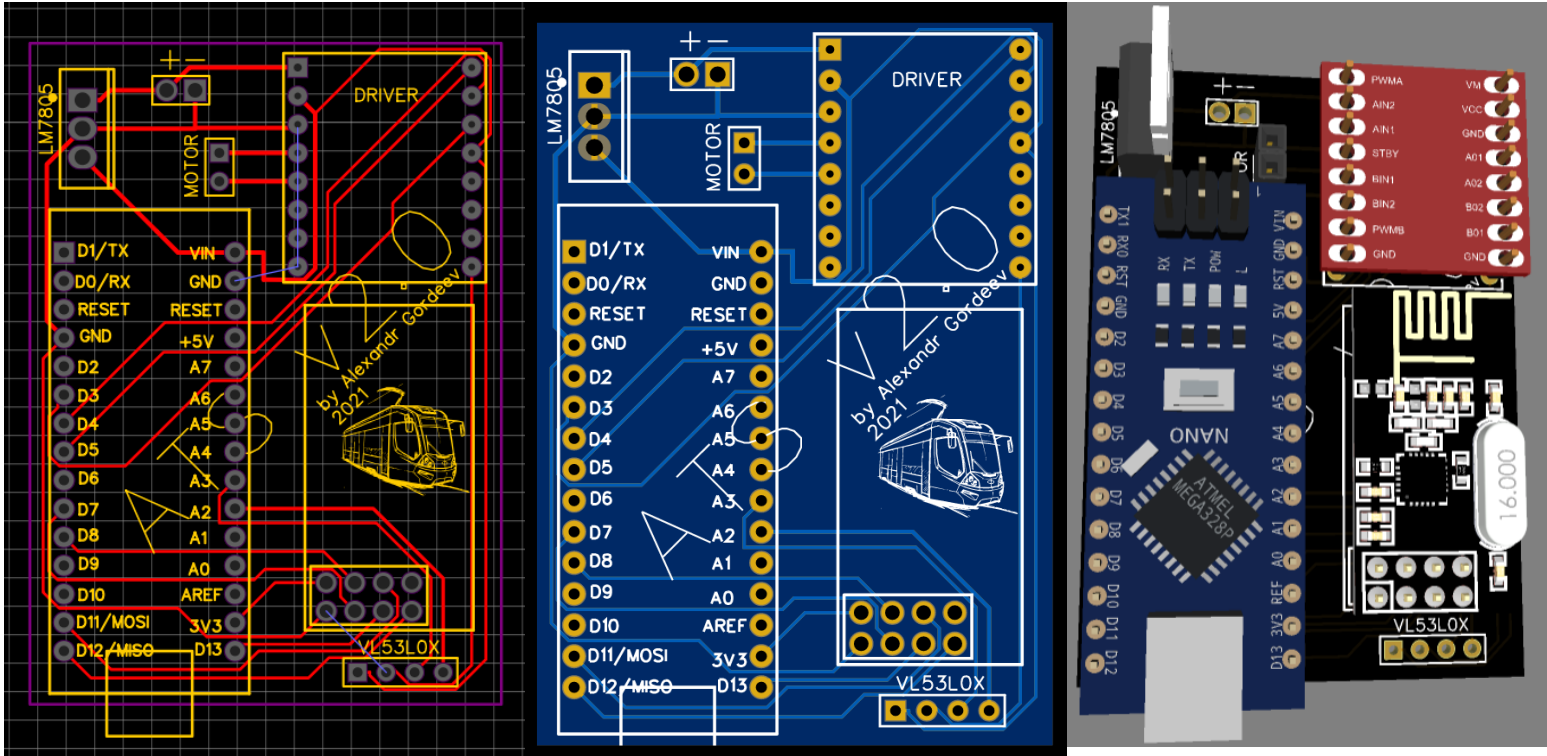
Приложение 8. Двухсекционный трамвай.



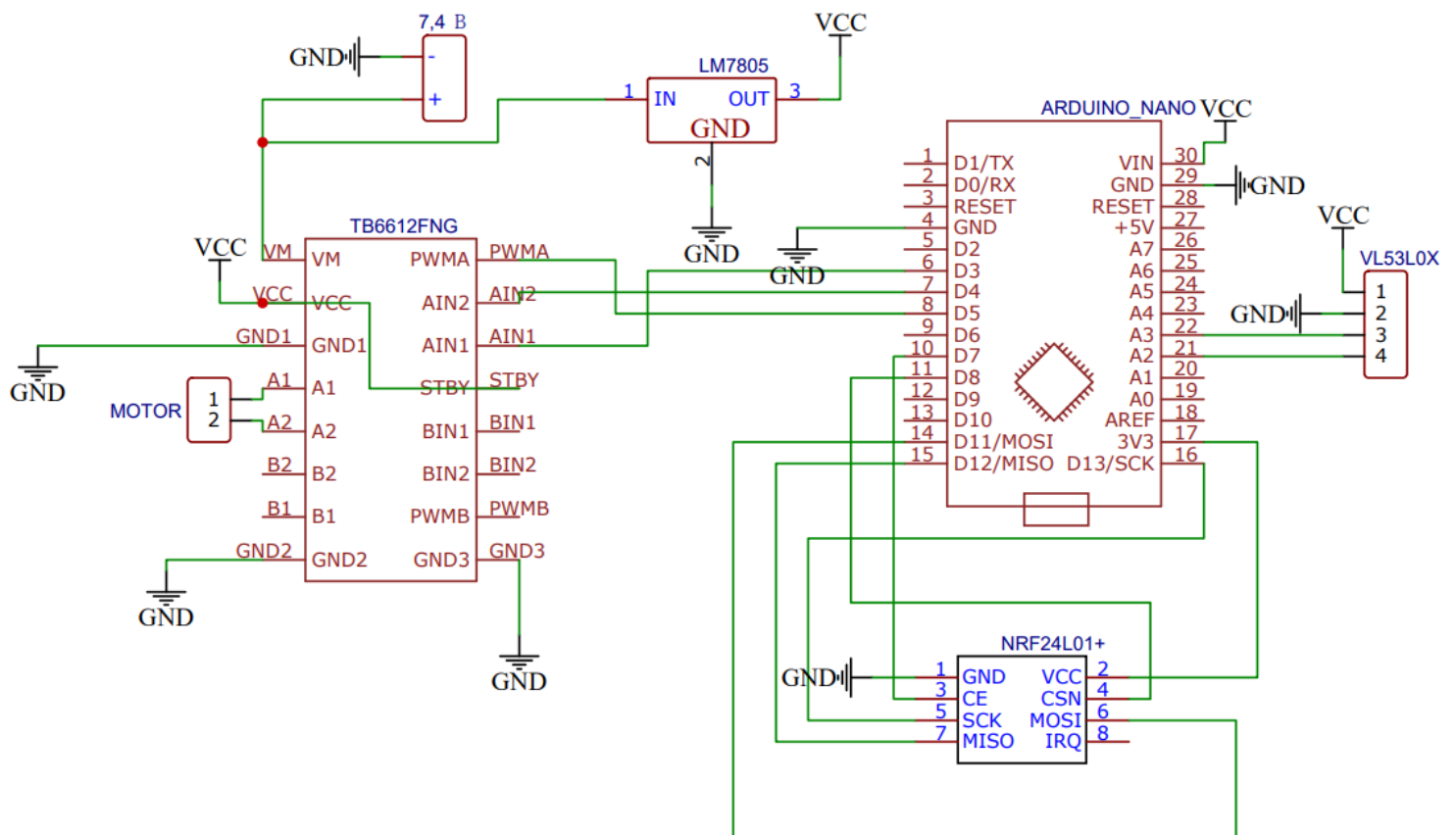
Приложение 9. Моторная тележка.



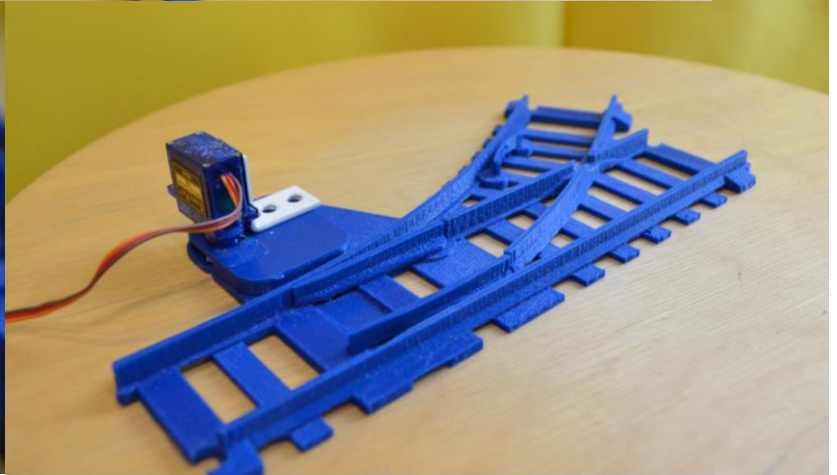
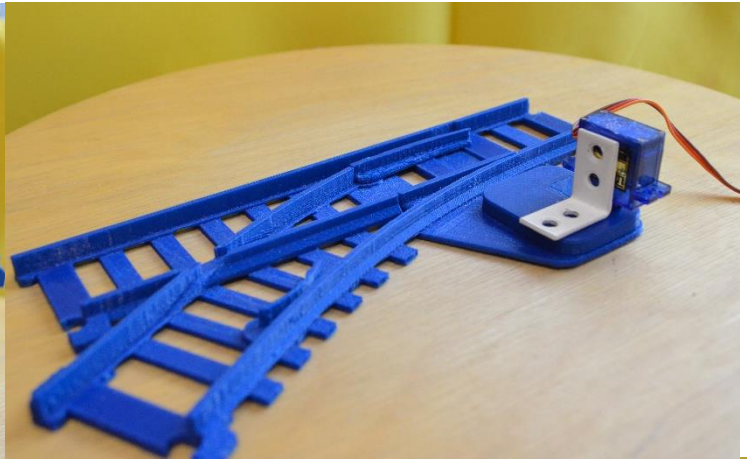
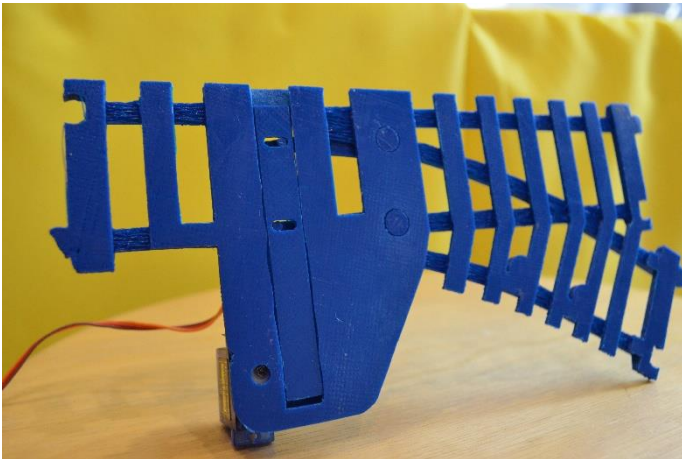
Приложение 10. Старая плата управления.



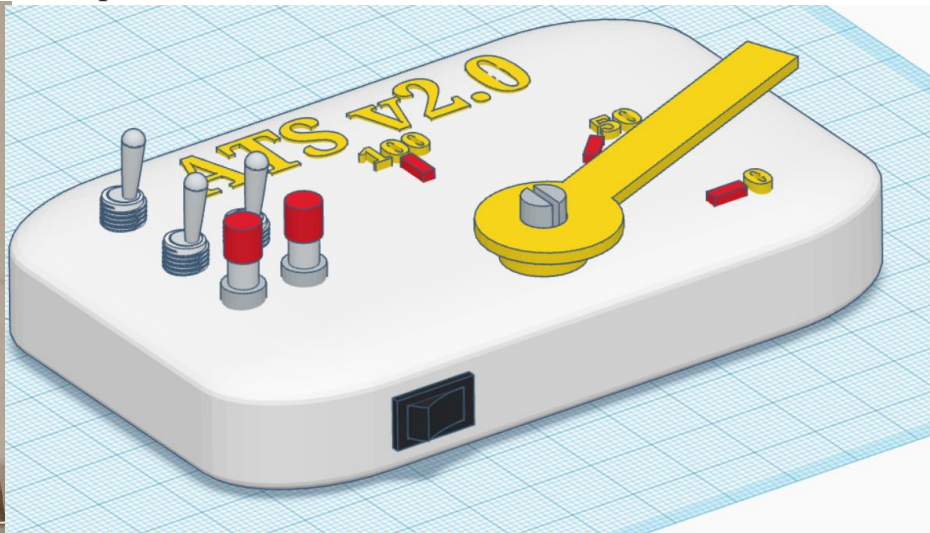
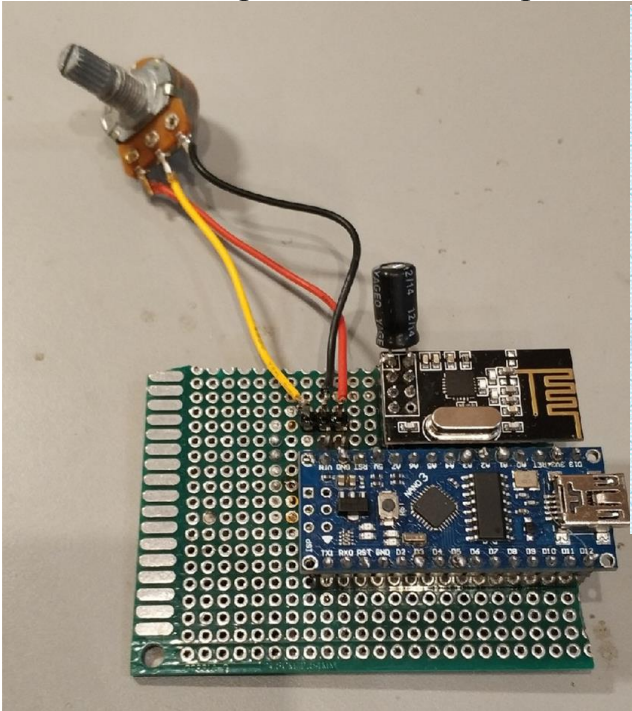
Приложение 11. Новая плата управления.

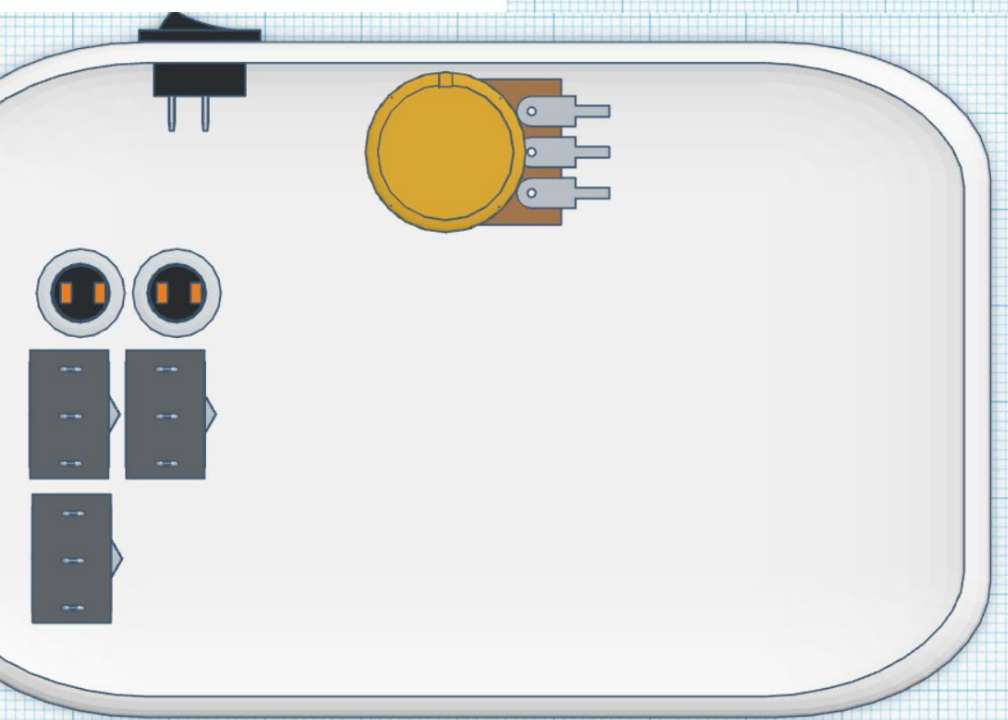
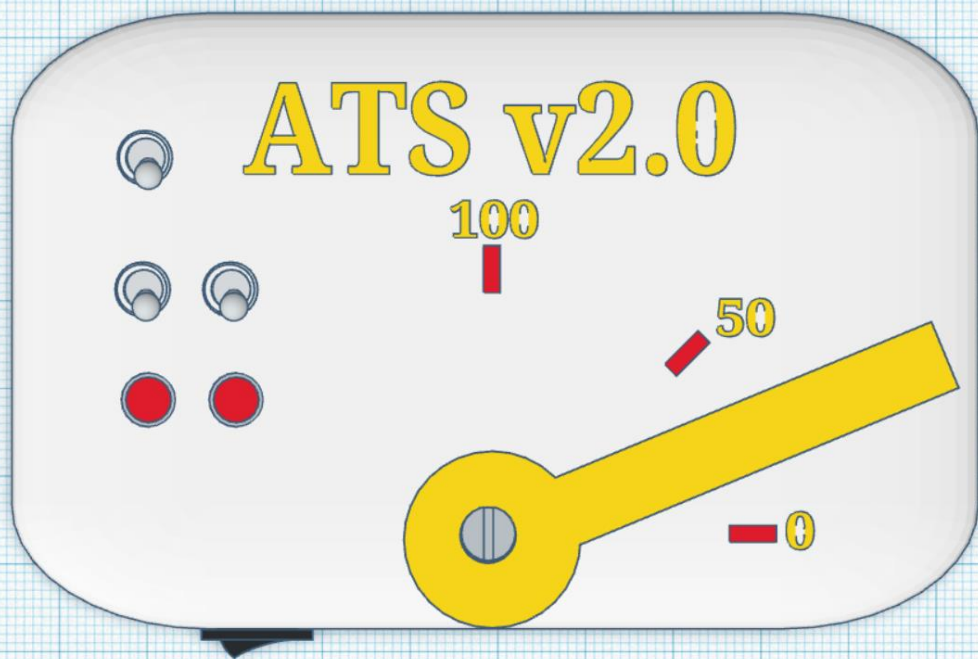
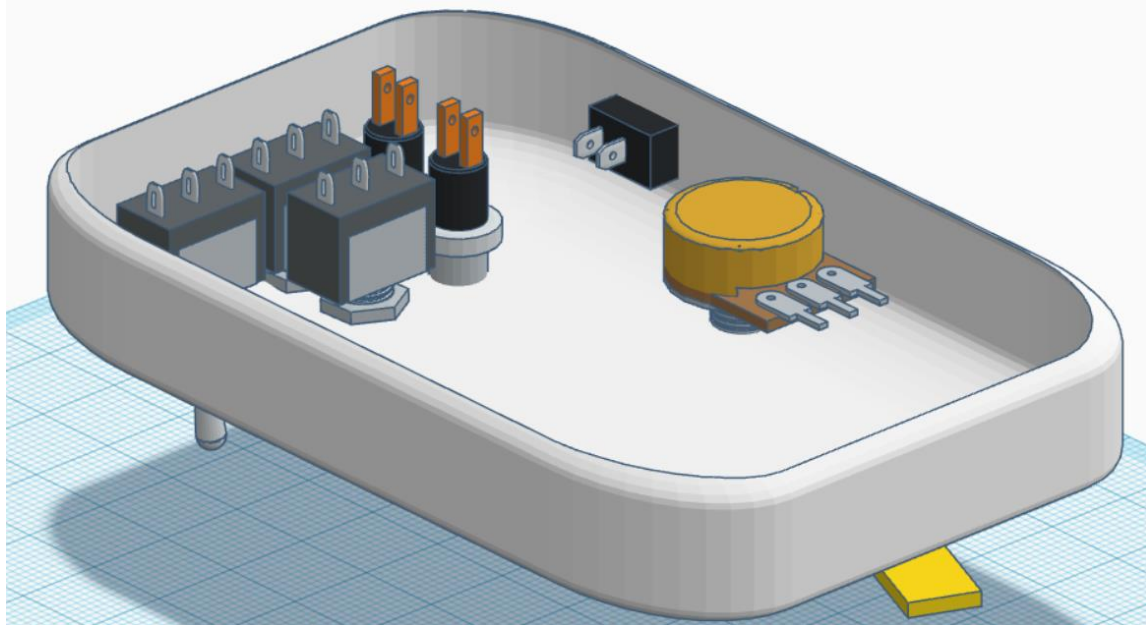


Приложение 12. Принципиальная схема.



Приложение 13. Стрелочный перевод.

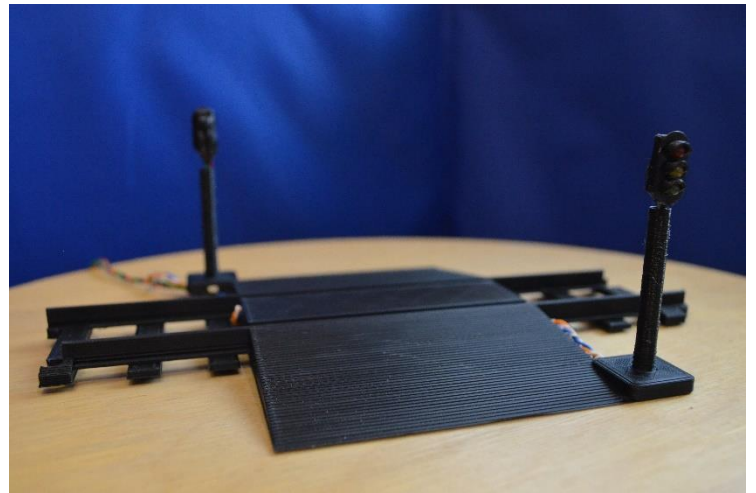




Приложение 14. Пульт ДУ.



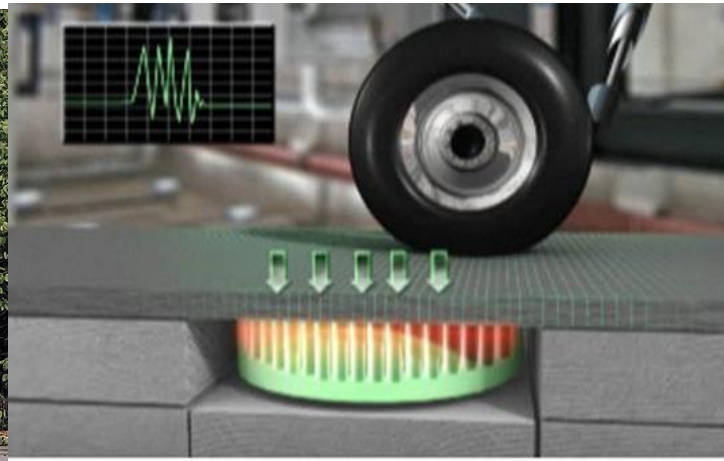
Приложение 15. Светофоры.



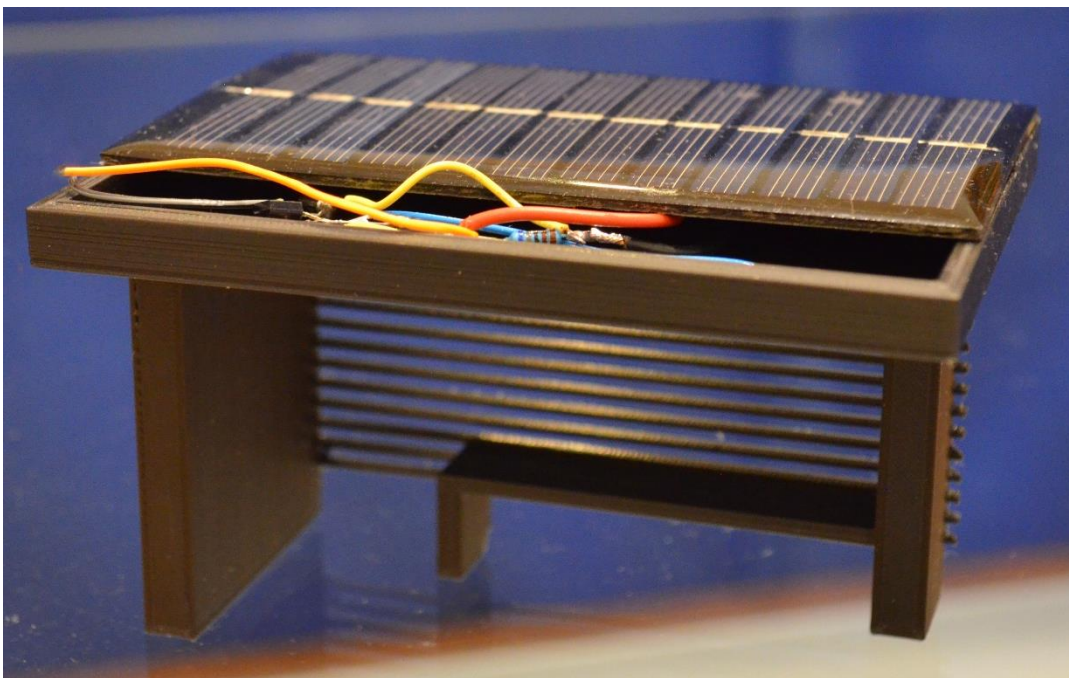
Приложение 16. Перекрёсток со светофорами



Приложение 17. Солнечные панели.



Приложение 18. Пьезоэлемент.



Приложение 19. Остановка на прототипе

```

#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.setVcslPulsePeriod(VL53L0X::VcslPeriodPreRange, 18);
  sensor.setVcslPulsePeriod(VL53L0X::VcslPeriodFinalRange, 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 20. Программный код для трамвая.

```

#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);//motor
}
else {
  joystick[0] = analogRead(A6);//motor
}
joystick[1] = !digitalRead(2);//knopka
joystick[2] = !digitalRead(4);//knopka stop
joystick[3] = digitalRead(6);//revers
radio.write( joystick, sizeof(joystick) ); }

```

Приложение 21. Программный код для пульта.

Наименование	Кол-во	Стоимость за 1шт	Всего
Изготовление плат	3шт.	150руб. + 50руб.(паяльная маска)	600руб.
Arduino Nano	2шт.	265руб.	530руб.
Драйвер двигателя TB6612FNG	1шт.	70руб.	70руб.
Двигатель	1шт.	50руб.	50руб.
Сервопривод SG-90	2шт.	150руб.	300руб.
Модуль беспроводной связи NRF24L01	2шт.	125руб.	250руб.
Аккумулятор	3шт. Li-Po 1шт. Li-Ion	300руб. 173руб.	900руб. 173руб.
Макетная плата	2шт.	50руб. 100 руб.	150руб.
Потенциометр	1шт.	25руб.	25руб.
Светодиоды	15шт.	3руб.	45руб.
Резисторы	4шт.	5руб.	20руб.
Затраты на печать			≈2000 руб.
Макетная плата Arduino Nano	1шт.	150руб.	150руб.
Лазерный дальномер VL53LOX	1шт.	450руб.	450руб.
Подшипники	20 шт.		500 руб.
			Всего:≈6213руб.

Приложение 22. Примерная стоимость проекта.

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

Трамвай (1 вагон, тара) – 20 000 кг.

+

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

||

Общая масса – 27 500 кг.

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

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

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 окупаемости НКЭ ~ 4 лет

Срок службы НКЭ – 25 лет

Если НКЭ установить на 50 аналогичных остановках



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

Приложение 23. Расчёт экономических показателей на примере трамвая Татра-Т3.

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://ru.wikipedia.org/wiki/Трамвай>

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