

**Областной конкурс проектной деятельности
детского технического творчества**

**КОНЦЕПТУАЛЬНЫЙ ПРОТОТИП ПЕРСПЕКТИВНОГО
ЭЛЕКТРОМОБИЛЯ «КУДРОВЕР-2»**

Номинация: Техническое конструирование и моделирование

Автор: Петров Даниил Вячеславович
МОБУ "СОШ "Центр образования "Кудрово"

Научный руководитель: Кадиев Сергей Магомедович

Введение

Актуальность. В настоящее время существуют блоки колес, в которых поворот колеса осуществляется электроприводом. Вместе с тем, такие блоки колес используются в транспортных и роботизированных платформах с невысокими эксплуатационными скоростями движения.

В серийных электромобилях используются механоузлы поворота колес. Электропривод поворота колеса при всех очевидных преимуществах не спешат использовать в конструкции электромобиля в первую очередь из соображений эксплуатационной безопасности.

Гипотеза: Для повышения эксплуатационной безопасности электромобиля в блоке колеса, построенного на использовании электропривода поворота колеса и мотор-колеса, необходимо использовать дублирование электроприводов для поворота колеса. Исходя из того, мотор-колесо само является электроприводом, его можно использоваться для поворота колеса путем управления его угловой скоростью. Для этого необходимо сместить ось вращения электропривода поворота колеса относительно плоскости вращения мотор-колеса.

Цель: Разработать, изготовить и исследовать прототип электромобиля на основе использования блока колеса с дублированным электроприводом поворота колеса, обладающего повышенной эксплуатационной безопасностью, в соответствии с инновационным решением, на которое получен патент РФ на изобретение №2764857.

Задачи: 1. Проанализировать текущее состояние проблемы использования блоков колес на электроприводах в конструкции электромобилей.

2. Разработать и изготовить инновационный опытно-экспериментальный прототип электромобиля «KudRover-2» на базе инновационного блока колеса с дублированием функции поворота колеса.

3. Исследовать принципы управления электромобилем с использованием дублированного способа поворота колес.

4. Определить проблемные вопросы эксплуатации электромобилей с использованием дублированного способа поворота колес и выработать рекомендации по их устранению и модернизации «KudRover-2».

Объект исследования: Электромобили на базе использования блоков колес с мотор-колесами и электроприводами поворота колёс.

Предмет исследования: Разработка и исследование опытно-экспериментального инновационного прототипа электромобиля «KudRover-2» на базе инновационного блока колеса с дублированием функции поворота колеса.

Метод исследования: Сравнение и Анализ – выявление существующих электромобилей с блоками поворота колес с использованием электроприводов поворота, определение их эксплуатационных недостатков.

Интуитивное моделирование – создание прототипа электромобиля «KudRover-2», свободного от недостатков, присущих аналогам.

Эксперимент – изготовление и прикладное исследование опытно-экспериментального прототипа электромобиля с блоками колеса с дублированием функции поворота колеса.

1 ГЛАВА. СУЩЕСТВУЮЩИЕ ЭЛЕКТРОМОБИЛИ С БЛОКАМИ КОЛЕС С ЭЛЕКТРОПРИВОДОМ ПОВОРОТА.

1.1 Идея построения электромобиля с использованием блоков колес, содержащих мотор-колеса, поворот которых осуществляется электроприводом, позволяет легко обеспечить полноприводность и уникальную манёвренность. Безусловно, конструкция перспективного электромобиля ближайшего будущего будет построена именно на использовании таких блоков колес.

Известен блок колес с электроприводом фирмы «Protean Electric Automotive Technology» [1], который предполагается использовать в перспективном электромобиле, разрабатываемом данной компанией [2]. Поворот колеса в данном блоке колес осуществляется исключительно с помощью электропривода поворота колеса, ось вращения которого расположена в плоскости вращения мотор-колеса.

По аналогичной схеме построен блок колеса, разработанный и запатентованный NASA [3]. Данный блок колеса используется в экспериментальном электромобиле NASA [4] (рис. 1, приложение 1), на котором отрабатывались принципы построения перспективной транспортной платформы и навыки управления ею.

Анализ существующих блоков колес, содержащих мотор-колесо, поворачиваемое с помощью электропривода, показывает их перспективность для использования в конструкции электромобиля, так как позволяет легко обеспечить полноприводность электромобиля (режим 4WD) и его уникальную манёвренность (режим 4WS), когда все колеса управляемые и электромобиль может разворачиваться на месте или двигаться перпендикулярно курсовому направлению.

Вместе с тем, поворот колеса осуществляется только одним электроприводом поворота колеса, и при его выходе из строя возможны катастрофические последствия, вероятность которых тем выше, чем выше скорость движения автомобиля. Это одна из причин, сдерживающих использование блока колес с электроприводами в конструкции серийных электромобилей.

В Детском инженеринговом центре «ЦО «Кудрово» (ДИЦ) был разработан и изготовлен электромобиль «KudRover-1», в котором блоки колес построены по традиционной схеме (рис. 2, приложение 1). При работе над электромобилем «KudRover-1» было найдено инновационное решение блока колеса, обладающего по сравнению с известными более высокой эксплуатационной безопасностью, признанное Роспатентом изобретением и на которое был получен патент РФ на изобретение [5] (приложение 2). Данное изобретение стало лауреатом премии ВОИР и вошло в сборник «Лучшие изобретения в интересах ОАО РЖД».

Инновационный блок колес, как и аналоги, содержит мотор-колесо и электропривод поворота колеса. Но в отличие от известных конструкций, ось вращения электропривода поворота колеса смещена относительно плоскости вращения мотор-колеса. Такая конструкция блока колеса позволяет осуществлять поворот колеса, как с помощью электропривода поворота, так и с помощью изменения угловой скорости мотор-колеса. Благодаря такому дублированию повышается эксплуатационная безопасность блока колеса, так как при выходе любого из управляющих электроприводов, а мотор-колесо в данном случае это тоже электропривод, оставшийся работоспособным электропривод, позволит безопасно завершить поездку [6].

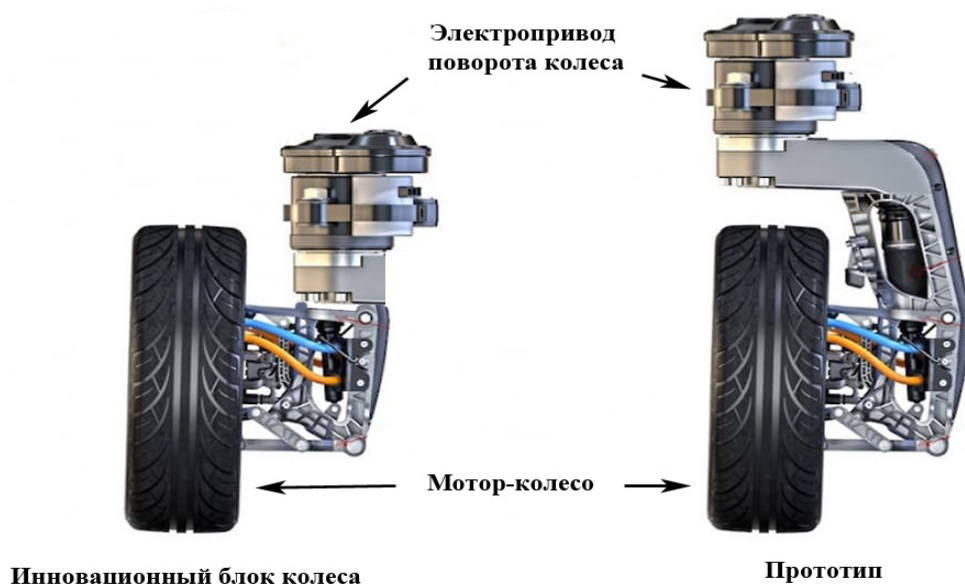


Рис. 1. Конструкционная схема инновационного блока колеса и прототипа

На рисунке 1 представлены конструкционные схемы блоков колес. Колесо у прототипа поворачивается по оси вращения привода поворота и изменение его угловой скорости по отношению к угловой скорости других колес приводит лишь к заносу. В

запатентованном блоке колес изменение угловой скорости по отношению угловой скорости других колес приводит к его повороту по курсу движения.

На рисунке 2, а показано положение мотор-колес при прямолинейном движении транспортной платформы, при котором угловые скорости мотор-колес Ω_1 и Ω_2 имеют равные значения. На рисунке 2, б представлен случай, когда от водителя поступила команда осуществить поворот влево. Бортовой компьютер ускоряет движение правого мотор-колеса, увеличив его угловую скорость Ω на $\Delta\Omega_1$, и замедляет движение левого мотор-колеса, уменьшив его угловую скорость Ω на $\Delta\Omega_2$, причем, в соответствии с принципом Аккермана [6] для устойчивого без проскальзывания прохождения поворота значение $\Delta\Omega_1$ будет меньше значения $\Delta\Omega_2$, так как правое мотор-колесо движется по большему радиусу поворота чем левое мотор-колесо, а значит должно быть повернуто на угол α_1 меньший чем угол поворота α_2 левого мотор-колеса. После того, как транспортное средство выйдет на курсовое направление, бортовой компьютер выдаст моторам-колёсам корректировки угловой скорости $\Delta\Omega_1$ и $\Delta\Omega_2$ обратного знака. Мотор-колёса вернуться в положение прямолинейного движения транспортного средства [7].

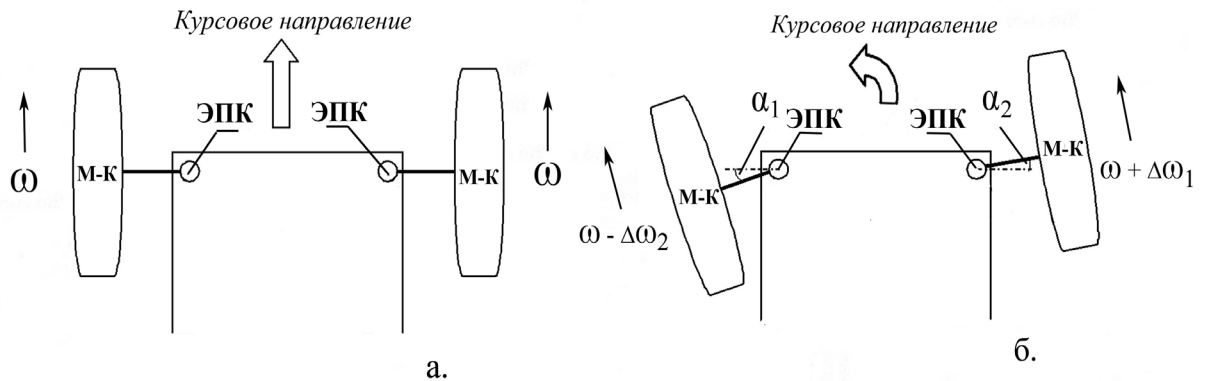


Рис. 2. Управление поворотом мотор-колес изменением их угловой скорости.

Вывод к 1 главе. Изучение существующих электромобилей, построенный на использовании блоков колес, содержащих мотор-колесо и электропривод поворота колеса, позволило выявить их главный недостаток, недостаточную эксплуатационную безопасность, и запатентовать ДИЦ инновационное решение блока колес, устраняющее присущий им недостаток. Разработка прототипа перспективного электромобиля «KudRover-2», обладающего повышенной эксплуатационной и функциональной безопасностью благодаря использованию патентованного блока колеса, исследование его эксплуатационных характеристик и его натурные испытания представляет инженерный и

научный интерес, и позволят изучить вопросы концепции электромобиля следующего поколения, электромобиля без механоузлов, управляемого компьютером.

2 ГЛАВА. РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ КОНЦЕПТУАЛЬНОГО ПРОТОТИПА ПЕРСПЕКТИВНОГО ЭЛЕКТРОМОБИЛЯ «КУДРОВЕР-2».

2.1 Структура конструкции прототипа перспективного электромобиля «Кудровер-2». Конструктивно «Кудровер-2» содержит: четыре блока колеса, представляющие собой мотор-колеса, установленные на электроприводы поворота колеса; центральный процессор, вырабатывающий управляющие сигналы в соответствии с командами водителя-оператора; микроконтроллеры, управляющие мотор-колесами и приводами поворота колес в соответствии с управляющими сигналами. Полная структурная электронная блок-схема «Кудровер-2» представлена на рисунке 1 приложения 4. Роль центрального процессора выполняет контроллер Arduino, который реализует алгоритмы управления электромобилем, отправляет команды и считывает состояние каждого колеса через вспомогательные контроллеры. На рисунке 2 приложения 4 представлена электронная блок-схема блока-колеса «Кудровер-2». Работу блока-колеса обеспечивают контроллер и преобразователь (RS-485 – TTL), они обрабатывают данные и передают их центральному процессору, обеспечивают управление режимами работы мотор-колёс, считывание положения от концевых выключателей, управляют шаговыми двигателями электропривода поворота колеса. Контроллер также передает энергию постоянного тока от аккумулятора к трехфазному двигателю мотор-колеса и шаговым двигателям.

2.2 Разработка и изготовление инновационного блока колеса. Первоначально конструкция инновационного блока колеса была разработана и изготовлена на базе использования опорных конических роликовых подшипников марки 30203. Исследования эксплуатационных характеристик данного блока колес на специально разработанном испытательном стенде по потребляемому току и под весовой нагрузкой показали возможность создания на его основе транспортной платформы весом до 150 килограмм (рис. 1, приложение 4) [8]. Однако, с учетом что разрабатываемый прототип электромобиля будет иметь вес до 25 килограмм, с целью исключения из конструкции дорогостоящих опорных подшипников, была разработана оригинальная конструкция сочленения мотор-колеса и электропривода поворота колеса, полностью изготовленная на 3D принтере Formlabs Form 3 из пластика PLA (рис. 2, а, приложение 4) [8]. Для формирования опорного подшипника были использованы шары для страйкбола (рис. 2, б, приложение 4). Были использованы шары «Azot Strike» диаметром 6 мм., весом 0,2 грамма, деформирующая нагрузка на один шар – более 8 килограмм.

2.3 Изготовление и компоновка прототипа перспективного электромобиля «Кудровер-2». Изготовление корпуса не являлось целевой задачей проекта, поэтому был приобретен кузов детского автомобиля. При длине в 110 сантиметров он пропорционально подходит к диаметру мотор-колес (25 см.), позволяя выполнить прототип электромобиля в масштабе 1:4. Для установки блоков колес на кузове была сформирована рамная конструкция из металлопрофиля, состоящая из продольных направляющих с поперечными балками, на которые установлены блоки колес (рис. 1, а, в, приложение 5). Драйвера и микроконтроллеры были интегрировано размещены в радиаторной нише (рис. 1, б, приложение 5), в кормовой и подкапотной нише (рис. 1, г, приложение 5). Монтаж электронной схемы навесной с использованием клеммного соединения (рис. 1, г, приложение 5).

В конструкции «Кудровер-2» были использованы: в качестве ходовых мотор-колес – мотор-колеса от гироскутера Smart Balance Pro 10 диаметром 10,5 дюймов, управление мотор-колесом осуществляется микроконтроллером Maxon motor DECV 50/5, 4-Q-EC 50 В / 5 А; в качестве электропривода поворота колес - шаговый двигатель SUMTOR 57HS7630A6D8, управление электроприводом поворота колес осуществляется микроконтроллером 2H Microstep Driver DM542. Расстояние от оси вращения привода поворота колеса до плоскости вращения мотор-колеса 50 мм. Центральный процессор выполнен на базе платы Arduino Due с 32-битным микроконтроллером Atmel SAM3X8E и ARM-процессором на основе ядра ARM Cortex-M3. В качестве концевиков использованы кнопочные выключатели без фиксации. Автономное электропитание электромобиля «Кудровер-2» обеспечивают сдвоенные аккумуляторные батареи Li-ion 4400 mAh (158 Вт*ч) 36V.

2.4 Испытание прототипа перспективного электромобиля «Кудровер-2». «Кудровер-2» прошел испытания в режиме «программируемый дрон», когда прямое управление оператора отсутствовало, а прототип электромобиля осуществлял маневры по специально написанным программам движения. Были проверены следующие маневры: «диагональный ход» - все колеса из нулевого (по курсу) положения поворачиваются на заданный угол, и прототип едет на заданное расстояние (рис. 1, а, приложение 6); «разворот на месте» - все колеса из нулевого положения поворачиваются на угол 45° относительно центра масс платформы, и прототип вращается на месте вокруг собственной оси (рис. 1, б, приложение 6); «боковая парковка» - все колеса из нулевого положения поворачиваются на угол 90°; и прототип едет на заданное расстояние (рис. 1, в, г приложение 6). Во всех вариантах маневров поворот колес осуществлялся как с помощью электроприводов поворота колес, так и с помощью прокатки мотор-колес. Управляющая

программа поездки прототипа по точкам с разворотом в точках на угол 90° представлена в приложении 7.

2.5 Результаты исследований прототипа перспективного электромобиля «Кудровер-2». Комплекс проведенных исследований экспериментального электромобиля «Кудровер-2» позволил сделать ряд важных рекомендаций по его эксплуатации и дальнейшему усовершенствованию:

- Поскольку номинальный ток аккумуляторной батареи 15А, а потребление одного блока колеса на рабочих режимах до 4А (приложение 8, графики взяты из [8]), установить второй аккумулятор.

- В настоящей модификации прототипа угол поворота колеса определяется углом одного шага шагового двигателя ($1,8^\circ$). Для более прецизионного позиционирования углов установить на блоки колес энкодеры.

- У электромобиля «Кудровер-2» при повороте колес меняется опорная площадь, что меняет устойчивость платформы, особенно при маневре «боковая парковка» (рис. 1, в, г приложение 6). Рекомендовать для данного маневра разворот колес, представленный на рисунке 1, в.

- Доработать настоящую модификацию прототипа системой дистанционного управления.

- Учитывая, что прототип перспективного электромобиля «Кудровер-2» ездит отличным от сегодняшних автомобилей образом, продумать эргономичный орган управления, позволяющий управлять одной рукой. В том числе вариант управления через приложение смартфона.

Выводы ко 2 главе.

1. Изготовление и исследование запатентованного МОБУ «СОШ «ЦО «Кудрово» прототипа перспективного электромобиля «Кудровер-2», обеспечивающего повышенную по сравнению с аналогами эксплуатационную безопасность электромобиля за счет дублирования способов и электроприводов поворота колеса, подтвердило воспроизводимость и работоспособность заявленного в патенте на изобретение принципа построения транспортной платформы.

2. Испытания электромобиля «Кудровер-2» подтвердили, что запатентованный принцип поворота колеса за счет изменения угловой скорости мотор-колеса реализуем и обеспечивает функциональное дублирование электропривода поворота колеса.

3. При управлении электромобилем «KudRover-2» наиболее серьезной проблемой представляется создание корректной математической модели динамического управления всеми электроприводами поворота колес и угловыми скоростями всех мотор-

колес в соответствии с принципом Аккермана, по которой будет построен алгоритм для программирования микроконтроллеров.

Заключение.

Не вызывает сомнений, что электромобиль ближайшего будущего будет всё более электрическим и электронным. Это означает, что он будет построен на отказе от механоузлов рулевого управления и трансмиссии, с максимальным использованием электроприводов управляемых бортовым компьютером. Инновационное решение блока колёс, разработанное в Детском инжиниринговом центре «Центр образования «Кудрово», предполагает дублирование способов поворота колеса, что по сравнению с известными блоками колёс обеспечивает повышенную эксплуатационную безопасность.

Все заявленные в патенте РФ на изобретение «Полноприводная транспортная платформа с электроприводом поворота колес и регулируемой колеёй» характеристики и преимущества по сравнению с аналогами подтверждены разработкой и исследованием прототипа перспективного электромобиля «Кудровер-2».

В ближайшей перспективе в Детском инжиниринговом центре «ЦО «Кудрово» на базе разработанного блока колеса предполагается продолжить работу над усовершенствованием экспериментального электромобиля «Кудровер-2» и проведением более углубленных исследований его эксплуатационных характеристик.

Цели и задачи проекта на данном этапе работа над прототипом перспективного электромобиля достигнуты в полной мере, в соответствии как с производственными и технологическими возможностями нашей школы, так и с моими личными.

Список литературы

1. Protean-360+ Fact Sheet. [Электронный ресурс]. // Веб-сайт фирмы «Protean Electric Automotive Technology» - Режим доступа: - <https://www.proteanelectric.com/f/2019/07/Protean-360-Fact-Sheet-ENG-160719.pdf> - (дата обращения 10.09.2021).
2. Protean Electric develops 360 degree steering wheel concept [Электронный ресурс]. // YouTube – Режим доступа: - <https://youtu.be/LWOFTbqJtzI> - (дата обращения 10.09.2021).
3. Патент США Patent Title: Modular robotic vehicle; Patent Number: 9,085,302; B60V I/00, B60/30/18; Date of Patent: Jul. 21, 2015).
4. NASA JSC Engineering Modular Robotic Vehicle (MRV) [Электронный ресурс]. // YouTube – Режим доступа: - https://www.youtube.com/watch?v=-l_mJzvV_6o - (дата обращения 10.09.2021).
5. Патент РФ на изобретение «Полноприводная транспортная платформа с электроприводом поворота колес и регулируемой колеёй» RU № 2764857 от 22.03.2021, МПК G05D 1/02, B62D 9/00, B60G 17/015, B60G 21/10.
6. Шмаров В.А. - Полноприводная транспортная платформа с электроприводом поворота колес и регулируемой колеёй. Шаг в будущее: Научные труды молодых исследователей программы «Шаг в будущее». Том 15. – Мурманск, 2021. – 57 с.
7. Принцип Аккермана в рулевом управлении [Электронный ресурс]. // Веб-портал «RC-AUTO» - Режим доступа: - http://www.rc-auto.ru/articles_tuning/id/445/ - (дата обращения 10.09.2021).
8. Петров Д.В. - Изготовление и исследование инновационного блока колеса перспективного электромобиля. Международная научно-технологическая выставка «Шаг в будущее». Инженерные науки: Техника и инженерное дело. – Москва, МГТУ им. Баумана, 2023.



Рис. 1. Экспериментальный электромобиль NASA



Рис. 2. Электромобиль «KudRover-1», созданный в Детском инженеринговом центре «ЦО «Кудрово»



Рис.1. Транспортная платформа, запатентованная Детским инжиниринговым центром «ЦО «Кудрово»

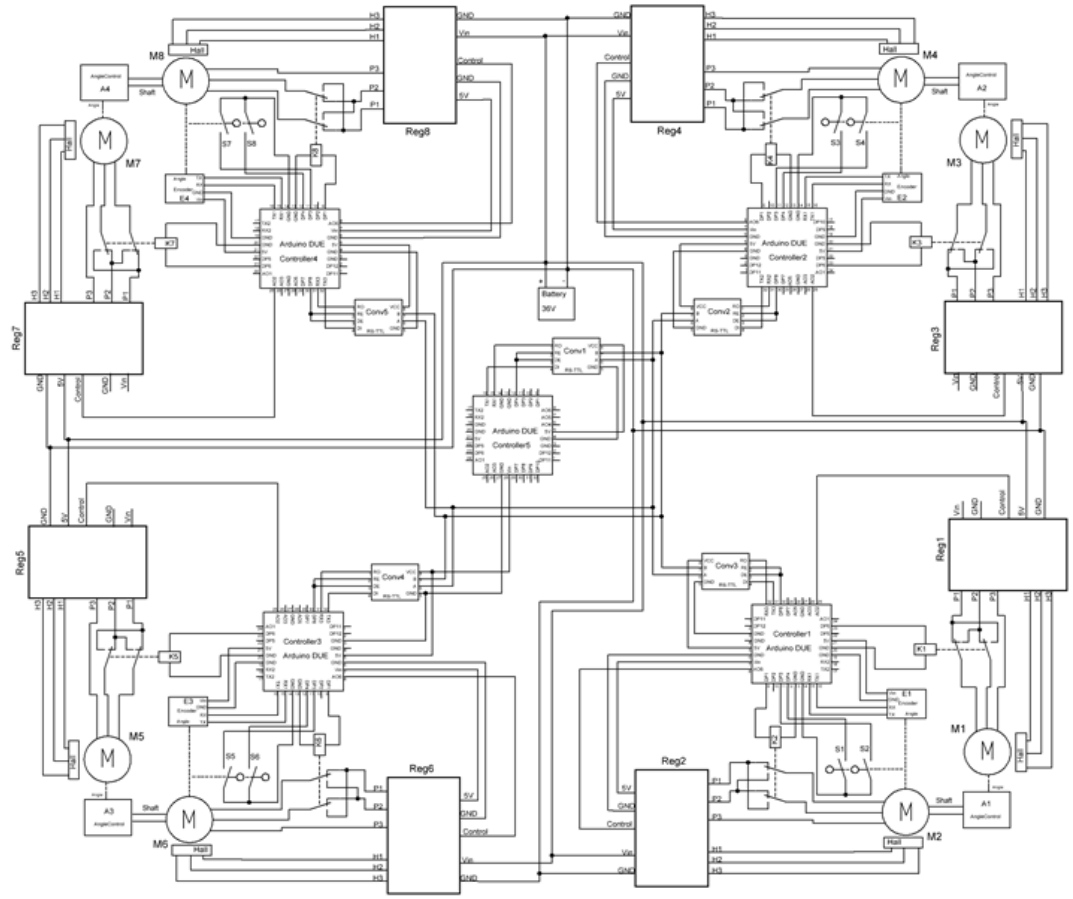


Рис. 1. Полная структурная электронная блок-схема электромобиля «Кудровер-2».

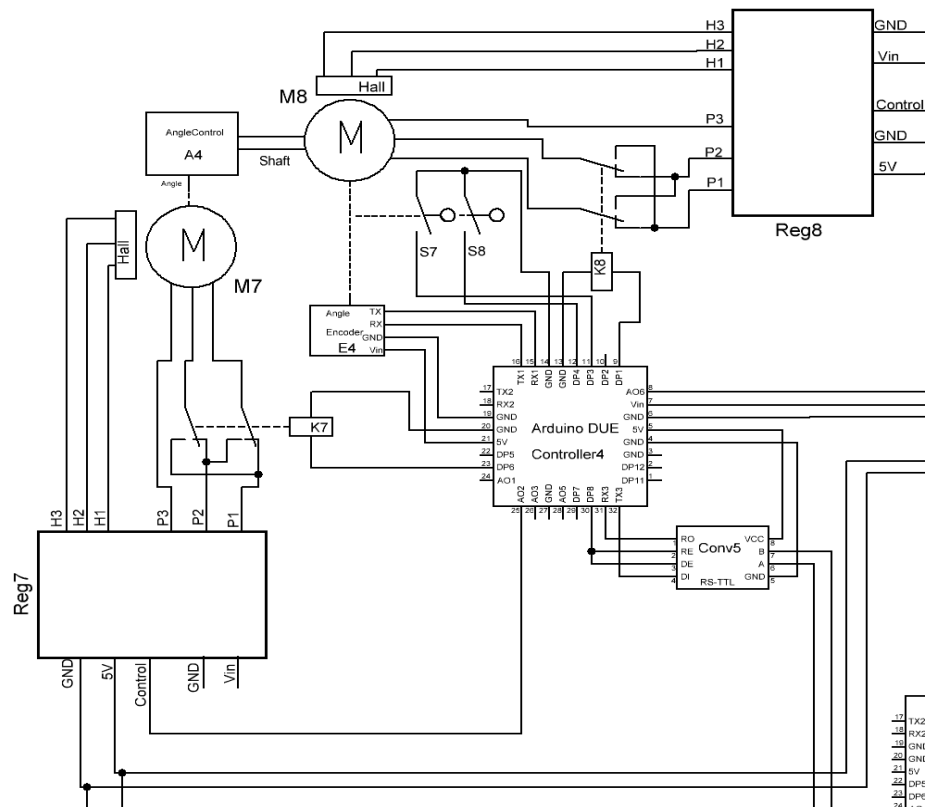


Рис. 2. Электронная блок-схема блока-колеса электромобиля «Кудровер-2».

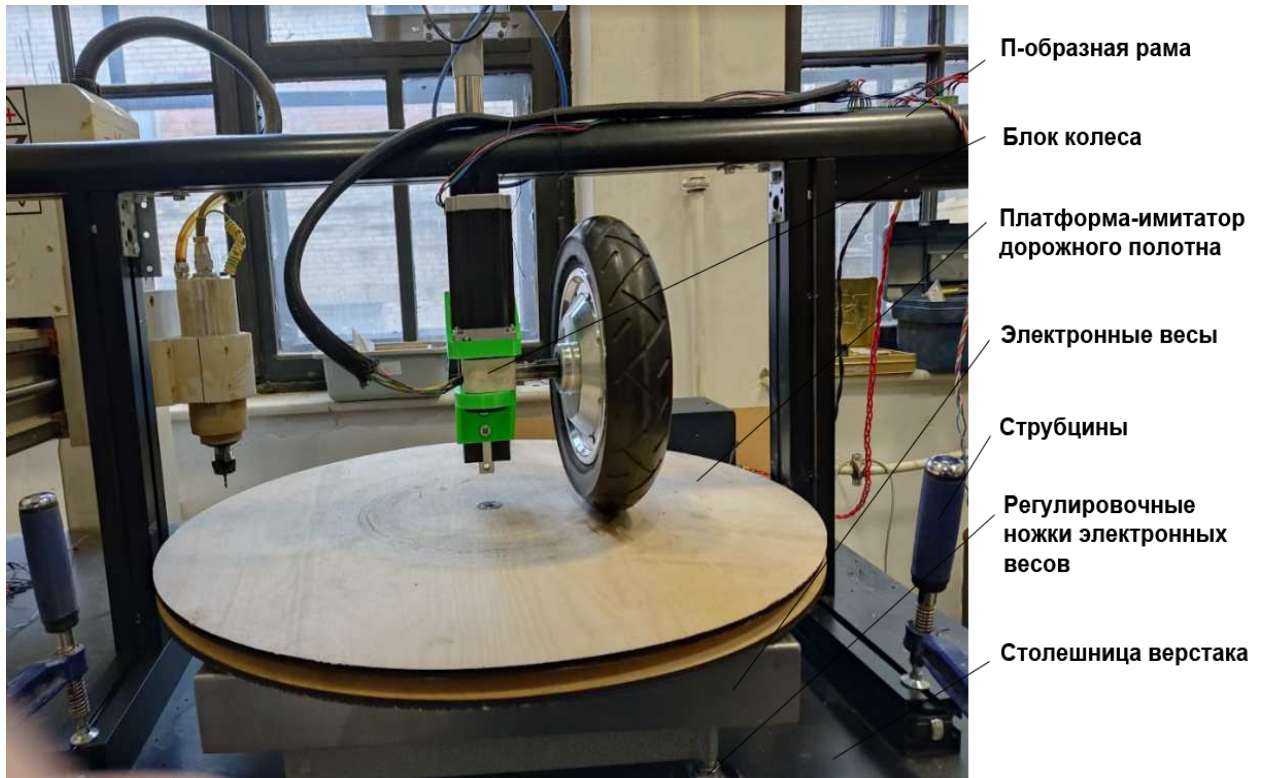


Рис. 1. Первый вариант инновационного блока колёса на испытательном стенде.



а.

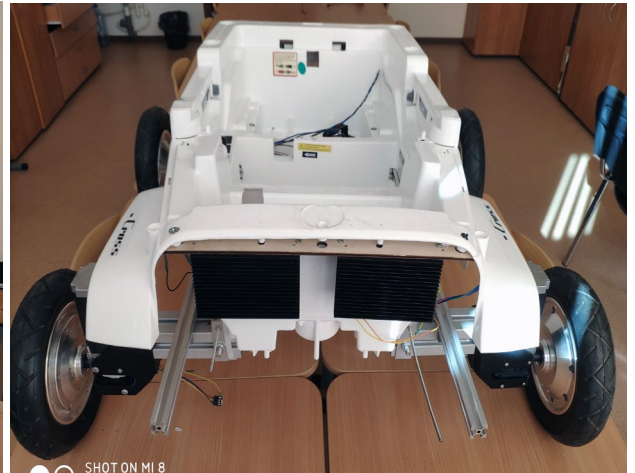


б.

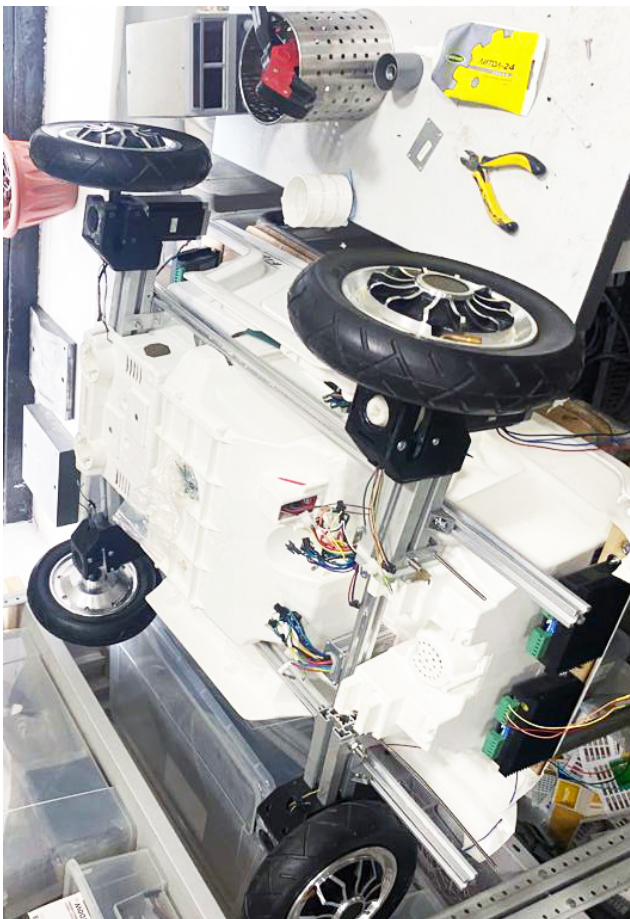
Рис. 2. Второй вариант инновационного блока колёса (а) и детализовка его конструкции (б).



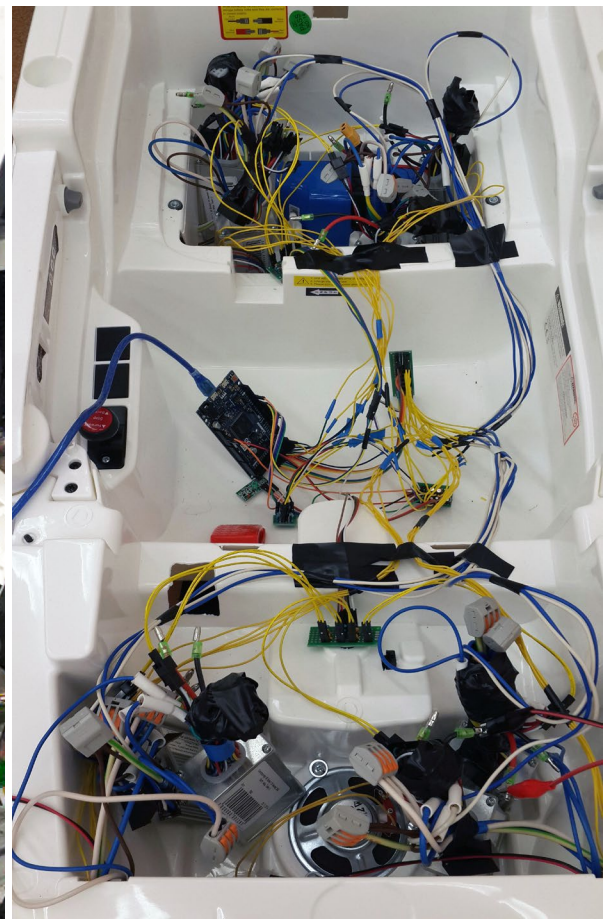
а.



б.



в.



г.

Рис. 1. Компоновка электромобиля «Кудровер-2».

**а.****б.****в.****г.**

Рис. 1. Нетривиальные маневры прототипа перспективного электромобиля «Кудровер-2».

Программа выполнения маневра поездка по точкам с «разворотом на месте»

```
//подключение библиотеки <Kudrover.h>
#include <Kudrover.h>

//подключаем класс блок колеса указывая пины подключения шагового двигателя и мотор-
колёса
// шаг/двиг:  en, dir, pul, м/к speed, cur , lin
WheelBlock wheels(6, 5, 3, 2, 3, 12);

void setup() {
  //устанавливаем начальную скорость движения электромобиля
  wheels.Speed(0);

  //выставляем начально положение колёс
  wheels.Position(0);

  //выставляем скорость движения электромобиля
  wheels.Speed(10); //скорось 10 км/ч

  //назначаем простое движение по кругу
  //указываем кол-во секунд движения
  wheels.Straight(5); //движение вперёд
  wheels.UturnOnTheSpotRigth(5); //разворот на месте в правую сторону
  wheels.Straight(5);
  wheels.UturnOnTheSpotRigth(5);
  wheels.Straight(5);
}

void loop() {
}
```

График зависимости потребляемого тока от весовой нагрузки и расстояния смещения L
(при повороте колеса на угол 15° ; на скорости 10 км/час)

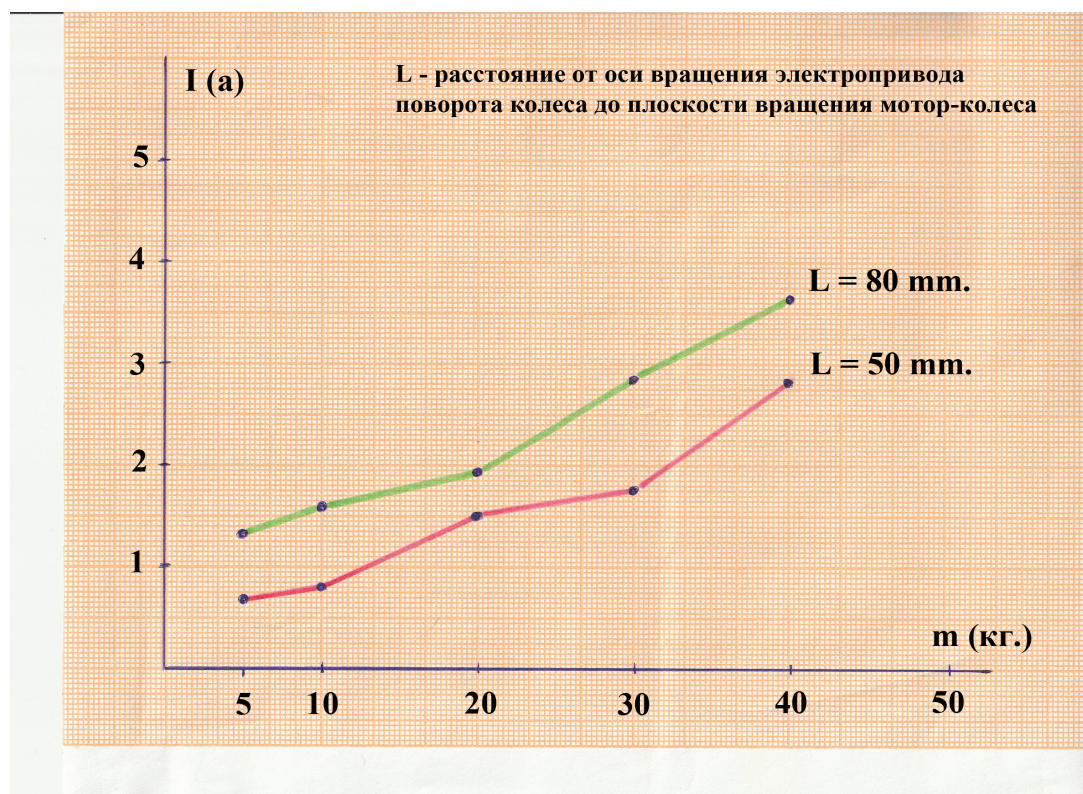


График зависимости потребляемого тока от весовой нагрузки и скорости движения (при $L = 50$ мм.)

