

УДК 621.3

ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТЬ ЭЛЕКТРИФИЦИРОВАННОГО ТРАНСПОРТА

Кушнер Д.А.

Научный руководитель – к.т.н., доцент ПЕТРУША Ю.С.

Электрифицированный транспорт или электротранспорт транспорт является неотъемлемой частью современной жизни и имеет тенденцию к расширению своего влияния на рынке транспортных средств. Известно много различных видов электротранспорта: троллейбусы, метро, ж/д транспорт, электробусы, электромобили и т.д. и все они имеют преимущества и недостатки.

Целью данной работы является рассмотрение принципа работы электротранспорта, выявление его преимуществ и недостатков, а также технико-экономическое сравнение электромобиля с автомобилем с двигателем внутреннего сгорания (ДВС).

Электротранспорт - вид транспорта, использующий в качестве источника энергии электричество, а в приводе используется тяговый электродвигатель (ТЭД). Основное отличие ТЭД от обычных электродвигателей большой мощности заключается в условиях монтажа двигателей и ограниченном месте для их размещения. Также в отличие от электродвигателей общего назначения ТЭД работают в самых разнообразных режимах (кратковременный, повторно-кратковременных с частыми пусками), сопровождающихся широким изменением частоты вращения ротора и нагрузки по току.

Троллейбус – безрельсовое механическое транспортное средство контактного типа, получающее электрический ток от внешнего источника питания (от центральных электрических станций) через двухпроводную контактную сеть с помощью штангового токоприёмника. Тяговые подстанции осуществляют преобразование поступающего из энергосистемы переменного тока в постоянный напряжением 600 В. Контактная сеть троллейбуса разделена на ряд сегментов, изолированных друг от друга при помощи секционных изоляторов. Каждый сегмент подключается к одной или нескольким тяговым подстанциям посредством подземных или воздушных фидерных линий. Такая схема позволяет избирательно отключить отдельную секцию в случае её повреждения либо для проведения ремонтных работ. В случае неисправности питающих кабелей на секционные изоляторы могут быть установлены перемычки, в результате чего секция будет получать питание от соседней. Однако такой режим работы не является штатным (нерекомендуемый), поскольку может перегрузить питающий фидер. Контактная сеть троллейбуса двухпроводная в отличие от контактной сети трамвая, где в качестве второго провода используются рельсы. В троллейбусах используется в основном штанговый токоприёмник. Штанговый токоприёмник – тип токоприёмника, представляющий собой в рабочем состоянии направленную вверх штангу, соединяющую троллейбус с проводами воздушной контактной сети посредством токосъёмной головки со сменной контактной вставкой. Чтобы троллейбус пошёл в нужном направлении, необходимо туда же направить обе её штанги, эту функцию выполняет троллейбусная стрелка, состоящая из двух половин, установленных на проводах контактной сети. Эти изолированные друг от друга половины имеют по электромагниту, которые при срабатывании отклоняют каждый своё перо стрелки.



Рисунок 1 – Конструкция троллейбуса

Трансмиссия троллейбуса значительно проще. Тяговый электродвигатель (1) через карданный вал (2) передает усилие на редуктор заднего ведущего моста (3). Поскольку диапазон частоты вращения двигателя достаточно велик, от нуля на остановке до 4000 об/мин при максимальной скорости, необходимы специальное устройство для регулирования тока, протекающего через двигатель.

Существуют несколько хорошо отработанных принципов построения таких устройств (систем управления):

- Реостатно-контакторная система управления (РКСУ). Регулирование тока осуществляется подключением последовательно с тяговым двигателем цепочки мощных пусковых резисторов. Поочередное шунтирование их контактами специального контроллера приводит к увеличению тока, проходящего через электродвигатель и, соответственно, к разгону троллейбуса. Главным недостатком этой системы управления является бесполезный расход электроэнергии, идущий на нагрев резисторов, во время набора скорости.
- Тиристорно-импульсная система управления (ТИСУ). Создание этой системы стало возможным с появлением мощных тиристорных, т.е. полупроводниковых приборов, способных коммутировать электрический ток достаточной для троллейбуса величины и напряжения. Принцип действия ТИСУ заключается в изменении длительности импульсов тока, проходящего через тиристор и, соответственно, через тяговый электродвигатель. Увеличивая и уменьшая скважность и частоту импульсов, мы можем изменять ток, проходящий через двигатель, т.е. регулировать скорость движения троллейбуса. К недостаткам этой системы можно отнести повышенный уровень радиопомех, возникающих во время коммутации электрических цепей, по которым протекают большие токи.
- Транзисторная система управления с асинхронным двигателем. Наиболее перспективная система управления, использующая в качестве элемента регулирования тока, протекающего через тяговый электродвигатель, мощные полевые транзисторы. Применение микропроцессорной системы для отслеживания параметров и управления током электродвигателя при различных режимах движения троллейбуса сделало эту систему самой экономичной из существующих. Однако она является самой дорогой и наиболее чувствительной к уровню электромагнитных помех.

Ещё одним видом электрифицированного транспорта является **метро**. Электроэнергия для питания поездов метро поступает через тяговую сеть. При этом токосъем может осуществляться от контактного рельса или от контактного провода. Из-за ограниченных размеров тоннеля сооружение контактной сети над движущимся поездом затруднительно, такой способ используется на наземных участках метрополитена. Наибольшее распространение получил способ подвода энергии к поезду через третий, так называемый, контактный рельс, проложенный сбоку вдоль основного рельсового пути на некоторой высоте от него. Нагонный токоприемник, расположенный на тележке моторных вагонов и скользящий при движении по третьему рельсу, прижимается к нему снизу пружинами и снимает ток высокого напряжения. На всем протяжении контактный рельс должен быть закрыт электроизоляционным коробом таким образом, чтобы оставался доступ для токоприемника лишь снизу. Воздушную контактную сеть в метро можно использовать в тех случаях, когда на конечных станциях поезд переходит на обычные железнодорожные пути и продолжает по ним движение по территории транспортной агломерации. Для электроснабжения метрополитенов до настоящего времени используется только система постоянного тока напряжением 600...1000 В. Для тягового электропривода поездов метро используются двигатели постоянного тока. Мощность тяговых электродвигателей поездов метрополитена составляет 100 кВт.

Ещё одним видом электротранспорта, получающим всю большую популярность в мире, является **электромобиль**. Давайте рассмотрим технологию на основе электромобиля

Tesla Model S. В основе автомобиля лежит асинхронный или индукционный двигатель. В индукционном двигателе ротор вращается несколько медленнее электромагнитного поля. Скорость асинхронного двигателя зависит от частоты переменного тока, таким образом изменяя частоту тока в источнике питания мы можем изменить скорость вращения ведущих колёс. Это позволяет контролировать скорость электромобиля. Скорость двигателя может варьироваться от 0 до 18000 об/мин.

Аккумулятор питает асинхронный двигатель. Аккумулятор вырабатывает мощность постоянного тока, поэтому перед подачей питания на двигатель он должен быть преобразован в переменный. Для этого используется инвертор, это электронное устройство управляет частотой переменного тока, а, следовательно, и скоростью двигателя. Инвертор может изменять амплитуду переменного тока, которая в свою очередь будет задавать выходную мощность двигателя. Аккумуляторная батарея – это набор литий-ионных элементов. Элементы объединены в блоки и соединены параллельно, чтобы обеспечить мощность необходимую для запуска электромобиля. В батарейном блоке 16 модулей, состоящих из 7000 элементов. Мощность, производимая двигателем, передаётся на ведущие колёса через коробку передач. Используется одноступенчатая коробка передач. Для перехода к задней передаче необходимо изменить чередование фаз в двигателе. Вождение можно производить с помощью одной педали, всё из-за мощной рекуперативной тормозной системы. Такая система позволяет экономить огромную кинетическую энергию в виде электричества, не теряя её в форме выделяемого тепла. Как только нажать педаль акселератора включается рекуперативное торможение, а асинхронный двигатель может работать как генератор, для этого нужно, чтобы скорость ротора стала выше скорости электромагнитного поля. Сгенерированный переизбыток электричества может быть после его преобразования сохранён в аккумуляторной батарее. Во время этого процесса на ротор действует противоэлектродвижущая сила, поэтому ведущие и автомобиль будут замедляться.

Одним из основных преимуществ электромобилей является то, что тяговые электродвигатели имеют КПД до 90-95 % по сравнению с 22-42% у ДВС.

Также одним из преимуществ электромобиля является более высокая экологичность, но нужно иметь в виду, что на данный момент это не сильно проявляется. Если производить сравнение общей эффективности электромобиля с автомобилем с ДВС, включая производство и передачу энергии, т.е. эффективность от «скважины до колеса», то эффективность окажется одинаковой. С точки зрения экологии выгода от использования электротранспорта очевидна для крупных городов, но в целом по стране она может быть незначительной или отсутствовать вовсе. Суммарный экологический эффект будет зависеть не только от технических характеристик электромобилей, но и от структуры производства электроэнергии по видам генерации (тепловая, атомная, возобновляемые источники энергии) и по видам топлива. Например, при различных сочетаниях указанных параметров использование электромобилей вместо ДВС-автомобилей может приводить как к снижению, так и к росту суммарного объема выбросов парниковых газов в масштабе страны. Для увеличения экологического эффекта от электромобилей необходимо усовершенствовать методы получения электроэнергии от традиционных источников энергии, либо использовать возобновляемые источники энергии.

Ещё одним преимуществом электромобиля является простота техобслуживания. У вас никогда не прогорит выхлопная труба - её попросту нет, и вам не нужно менять масло и фильтры каждые 10-15 тыс. км. Отсутствует дорогостоящее обслуживание двигателя и топливной системы, от которой все проблемы. Не нужно менять ремни в системе газораспределения, свечи зажигания, клапана и прочие дорогостоящие «прелести» ухода за обычным автомобилем. Все это попросту не касается водителей электромобилей, поэтому расходы на обслуживание для них значительно меньше, чем у автомобилей с ДВС.

У автомобилей на электротяге по сравнению с ДВС есть существенный плюс при эксплуатации зимой: они заводятся в самую холодную погоду.

Также преимуществом электромобилей является высокая безопасность. Большинство электромобилей получило наивысшую оценку, при условии, что не многие автомобили с ДВС могут похвастаться таким результатом. После возгорания Tesla Model S в интернете ходило много слухов о безопасности использования электромашин, но после расследования производитель решил проблему, усилив защиту аккумуляторных батарей. После внесенных изменений вероятность возгорания электромобиля стала ничуть не больше вероятности возгорания автомобиля с ДВС, а ведь последствия при возгорании электромобиля меньше.

Одной из больших проблем в энергосистеме является неравномерность графиков нагрузки (суточных, недельных, сезонных, годовых), которая вызвана неравномерным потреблением электроэнергии в течение суток. Массовое применение электромобилей смогло бы помочь в решении проблемы «энергетического пика» за счет подзарядки аккумуляторов в ночное время.

Но, конечно, имеются и свои недостатки. Одной из самых больших преград на пути массового развития электромобилей является его цена. По сравнению с бензиновыми аналогами автомобиль на электродвигателе стоит в 1,5- 2 раза больше. Стоимость электромобилей значительно выше из-за большой стоимости аккумуляторных батарей. На сегодняшний день это 50 % стоимости всего электромобиля. Однако это не является большой преградой для развития, поскольку технология создания батарей совершенствуется, удешевляя их производство на 20-30% в год. Первый и самый существенный недостаток электромобилей - ограниченная автономность хода (запас хода на одном цикле батареи). Электромобили идеально подходят для поездок в пределах города, когда пробег не более 100 км. При длительных поездках возникает необходимость подзарядки в пути, что и является основной проблемой. Использование электромобилей невозможно без развитой инфраструктуры электрозаправок, которых в нашей стране всего несколько. Если же использовать электромобиль в городе и заряжать его от обычной домашней сети с напряжением 110-120В, то для полной зарядки потребуется от 12-15 часов. После установки дополнительного оборудования (на сумму 1000-1500 долл.) время зарядки может сократиться до 5 часов. Существуют устройства быстрой DC зарядки (с напряжением 380В и выше). Они могут сократить время зарядки до часа, но и это совсем не эффективно, так как что бы заправить автомобиль с ДВС, требуется всего 5 минут.

Также для использования электромобиля на территории нашей страны появляется ещё одна проблема: автономность работы электромобилей снижается в холодную погоду. Мороз представляет две основные проблемы для электротранспорта: отрицательная температура снижает эффективность аккумуляторных батарей (запас хода сокращается на 20-25%, а в экстремальных климатических условиях этот показатель может быть больше) и системы обогрева салона автомобиля истощают аккумуляторные батареи. Так же стоит обратить внимание на эксплуатацию электромобилей в пробках. Постоянные разгоны и торможения сокращают запас хода.

Проблемой является производство и утилизация аккумуляторов, которые часто содержат ядовитые компоненты (например, свинец или литий).

Но в последнее время разработаны и постепенно внедряются ионисторы (конденсатор с органическим или неорганическим электролитом, «обкладками» в котором служит двойной электрический слой на границе раздела электрода и электролита), которые обладают рядом преимуществ: малая деградация даже после сотен тысяч циклов заряд/разряд, проводились исследования по определению максимального числа циклов заряд-разряд, после 100 000 циклов не наблюдалось ухудшения характеристик; большие максимальные токи зарядки и разрядки; высокое внутреннее сопротивление у большинства ионисторов (препятствует быстрому саморазряду, а также перегреву и разрушению); обладает длительным сроком службы; низкая токсичность материалов; малый вес; малая зависимость от окружающей температуры: могут работать как на морозе, так и на жаре; большая механическая прочность: выносят многократные перегрузки. Они уже применяются в транспортных средствах. В настоящее время автобусы с питанием от ионисторов выпускаются фирмами Hyundai Motor

и «Тролза». Ё-мобиль — проект автомобиля, разрабатывавшийся в Российской Федерации, использовал суперконденсатор как основное средство для накопления электрической энергии.

Для того, чтобы понять, выгодно ли в нашей стране эксплуатировать электромобиль, необходимо произвести технико-экономическое обоснование. На данный момент нет методики расчета, позволяющей с полной уверенностью судить об экономической целесообразности использования того или иного вида автомобиля.

Нами предложена следующая методика расчета:

В расчете будем сравнивать автомобили, схожие по техническим параметрам (размеры, мощность, комплектация). Сравним автомобили с умеренным расходом топлива и достаточной степенью комфорта. В своих расчётах мы не будем учитывать экологическую составляющую и ожидаемый эффект для экологии. Учитываем только экономику.

Средний годовой пробег обоих автомобилей, согласно статистике, оценим в 15 000 км. Затраты на техническое обслуживание примем усредненно: для электромобилей – 200\$, для автомобилей с ДВС – 900\$.

Ёмкость батареи рассматриваемого электромобиля составляет 24 кВт·ч; запас хода на одном цикле батареи 180 км; стоимость 1 кВт·ч по одноставочному тарифу в РБ 0,1094 бел.руб \approx 0,05\$, тогда 24 кВт·ч будем стоить $24 \cdot 0,05 = 1,2$ \$. Получается для того, чтобы зарядить полностью электромобиль необходимо потратить 1,2\$. По пропорции посчитаем, сколько необходимо денег, чтобы проехать принятые нами за год 15000: $15000 \cdot 1,2 / 180 = 100$ \$

Объём бака рассматриваемого автомобиля с ДВС составляет 57 литров, расход 5,7 литров на 100 км, тогда полного бака хватает на 1000 км. Стоимость 1 литра дизельного топлива в РБ составляет 1,29 бел.руб \approx 0,64\$, тогда, чтобы заправить полный бак необходимо $57 \cdot 0,64 = 36,48$ \$. По пропорции посчитаем, сколько необходимо денег, чтобы проехать принятые нами за год 15000 км: $15000 \cdot 36,48 / 1000 = 547,2$ \$

Данные сводим в таблицу 1:

Таблица 1 – Сравнительная характеристика автомобилей

Тип автомобиля	Стоимость автомобиля, \$	Запас хода на одном цикле батареи/топливном, км (\$)	Затраты на техническое обслуживание, %
Электромобиль	13000	180 (100)	200
Автомобиль с ДВС	9000	1000 (547,2)	900

Просуммируем все затраты, учитывая стоимость автомобиля только для первого года, а к последующим годам будем прибавлять только затраты на техническое обслуживание и топливо (электроэнергию). Результаты представлены в таблице 2

Таблица 2 – Результаты расчета затрат в зависимости от года

Год	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Электро мобиль	13300	13600	13900	14200	14500	14800	15100	15400	15700
Авто мобиль с ДВС	10447,2	11894,4	13341,6	14788,8	16236	17683,2	19130,4	20577,6	22024,8

Построим зависимость $Z = f(T)$, где Z – затраты для конкретного года; T – рассматриваемый год.

Как видно из таблицы 2 и графика только на четвертый год эксплуатации совокупность всех расходов, включая стоимость самой машины, у электромобиля будет ниже, чем у дизельного автомобиля.

Конечно, любая попытка расчетов и прогнозирования достаточно субъективна. Время обязательно скорректирует расчёты.

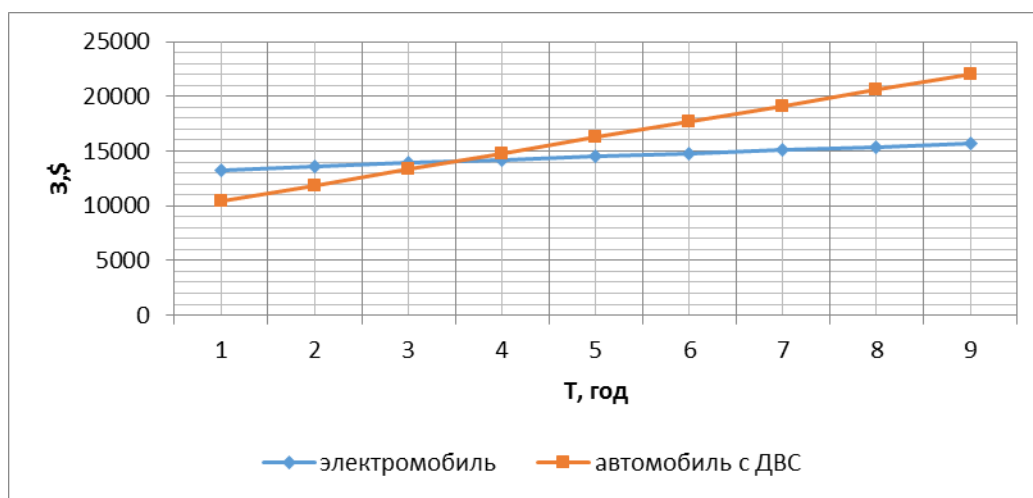


Рисунок 2 – Зависимость затрат от года эксплуатации $Z=f(T)$

Заключение:

Электрифицированный транспорт имеет ряд преимуществ таких как: высокий КПД электродвигателя (90-95 %), высокая безопасность, простота техобслуживания, более высокая экологичность, помощь в преодолении «энергетического пика» и т.д. Однако имеет и ряд недостатков, с которыми производители стараются бороться, например, высокая стоимость, которая формируется из-за высокой стоимости аккумуляторных батарей, но это не является большой преградой для развития, поскольку технология создания батарей совершенствуется, удешевляя их производство на 20-30% в год; маленький запас хода, проблему которого стараются решить, одним из вариантов решения является использование ионисторов. На данный момент широкое применение электромобилей затруднено, чтобы увеличить спрос на электромобили необходимо большая сеть электрозаправок по всей стране, также необходимо уменьшить время, которое требуется на подзарядку электромобиля. Нет единой методики расчета технико-экономического обоснования выбора автомобиля из-за постоянно меняющихся цен на автомобили, на топливо, на электроэнергию, поэтому на данный момент любая попытка привести методику является субъективной. В стране постепенно внедряют новые виды электротранспорта. Так, например, в Минске уже ходят первые электробусы, по сути, это троллейбусы, которым, однако, не требуется постоянная подача тока. Такой вид общественного транспорта подзаряжается в течение нескольких минут от контактной сети, а затем использует этот заряд при движении по маршруту, и его эффективность выше чем у троллейбуса примерно на 20%

Литература

1. Максимов А.Н. Городской электротранспорт – М.: Издательский центр «Академия», 2004. – 256 с.
2. Бабулин А.С., Пронин В.А., Фёдоров Е.А., Кудринская К.И. Организация поездов и работа станций метрополитена - Москва, 1981.