

УДК 621.331

В.В. Тиматков<sup>1</sup>

## ПЕРЕХОД В НОВЫЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ МИР КАК ФАКТОР РОСТА ЭКОНОМИКИ

Развитие цивилизации сопровождается кризисами, которые открывают дорогу новым технологическим укладам. Нынешняя ситуация в транспортно-энергетическом секторе связана с освоением электромобилей, которые не только изменят вид основного транспортного средства, но и окажут существенное влияние на развитие смежных отраслей, в частности – всего ТЭК. Рассматривая и сравнивая экономические показатели использования обычных авто с ДВС и электромобилей, автор приходит к выводу, что использование последних дает не только лучшие экологические, но и экономические показатели.

*Ключевые слова:* энергоэффективность, новые технологии для транспорта, электромобили.

Экономические кризисы неразрывно связаны с резкими колебаниями мировых цен на сырьевые материалы, и в первую очередь – на нефть. Спад экономической активности приводит к снижению потребления энергии и сырья, предложение на эти товары начинает превышать спрос – и цена на сырьевые ресурсы снижается. В свою очередь, это приводит к кризисным явлениям в экономиках стран-экспортеров энергоресурсов и сырья.

Помимо кризисных явлений, угнетающими для экономики стран, экспортирующих энергоресурсы, являются и некоторые постепенные изменения неуклонного характера, в частности – повышение энергоэффективности всевозможных промышленных и бытовых устройств и технологий.

Для России, как для одного из крупнейших в мире нетто-экспортеров энергоресурсов, современная тенденция на повышение энергоэффективности в определенном смысле не является благом. В самом деле, при отсутствии заметного роста мировой экономики развитие энергоэффективных технологий работает на снижение энергопотребления, то есть на снижение спроса и цен на основной экспортный товар России.

Вместе с тем повышение энергоэффективности требует применения высоких технологий и продуктов, которые требуют привлечения существенных ресурсов как на этапе разработки, так и на этапе производства. Под ресурсами в данном случае подразумеваются не только ма-

териальные, но также финансовые и трудовые ресурсы.

Иными словами, тенденция на повышение энергоэффективности, с одной стороны, угнетающе действует на энергетический сектор, но стимулирует развитие высокотехнологического сектора экономики, появление новых рабочих мест и производств. Для сбалансированного развития страны-экспортеры сырья и энергоресурсов заинтересованы в том, чтобы стать зоной размещения заметной части этих новых рабочих мест и производств. В противном случае глобальное внедрение энергоэффективных технологий для таких стран фактически означает сокращение экспорта при росте импорта, то есть ухудшает платежный баланс.

Электромобили – яркий пример подобной энергоэффективной технологии, которой еще только предстоит широкое внедрение.

Энергоэффективность транспортных средств принято оценивать при помощи показателя «well-to-wheel efficiency», отражающего долю энергии от добытого на скважине энергоносителя, которая в конечном итоге преобразуется непосредственно в энергию движения транспортного средства.

Для автомобиля на ДВС цепочка преобразований включает в себя добычу нефти, ее транспортировку на НПЗ, переработку в топливо, транспортировку топлива до АЗС и, наконец, эффективность работы двигателя внутреннего сгорания и трансмиссии автомобиля.

---

<sup>1</sup> Василий Вячеславович Тиматков – технический директор ООО «ЛионСистемс», ст. научный сотрудник лаборатории системных исследований в энергетике ОИВТ РАН, к.т.н., e-mail: timatkov@guies.ru.

Для электромобиля аналогичная цепочка включает добычу ископаемого топлива, его доставку до электростанции, преобразование в электроэнергию, передачу электроэнергии до зарядной станции, процесс зарядки аккумуляторной батареи и эффективность работы тягового инвертора с электроприводом.

В зависимости от сделанных допущений, итоговая энергоэффективность электромобилей оценивается на уровне 30-40%, в то время как эффективность автомобиля на ДВС в городском цикле движения лежит в пределах 14-18% [1].

Энергетическая эффективность электромобиля, как следствие, определяет его экологическую эффективность. Помимо того факта, что локальное использование электромобилей вместо автотранспорта на углеводородном топливе позволяет резко сократить уровень загрязнения окружающей среды различными опасными химическими соединениями, применение электромобилей также позволяет снизить уровень выброса парниковых газов.

Сравним объем выбросов парниковых газов для разных типов транспортных средств в современных российских условиях, исходя из следующих фактов и допущений:

- среднее потребление топлива современного легкового автомобиля при движении в городском цикле – 8 л/100 км;
- среднее потребление электроэнергии для электромобиля – 0,18 кВт·ч/100 км;
- доля тепловой энергетики в структуре российской электрогенерации – 66,7%;
- доля природного газа в топливном балансе тепловой электрогенерации – 73%;
- средний расход условного топлива на производство электроэнергии – 335 г/кВт·ч;
- коэффициент перевода каменного угля в условное топливо по массе – 0,7;
- коэффициент перевод природного газа в условное топливо – 1,15 кг у.т./м<sup>3</sup>;
- содержание углерода в каменном угле по массе – 82%;
- содержание углерода в природном газе по массе – 75%;
- содержание углерода в бензине по массе – 84,2%;
- масса углекислого газа, образующегося при сжигании 1 кг углерода – 3,67 кг;

- плотность природного газа – 0,75 кг/м<sup>3</sup>;
- плотность бензина – 0,75 кг/л;
- энергозатраты на производство бензина от добычи нефти до продажи на АЗС – около 15% от энергоемкости бензина;
- средний уровень потерь в электросетях – 10%;
- КПД процесса зарядки аккумулятор на электромобиле – 85%.

На 100 км пробега традиционный автомобиль с бензиновым ДВС затратит 8 л бензина. Масса сгоревшего при этом углерода составит:  
 $8 \cdot 0,75 \cdot 0,842 = 5,05$  кг.

Суммарные выбросы CO<sub>2</sub> с учетом энергозатрат на добычу нефти, производство, транспортировку и сбыт бензина составят:  
 $5,05 \cdot 3,67 \cdot 1,15 = 21,3$  кг.

Оценим выбросы углекислого газа для электромобиля. С учетом доли тепловой генерации в структуре выработки электроэнергии в России равной 66,7%, и принимая для расчета, что производство электроэнергии на ГЭС и АЭС практически не создает выбросов парниковых газов, будем учитывать только  $18 \cdot 0,667 = 12$  кВт·ч из потребляемой электромобилем энергии при пробеге в 100 км.

Для производства 12 кВт·ч электроэнергии потребуется  $0,335 \cdot 12 = 4$  кг условного топлива. Используя распределение газа и угля в топливном балансе тепловой электроэнергетики, а также коэффициенты для перевода условного топлива в уголь и природный газ, получим, что для производства 12 кВт·ч электроэнергии на тепловых станциях необходимо затратить 1,91 кг угля и 1,8 кг природного газа. Сжигание этого топлива приведет к образованию CO<sub>2</sub>:  
 $(1,91 \cdot 0,82 + 1,8 \cdot 0,75) \cdot 3,67 = 10,7$  кг.

Учтем затраты на добычу и доставку топлива на электростанцию (7% от энергоемкости), интегральные потери в электросетях (около 10%) и КПД процесса зарядки автомобильного аккумулятора (85%). Получим итоговое количество произведенного CO<sub>2</sub>, связанное с пробегом электромобиля 100 км:

$$10,7 \cdot 1,07 \cdot 1,1 / 0,85 = 14,8 \text{ кг.}$$

Таким образом, в современных российских условиях замена традиционного автомобиля с ДВС на электромобиль приводит в конечном итоге к сокращению уровня выбросов парниковых газов на транспорте примерно на 30%.

Какие же вызовы ставит перед научно-техническим сообществом задача внедрения электромобилей? В целом для решения этой задачи должно выполниться условие потребительской эквивалентности электромобиля и традиционного автомобиля: по суммарной стоимости приобретения и владения, комфорту и динамике, удобству использования. И практически все указанные аспекты напрямую зависят от характеристик аккумуляторной батареи.

Аккумуляторная батарея является ключевой частью электромобиля, отвечая за такие важные характеристики, как запас хода, скорость зарядки и общая масса. Одновременно с этим батарея составляет существенную долю стоимости электромобилей, предопределяя уровень спроса и скорость их распространения.

В настоящее время удельная стоимость батареи для электромобиля оценивается примерно в 500 долл. за 1 кВт·ч, в то время как в 2009 г. эта величина составляла 1000-1200 долл. за 1 кВт·ч [2]. Подобное снижение объясняется тремя составляющими: ростом объемов производства, оптимизацией производственного процесса и сокращением издержек, а также развитием конкуренции среди поставщиков основных компонентов для аккумуляторных батарей.

Согласно данным Министерства энергетики США [3], за последние 5 лет в рамках исполнения Закона «О восстановлении и реинвестировании американской экономики» (American Recovery and Reinvestment Act of 2009), за счет государственной поддержки в США была создана крупная индустрия по производству аккумуляторных батарей для электромобилей.

Учитывая приведенные выше оценки, можно примерно оценить, что на долю аккумуляторной батареи в цене электромобиля еще четыре года назад приходилось около 15-20 тыс. долл., то есть сумма, значительно превышающая разницу в цене между обычным бензиновым автомобилем и электромобилем.

По прогнозу исследовательского центра Navigant Research [4], к 2015 г. ожидается снижение удельной стоимости литий-ионных аккумуляторных батарей до уровня 300 долл. за 1 кВт·ч, а к 2020 г. – до уровня 180 долл. за 1 кВт·ч. Рассматривая эффект от подобного снижения цены на примере электромобиля Nissan

Leaf, обладающего батареей емкостью 24 кВт·ч, можно рассчитать возможное снижение его цены.

Исходя из предположения, что контракты на поставку батарей для проданных в 2013 г. Nissan Leaf были заключены не позже 2011-2012 гг., будем считать, что удельная стоимость батареи в уже проданных электромобилях составляла около 700 долл. за 1 кВт·ч. В таком случае, при снижении цены на батареи к 2020 г. до прогнозного уровня 180 долл. за 1 кВт·ч, стоимость батареи, а, следовательно, и электромобиля в целом может быть снижена на 12,5 тыс. долларов.

Нынешняя стоимость Nissan Leaf на рынке США составляет 35,4 тыс. долл., а с учетом государственной субсидии в размере 7,5 тыс. долл. этот электромобиль обходится потребителям в 28 тыс. долларов. Таким образом, ожидаемое снижение цен на аккумуляторную батарею создает потенциал для снижения потребительской цены Nissan Leaf до уровня 15,5 тыс. долл., то есть теоретически позволяет сделать его более дешевым, чем обыкновенный бензиновый автомобиль сопоставимого класса.

Реальная динамика цен на электромобили, даже при резком удешевлении аккумуляторных батарей, будет определяться и производственными возможностями компаний-изготовителей электромобилей, и государственной политикой по субсидированию приобретения экологически чистых автомобилей, и реальным спросом на электромобили. Однако в случае, если приведенный прогноз по уровню цены на аккумуляторные батареи окажется близким к реальности, то ценовой барьер, препятствующий в настоящее время возникновению массового спроса на электромобили, может быть практически ликвидирован.

В отношении удельных энергетических показателей аккумуляторных батарей, определяющих запас хода и динамику разгона, за последние несколько лет произошел значительный прогресс [5]. Так, например, значение средней объемной плотности энергии, запасаемой в аккумуляторной батарее подключаемых гибридов, выросло с 60 Вт·ч/л в 2007 г. до 150 Вт·ч/л в 2013 году. Это увеличение облегчило задачу установки батареи без ущерба для размещения прочих узлов автомобиля и без

сокращения пространства внутри салона. В результате выросло количество производителей и количество доступных на рынке марок подключаемых гибридов, и, как следствие – к росту общего объема продаж.

В рамках программы Министерства энергетики США «EV Everywhere» [6] поставлена основная цель – достичь такого уровня развития технологий в области электропривода и хранения энергии, который позволит к 2022 г. производить электромобили, ни в чем не уступающие современным автомобилям с двигателем внутреннего сгорания – то есть, имеющие аналогичные показатели по запасу хода, динамике разгона, времени заряда, внутреннему объему салона и багажного отделения, и, разумеется, по цене приобретения.

Для этого, в частности, требуется повысить характеристики аккумуляторных батарей до следующих значений:

- стоимость – 125 долл./кВт·ч;
- объемная плотность энергии – 400 Вт·ч/л;
- массовая плотность энергии – 250 Вт·ч/кг;
- удельная мощность – 2000 Вт/кг.

Помимо обозначенных задач по развитию аккумуляторных систем хранения энергии, для распространения электромобилей потребуются также и многое другое, в том числе совершенствование систем электропривода, энергосберегающие технологии обогрева салона, развитие силовой электроники для инверторов и зарядной инфраструктуры.

Более того, в настоящее время пока только осознается возможность построения транспортной инфраструктуры городов, основанной на использовании пока еще только зарождающихся технологий. Среди таких технологий – автоматическое управление движением автомобиля, беспроводная зарядка батарей или даже беспроводное снабжение электромобиля энергией во время его движения, объединения автомобилей в информационную сеть для оптимизации режимов движения и повышения пропускной способности дорог.

Просматриваются и перспективы синергетического развития электротранспорта и электро-

энергетики, в первую очередь за счет использования электромобилей как распределенного накопителя энергии, который может не только принимать энергию из сети, но и при необходимости отдавать энергию в сеть. Текущие консервативные прогнозы численности парка электромобилей к 2020 г. сходятся на величине примерно 4 млн штук. Расчет суммарной энергоемкости аккумуляторных батарей такого парка электромобилей дает величину на уровне 125 млн кВт·ч. Для сравнения, емкость верхнего бассейна Загорской ГАЭС позволяет выработать около 5 млн кВт·ч электроэнергии – то есть в 25 раз меньше.

Иными словами, уже в третьем десятилетии XXI в. можно ожидать формирования принципиально нового явления – мобильной энергетики, причем мобильной не столько в пространстве, сколько во времени.

Рассуждая теоретически, если уже разрабатываемые ныне месторождения лития будут в значительной степени потрачены на производство литий-ионных батарей, то добыча 13 млн т лития будет эквивалента производству аккумуляторных батарей суммарной энергоемкостью 15,6 млрд кВт·ч. По состоянию на 2009 г., мировая суточная выработка электроэнергии составила 54 млрд кВт·ч. Это сопоставимые цифры.

А ведь помимо уже разрабатываемых месторождений существуют разведанные запасы в объеме 34 млн т. Потенциал мобильной энергетики огромен, и вполне можно ожидать, что широкое развитие электротранспорта позволит в будущем помочь в решении проблемы наращивания возобновляемых источников энергии в общем энергобалансе – ведь эти источники нестабильны по своей природе и требуют использования систем накопления энергии.

Таким образом, заглядывая в недалекое будущее можно увидеть, что потенциальный ущерб, который может понести нефтеперерабатывающая промышленность от сокращения спроса на углеводородное топливо при массовом переходе на электромобили, с лихвой будет перекрыт ростом в тех областях знаний и промышленности, развитие которых будет необходимо при создании базы для такого перехода.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Maury Markowitz. *Wells to wheels: electric car efficiency*. 2013. URL: <https://matter2energy.wordpress.com/2013/02/22/wells-to-wheels-electric-car-efficiency/>
2. Sam Jaffe. *The Lithium Ion Inflection Point*. 2013. URL: <http://www.batterypoweronline.com/main/articles/the-lithium-ion-inflection-point/>
3. Christopher Johnson. *Grant Progress Review. US Department of Energy 2012 Merit Review*. 2012. URL: [http://energy.gov/sites/prod/files/2014/03/f9/es098\\_johnson\\_2012\\_o.pdf](http://energy.gov/sites/prod/files/2014/03/f9/es098_johnson_2012_o.pdf)
4. *Emerging Battery Technologies*. 2013. URL: <http://www.navigantresearch.com/research/emerging-battery-technologies>
5. Uday S. Kasavajjula, Chunsheng Wang and Pedro E. Arce. *Discharge Model for LiFePO4 Accounting for the Solid Solution Range*. *Journal of The Electrochemical Society*, 155 (11) A866-A874.
6. *EV Everywhere Grand Challenge. Road to success*. 2014. URL: [http://energy.gov/sites/prod/files/2014/02/f8/everywhere\\_road\\_to\\_success.pdf](http://energy.gov/sites/prod/files/2014/02/f8/everywhere_road_to_success.pdf)

Поступила в редакцию  
09.12.2014 г.

V. Timatkov<sup>2</sup>

## THE SHIFT TO NEW ELECTRIC WORLD AS THE FACTOR FOR ECONOMIC GROWTH

The civilization development goes through crises which lead to new technological modes. The current situation in transport and energy sector is connected with the growing use of electric cars, which will not only change the design of the vehicle, but will also influence heavily the growth in connected industries, including all energy sector. Analyzing and comparing the figures of use of the usual vehicles with electric ones, the author comes to the conclusion that the use of electric vehicles will not only give better ecological, but also economic results.

*Key words:* energy efficiency, new transport technologies, electric vehicles.

---

<sup>2</sup> Vasily V. Timatkov – CTO, «LionSystems» LLC, senior research specialist of Energy Sector Systematic Research Laboratory JIHT RAS, PhD in Engineering, e-mail: timatkov@guies.ru.