СРАВНИТЕЛЬНАЯ ХАРКТЕРИСТИКА ЭНЭРГОЭФЕКТИВНОСТИ ЭЛЕКТРОМОБИЛЯ

Ковальчук А.В.,доц; Мельник С.А., бакалавр

кафедра автоматизации электромеханических систем та электропривода

Во всех развитых странах мира в последние годы резко возрос интерес к электромобилям. В настоящее время в мире их насчитывают около полумилиона. Планируется, что к середине этого века подавляющее большинство машин будут электрическими.

I. Постановка задачи: в данной работе представлено сравнение энэргоэфективности электротранспорта, а также парметры различных видов аккумуляторов для электормобиля.

Для примера взяты Tesla Rodster (электромобиль с LiON аккумуляторными батареями), Honda CNG (на природном газе), Honda FCX (водородные топливные ячейки), VW Jetta Diesel (дизельный ДВС), Honda Civic VX (бензиновый ДВС) и Honda Insight [1].Сравним параметры расхода энергии различных типов автомобилей на единицу пройденного пути (табл.1). Для оценки будем использовать не только затраты энергии на передвижение, но и затраты энергии, необходимые для переработки исходного сырья, доставки энергоносителя и заправки автомобиля. Для бензина теплота сгорания принята 30.8 Мдж/л, для дизтоплива - 36,3 МДж/л, водород 120 МДж/кг, природный газ - 45 МДж/кг [2]. Электроэнергию для зарядки электромобиля можно получить на атомных электростанциях или из возобновляемых источников. Однако трудно рассчитать эффективность этих методов получения электроэнергии, поэтому для рассчетов взята электроэнергия, производимая на ТЭЦ при сжигании природного газа.

Технология	Автомобиль	Исходный источник энергии	Эффективность переработки, доставки и заправки (суммарно)	Расстояние, проходимое на единицу топлива	Энергетическая эффективность автомобиля	Полная энергетическая эффективность
Двигатель на природном газе	Honda CNG	Природный газ	86,0%	17,5 км/кг	0,39 км/МДж	0,32 км/МДж
Водородные топливные элементы	Honda FCX	Природный газ	61,0%	84 км/кг	0,7 км/МДж	0,43 км/МДж
Дизельный двигатель	VW Jetta Diesel	Нефть	90,1%	17,2 км/л	0,47 км/МДж	0,42 км/МДж
Бензиновый двигатель	Honda Civic VX	Нефть	81,7%	14,2 км/л	0,46 км/МДж	0,38 км/МДж
Гибридный автомобиль (Бензин/Электро)	Honda Civic Hybrid	Нефть	81,7%	17,3 км/л	0,56 км/МДж	0,46 км/МДж
Электро	Tesla Roadster	Природный газ	52,5%	151 Вт*ч/км	1,84 км/МДж	0,97 км/МДж

табл.1 Энергоэффективность различных типов автомобилей

Энергетическая эффективность самого электромобиля недостижимо высока(1,84 км/МДж) - в этом виноват высокий коэффициент полезного действия электроустановки [3]. КПД дизельного двигателя достигает 40%, что позволяет говорить о безперспективности электромобилей. Безперспективности из-за того, что суммарная мощность автомобилей превышает суммарную мощность электростанций, и при замене авто- на электро электроэнергии просто не хватит. Возможно, на оптимальных оборотах дизель и имеет 40% КПД, однако, если брать реальные условия, КПД дизеля не дотягивает до 20%. Источником энэргии для электромобиля является аккумулятор. Поэтому одной из основных задач является повышение емкости и снижение веса аккумуляторов на еденицу запасенной энэргии, т.е. увеличение пробега автомобиля на одну зарядку аккумулятороа. Для указания номинальной емкости производители используют расчет выдаваемого аккумулятором тока в течении стандартного времени . То есть, если в маркировке аккумулятора указано, что его емкость равна 100А*ч, то это означает, что он может питать нагрузку током 5А в течение 20 часов.Но имеется одна закономерность: чем больше нагрузка на аккумулятор, тем меньше процент отдаваемой емкости (аккумулятор 100А*ч может выдавать ток 100А не в течении 1 часа, а в течение намного меньшего времени – очень может быть, и 30 минут).Причина этого явления связана с тем, что внутри аккумулятора ток течет благодаря ионной проводимости. Математическая модель этого процесса была описана в 1897 году Пекертом. Он эмпирически установил, что отношение между разрядным током I и временем разряда аккумулятора может быть описано формулой:

$$C_p = I^n * T$$

где C_p – емкость Пекерта (константное отношение для данного аккумулятора), а n – экспонента Пекерта. Экспонента Пекерта обычно расчитывается на основании измерения времени полного разряда (T_1 и T_2) для двух разных токов(I_1 и I_2). Так как C_p – константа, мы можем записать такое уравнение:

$$C_p = I_1^n * T_1 = I_2^n * T_2$$

преобразуя выражение, получаем формулу расчета экспоненты Пекерта:

$$n = \log(T_2/T_1)/\log(I_1/I_2)$$

Основываясь на знании значений экспоненты Пекерта и емкости Пекерта можно рассчитывать время работы аккумулятора при определенной нагрузке:

$$T = C_p/I^n$$

Различают литий-ионные аккумуляторы, натрий никель-хлоридные и др.

Литий-ионные аккумуляторы являются самыми перспективными для использования в качестве тяговых батарей для электротранспорта.

Преимущества: наибольшая плотность энергии из всех разновидностей аккумуляторов – как объемная, так и весовая, напряжение питания на элементе - 3,6В, что в 3 раза выше, чем у NiMH и NiCd аккумуляторов и почти в 2 раза выше, чем для свинцово-кислотных аккумуляторов, быстрый процесс заряда батарей - до 90% емкости за 30-40 минут, высокий показатель ресурса - свыше 1000 циклов разряда/заряда, низкий показатель саморазряда - до 5% в месяц, дружественность окружающей среде - могут утилизироваться без предварительной переработки.

Недостатки:возможность взрыва при механическом повреждении или перезарядке аккумулятора, достаточно быстрое старение аккумулятора - большинство аккумуляторов резко снижают свои характеристики при хранении или использовании более 5 лет, высокая стоимость, но над этим параметром усиленно работают китайские производители.

Натрий никель-хлоридные аккумуляторные батареи (ZEBRA) были изобретены в конце 1980х годов специально для нужд электротранспорта. В настоящее время они доступны для покупки, и все больше производителей электромобилей предлагают установку **аккумуляторных батарей ZEBRA** в качестве более дешевой и практичной замене литий-ионным аккумуляторам. Параметры натрий никель-хлоридных аккумуляторных батарей приведены в (табл.2)

Модель	Емкость, КВт*ч	Напряжение, В	Пиковая мощность, КВт	Вес	Размеры (Ширина х Длина х Высота), мм	Примечание
Z5-278-ML-64	17,8	278,6	32	195	533x833x300	Цена около 10000USD при закупке 100 батарей
Z5-557-ML-32	17,8	557	32	195	533x833x300	Цена около 10000USD при закупке 100 батарей
B1	13,6	227	29	159	490x970x210	Разработаны для использования в электромобилях SMART
B3	43,5	340	79	492	940x960x315	Для использования в военных целях

табл.2 Параметры натрий никель-хлоридных аккумуляторных батарей

Суперконденсаторные батареи

В последние годы появился новых класс приборов, функционально близких к конденсаторам очень большой емкости; по существу - занимающих положение между конденсаторами и источниками питания. Это - ионисторы, конденсаторы с двойным электрическим слоем. Типичная ёмкость ионистора — несколько фарад, при номинальном напряжении 2—10 вольт. Внутреннее сопротивление Rвн ионистора может быть рассчитано по формуле: Rвн=U/Iкз, где Rвн - в омах; U - напряжение на ионисторе, В; Iкз - ток короткого замыкания, А. Работы по улучшению свойств электрохимических конденсаторов привели к появлению в конце 20 века суперконденсаторов с емкостью до 10Вт*ч/кг, что

позволило использовать суперконденсаторы для нужд гибридного и электротранспорта.В настоящий момент можно выделить несколько типов суперконденсаторных батарей (табл.3) по области применения для автомобилестроения: пусковые - подключаются параллельно стартерной аккумуляторной батареи для улучшения пусковых качеств и длительности жизни последней, для поддержки питания мощных автомобильных акустических систем, буфферные - для использования в гибридных автомобилях, отличаются относительно низкой емкостью и большой выходной мощностью, тяговые - для применения в качестве основного источника питания электромобиля.

Тип ионистора	Емкость, Ф	Номинальное напряжение, В	Внутреннее сопротивление, Ом	Габариты a-b-c-d-e, ММ	Масса, г
58-3	2,00	2,5	30	18,3-*-*-*-2,7	2,0
58-9a	0,47	2,5	80	10,5-14-5-26-4,5	0,5
"	2,00	2,5	30	19-23-5-38-5,5	2,0
58-96	0,62	5,0	60	27-22,5-10-35-13	11.0
"	1,00	5,0	60	27-22,5-10-35-13	11,0
"	0,62	6,3	90	27-22,5-10-35-13	11,0
58-98	1,00	5,0	60	21,5-8-5-4-*	8,0
"	0,62	6,3	90	21,5-10,5-5-16,5-*	10,0

табл.3 Параметры ионистора

Преимущества: наибольшая плотность мощности из всех разновидностей аккумуляторов - как объемная, так и весовая,долговечность - свыше 10 лет и 100000 циклов заряда/разряда, очень быстрый процесс заряда батарей - до 100% емкости от 15 до 40 минут, необслуживаемость - суперконденсаторы герметичны, относительно низкий показатель саморазряда - до 10% в месяц. Возможность работы при низких температурах без существенного снижения характеристик. Простота определения уровня заряда суперконденсатора - однозначная зависимость от уровня напряжения на конденсаторе.

Недостатки: вес - лучшие производимые суперконденсаторы имеют плотность энергии на уровне 10-12Вт*ч/кг, массовые - 5-6Вт*ч/кг. Большое падение напряжения при разряде. Высокая стоимость, до USD10 за килоджоуль накопленной энергии, но при росте спроса и появлении настоящей конкуренции может быть уменьшена в 7-10 раз

Перечень ссылок:

1. "The 21st Century Electric Car" by Martin Eberhard and Marc Tarpenning, Tesla Motors Inc. Wednesday, July 19, 2006.

2. А.С. Енохович "Справочник по физике и технике. Москва, 1989".

3. Дмитрий Спицын « субъективный взгляд на энергоэффективность электромобилей».