

**ЕЖЕГОДНЫЙ ВСЕРОССИЙСКИЙ КОНКУРС ДОСТИЖЕНИЙ
ТАЛАНТЛИВОЙ МОЛОДЁЖИ
«НАЦИОНАЛЬНОЕ ДОСТОЯНИЕ РОССИИ»**

Направление:
Физика

Тема: «Эволюционная электрификация автомобильного транспорта»

Соискатель: Воробьев Данила Олегович , 2 курс

Соискатель: Грубый Егор Владимирович, 2 курс

Научный руководитель: Бородина Елена Анатольевна

Место выполнения работы: «Политех «Лыткарино» (филиал) ФГБПОУ
«Подмосковный политехнический колледж», го. Лыткарино, Московская
область, Россия uni.lpgk@gmail.com

Оглавление

Введение.....	3
Двигатель внутреннего сгорания.....	4
Электромобиль.....	4
История создания первого гибридного автомобиля.....	5
Гибридные машины.....	6
Типы гибридных автомобилей и принцип их работы.....	6
Электродвигатель.....	9
Типы электродвигателей.....	9
Синхронные двигатели.....	9
Асинхронные двигатели.....	10
Устройство и принцип работы трансформатора.....	11
Аккумуляторы.....	12
Утилизация аккумуляторов.....	13
Электрическая дорога – e-road.....	14
Индукционная дорога.....	15
Экономическая часть проекта.....	16
Путешествие из Москвы в Санкт-Петербург.....	17
Расчет электрогенерирующих мощностей для использования электромобилей.....	18
Выводы.....	19
Заключение.....	19
Литература и Интернет-ресурсы.....	20
Приложение.....	21

Введение

Электрификация автомобильного транспорта является растущим трендом в мире, обусловленным экологическими, экономическими и технологическими факторами.

Одной из причин перехода на электротранспорт является *проблема* в уменьшении роста добычи нефти из-за отсутствия новых месторождений, несмотря на сохраняющийся рост мирового энергопотребления и рост спроса на нефть, как на сырьё для химической промышленности. В результате доля нефти в энергетическом балансе снижается, на ее место приходят другие источники энергии. И форма этой новой энергии - электрическая.

Вторая *проблема* заключается в том, что современная промышленность направлена на массовое производство вещей, что делает их дешёвыми и качественными, поэтому мировая (глобальная) экономика не будет для одних стран производить бензиновые машины, а для других стран, где уровень благосостояния достаточно высок, производить электромобили. Это дорого, так как это две параллельные технологии.

Поэтому электрификация автомобильного транспорта является неизбежностью несмотря на то, что сегодня большая часть перевозок людей и грузов по суше осуществляется автомобильным транспортом, которые работают на двигателях внутреннего сгорания, в будущем транспорт перейдёт на электротягу.

Для плавного перехода от бензиновых автомобилей к электромобилям необходимо вначале перейти на последовательные гибриды, преобразовать существующую инфраструктуру: переделать заправочные станции в места подзарядки аккумуляторов, нужно решить проблему производства, использования и утилизации аккумуляторных батарей, подготовить технических специалистов, обеспечивающих функционирование современной автотранспортной отрасли и создать индукционные дороги. По мере развития технологий и совершенствования инфраструктуры электрические автомобили станут все более привлекательным вариантом для потребителей.

Цель: разработать концепцию перехода на электрический транспорт с применением электроиндукционных дорог и электробензиновых гибридов.

Задачи проекта:

1. изучить технологии работы ДВС и электромотора;
2. изучить технологию гибридных автомобилей, их виды;
3. изучить явление электромагнитной индукции;
4. изучить технологию работы трансформатора;
5. определить влияние частоты переменного электрического тока на распространение электромагнитной энергии в пространстве;
6. разработать концепцию автомобиля - последовательного гибрида на основе существующих бензиновых автомобилей;
7. разработать концепцию электроиндукционной дороги.

Двигатель внутреннего сгорания

Первый работоспособный двигатель внутреннего сгорания (ДВС) изобрел французский изобретатель Этвен Ленуар в 1860 году. Однако этот агрегат был несовершенен и не мог быть использован на практике. В 1862 году бельгийский изобретатель А. Бо де Роша предложил четырехтактный цикл работы ДВС: всасывание, сжатие, горение и расширение, выхлоп (рис. 1). Изначально ДВС был разработан под газовое топливо. Первый успешный ДВС создал немецкий изобретатель Николаус Отто в 1876 году. Он использовал смесь бензина и воздуха для движения поршня.

Существует несколько факторов, которые привели к распространению ДВС 150 лет назад:

- открытие «неисчерпаемого» источника энергии - нефти, которая была достаточно дешёвой, поэтому начались разработки конструкций под её фракции: бензин и дизельное топливо, но на нефтяные цены, которые постоянно менялись с 1859, постоянно оказывали влияние политические события, войны, экономический рост и новые технологии [Приложение 1];
- удобство хранения жидкого топлива по сравнению с газом и автоматизация подачи в двигатель по сравнению с углём;
- умение работать на разных видах топлива;
- эволюция двигателя из года в год [Приложение 2].

Сегодня существуют различные модификации ДВС, которые позволили создать не существовавшие до этого виды транспорта: автомобиль, мотоцикл, теплоход, тепловоз, винтовой и реактивный самолеты, вертолет, ракету, космический корабль.

Нефть, используемая для производства бензина, является энергетическим источником современных экономик и государств. Нефть и все другие ископаемые виды топлива по своей природе являются исчерпаемыми природными ресурсами. Слишком глубокие залежи требуют больших затрат для извлечения сырья, что повышает его себестоимость. Значит, пришло время искать альтернативные источники энергии для транспорта [1,2,3,4,5,6,7,8,9,10]



Рисунок 1 Принцип работы четырехтактного двигателя

Электромобиль

Электромобили – один из важнейших технологических трендов, одним из главных идеологов развития и массового использования этого вида автотранспорта является политик, шоумен, маркетолог, инвестор и предприниматель Илон Маск. Многие называют электрокары спасителями городской экологии и экономики, и все больше компаний инвестируют в их развитие. Но мало кто знает, что электромобиль был изобретен в позапрошлом веке.

Первый электромобиль появился раньше ДВС – это была тележка с электромотором, созданная в 1841 году (рис. 2). Первой компанией, которая начала массово выпускать электромобили в 1907 году, была Detroit Electric. Основателями были Томас Эдисон, Джон Рокфеллер и Генри Форд. Но автомобили с ДВС сильно подешевели, массовая добыча нефти снизили продажи электромобилей, и компания закрылась [11].

Первые электромобили работали на сернокислотных аккумуляторах. Современные электромобили работают от намного более совершенных источников питания.

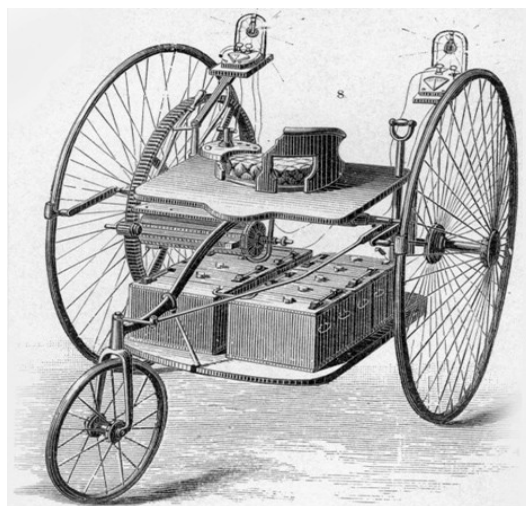


Рисунок 2 Тележка с электромотором (1841 г.)

История создания первого гибридного автомобиля

Первый гибридный автомобиль создал Фердинанд Порше - в 1899 году (рис.3). Трудясь в компании Lohner, он получил задание на разработку электрокара. Но мощности двух электромоторов на 2,5 лошадиных силы будущей легенде индустрии показалось мало, так что он

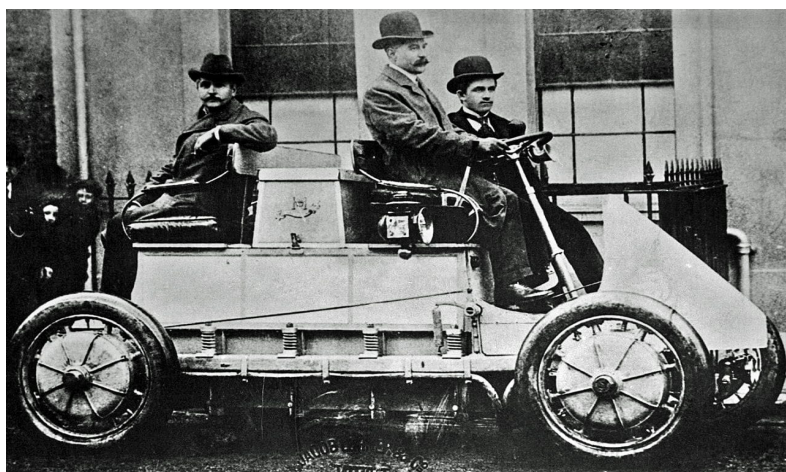


Рисунок 3 Первый гибридный автомобиль

добавил к ним в помощники еще и ДВС. Так в 1900-м на выставке в Париже публике представили Lohner-Porsche, и автомобиль имел успех, но недолгий.

Компания впоследствии выпускала немало похожих гибридов самой разной направленности - включая грузовики и автобусы. Однако век их оказался короток. Пришел Генри Форд и его «Модель Т», и покупатели сделали выбор - в пользу более простых, но и куда более дешевых (а заодно - удобных в обслуживании и ремонте) автомобилей с ДВС. Про гибриды забыли без малого на целый век.

Только в конце XX века мир снова обратил внимание на электромобили. В 1996 году General Motors начал выпуск машин EV1 (рис.3). Однако в 2002 году все автомобили на электрической тяге были отозваны у владельцев и уничтожены – ни нефтяным компаниям, ни государству, ни автомобильным компаниям не нужен был расцвет электромобилей.

В конце XX века переход от автомобиля с ДВС к электромобилю был крайне неэкономичен. Электромобили оказались дороже, недостаточно автономны и не были решены проблемы с их утилизацией. Поэтому появилась идея создания гибрида: автомобиль, который использует и бензин, и электричество.

Первые образцы гибридных автомобилей появились в самом начале XX века, однако их массовое производство стартовало лишь в конце 1990-х годов – тогда в серию была запущена Toyota Prius первого поколения. Сейчас гибридные модификации своих моделей выпускают все крупные автопроизводители.

Гибридные машины

Гибридные машины – это переходный этап между машинами с традиционными ДВС и полноценными электромобилями [Приложение 3]. В конструкции современных гибридных авто одновременно используются как ДВС, так и электромотор в паре с небольшим блоком специальных аккумуляторов (рис. 4), которые могут передвигаться как на электротяге, так и за счёт двигателей, работающих на обычном топливе.

Но гибридный автомобиль должен быть только электромобилем, а ДВС всего лишь вспомогательным агрегатом с малой мощностью при разрядке аккумуляторных батарей на переходный этап, пока не решен вопрос автономного обеспечения электричеством электроавтомобиля, требуется источник энергии, обеспечивающий подвижность автомобиля [13].

В таблице 1 представлены сравнительные характеристики автомобилей с ДВС, гибридов и электромобилей. Технические характеристики электромобилей по многим параметрам выше, чем автомобилей с ДВС и гибридов [12].

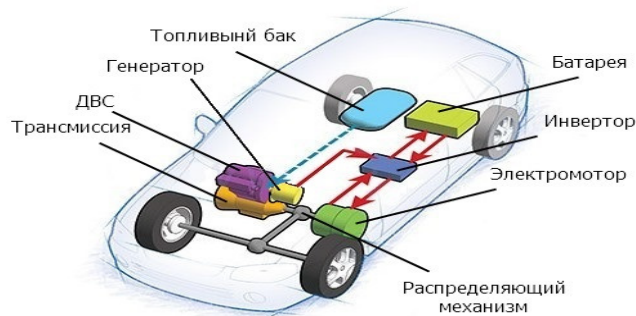


Рисунок 4 Устройство гибридного автомобиля

Таблица 1 Сравнительные характеристики автомобилей с ДВС, гибридов и электромобилей

Параметры	Автомобиль с ДВС	Гибридный автомобиль	Электромобиль
Исходный источник энергии	Нефть	Нефть	Природный газ
Содержание CO ₂ в исходном топливе	19,9 г/МДж	19,9 г/МДж	14,4 г/МДж
Энергоэффективность авто*	0,63 МДж/км	0,78 МДж/км	1,14 МДж/км
Экологическая эффективность**(CO ₂)	39,0 г/км	31,1 г/км	12,6 г/км
Проезжаемое расстояние без подзарядки	600 км	1400 км	160 км
Время на заправку/зарядку	<5 мин	20-30 мин	20-30 мин
Средняя стоимость	2 млн. руб.	7 млн. руб.	2,5 млн. руб.
КПД	18-40%	30%	80-85%
* – энергоэффективность автомобиля – количество энергии, затраченной на передвижение автомобиля на определенное расстояние.			
** – экологическая эффективность – способность транспортного средства минимизировать уровень вредного воздействия на окружающую среду (количество выбрасываемого CO ₂).			

Типы гибридных автомобилей и принцип их работы

В настоящее время существуют несколько видов гибридных конструкций со своими особенностями [Приложение 4].

Они различаются эффективностью: в некоторых автомобилях с гибридным двигателем электромотору отведена лишь вспомогательная функция, а в других он, наоборот, работает дольше, чем ДВС. Существуют несколько видов гибридных авто.

Параллельные гибриды (Parallel hibrid)

ДВС и электромотор связаны с колёсами параллельно, поэтому могут работать как по отдельности, так и совместно (рис. 5). Гибрид может начинать движение полностью на электротяге: на небольших скоростях (в пробках, во дворах или на парковке) бензиновый мотор заглушен и отсоединен от колес. Однако если водителю требуется большая мощность, то в работу вступает ДВС – на динамику тут уже работают и топливо, и электричество. В такой конструкции аккумуляторы могут заряжаться как при торможениях за счет рекуперации, так и при равномерном движении, когда ДВС одновременно крутит и электромотор, выполняющий роль генератора. В чистом виде такие гибриды не очень популярны – они эффективны только при "рваном" темпе езды с частыми торможениями.

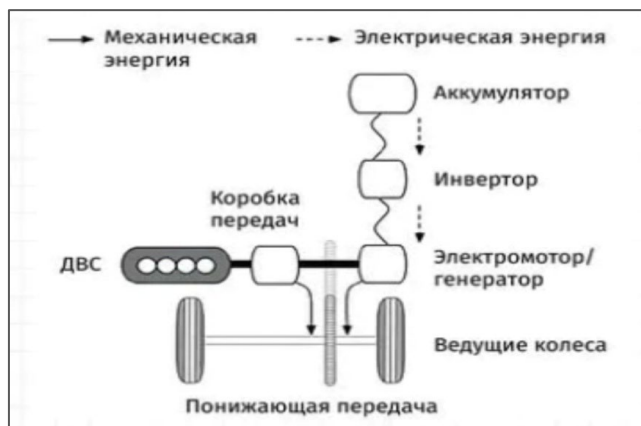


Рисунок 5 Схема работы параллельного гибрида

Последовательные гибриды (Series hibrid)

Более простой по конструкции автомобиль: в этой схеме ДВС механически не связан с колёсами, а крутит только генератор. Вырабатываемое электричество используется для зарядки батареи и питания электромотора, который и приводит автомобиль в движение (рис. 6).

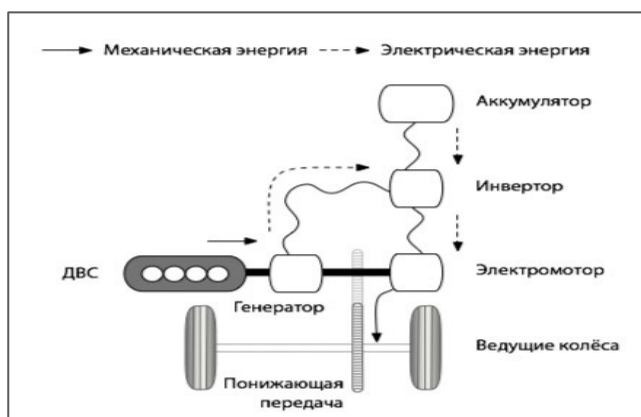


Рисунок 6 Схема работы последовательного гибрида

Последовательно-параллельные гибриды (Parallel-series-hybrid)

Такие машины могут передвигаться только на электричестве или только на бензине, совмещать оба источника энергии, заряжать батарею от ДВС как при остановке, так и при размеренном движении, а также накапливать энергию при рекуперативном торможении. Уникальная особенность такой силовой установки в том, что она лишена обычной трансмиссии. Вместо привычных вариаторов, "роботов" или "автоматов" тут используется планетарный редуктор, объединяющий два электромотора с бензиновым четырехцилиндровым агрегатом (рис.7).

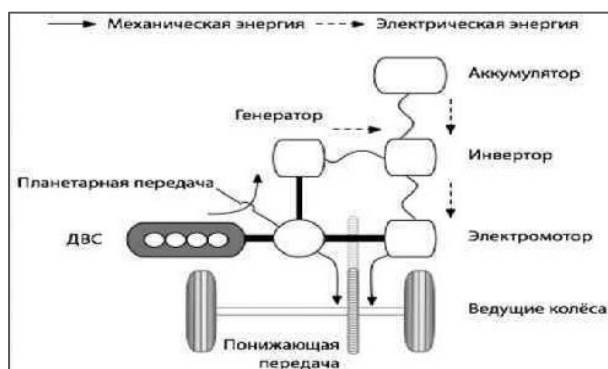


Рисунок 7 Схема работы последовательно-

Одни из главных минусов гибридов – дорогое обслуживание и ремонт, малое количество квалифицированных специалистов, умеющих работать с такими транспортными средствами, высокая стоимость, неразвитая система зарядных станций, долгое время зарядки (табл. 2). Сравнив несколько марок гибридных автомобилей, оказалось, что Cherry и Geely по цене и времени зарядки более доступны и рациональны [14].

Таблица 2 Сравнительные характеристики гибридных автомобилей

№	Марка автомобиля	Средняя цена, руб	Зарядка	Время зарядки, мин
1	Kia	4 млн.	от 15% до 95%	15-30
2	Hyundai	6 млн.	от 20% до 80%	24
3	Toyota	5 млн.	от 20% до 80%	20
4	BMW	23 млн.	от 20% до 80%	30
5	Cherry	2,5 млн.	от 10% до 100%	15-30
6	Geely	2,5 млн.	от 10% до 80%	17
7	Tank	6,5 млн	от 30% до 80%	24

В настоящее время существуют и другие модели гибридов, в которых также используется равноправно сразу две технологии: электромотор и ДВС, что делает их сложными технически (производственно) и в обслуживании. В таких устройствах два полноценных тяговых двигателя: ДВС и электромотор, что неоправданно дорого для массового применения.

Электромобили обладают большим преимуществом, чем автомобили с ДВС:

- низкие расходы на обслуживание (отсутствует необходимость замены масла и регулярного обслуживания);
- отсутствие шума - отсутствие гула двигателя; обеспечение более плавного управления за счёт того, что в них меньше компонентов, которые вынуждены подпрыгивать на ходу и создавать излишние вибрации на кузов;
- мгновенный крутящий момент - электромотор вырабатывает мгновенную мощность, это обеспечивает плавное и стабильное движение;
- отсутствие необходимости переключения передач, не приходится тратить время при разгоне и торможении;
- высокая безопасность - оснащаются системой автоматического экстренного торможения, которая использует датчики для обнаружения любых препятствий на пути автомобиля и при необходимости автоматически задействует тормоза.

Тяговый электродвигатель – это один из важнейших компонентов электромобиля, поэтому важно знать его устройство, принцип действия и КПД.

Электродвигатель

Электродвигатель - это электротехническое устройство, основной функцией которого является преобразование электрической энергии в механическую, энергию вращения.

В мае 1834 года был изобретен первый реальный электрический двигатель русским физиком Якоби Борисом Семеновичем. Мощность двигателя составляла около 15 Вт, частота вращения ротора 80-120 оборотов в минуту.

Основные части электродвигателя – статор и ротор (рис. 8). Принцип действия электродвигателя основан на явлении электромагнитной индукции. Достаточно просто подать переменный ток на двигатель, и он начнет вращаться. Но самое главное то, что регулировать скорость вращения можно просто меняя частоту переменного тока. В итоге получается рабочий диапазон скоростей от 0 до 18 тысяч оборотов в минуту с практически постоянной эффективностью (для сравнения: у ДВС ограниченный диапазон рабочих скоростей с пиковой эффективностью в районе 2 - 4 тысяч оборотов в минуту, и он не может плавно ускоряться и замедляться).

Электродвигатели в электромобилях будут получать энергию из аккумуляторов, но аккумуляторы выдают постоянный ток, а двигатель работает на переменном токе, поэтому существует мозг электромобиля – инвертор. Он преобразует ток, а заодно регулирует частоту и мощность, и даже меняет фазы для того, чтобы заставить двигатель вращаться в обратном направлении. Так получается задняя передача, у которой та же мощность, что и у передней [13].



Рисунок 8 Устройство электродвигателя в разрезе

Типы электродвигателей

Электродвигатели применяются как в полностью электрических электромобилях, так и в гибридах, но гибридные авто дополнительно оснащены двигателем внутреннего сгорания. Электромобили могут комплектоваться 1 или 2 двигателями. Месторасположение двигателя определяет тип привода авто.

Всего существует 3 типа привода:

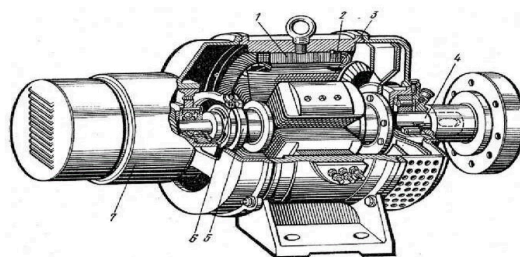
- передний – при котором электродвигатель расположен на передней оси автомобиля;
- задний – при нем двигатель устанавливается на заднюю ось;
- полный – при таком типе привода два электродвигателя устанавливаются по одному на каждую ось.

В гибридных автомобилях можно использовать как синхронный так и асинхронный электродвигатель. Чем же они отличаются друг от друга?

Синхронные двигатели

Они являются разновидностью электродвигателей переменного тока. Частота вращения их ротора равняется частоте вращения магнитного поля в воздушном зазоре. Используют для компрессоров, крупных вентиляторов, насосов и генераторов постоянного тока, так как они работают с постоянной скоростью (рис. 9). Принцип действия синхронного двигателя основан на взаимодействии вращающегося магнитного поля якоря и магнитного поля полюсов индуктора.

Обычно якорь расположен на статоре, а индуктор – на роторе. В мощных двигателях в качестве полюсов используются электромагниты (ток на ротор подается через скользящий контакт щетка-кольцо).



Синхронный генератор:
1 – сердечник статора
2 – обмотка якоря
3 – ротор
4 – вал ротора
5 – контактные кольца
6 – щетки
7 – возбуждатель

Рисунок 9 Устройство синхронного двигателя

Асинхронные двигатели

Никола Тесла разрабатывал концепты асинхронного электродвигателя, за который получил патент в 1888 году. Но практически значимый прототип асинхронного двигателя, который работал от трёхфазной сети, сконструировал в 1889 году Михаил Осипович Доливо-Добровольский. Это русский и германский инженер – электротехник.

При запуске асинхронного двигателя магнитное поле статора пересекается с контуром ротора и индуцирует электродвижущую силу (рис. 10). В накоротко замкнутом роторе возникает переменный ток. Два магнитных поля – ротора и статора – создают крутящий момент. Крутящийся ротор пытается "догнать" поле статора. В тот момент, когда частоты вращения магнитного поля статора и ротора совпадут, электромагнитные процессы в роторе затухают и крутящий момент становится равным нулю. Магнитное поле статора возбуждает контур ротора, который к этому моменту снова отстает. То есть ротор всегда медленнее магнитного поля статора, что и обеспечивает асинхронность.

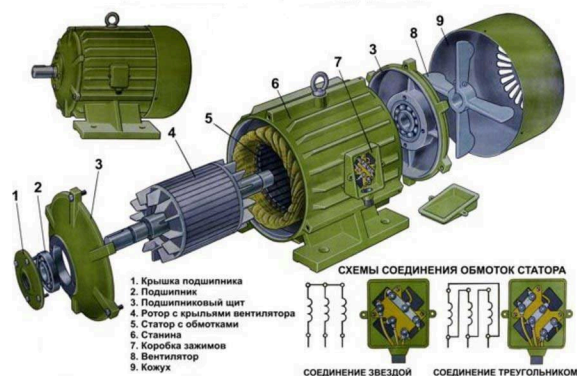


Рисунок 10 Устройство асинхронного двигателя

Асинхронный двигатель получил свое название из-за разницы между скоростью вращения ротора и магнитного поля статора. Ротор всегда вращается медленнее, чем магнитное поле. Разница между этими скоростями называется «скольжением». Чем больше скольжение, тем больше крутящий момент развивает двигатель.

Они просты в конструкции, надежны и экономичны. На данный момент они довольно распространены [12].

Отличие синхронного двигателя от асинхронного состоит в том, что они имеют постоянную скорость, не зависящую от нагрузки и принципом вращения роторного блока.

Вывод: при выборе типа двигателя для электромобиля необходимо учитывать, что несмотря на то, что синхронные моторы имеют высокий КПД и отличаются более простым и точным управлением скоростью и крутящим моментом, асинхронные моторы являются самыми доступными по стоимости производства, более надежны и долговечны, благодаря простой конструкции [14].

Для непрерывного обеспечения электромобиля энергией продолжают развиваться технологии контактной и разрабатываются технологии безконтактной передачи энергии. Действие магистралей, оснащённой системой безконтактной передачи энергии, аналогично принципу работы трансформатора. Поэтому понимание работы трансформатора позволит лучше понять принцип работы индукционной дороги.

Устройство и принцип работы трансформатора

Трансформатор – это электрическое устройство, предназначенное для преобразования напряжения и силы переменного тока при сохранении частоты, которое помогает управлять зарядкой батареи, регулируя напряжение и ток, подаваемые на нее (рис.11) и является важным компонентом гибридного автомобиля.

В 1831 году английский физик Майкл Фарадей открыл явление электромагнитной индукции, которое лежит в основе работы электродвигателя. В 1848 году французский механик Г. Румкорф изобрёл индукционную катушку. Она явилась прообразом трансформатора.

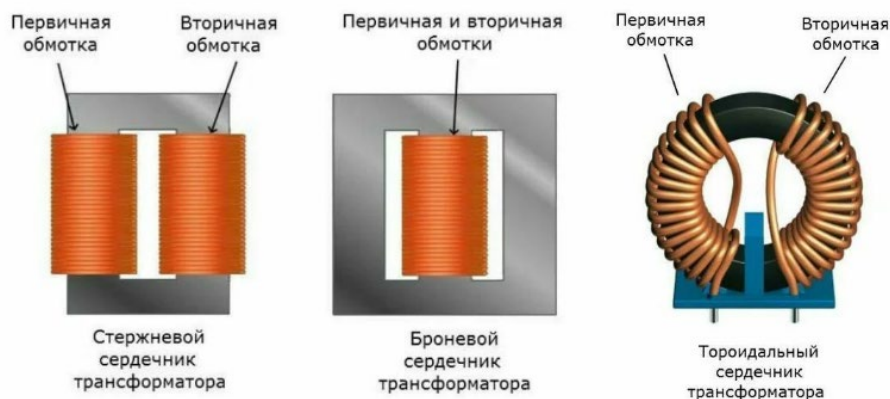


Рисунок 11 Трансформаторы

Трансформатор состоит из двух катушек (первичная и вторичная обмотки) и стального сердечника замкнутой формы, который собран из отдельных пластин, склеенных лаком. В основе работы трансформатора лежит явление электромагнитной индукции:

- переменный ток, проходя через первичную обмотку, создаёт переменное магнитное поле;
- переменное магнитное поле формирует магнитный поток в замкнутом сердечнике;
- изменение магнитного потока индуцирует во вторичной обмотке переменную ЭДС.

30 ноября 1876 года, дата получения патента Яблочковым Павлом Николаевичем, считается датой появления первого трансформатора. Это был трансформатор с разомкнутым сердечником, представлявшим собой стержень, на который наматывались обмотки.

Если в первичной обмотке число витков меньше – то это повышающий трансформатор, если наоборот, то понижающий.

При строительстве электрифицированной дороги необходимо учитывать, что явление электромагнитной индукции проявляется только на очень маленьких расстояниях.

Аккумуляторы

Еще одним из важных компонентов электромобилей является аккумулятор. Серноокисло-свинцовые аккумуляторы по своим характеристикам заметно уступают современным литий-ионным аккумуляторам по многим параметрам (таблица 3).

Таблица 3 Сравнительный анализ серноокисло-свинцовых и литий-ионных аккумуляторов

Характеристики	Серноокисло-свинцовые	Литий-ионные
Ресурс	500 циклов	1000 циклов и более
Масса	Тяжелее	Легче
Удельная энергоёмкость	Низкая	Высокая
Цена	Ниже	Выше
Техническое обслуживание	Долив дистиллированной воды, периодическая чистка от окиси, замена перемычек, продувка от пыли и грязи	Необходимо только следить за состоянием батареи и заряжать
Время зарядки	8-12 часов	2 часа
Возможность многосменного использования	Нет	Да
Эффект памяти	Есть	Не наблюдается
Вредные выбросы	Возможно газовыделение и утечка электролита (у обслуживаемых моделей)	Нет
Потребность в специальном помещении для зарядки	Да	Нет
КПД заряда	До 65%	До 85%

Современные электромобили будут работать на более совершенных источниках питания, такие как Li-ion и Li-po аккумуляторы, которые придут на смену литий-ионным аккумуляторам: более легкие, с более низким риском возгорания (таблица 4).

Таблица 4 Сравнительный анализ Li-ion и Li-po аккумуляторов

Характеристика	Li-ion	Li-po
Количество циклов	Больше	Меньше
Выбор типоразмеров	Узкий, есть модели в форме цилиндра и призмы	Широкий, без стандартных рамок формата элементов питания, возможно создание элементов толщиной от 1 мм.
Вес	Немного больше	Легкий – за счет применения гелеобразного электролита и сокращения элементов из металла.
Риск взрыва или возгорания	Присутствует, но использование платы защиты исключает такой риск	Минимизирована – благодаря невозможности утечки электролита и использованию интегрированной защиты от избыточного заряда
Допустимые температуры	От -20 до +60 °С, оптимально – от 0 до +30 °С.	
Длительность подзарядки	Больше	Меньше
Напряжение (номинал)	3,6 В	3,7 В
Степень износа (естественное старение)	Порядка 0,1% в месяц.	Ниже, 20% за 2 года.
Ценовая категория	Ниже	Выше

Утилизация аккумуляторов

Утилизация литий-ионных аккумуляторов тоже имеет большое значение! Говоря про экологичность электромобилей, необходимо понимать, что аккумуляторы ядовиты и легко воспламеняются, поэтому просто выбрасывать на свалки их нельзя, но это не значит, что они плохие. Они полезные, так как их можно использовать повторно - литий в них такой же, как новый.

Рынок литий-ионных батарей только к 2025 году вырастет минимум в два раза, а ведь запасов сырья мало, и они быстро истощаются, поэтому батареи необходимо перерабатывать. Металлы и прочие вещества в литий-ионных батарейках очень хорошо перерабатываются.

В 2017 году бывший техдиректор Tesla Джей Би Штробел основал предприятие по переработке таких аккумуляторов Redwood Materials и таким образом соединил переработку и производство батарей, замыкая этим жизненный цикл продукта - это важно, потому что производство вредит экологии, а ресурсы заканчиваются. Из старых батарей извлекают 95-98% хорошего материала - никеля, кобальта и меди. Все эти материалы можно использовать раз за разом.

Даже один завод Redwood Materials уже перерабатывает тонны использованных батарей и отправляет извлеченные материалы в Panasonic, где производят аккумуляторы для Tesla, чтобы там батарейки поставили обратно в новые электромобили. И их ставят - каждый год Panasonic вместе с Tesla на заводе Gigafactory в штате Невада производят 2 миллиарда литий-ионных батареек [15].

Переработка аккумуляторов в России

Традиционные виды аккумуляторов у нас в России уже перерабатывают, а литиевые - пока планируют.

Из электротранспорта у нас есть московские электробусы, батареи которых выйдут из строя в 2024 году. К тому времени ФЭО построит семь экотехнопарков, один из которых будет перерабатывать литиевые и другие сложные аккумуляторы. Завод разместят в европейской части России, где сосредоточена большая часть электротранспорта.

А что касается полностью выработанных батарей, они же не вечные, то недавно ученые НИТУ «МИСиС» представили технологию переработки батарей с выработанным ресурсом при помощи криогенно-вакуумной установки. Технология уже запатентована [16].

Электрическая дорога – e-road

Главная проблема электромобиля - долгая зарядка аккумулятора. В обычный автомобиль топливо заливают за несколько минут, электромобиль же заряжается часами.

Существуют различные способы и идеи создания электрифицированных дорог:

1. контактный провод и пантограф;
2. контактный «рельс» с токосъёмником;
3. индукционный;
4. суперконденсатор;
5. ультразвуковой;
6. радио и лазерная зарядка;
7. микроволновое радиоизлучение 2,45 ГГц и ректенны.

Такие методы как ультразвуковой, радио и лазерная зарядка, микроволновое радиоизлучение и ректенны можно использовать для зарядки мобильных телефонов на небольших расстояниях бесконтактно, но возможно в будущем будут использовать для зарядки и электромобилей [18].

В качестве альтернативы аккумулятору можно рассматривать суперконденсатор, как источник импульсной мощности, что позволит электродвигателю работать, фактически, на токах короткого замыкания.

У суперконденсаторов два положительных свойства - высокая мощность и низкое внутренне сопротивление, чем они и отличаются от конденсаторов и аккумуляторных батарей. Чаще всего материал электрода суперконденсаторов - активный углерод, у которого две важные особенности, включая очень большую площадь поверхности и небольшое расстояние между разделенными зарядами [Приложение 5].

Необходимо отметить, что аккумуляторы, в отличие от суперконденсаторов, выдают постоянный ток, а двигатель работает на переменном токе [Приложение 6].

Но более распространенными способами являются воздушные линии электропередачи над дорогой, наземное электроснабжение через токопроводящие рельсы и динамическая беспроводная передача энергии (DWPT) через резонансные индуктивные катушки или индуктивные рельсы, встроенные в дорогу [17].

Воздушные линии электропередачи предназначены только для коммерческих транспортных средств, в то время как рельсы на уровне земли и индуктивная передача энергии могут использоваться любым транспортным средством, что позволяет взимать плату с населения через системы учета электроэнергии и выставления счетов. Из трех методов проводящие рельсы на уровне земли считаются наиболее экономичными.

Поэтому электрическая дорога, e-road, электронная проезжая часть или система электрических дорог (ERS) позволяет обеспечивать электроэнергией движущиеся по ней транспортные средства.

Для массового внедрения электромобилей необходимо внедрение инфраструктуры зарядки по всем регионам нашей страны и в мире для того, чтобы владельцы электромобилей могли с комфортом ездить без постоянного поиска ближайшей зарядной станции. Данную проблему помогут разрешить индукционные дороги.

Индукционная дорога

Индукционные дороги не требуют больших затрат, достаточно блок управления расположить на обочине дороги, а приёмник установить в шасси каждого транспортного средства. Одно из главных преимуществ системы электрических дорог то, что все точки зарядки вдоль



Рисунок 12 Установка медных катушек на обочине

динамического участка будут установлены под дорожным покрытием в любом месте без добавления визуальных элементов, занимающих пространство [19].

Для этого нужно установить несколько зарядных отрезков в автомагистрали, чтобы водители смогли заряжать свои электрокары во время движения по такой дороге. Эта технология будет оснащать энергией электрокары, не используя при этом проводное подключение. Зарядка аккумуляторов будет возможна как во время стоянки авто, так и во время его движения.

Встроить зарядную инфраструктуру в саму дорогу, что позволит сократить потребность в зарядных станциях, а также в больших батареях. Данная технология позволит автономным транспортным средствам ездить круглосуточно, не останавливаясь для зарядки. Работа автомагистрали для зарядки электромобилей будет работать через систему медных катушек, которые будут встроены в асфальт (рис. 12). Энергия от этих катушек будет передаваться аккумуляторным батареям электрокара посредством электромагнитной индукции.

Так как индукционный способ передачи энергии электромобилю возможен только на малых расстояниях, поэтому необходимо токоприемники-катушки вставить в специальные шины, и тогда у автомобиля будет сразу 4 приёмника электромагнитного излучения, вплотную прижатые к дороге – и проблема с расстоянием до катушек будет решена.

Экономическая часть проекта

Рассчитаем расход топлива и ценовую политику отечественного автомобиля Лада «Веста» с ДВС и китайского гибрида Li Xiang L9 в г. Лыткарино Московской области.. В среднем объем бензобака автомобиля Лада «Веста» составляет 50 литров. Его полная заправка бензином Au92 обойдется в 2732 рубля, а бензином Au95 – 3033.5 рубля. По базовой норме расход бензина на 100 км составляет 8,2 л. Получается, что полного бака хватит примерно на 610 км пути.

Если брать автомобиль-гибрид Li Xiang L9, то на ДВС можно проехать 1315 км с расходом топлива 5,9 л/100 км и стоимость бака составит: Au92 – 4239 рублей, а Au95 – 4707 рубля. Бак данной машины порядка 77 л.

Емкость аккумуляторной батареи автомобиля Li Xiang L9 составляет 44,5 кВт/ч, чтобы ее зарядить до 80% потребуется 40 минут (зависит от мощности зарядной станции). На этом заряде автомобиль сможет проехать до 215 км. В Московской области в среднем 1кВт/ч стоит 8 рублей, то полная зарядка батареи будет стоить: $44,5 \times 8 = 356$ рублей. В таком случае один километр пути будет стоить 1,66 рубля, а на 100 км понадобится 166 рубля. Конечно, расход энергии зависит и от агрессивности вождения автотранспорта.

Таким образом, можно сделать вывод, что стоимость зарядки аккумулятора для последовательного гибрида будет примерно в два раза меньше, чем для автомобиля с ДВС, а это значит, что электромобиль, в котором основой является тяговый электродвигатель, а не ДВС, рациональнее использовать как с экологической точки зрения, так и с экономической.

Для этого необходимо больше рекламировать и разъяснять населению отличия между гибридами и электромобилями с гибридными технологиями, строить зарядные станции не только в мегаполисах, но и в малых городах и поселках.

В нашем городе, Лыткарино, на дорогах мы стали чаще встречать гибриды, так как уже установили несколько зарядных устройств. [Приложение 7].

Путешествие из Москвы в Санкт-Петербург

Выясним, сколько потребуется отрезков индукционной дороги, чтобы отправиться в путешествие на электрокаре, например, из Москвы в Санкт-Петербург по дороге М11 "Нева" (дорога платная).

Расстояние между Москвой и Санкт-Петербургом - 706 км, время в пути 10 часов (рис. 14). Калининская АЭС и Ленинградская АЭС позволяют обеспечить участки индукционных дорог более дешевой электроэнергией (рис. 13).

Расстояние от Калининской АЭС до Москвы - 360 км (Калининская АЭС расположена около г. Удомля) [20].

От Ленинградской АЭС до Санкт-Петербурга - 42 км. Расстояние между Калининской АЭС и Ленинградской АЭС - 533 км, время в пути 7,5 часов.

Электродвигателю стоимость поездки обойдется примерно в 2021 рубль.

Полной подзарядки электрокара хватит на 50 км пути. Для того чтобы двигаться без остановки на трассе М11 понадобится 10 - 13 отрезков индукционной дороги. Система полностью будет экологична и экономична, особенно если использовать электроэнергию, производимую на АЭС [21].

Вывод: из расчетов следует, что для путешествия из Москвы в Санкт-Петербург экономически выгоднее использовать индукционные дороги и электромобили с гибридными технологиями, несмотря на затраты обслуживания зарядной станции, её амортизацию, оплату рабочего времени сервисных инженеров, аренду территории.

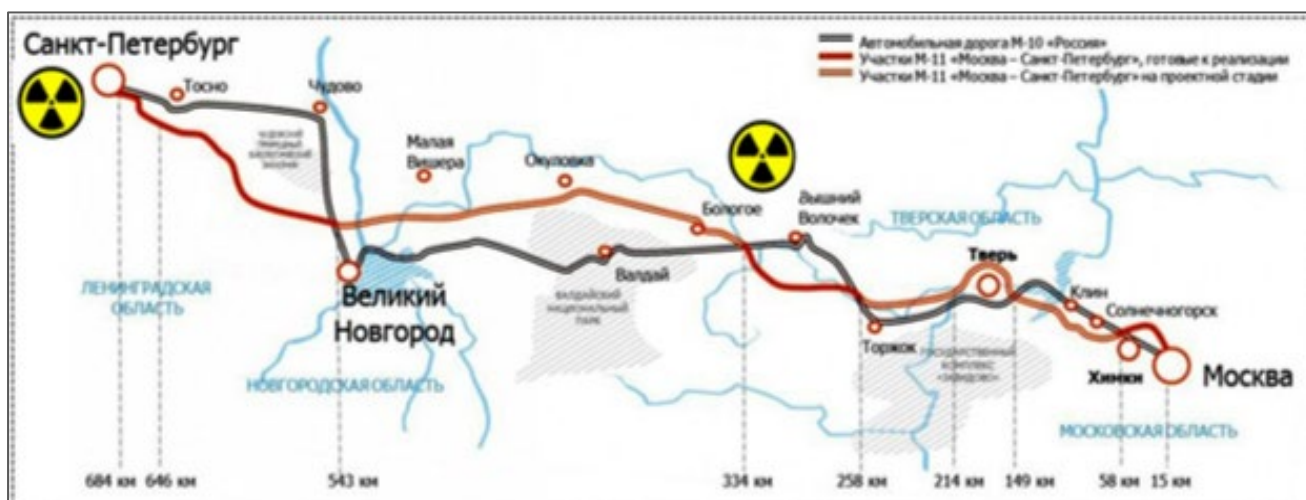


Рисунок 13 Карта трассы М11 «Москва – Санкт-Петербург»

Расчет электрогенерирующих мощностей для использования электромобилей

Для массового использования электромобилей необходимо увеличивать количество электрогенерирующих мощностей, т.е. электростанций. Так как лимиты по ГЭС исчерпаны, а ТЭС тоже близки к пределу, то остаётся АЭС. А сколько АЭС еще надо построить?

В настоящее время в России десять действующих АЭС и одна плавучая АСММ (Чукотский АО). По количеству вырабатываемой электроэнергии на атомных станциях, Россия занимает 8-ое место, лидеры США, Франция, Япония.

В 2024 году электростанции Единой энергетической системы (ЕЭС) России **выработали 1180,6 млрд.кВт·ч, в том числе АЭС выработала примерно 204,3 млрд.кВт·ч.**

В России насчитывается около 55 млн. автомобилей. Но возьмём 60 млн., так как количество машин растёт. Примем, что (считая все легковушки и грузовик) средний расход 10л/100 км. Средний годовой пробег 15000 км. Следовательно, один автомобиль потратит 1500 л за год. Умножим на количество автомобилей $1500 \text{ л} \times 60\,000\,000 = 90\,000\,000\,000 \text{ л}$.

В 1 л жидкого топлива около 10 кВт·ч. КПД двигателя внутреннего сгорания примерно 45%. Отсюда следует, что для всех машин в год для своего движения потребуются $90\,000\,000\,000 \text{ л} \times 10 \text{ кВт·ч} \times 0,45 = 405 \cdot 10^9 \text{ кВт·ч}$ электроэнергии.

Делим на возможности всех АЭС России: $405 \cdot 10^9 \text{ кВт·ч} / 204,3 \cdot 10^9 \text{ кВт·ч} = 2 \text{ шт.}$

Вывод: для электрификации автомобильного транспорта в России нужно построить дополнительно две АЭС, при условии, что мы не будем использовать вырабатываемые мощности других типов электростанций.

Пересчитаем также на весь объем электроэнергии, производимой на электростанциях всех типов в России. Теперь поделим на возможности всех типов электростанций России: $405 \cdot 10^9 \text{ кВт·ч} / 1180,6 \cdot 10^9 \text{ кВт·ч} = 0,34 \text{ шт.}$

Вывод: для электрификации автомобильного транспорта России было бы достаточно вырабатываемой мощности всех типов электростанций, но значительная часть территории России – это Крайний Север с большим числом изолированных систем энергоснабжения с очень высокими затратами на энергию. Для электрификации автотранспорта не только центральных регионов, но Крайнего севера, Дальнего Востока нам необходимо будет строить новые АЭС.

Выводы

В ходе работы над проектом наша команда изучила:

1. технологии работы ДВС и электромотора;
2. технологию гибридных автомобилей, их виды;
3. явление электромагнитной индукции;
4. принцип работы трансформатора;
5. выяснила, что частота переменного электрического тока влияет на дальность распространения электромагнитной энергии в пространстве;
6. изучила концепцию автомобиля - последовательного гибрида на основе существующих бензиновых автомобилей;
7. в экономической части проекта был рассчитан расход топлива, ценовая политика применения гибридов и электромобилей, а также расчет электрогенерирующих мощностей для использования электромобилей в РФ;
8. разработана концепция перехода на электрический транспорт с применением электроиндукционных дорог и электробензиновых гибридов.

Заключение

В то время как технологии индукционных дорог еще только начинают развиваться, электрокары и гибриды продолжают внедряться в нашу повседневность. По данным РБК, в 2026 году на электромобили придется половина продаж от всего транспорта, а 45% россиян планируют пересесть на электрокары, так как считают их экологичными и безопасными.

В нашем исследовании рассматривались физические основы индукционных дорог и возможности их реализации. Значимость работы состоит в том, что информация по заявленной проблеме изложена в научно-популярном стиле, языком, понятным любому старшекласснику. А значит, к проблеме состояния и развития инфраструктурных изменений, проблемы производства, использования и утилизации аккумуляторных батарей, обучение техническим специальностям, обеспечивающих работу современной автотранспортной отрасли сможем привлечь больше выпускников школ и колледжей. И для кого-то это станет делом всей жизни. Грамотных специалистов в этой области станет больше. Развиваясь в этом направлении, Россия может по многим направлениям стать лидером и увеличить свое присутствие на мировом рынке.

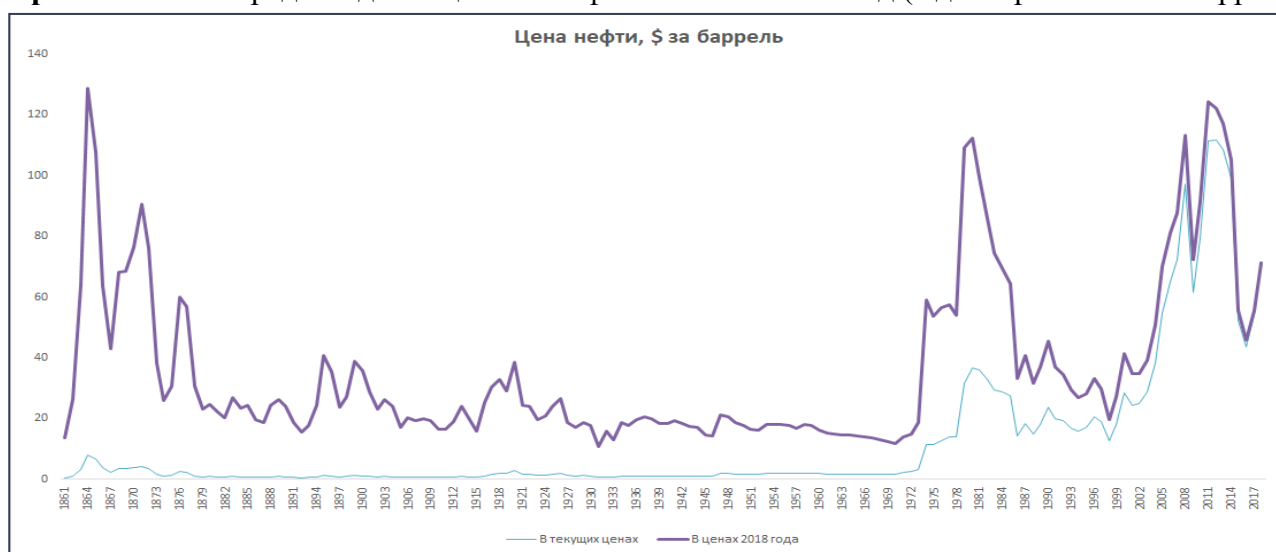
Человечество постепенно выходит на новый этап развития, когда достижения предыдущих десятилетий отходят на второй план, а современные технологии становятся все более популярными.

Литература и Интернет-ресурсы

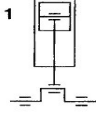
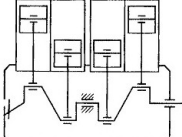
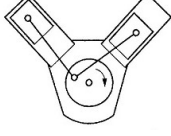
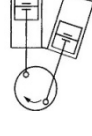
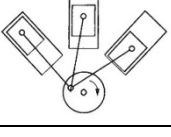
- [1] https://ru.wikipedia.org/wiki/VR-образный_двигатель
- [2] https://ru.wikipedia.org/wiki/V-образный_двигатель
- [3] https://ru.wikipedia.org/wiki/Шестицилиндровый_двигатель
- [4] https://ru.wikipedia.org/wiki/Одноцилиндровый_двигатель
- [5] https://en.wikipedia.org/wiki/Comet_7-cylinder_radial_engines
- [6] https://vk.com/wall-41545396_568950
- [7] <https://modelist-konstruktor.com/razrabotki/dubl-izh>
- [8] <https://motor-lodki.ru/product/dvigatel-lifan-2v78f-2a-pro-27-ls-s-katushkoy-20a/>
- [9] <https://vingo-group.ru/dvigateli/ryadnye/6>
- [10] <https://wika.tutoronline.ru/fizika/class/7/osnovnye-svedeniya-o-dvigatele-vnutrennego-sgoraniya>
- [11] https://en.m.wikipedia.org/wiki/Hybrid_electric_vehicle
- [12] <https://www.drive2.ru/c/678960525853335789/>
- [13] <https://electrotransport.ru/images/4/13j75k3.jpeg>
- [14] <https://atomobility.ru/tipdvigateley>
- [15] <https://postnews.ru/a/8209>
- [16] https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/1/13/Lohner_Porsche.jpg/1280px-Lohner_Porsche.jpg
- [17] <https://naked-science.ru/article/hi-tech/shvedy-postroili-dorogu>
- [18] https://translated.turbopages.org/proxy_u/en-ru.ru.52e464a7-675d4d76-82028159-74722d776562/https/en.m.wikipedia.org/wiki/Electric_road
- [19] <https://www.kp.ru/expert/avto/luchshie-gibridnye-avtomobili/>
- [20] <https://postnews.ru/a/8209https://a.d-cd.net/fdb65b9s-1920.jpg>
- [21] <https://naked-science.ru/article/hi-tech/shvedy-postroili-dorogu>
- [22] <https://habr.com/ru/articles/547310/>

Приложение

Приложение 1. Среднегодовая цена на нефть с 1859 по 2019 год (в долларах США за баррель)

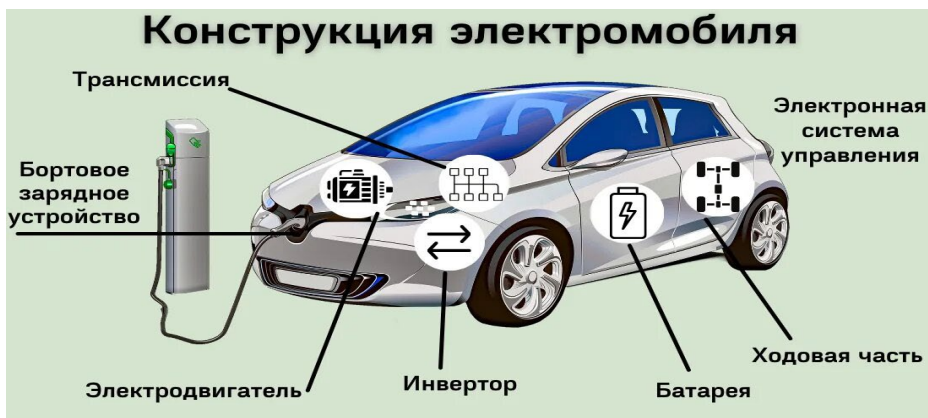


Приложение 2. Типы двигателей внутреннего сгорания

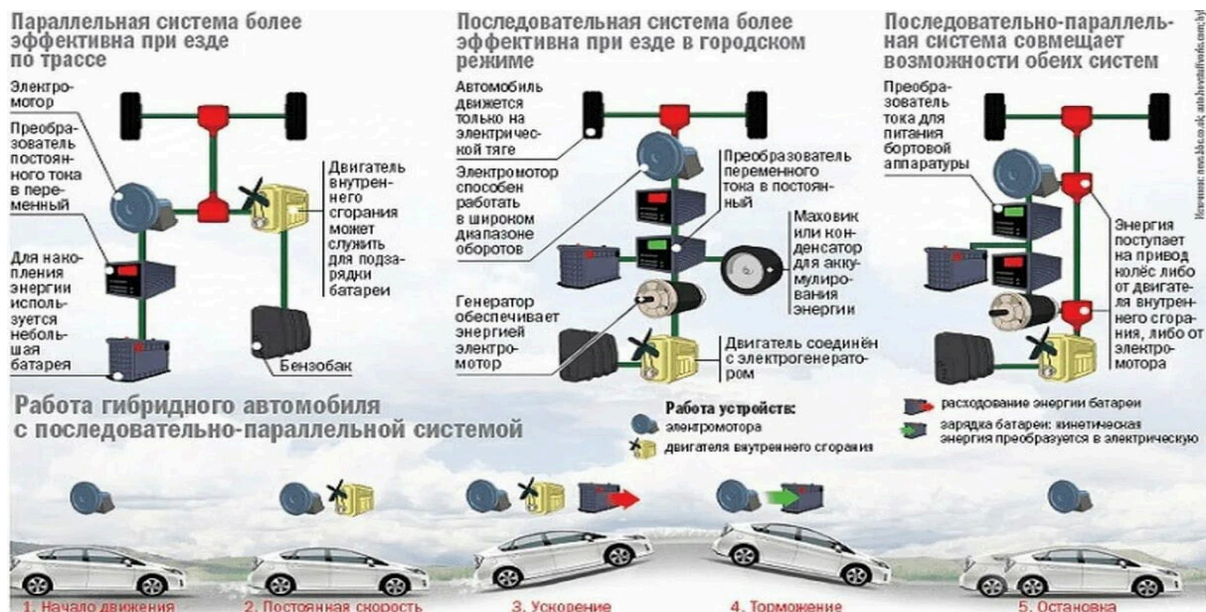
Типы ДВС	Схема	Описание	КПД, %	Мощность, л.с.
Одноцилиндровый		Простейший поршневой ДВС, имеющий всего один рабочий цилиндр	20 – 25	14
Рядный		Конфигурация ДВС, в которой цилиндры расположены в ряд, а поршни вращают один коленчатый вал	20–25	35 - 100
V-образный		Цилиндры размещены напротив друг друга наподобие латинской буквы «V»	20–25	24
VR- типа		Компоновочная схема поршневого ДВС, при которой цилиндры расположены двумя рядами под небольшим углом друг к другу	20–25	27
W -образный		Тип ДВС с W-образным расположением цилиндров	30 - 40	420

Оппозитный		ДВС, в котором угол между рядами цилиндров составляет 180 градусов, а противостоящие поршни двигаются зеркально по отношению друг к другу	20–25	28 - 60
Радиальный		Цилиндры расположены радиальными лучами вокруг одного коленчатого вала через равные углы	20–25	130 - 150
Роторный		Бензиновый ДВС, использующий вместо привычных поршней с шатунами ротор треугольного сечения, вращающийся в полости корпуса	40	230

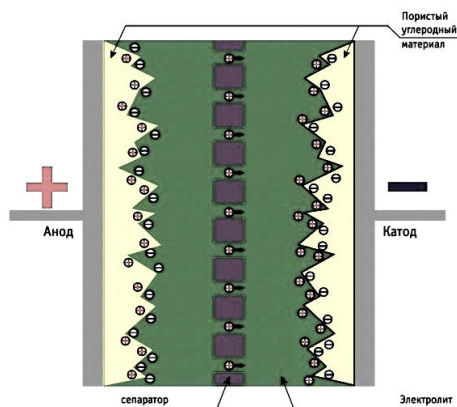
Приложение 3. Конструкция электромобиля



Приложение 4. Типы гибридных автомобилей и принцип их работы



Приложение 5. Суперконденсатор [22]



Приложение 6. Сравнительный анализ суперконденсатора и аккумулятора

Параметры	Литий-ионная батарея	Суперконденсатор
Время зарядки	10 – 60 минут	1 – 10 секунд
Количество циклов заряд/разряд	500... 5000	1 млн. циклов или 30000 часов
Напряжение ячейки	3,6 В	2,3 ... 2,75 В
Плотность энергии	120 – 240 Вт·ч/кг	5 Вт·ч/кг
Плотность мощности	1000 – 3000 Вт/кг	До 10000 Вт/кг
Диапазон температур при зарядке	0...+45°C	-60...+65°C
Диапазон температур при разрядке	-20...+60°C	-60 +65°C
Срок службы	5 – 10 лет	10...15 лет

Приложение 7. Зарядные устройства в городе Лыткарино МО

