

# Анализ перспектив развития электрифицированного автомобильного транспорта

И. К. АЛЕКСАНДРОВ, докт. техн. наук, заведующий кафедрой безопасности жизнедеятельности и промышленной экологии

В. А. РАКОВ, ассистент кафедры безопасности жизнедеятельности и промышленной экологии,

Вологодский государственный технический университет



**Тенденции развития топливно-энергетического сектора России позволяют говорить о возможностях замены транспортных средств с экологически опасными и энергетически неэффективными двигателями внутреннего сгорания на электромобили.**

**Целесообразным следует признать перевод на электрическую тягу в первую очередь легкового автотранспорта.**

Состояние и развитие промышленного производства в стране достоверно отражают такие интегральные показатели, как объем потребляемой электрической энергии и объем транспортных потоков, в том числе осуществляемых за счет автомобильного транспорта.

Потребление электроэнергии в России за последние годы характеризуется непрерывным ростом (рис. 1). Динамика этого процесса определяется линейной зависимостью с достоверностью аппроксимации 98%. Если сохранится существующий темп роста, то энергопотребление к 2020 г. возрастет приблизительно на 20%, что соответствует прогнозу Института проблем естественных монополий [5].

Эта непрерывная тенденция роста энергопотребления, характерная не

только для РФ, но и для мировой экономики в целом, чревата глобальными негативными последствиями — опасным воздействием на природную среду в виде вредных выбросов, техногенных катастроф и нарушением теплового баланса планеты. Очевидна необходимость ограничения этой тенденции путем существенного снижения удельных энергетических затрат в промышленном производстве.

В соответствии с Энергетической стратегией России на период до 2030 г. планируется масштабное снижение удельных энергозатрат в экономике и энергетике (в 2,1–2,3 раза) при существенном увеличении (в 1,4–1,6 раза) количества потребителей и роста экспорта электроэнергии (в 1,1–1,2 раза) [8]. Согласно принятой стратегии, темп роста энергопотребления должен быть

замедлен, а к 2020 г. этот показатель предполагается даже понизить до значений 2008 г., что на рис. 1 представлено полиномиальной зависимостью. Достижение таких значений на фоне реальной потребности в энергетических ресурсах развивающегося производства представляется сложной задачей.

## Переход к электрификации

Увеличению потребности в производстве электрической энергии будет способствовать качественное изменение конструктивного вида автомобильного транспорта. В развитии как российской, так и мировой автомобильной промышленности наметились четкие тенденции к отказу от применения в качестве энергетической установки экологически опасного двигателя внутреннего сгорания (ДВС) и к переходу на электрифицированные транспортные средства (ТС).

В связи с этим актуализируется проблема развития электроснабжающих объектов и параллельно возникает совершенно новая задача — принципиального расширения электрических сетей транспортной инфраструктуры.

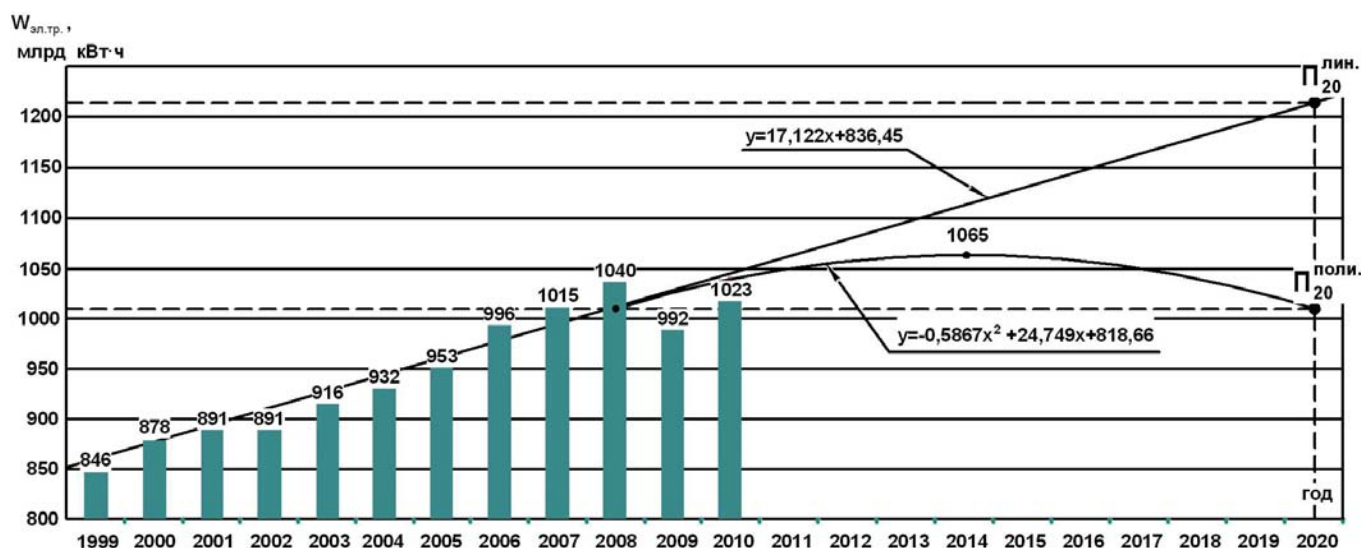


Рис. 1. Динамика потребления электроэнергии в РФ в 1999–2010 гг. и прогноз развития до 2020 г.

В этом отношении интересно отметить международный проект Better Place по разворачиванию сети электрических заправок, в котором участвуют Австралия, Канада, Израиль, Дания, Япония, США и др. [4]. Корпорация General Motors развивает электрификацию Китая, ведет строительство атомных электростанций. Введено в эксплуатацию 11 реакторов, около 20 проектируется [7].

С учетом этих тенденций важно оценить возможности России по полной электрификации автомобильного транспорта, для чего требуется исследовать инфраструктуру России и определить ее готовность к масштабному внедрению электромобилей.

### Энергетические затраты ДВС

Дополнительный объем электроэнергии, необходимый для перспективного электрифицированного автомобильного транспорта, может быть ориентировочно определен исходя из нынешних объемов потребления автотранспортом жидкого углеводородного топлива (рис. 2) [6].

На рис. 3 объем тепловой энергии, выделяемой при сгорании производимого в стране углеводородного топлива, сопоставлен с объемом вырабатываемой электрической энергии.

При построении диаграмм были использованы известные физические соотношения. В качестве примера приведен расчет показателей для 2010 г.

Количество произведенной электрической энергии:

$$W_{эл.эн.} = 1023 \text{ млрд кВт}\cdot\text{ч};$$

$$1 \text{ кВт}\cdot\text{ч} = 3,6 \text{ МДж},$$

$$W_{эл.эн.} = 1023 \times 10^9 \times 3,6 =$$

$$= 3683 \times 10^9 \text{ МДж}.$$

Количество произведенного бензина:

$$Q_B = 36 \text{ млн т} = 36 \times 10^9 \text{ кг}.$$

Удельная теплота сгорания бензина:

$$H_B = 41,87 \text{ МДж/кг} =$$

$$= 41,87 \times 10^6 \text{ Дж/кг}.$$

Энергия сгорания произведенного бензина:

$$W_B = Q_B \times H_B = 36 \times 10^9 \times 41,87 \times 10^6 =$$

$$= 1507 \times 10^9 \text{ МДж}.$$

Те же показатели по дизельному топливу составляют:

$$Q_{дт.} = 69,9 \times 10^9 \text{ кг};$$

$$H_{дт.} = 43,5 \times 10^6 \text{ Дж/кг};$$

$$W_{дт.} = 3041 \times 10^9 \text{ МДж}.$$

Таким образом, суммарный объем тепловой энергии, выделяемой при сгорании жидкого углеводородного топлива, существенно превышает объем вырабатываемой электрической энергии, что, на первый взгляд, ставит

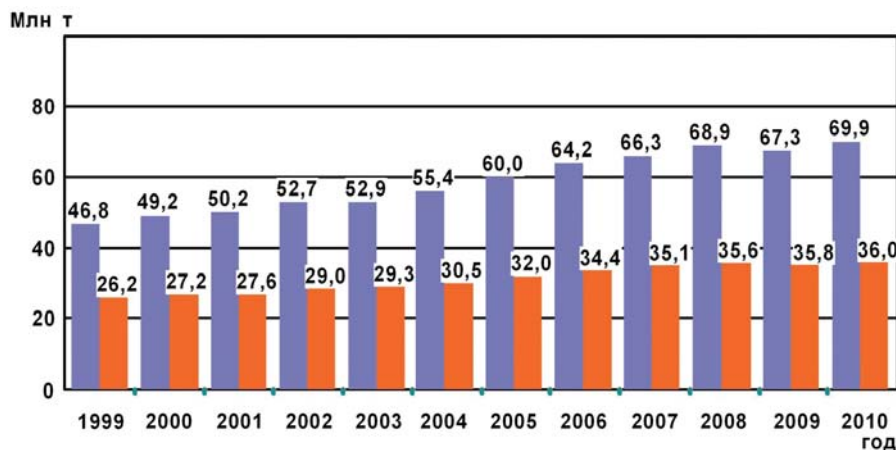


Рис. 2. Динамика производства дизельного топлива (слева) и бензина (справа) в РФ

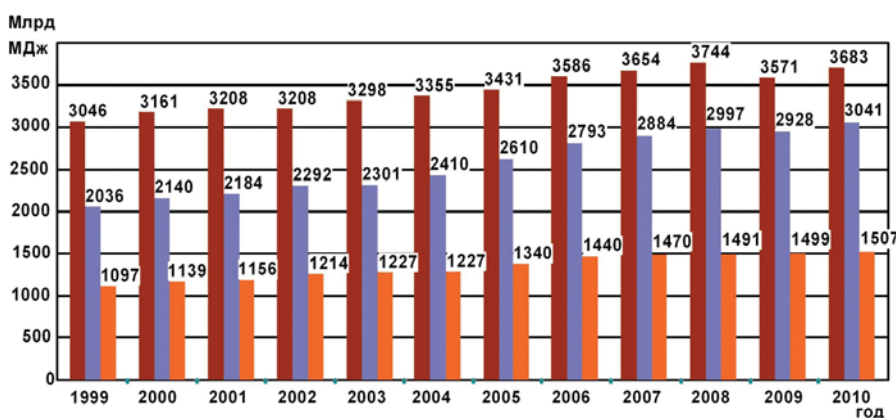


Рис. 3. Динамика потребляемой в РФ электрической энергии (слева); тепловая энергия от сгорания дизельного топлива (в центре) и бензина (справа)

под сомнение возможность полномасштабного перевода автомобильного транспорта на электрическую тягу в обозримом будущем. Однако следует учесть ряд обстоятельств: некоторые особенности сгорания углеводородов в ДВС, вероятность эффективного применения альтернативных энергоустановок, развитие которых активизировалось в последнее десятилетие, а также принятую стратегию развития энергетики. Все это в определенной степени способствует совершенствованию автомобильного транспорта.

Дизельного топлива используется практически в 2 раза больше, чем бензина (рис. 2). Однако на основании статистических данных определить объем дизельного топлива, используемого конкретно автотранспортом, затруднительно, так как потребителями этого вида топлива являются также железнодорожный и водный транспорт, агропромышленный комплекс и т. д. Для такого анализа потребуются дополнительные исследования, поэтому на данном этапе проведем анализ только применительно к транспортным средствам, использующим бензин.

Известно, что основными потребителями бензина являются легковые авто-

мобили и грузовые автомобили малой и средней грузоподъемности. Часть топлива, сгорающего в ДВС, реализуется в качестве полезной (транспортной) работы, а большая часть в виде тепловой энергии бесполезно выбрасывается в атмосферу. Соотношение между тепловой энергией топлива и энергозатратами на транспортный процесс определяется эксплуатационным КПД ТС.

Как показали экспериментальные исследования, при движении автомобиля в реальных условиях возможности ДВС используются в среднем только на одну треть [1; 3]. Таким образом, если ДВС загружен на 100 % (т. е. работает на внешней скоростной характеристике, что может быть осуществлено только на стенде) и его КПД при этом чуть более 30 %, то при совершении транспортной работы в реальных условиях эксплуатационный КПД составляет всего 10–12 %. Значит, пропорционально возрастает и удельный расход топлива на единицу транспортной работы.

Следовательно, энергетические затраты на совершение полезной транспортной работы  $W_{тр}$  могут быть определены по формуле

$$W_{тр} = 0,1 W_B. \quad (1)$$

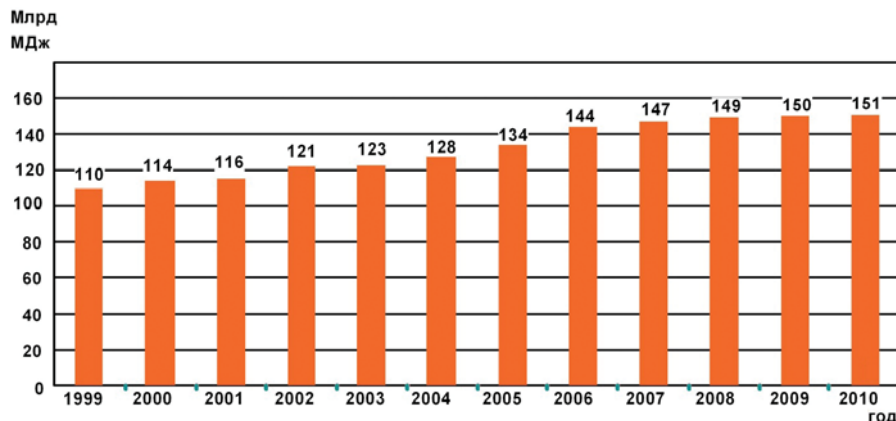


Рис. 4. Динамика полезной транспортной работы бензиновых транспортных средств

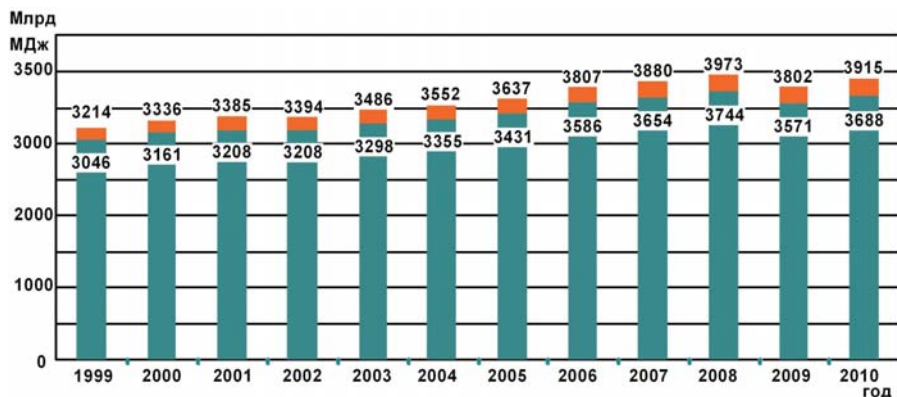


Рис. 5. Гипотетические затраты электроэнергии в случае замены ТС с бензиновым двигателем на электромобили (дополнительные затраты выделены оранжевым цветом)

Применительно к 2010 г. это составило  
 $W_{тр} = 0,1 \times 1507 \times 10^9 =$   
 $= 150,7 \times 10^9$  МДж.

Таким образом, по данным об объеме израсходованного автотранспортом бензина (рис. 2), используя зависимость (1), определяем объем совершенной им транспортной работы (рис. 4).

### Энергетические затраты электродвигателей

Теперь представим, что указанный объем транспортной работы выполняют электрифицированные ТС, эксплуатационный КПД которых составляет приблизительно 0,65 [2]. Зная это, можно определить затраты электрической энергии, необходимые на привод электрифицированных ТС, используя зависимость  $W_{эл.тр.} = W_{тр.}/0,65$ .

Данные о требующемся дополнительном объеме электрической энергии в случае замены ТС, использующих бензин, на гипотетические электромобили представлены на рис. 5.

Из проведенного анализа следует, что при электрификации части автотранспорта (использующего бензиновые двигатели) нагрузка на энергодобывающие объекты и электрические сети увеличивается приблизительно на 5%. Следовательно, массовый перевод ТС с бензиновым двигателем на элект-

рическую тягу вполне достижим в ближайшие годы. И все же этот процесс следует осуществлять поэтапно по мере увеличения объема выработки электроэнергии (в частности, путем использования альтернативных источников энергии) или экономии ее за счет внедрения энергоэффективных технологий в соответствии с Энергетической стратегией России до 2030 г.

Осуществить перевод на электрическую тягу большегрузных автотранспортных средств с дизельными двигателями намного сложнее, так как при этом возникают две весьма серьезные проблемы.

Во-первых, до настоящего времени отсутствуют компактные, достаточно энергоемкие и относительно дешевые накопители электрической энергии, которые обеспечивали бы снижение собственной массы грузового электромобиля до приемлемых значений. По авторским расчетам, при совершении одной и той же транспортной работы, необходимой для перевозки заданного количества груза в течение смены, суммарная масса гибридной установки с накопителями электроэнергии существенно (в разы) меньше, чем масса автономного накопителя электроэнергии без ДВС, необходимого для совершения той же самой транспортной работы.

Иными словами, создание грузового электромобиля на базе современных накопителей электроэнергии в принципе нерационально. Образно говоря, такой электромобиль будет перевозить в основном самого себя, что допустимо для легкового автомобиля, но абсолютно неприемлемо для грузового.

Во-вторых, существует дефицит электрической мощности энергодобывающих предприятий и электрических сетей.

### Переходные гибриды

Для полной электрификации автотранспорта необходим длительный переходный этап, в течение которого на ТС рационально будет применять гибридные энергоустановки, обеспечивающие возможность использования углеводородного топлива. Применение комбинированных энергоустановок позволит планомерно развивать систему электропитания до окончательного перехода в перспективе на электромобили.

Переходный этап оправдан также с экологических позиций. Опыт эксплуатации свидетельствует, что экологические показатели гибридных ТС существенно выше, чем обычных автомобилей с ДВС. Кроме того, при ограниченном суточном пробеге допускается применение гибридных ТС в качестве электромобилей, получающих питание только от внешней электрической сети, что дополнительно снижает потребность в углеводородном топливе.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Александров И. К., Белков О. Л., Раков В. А. Оценка энергетической эффективности ДВС в условиях неустановившегося режима работы // Вестник машиностроения. 2008. № 6.
2. Александров И. К. Энергетический КПД машины с частичной рекуперацией энергии // Вестник машиностроения. 2007. № 9.
3. Говорущенко Н. Я. Экономия топлива и снижение токсичности на автомобильном транспорте. М.: Транспорт, 1990.
4. Инфраструктура зарядки электромобилей [Электронный ресурс]. URL: [http://ru.wikipedia.org/wiki/Better\\_Place](http://ru.wikipedia.org/wiki/Better_Place).
5. Прохорова Н. Социально экономическое развитие 2020: Инновационная утопия // Нефтегазовая вертикаль. 2008. № 5.
6. Статистические данные по производству топлива в России [Электронный ресурс]. URL: <http://www.gks.ru/dbscripts/Cbsd/DBInet.cgi>.
7. Электрификация Китая [Электронный ресурс]. URL: <http://futurika.info/history/elektrifikaciya-gibrid-avtomobil>.
8. Энергетическая стратегия России на период до 2030 года: распоряжение Правительства Российской Федерации от 13.11.2009 № 1715-р.