

УДК 629.33.65:006

К ВОПРОСУ ЭКОЛОГИЧНОСТИ ЭЛЕКТРОМОБИЛЕЙ
И СОЗДАНИЯ КОНКУРЕНТОСПОСОБНЫХ АВТОПОЕЗДОВ
ДЛЯ МАГИСТРАЛЬНЫХ ПЕРЕВОЗОК В БЛИЖАЙШЕЙ
ПЕРСПЕКТИВЕ

TO THE ISSUE OF ECOLOGICAL OF ELECTRIC VEHICLES
AND THE CREATION OF COMPETITIVE ROAD TRAINS FOR
LONG-DISTANCE TRANSPORT IN THE NEAREST PERSPECTIVE

Н.Г. Мальцев

Совместное белорусско-российское предприятие "ТЕХНОТОН",
г. Минск, Беларусь

N.G. Maltsev

Joint Belarusian-Russian enterprise "TECHNOTON", Minsk, Belarus

На основе анализа структуры и динамики общемирового потребления первичной энергии в долгосрочной перспективе и производства электроэнергии, в том числе в России и СНГ, предложен подход к методике оценки экологичности и энергетической эффективности электромобилей. Обоснован подход к вопросу создания конкурентоспособных грузовых автомобилей и автопоездов для магистральных перевозок в ближайшей перспективе на основе сравнительной оценки эффективности осуществления транспортной работы автомобилями с чисто электрической и дизельной силовыми установками с физической точки зрения. Для предварительной оценки эффективности применения указанных и комбинированных силовых установок при проектировании и использовании грузовых автомобилей и автопоездов для магистральных перевозок предложен такой расчетный параметр как удельная транспортная работа, выраженная в тонно-километрах ($t \cdot km$) на 1 кг массы накопителя энергии, обеспечивающего запас хода магистрального автомобиля полной массы.

Based on the analysis of the structure and dynamics of global primary energy consumption in the long run and the production of electricity, including in Russia and the CIS, an approach to the methodology for assessing the environmental and energy efficiency of electric vehicles is proposed. The approach to the issue of the creation of competitive trucks and road trains for long-distance transportations based on a comparative evaluation of the efficiency of carrying out transport work by cars with purely

electric and diesel power units from a physical point of view is substantiated. For the preliminary assessment of the effectiveness of the use of these and combined power plants in the design and use of trucks and road trains for trunk transportations, a design parameter is proposed as the specific transport operation, expressed in ton-kilometers ($t \cdot km$) per 1 kg of the mass of the energy store, the main vehicle of full weight.

ВВЕДЕНИЕ

В последнее время появилось много публикаций и сообщений в средствах массовой информации предрекающих если не конец, то закат эры дизельных автомобилей в ближайшее десятилетие [2, 5]. В большинстве случаев в основу таких публикаций положены разработки компании Tesla Илона Маска, сообщения ряда фирм и СМИ о создании прототипов электромобилей с запасом хода до 1000 км и широко разрекламированные тезисы о том, что электромобили идеальны с точки зрения экологии и более эффективны в эксплуатации [2, 4, 5]. Поскольку эти тезисы начали приобретать популярность и в среде отдельных руководителей и специалистов связанных с разработкой научно-технических программ для автопредприятий РБ и определением работ на перспективу попробуем проанализировать и оценить ситуацию.

К ВОПРОСУ ЭКОЛОГИЧНОСТИ И ЭКОНОМИЧНОСТИ ЭЛЕКТРОМОБИЛЕЙ

В некотором роде ситуация напоминает компанию конца 50-х начала 60-х годов прошлого века о скором переходе на атомную и термоядерную энергетику и производство электроэнергии мощными атомными электростанциями с ликвидацией тепловых.

На рис. 1 и 2 приведены данные о динамике развития мирового энергетического комплекса и потребления энергии в Млрд. т. н. э. (миллиардах тонн нефтяного эквивалента) с 1870 до 2010 года и прогнозе до 2030 -2035 года, т.е. на ближайшие 15-20 лет.

Секция «АВТОМОБИЛЕСТРОЕНИЕ»

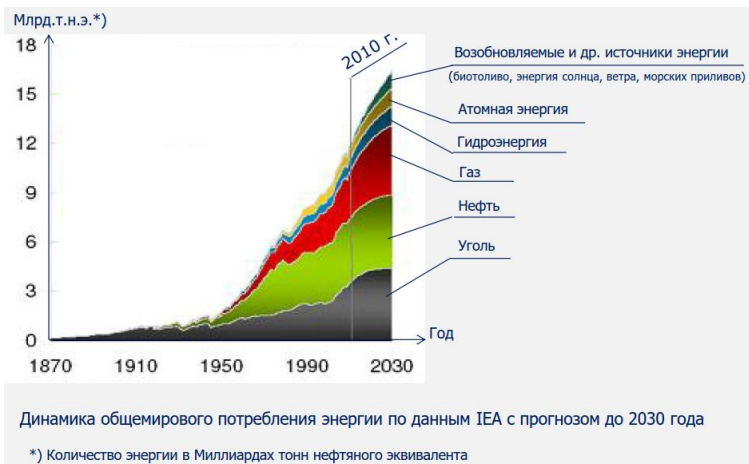
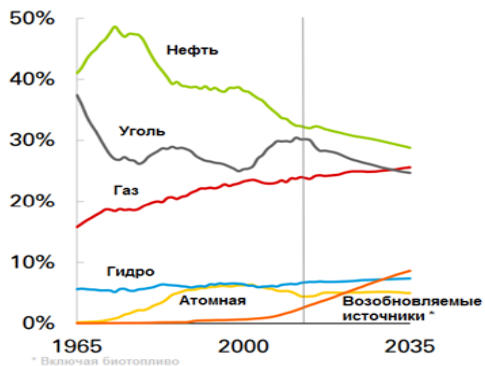


Рисунок 1 – Динамика развития и общемирового потребления энергии в миллиардах тонн нефтяного эквивалента (Млрд. т.н.э.) в период с 1870 до 2010 года и прогнозом до 2030 года



Источник: BP Energy Outlook 2016

Рисунок 2 - Структура мирового потребления первичной энергии с прогнозом до 2035 года

Как видно из динамики развития мирового производства и потребления энергии (рис. 1 и 2), основным ее источником (около 80 %) в ближайшей и отдаленной перспективе останется энергия, получаемая от ископаемых и сжигаемых углеводородов (нефти, угля,

газа). Несмотря на развитие атомной и другой альтернативной энергетики, основное производство электрической энергии, в т.ч. для электротранспорта, будет по-прежнему производиться тепловыми электростанциями и теплогенераторами (от 60 до 70 % в таких индустриально развитых странах как США, Китай, Индия, страны Европы (за исключением Франции) и СНГ, включая Россию) путем сжигания нефти, газа, угля и, так называемого, биотоплива с соответствующим выбросом продуктов сгорания и тепловой энергии в окружающую среду и атмосферу.

Что такое тепловые электростанции (ТЭЦ) и может ли быть электроэнергия, производимая ТЭЦ, дешевле первичных источников по удельным показателям?

С физической точки зрения тепловые электростанции - это фактически установки по утилизации ископаемых углеводородов, т.е. первичных источников энергии в виде нефти, угля, газа, торфа и т.д. путем их сжигания и выбросом продуктов сгорания и тепла в окружающую среду. Электроэнергия, полученная путем сжигания углеводородов – это фактически вторичный продукт. Она, как вторичный продукт, не может быть дешевле по удельным показателям сжигаемых для ее получения первичных источников. В том числе дизельного топлива – максимально приближенного по затратам к первичному источнику, т.е. сырой нефти.

Что в настоящее время считается самым эффективным источником и накопителем энергии для электромобилей и можно ли их считать экологичными?

В настоящее время самыми эффективными накопителями электроэнергии для электромобилей по энергоемкости и удельным показателям являются ионно-литиевые аккумуляторные батареи [1, 4, 5]. То есть химические накопители и вторичные преобразователи энергии, для производства которых используются редкоземельные и очень токсичные элементы и их окислы. Как и любые аккумуляторные батареи, они имеют ограниченный срок службы и их надо будет утилизировать. Причем с дополнительными затратами с учетом нейтрализации токсичных элементов.

Поэтому утверждения, что электромобили идеальны с точки зрения экологии и более экономичны в эксплуатации, не совсем обоснованы, а сам подход к оценке их экологичности и эффективности нельзя признать методически правильным.

О ХАРАКТЕРИСТИКАХ И КОНКУРЕНТОСПОСОБНОСТИ “ЭЛЕКТРОФУР” ДЛЯ МАГИСТРАЛЬНЫХ ПЕРЕВОЗОК

На чем же основаны утверждения и сообщения [2, 4, 5], что электромобили, тем более тягачи для магистральных перевозок, будут более экологичны и затраты в эксплуатации на совершение ими транспортной работы будут ниже по сравнению с дизельными?

Можно предположить, что на информации и мифах СМИ появившихся после шумной презентации электроприводного седельного тягача Tesla Electric Semi и заявления Илона Маска о том, что в 2019 году планируется запустить его в серийное производство.

Поскольку, как упоминалось выше, указанные предположения и утверждения начали приобретать популярность не только в прессе, но и в среде отдельных руководителей и специалистов связанных с разработкой научно-технических программ для автопроизводителей РБ и определением направлений работ на перспективу, попробуем “трезво взглянуть на вещи” с энергетической точки зрения и самых общих представлений базового курса физики средней школы и теории автомобиля.

При этом “вынесем за скобки” и не будем углубляться в замалчиваемые и серьезнейшие вопросы, связанные с применением на борту высокого напряжения (от 500 до 1000 В и выше), обеспечения электро- и взрывобезопасности, например, в случае ДТП и т.д. [1].

Для примера, в качестве наиболее понятного параметра для предварительной оценки эффективности применения силовой установки и первичного источника энергии на автомобиле, примем запас хода легкового и грузового автомобиля известной полной массы на дизельном топливе и лучшем на текущий момент по удельным показателям альтернативном источнике электрической энергии. Примем во внимание также такие параметры как масса и ресурс накопителя энергии эквивалентной массы для обеспечения того же запаса хода. При этом попытаемся учесть основные технические требования к грузовым автомобилям и автопоездам для междугородных и международных перевозок, которые оговорены международными стандартами и ГОСТ 21398-89 [3] – Автомобили грузовые. Общие технические требования.

Основные из них следующие:

– автомобили в составе автопоезда должны иметь запас хода не менее 1000 км (п.3.1);

Секция «АВТОМОБИЛЕСТРОЕНИЕ»

- максимальная скорость не менее: 100 км/ч (п.2.1.);
- максимальный подъем, преодолеваемый автомобилем в составе автопоезда с полной массой не менее 18% (для одиночных автомобилей не менее 25%) - (п.2.2.);
- трогание с места на подъем с уклоном не менее 12% в составе автопоезда (20% для одиночного) - п.2.3;
- автомобили в составе автопоезда с полной массой должны преодолевать подъем 3% протяженностью не менее 3 км при установившейся скорости движения не менее 35 км/ч (п.2.4);

Кроме того, указанные автомобили должны быть рассчитаны на эксплуатацию при безгаражном хранении (п.15.11). При этом должна обеспечиваться их работоспособность при температуре окружающей среды от минус 40 до плюс 60 град. Цельсия.

При этом следует учитывать, что автомобиль будет эксплуатироваться на существующих дорогах общего пользования и за один рейс может пересечь несколько климатических зон и попасть “из зимы в лето” и наоборот. Например, надо перевезти груз из Ташкента в Москву и т.д.

Остановимся в начале только на двух показателях – обеспечении запаса хода и энергетической эффективности накопителя энергии, обеспечивающего заданный запас хода. Проанализируем некоторые основные характеристики легкового электромобиля Tesla Model S [5] и серийного дизельного аналога BMW 5er G31 [7] с близкими массо-геометрическими и динамическими характеристиками, которые приведены в таблице 1. В качестве предварительного оценочного показателя эффективности примененных на автомобилях энергетических установок и накопителей энергии примем такой расчетный показатель как общая (условная) удельная транспортная работа, выраженная в тонно-километрах (T^*km) на 1 кг массы накопителя энергии.

Секция «АВТОМОБИЛЕСТРОЕНИЕ»

Таблица 1 – Технические характеристики и расчетные показатели электромобиля Tesla Model S и дизельного аналога BMW 5er G31

№ п/п	Характеристика, показатель	Tesla Model S	BMW 5er G31
1	Снаряженная масса, кг	2105	1735
2	Число пассажиров (Масса полезного груза, кг)	5+2 (730 кг)	5+2 (730 кг)
3	Полная масса, кг	2835	2465
4	Длина, мм	4976	4942
5	Ширина (в т.ч. зеркала), мм	1963	2126
6	Высота, мм	1435	1498
7	Колесная база, мм	2960	2975
8	Мощность двигателя, л.с. (кВт)	362 (266,4)	265 (195)
9	Запас хода, км	502	1200
10	Максимальная скорость, км/ч	200	250
11	Время разгона 0-100 км/ч, с	5,6	5,8
12	Общая масса накопителя энергии*), обеспечивающего запас хода		
12.1	- электромобиля (АКБ 85кВт*ч), кг ¹⁾	450	
12.2	- дизельного аналога (бак 66 л), кг ²⁾		66
13	Физический объем накопителя энергии, обеспечивающего запас хода:		
13.1	- электромобиля, дм ³ (21*15*1,5)	378	
13.2	- дизельного аналога, дм ³		66
14	Удельный расход энергии накопителя на 100 км		
14.1	- электромобиля, кВт*ч	20	
14.2	- дизельного аналога, л (кг) ²⁾		4,9 - 5,5
15	Ресурс накопителя энергии		
15.1	- электромобиля, лет/тыс.км	7/160	
15.2	- дизельного аналога, лет/тыс.км		10/1400
16	Условная транспортная работа ³⁾ , т*км	1423	2958
17	Удельная транспортная работа на 1 кг накопителя энергии ⁴⁾ , т*км/кг	3,16	44,81

*) Примечания:

1. Общая масса накопителя энергии электромобиля (тяговых аккумуляторных батарей, обеспечивающих запас хода).

2. Общая масса накопителя энергии дизельного аналога (топливного бака с топливом).

3. Условная транспортная работа – теоретически возможная работа в тонно-километрах численно равная произведению полной массы транспортного средства (электромобиля/автомобиля) в тоннах на количество километров пробега равное запасу хода.

4. Удельная транспортная работа, характеризующая величину транспортной работы на единицу массы накопителя энергии, обеспечивающего запас хода.

Секция «АВТОМОБИЛЕСТРОЕНИЕ»

Как видим из приведенных характеристик в таблице 1, масса накопителя энергии (топлива вместе с топливным баком) автомобиля BMW 5er G31 с дизельным двигателем около 66 кг. При этом обеспечивается запас хода 1200 км при среднем путевом расходе 5,5 л/100 км и полной массе 2465 кг. Общая, т.е. условно возможная из расчета передвижения полной массы, удельная транспортная работа, выраженная в тонно-километрах (t^*km) на 1 кг массы накопителя энергии или своего рода удельный показатель эффективности накопителя энергии для совершения транспортной работы, около $44,8 t^*km$ ($2,465 t * 1200 km/66 kg$).

У электромобиля Tesla Model S при полной массе 2835 кг (т.е. большей всего на 15 %), масса постоянно возимого накопителя энергии (тяговых аккумуляторных батарей) – 450 кг, т.е. более чем в 6,8 раз превышает аналогичный показатель дизельного автомобиля. При этом запас хода в 2,4 раза меньше (502 км). Общая условная удельная транспортная работа, выраженная в тонно-километрах (t^*km) на 1 кг массы накопителя энергии, или расчетный удельный показатель его эффективности для совершения транспортной работы, около $3,16 t^*km/kg$ ($2,835 t * 502 km/450 kg$). То есть в 14 раз меньше чем у дизельного аналога примерно с теми же массо-геометрическими и динамическими (время разгона с 0 до 100 км/ч – 5,8 с) характеристиками.

По аналогии рассчитаем удельный показатель эффективности накопителя энергии для стандартного европейского автопоезда полной массой 38 т в составе 2-хосного седельного тягача с дизельным двигателем и 3-хосного полуприцепа. В качестве исходных данных примем характеристики дизельного автопоезда с не самыми лучшими удельными показателями, но удовлетворяющего нормативным требованиям стандарта [3]. Например, рассмотрим автопоезд на базе седельного тягача MA3-5440B9 с двигателем ЯМЗ-651.10 с одним топливным баком объемом 500 л и средним эксплуатационным расходом топлива до 40 л/100 км в составе автопоезда 38 т. [8] и определим необходимую массу тяговых батарей для аналогичного автопоезда такой же приведенной полной массы (38 т) с чисто электрической силовой установкой из расчета эквивалентного запаса хода (1250 км) и применения тяговых ионно-литиевых накопителей электроэнергии аналогичных Tesla Model S.

Секция «АВТОМОБИЛЕСТРОЕНИЕ»

Предварительные расчеты показывают, что для автопоезда полной массой 38 т с дизельной энергетической установкой, условный показатель эффективности энергоносителя, выраженный количественно в виде удельной транспортной работы на 1 кг массы накопителя энергии для обеспечения запаса хода составляет 95 т*км/кг ($38 \text{ т} * 1250 \text{ км} / 500 \text{ кг}$). При этом условная транспортная работа (из расчета полной массы автопоезда 38 т) составит около 47500 т*км .

Для совершения аналогичной условной транспортной работы автопоезду с чисто электрической силовой установкой из расчета полной массы (38 т) и аналогичного запаса хода (1250 км) потребуется установка постоянно возимых тяговых ионно-литиевых накопителей электроэнергии аналогичных Tesla Model S общей массой около $15\,000 \text{ кг}$ ($47500 \text{ т*км} / 3,16 \text{ т*км/кг}$).

На рис. 3 и 4 проиллюстрированы результаты анализа и расчета.



Рисунок 3 – Стандартный европейский автопоезд общей массой 38 т с дизельным двигателем



Рисунок 4 – Аналогичный автопоезд общей массой 38 т с чисто электрической силовой установкой и ионно-литиевыми накопителями электроэнергии

То есть при полной массе 38 тонн и запасе хода 1250 км, “электрофуре МАЗ” потребуется постоянно возимый накопитель электроэнергии общей массой около 15 тонн и в реальных условиях эксплуатации магистральный автопоезд сможет физически перевозить

не более 7 тонн полезного груза (вместо 22 тонн с дизельным двигателем).

О РЕСУРСЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ НАКОПИТЕЛЕЙ ЭНЕРГИИ И ВОЗМОЖНЫХ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ И ДРУГИХ ПРОБЛЕМАХ

Как следует из паспортных и рекламных данных (таблица 1), срок службы накопителей энергии (тяговых аккумуляторных батарей) электромобиля Tesla Model S рассчитан на 7 лет или 160 тыс. км пробега. Из презентации Илона Маска и сайта компании Tesla [4] известно, что на грузовике Tesla Electric Semi предусмотрено использование аналогичных блоков самых совершенных и эффективных по емкости и запасу хода тяговых ионно-литиевых накопителей энергии, обеспечивающих запас хода 500 миль (около 806 км) при массе груза 36 тонн. При этом на каждую милю пути расход энергии не будет превышать 2 кВт*ч. Такой удельный показатель для реальных условий эксплуатации магистрального “электрогрузовика” почти из области фантастики.

Тем не менее, попробуем принять его за основу. В итоге получаем, что полная емкость блока батарей разрекламированного “электротягача” для обеспечения запаса хода 806 км должна составлять не менее 1000 кВт*ч. Для обеспечения запаса хода эквивалентного запасу хода обычного европейского дизельного автопоезда общей массой 38 т, (например, Volvo FH-12 [9] с объемом топливного бака 600 л, средним путевым расходом топлива 35л /100 км и, соответственно, запасом хода 1700 км), указанная емкость должна составлять не менее 2110 кВт*час в чисто электрическом эквиваленте, т.е. теоретически при идеальных условиях. Учитывая, что в реальных условиях эксплуатации (например, при низких температурах, повышенной влажности, вследствие естественного саморазряда и т.д.), емкость электрических накопителей энергии снижается и эффективно может использоваться не более 70 -75% от заявленной в паспортных данных [1], реальная емкость постоянно возимого накопителя электрической энергии должна быть не менее 2700 кВт*час. В пересчете на накопители энергии, используемые в Tesla Model S (емкость 85 кВт*час, габаритные размеры 2100 мм * 1200 мм * 150 мм, масса 450 кг), число аналогичных батарей должно быть не менее 32 штук, общая масса блока батарей не менее 14,4 тонн, геометрический объем более 12 м³.

То есть, по самой оптимистичной оценке, суммарный физический объем накопителя энергии для стандартного магистрального грузовика составит около 12 м^3 при его общей массе не менее 14,4 тонн, а срок службы составит не более 1 года (из расчета обычного для магистральных автопоездов годового пробега в объеме 160 – 200 тыс. км).

Если же учесть упомянутые технические требования стандартов в отношении грузовых автомобилей и автопоездов для магистральных перевозок [3], более жесткие условия их эксплуатации, по сравнению с легковыми автомобилями, и то обстоятельство, что в реальных условиях эксплуатации емкость АКБ падает, а при ускоренной зарядке ресурс существенно снижается [1], то срок службы АКБ будет еще ниже.

Таким образом, процесс ежегодной замены и утилизации ионно-литиевых АКБ такой массы и такого объема ($14,4$ тонн, 12 м^3) только с одного грузовика станет не только экономической, но и серьезной и трудно предсказуемой экологической проблемой.

Даже если не рассматривать упоминавшиеся выше серьезнейшие вопросы, связанные с электро- взрывобезопасностью, например, в случае ДТП [1] и т.д., утверждения и предположения что электромобили идеальны с точки зрения экологии, а “электрофуры” будут более эффективны для осуществления магистральных перевозок по сравнению с автомобилями с так называемыми “экологически не чистыми дизельными двигателями”, нельзя признать обоснованными.

По сути дела, “электрофура” способна будет возить только сама себя. И то в условиях, приближенных к идеальным. Впрочем, как легковой или развозной автомобиль, т.е. с примерным соотношением массы полезно перевозимого груза к полной массе 1:4. При этом, конечно, как “спорткар”, сможет разогнаться до 100 км/ч менее чем за 10 с с соответствующей потерей запаса хода. Но насколько этот показатель важен для магистральных тягачей и как скажется на их конкурентоспособности?

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Создание электромобилей-тягачей категории N3 и автопоездов на их базе для магистральных перевозок грузов не целесообразно и бесперспективно.

Секция «АВТОМОБИЛЕСТРОЕНИЕ»

Необходимо направить усилия на создание автомобилей и автопоездов с комбинированными (гибридными) силовыми установками на базе дизельных двигателей экологического уровня Евро-6, Евро-7 и стартер-генераторных установок с функциями “Старт-Стоп” и номинальным напряжением питания 36-42 В.

Для определения эффективности применения силовых и/или комбинированных энергетических установок на автомобилях и автопоездах для магистральных перевозок, методически правильно и целесообразно использовать такой показатель как условная (из расчета полной массы АТС) удельная транспортная работа, выраженная в тонно-километрах ($t \cdot km$) на 1 кг массы накопителя энергии.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ипатов А.А., Эйдинов А.А. “Электромобили и автомобили с комбинированными энергоустановками (КЭУ)”, книга, Москва 2004 г., 327 стр.

2. Поддубко С.Н. Перспективы развития электроприводов на транспорте в Республике Беларусь в 2016–2020 годах / С.Н. Поддубко // Современные проблемы проектирования автомобилей: материалы Международной научно-технической конференции, посвященной 75-летию кафедры «Автомобили» / Белорусский национальный технический университет, Автотракторный факультет, Кафедра «Автомобили». – Минск: БНТУ, 2015. – С. 18 - 27.

3. ГОСТ 21398-89 – Автомобили грузовые. Общие технические требования.

4. <https://www.tesla.com/semi>.

5. <https://www.drive2.ru/b/1978720/>.

6. <https://blog.e-karting.ru/obzor-patentov-tesla-motors-inc-ch-2/>.

7. <http://www.autonet.ru/auto/ttx/bmw>.

8. http://maz.by/ru/products/cargo_vehicle.

9. <https://www.volvotrucks.by/ru-by/trucks/volvo-fh.html>.