

## **ОХРАНА ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ**

УДК 502.3:504.5:621.43

**С. П. Высоцкий, д-р техн. наук<sup>1</sup>, И. В. Брусинская<sup>2</sup>, К. В. Халваджи<sup>1</sup>**

**1 – ГОУВПО Донбасская национальная академия строительства и архитектуры,  
г. Макеевка, 2 – Автомобильно-дорожный институт  
ГОУВПО «Донецкий национальный технический университет», г. Горловка**

### **УЛУЧШЕНИЕ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ И ЭКОНОМИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ АВТОМОБИЛЬНОГО ТРАНСПОРТА**

*Мировые производители автомобилей наращивают выпуск электромобилей. Их использование обеспечивает ряд экономических и экологических преимуществ. Для электромобилей важна энергоёмкость аккумуляторных батарей. Применение литий-ионных аккумуляторов обеспечивает плотность энергии более чем в 8 раз превышающую этот показатель у традиционных свинцово-кислотных устройств. В условиях недостаточно развитой сети зарядных станций предпочтительно использовать гибридные автомобили, оснащенные двигателем внутреннего сгорания пониженной мощности.*

***Ключевые слова:** электромобиль, литий-ионный аккумулятор, плотность энергии, рекуперация*

#### **Введение**

Одним из создателей экономического бума в США является Генри Форд. Технология производства автомобилей существовала в 19 веке, однако Генри Форд в начале 20 века сделал автомобиль доступным товаром для большинства населения в США. Именно автомобиль благодаря Форду создал импульс к экономическому развитию. Десятки или сотни тысяч рабочих мест создало строительство автомобильных дорог, производство различных автомобилей и комплектующих, резинотехнических изделий, развитие нефтехимической и сталелитейной промышленности, сети автозаправочных станций и т. д. Благодаря автомобилям люди могут путешествовать на большие расстояния, что вызвало необходимость строительства мотелей, заведений быстрого питания, сети магазинов и т. д. В настоящее время организация занятости населения, создание дополнительных рабочих мест являются приоритетными для развития экономики любой страны.

Одновременно с улучшением жизни людей, в результате увеличения количества автомобильного транспорта, возникли проблемы загрязнения окружающей среды. Даже в завершенном процессе сгорания топлива в автомобиле образуются несколько типов загрязняющих веществ: оксид и диоксид углерода, оксиды азота и серы, углеводороды [1]. В США автомобильный транспорт является источником выбросов 70 % оксида углерода, 45 % оксидов азота и 34 % углеводородов [2].

В современных условиях в Федеративной Республике Германии примерно 12 млн автомобилей, оборудованных дизельными двигателями, запрещены к использованию в городах страны природоохранными органами, как не соответствующие экологическим правилам Евро-6Д. Выплачиваемая владельцам автомобилей компенсация в сумме примерно 3 000 евро на переоборудование указанных автомобилей по экспертным оценкам не позволяет обеспечить нормируемые экологические показатели.

Крупнейшим источником эмиссии парниковых газов в США (до 50 %) является процесс сжигания бензина и дизтоплива в автомобилях [2]. Повышение температуры атмосферного воздуха приводит к изменению функционирования экосистем и погодных условий. Нарушается работа так называемых «тепловых машин погоды» [3].

Большинство стран мира предпринимают усилия по сокращению или ограничению эмиссии парниковых газов для борьбы с глобальным изменением климата. В 1997 г. в г. Киото (Япония) закреплено протоколом соглашение между 183-мя странами о том, что они будут работать над сокращением выбросов парниковых газов.

Одним из таких решений является применение гибридных автомобилей, в которых используется, наряду с традиционным двигателем, работающим на жидком или газовом топливе, и электромотор, работающий от аккумуляторных батарей. В некоторых странах существует также решение использования только электропривода на автомобильном транспорте [4].

**Целью настоящей работы** является оценка экологических и экономических преимуществ, а также путей устранения ограничивающих факторов использования электромобилей.

### ***Изложение основного материала исследований***

В современных условиях в мировой практике все более широкое внимание уделяется использованию электромобилей. Основным ограничивающим фактором их широкого внедрения является необходимость применения высокоемких, компактных аккумуляторных батарей и отсутствие инфраструктуры по обеспечению их зарядки.

Великобритания и Франция объявили, что продажи новых автомобилей, оборудованных бензиновым или дизельным двигателем, будут запрещены с 2040 года. Популярный шведский производитель автомобилей Volvo объявил, что с начала 2019 года все его автомобили будут оснащены электрическим или бензиновым гибридным двигателем. В г. Париже запрещено движение транспортных средств, выпущенных до 2000 года, а с 2015 г. проводится ежегодный день без автомобилей. Производитель автомобилей Volvo в Китае под торговой маркой Geely с 2019 г. планирует выпускать только электромобили или гибридные автомобили, а к 2025 г. планирует продать миллион электромобилей.

Следует отметить, что сокращение выбросов диоксида углерода за счет применения электропривода не является однозначным решением. Известно, что эмиссия CO<sub>2</sub> при генерации 1 кВт·ч энергии при использовании природного газа составляет 0,27 кг, нефтепродуктов – 0,35 кг, угля – 0,40 кг и электроэнергии – 0,83 кг. Поэтому, при генерации тепловой энергии использование электричества однозначно невыгодно. Однако, учитывая то, что КПД использования топлива в автомобиле составляет примерно 20 %, а КПД генерации электрической энергии составляет более 35 % [4], такое решение использования электропривода дает преимущество в снижении генерации диоксида углерода. Кроме того, зарядка аккумуляторных батарей может осуществляться в период «провала» графика электрических нагрузок – в ночное время [5]. Также за счет снижения времени пусков-остановок двигателя в режиме городского трафика и того, что решается проблема снижения загрязнения в экологически напряженном регионе, применение электротранспорта обеспечивает целый ряд преимуществ, в том числе и экономических.

Мировой опыт показывает, что решение проблемы аккумуляирования относительно больших количеств энергии в ограниченном объеме может быть решено за счет использования литий-ионных аккумуляторов. Удельная плотность энергии измеряется в Вт·ч/дм<sup>3</sup>. Этот показатель в свинцово-кислотных аккумуляторах составляет 30 Вт·ч/дм<sup>3</sup>, а в литий-ионных батареях удельная плотность энергии составляет 250 Вт·ч/дм<sup>3</sup>. Новые разрабатываемые батареи могут накапливать еще больше энергии. Низкая плотность энергии в свинцово-кислотных аккумуляторах удовлетворяла потребителей, когда требовалось относительно небольшое количество энергии как вспомогательного средства для запуска традиционных бензиновых или дизельных двигателей. В случае, когда электрический аккумулятор является основным источником энергии, емкость традиционных свинцово-кислотных аккумуляторов явно недостаточна.

В литий-ионных аккумуляторах существуют температурные ограничения, обуслов-

ленные высокими плотностями тока и, соответственно, повышенным тепловыделением. В США имеются разработки электролитов на основе имида лития, которые минимизируют тепловое расширение электролита в условиях высоких температур. Разработаны аноды на основе соединений кремния, которые обеспечивают более высокую плотность тока. Выпускаются также литий-ионные аккумуляторы Super Polymer 2,0, имеющие высокую огнестойкость и широкий диапазон рабочих температур. Для обеспечения средней батареи электрической емкостью 50 кВт·ч требуется довольно значительное количество лития – 8,3 кг. Однако значительные запасы лития, которые сосредоточены в основном в Южной Америке, обеспечивают удовлетворение потребностей в этом металле примерно на протяжении 200 лет [6].

Малая плотность энергии в аккумуляторах вынуждает использовать гибридные автомобили с традиционными двигателями и электромоторами. Недостатком такого решения является увеличение массы автомобиля, сложность компоновочных решений. Потребовалось применение нового революционного решения, такого, которое произошло во второй половине прошлого века в энергетике при отказе от поперечных связей между элементами генерации энергии и использованием блочной компоновки. Отсутствие запасного варианта, когда при отказе одного из элементов генерации механической энергии происходит коллапс, потребовало повышения надежности электрической части привода. Контролирующим фактором в этом случае является накопитель энергии – аккумулятор.

Один из лидеров в производстве электромобилей – компания «Тесла» (США) применяет не отдельные большие аккумуляторные батареи, а большое количество маленьких цилиндрических литий-ионных элементов, подобных тем, которые используются в бытовых электронных устройствах. Учитывая то, что такие элементы уже опробованы, более дешевые в производстве и, соответственно, – по стоимости, возникают приоритеты их использования. Кроме этого, исключаются некоторые функции безопасности из-за их избыточности в результате совершенствования системы управления температурным режимом батареи и предотвращения возгорания.

В 2016 г. стоимость аккумуляторов фирмы «Тесла» составляла 200 долларов США за кВт·ч. Компания «Argonne Labs» на начало 2017 года оценила стоимость аккумуляторных батарей в 163 доллара США за кВт·ч при производительности 500 тысяч комплектов в год. Предполагаемый срок службы батарей 10–15 лет.

В электромобилях компании «Тесла» аккумуляторные батареи размещены под полом автомобиля. Наряду с экономией пространства салона и багажника увеличивается риск повреждения аккумулятора в результате удара. Для защиты аккумуляторного отсека в некоторых моделях электромобилей устанавливается защитная броневая пластина из алюминиевого сплава толщиной 6,4 мм. Учитывая состояние отечественных дорог, проблематична защита блока даже при наличии указанной пластины, поэтому предпочтительным решением для наших условий является размещение аккумуляторного блока в освободившемся пространстве моторного отсека.

Следует отметить, что в электромобилях добавлена также полуавтономная помощь водителю, так называемый автопилот. Последний включает: круиз-контроль, предупреждение о выезде с полосы движения, экстренное торможение, параллельную и перпендикулярную парковку, выезд автомобиля с места парковки. Автопилот обеспечивается восемью камерами, двенадцатью ультразвуковыми датчиками и направленным в сторону движения радаром. В некоторых моделях установлены два графических процессора и камера, обращенная к водителю для контроля его состояния. В 2017 г. Илон Маск, генеральный директор компании «Тесла», заявил, что через два года (в 2019 г.!) водители смогут спать в своем автомобиле во время езды.

Учитывая, что основным элементом, обеспечивающим длительность работы транспортного средства, является аккумуляторная батарея, возникает необходимость экономного использования энергии. Для восстановления энергии, которая теряется при торможении,

применяются системы регенеративного торможения. Эффективная работа таких систем обеспечивается при плавном торможении и отсутствии «рваных» режимов работы, которые вредны как для работы аккумуляторной батареи, так и для режима ее зарядки при торможении.

Еще одним механизмом рекуперации энергии, который проходит стадию исследования, является система регенеративной подвески. В Нью-Йоркском университете разработаны и испытаны модифицированные регенеративные амортизаторы, благодаря которым восстанавливается вибрационная энергия автомобиля [7]. По оценкам исследователей полномасштабная система рекуперации энергии обеспечит восстановление мощности на четырехколесном автомобиле до 256 Вт при движении автомобиля со скоростью 70 км/ч и хорошем качестве дорожного покрытия. При качестве автомобильных дорог в Украине восстановленная мощность будет существенно больше.

В практике Российской Федерации использование электромобилей становится показателем престижа [8]. В мировой практике применение электромобиля позволяет сократить эксплуатационные расходы в 3–4 раза. По данным владельцев электромобилей, приведенным в Интернете, в г. Москве при среднем ежедневном расстоянии поездки в 35 км расходы на бензин для автомобиля Ниссан с ДВС составили 6–8 тыс. руб. в месяц плюс ежегодные расходы на техобслуживание (ТО) ~ 15 тыс. руб. Таким образом, суммарные расходы составили примерно 10 тыс. руб. в месяц. При использовании электромобиля Ниссан-Лиф с запасом хода 110 км эксплуатационные затраты составили: расход на зарядку аккумулятора 19,38 руб. (по ночному тарифу) при пробеге до 100 км. Соответственно, затраты в месяц – 390 руб. Дополнительные затраты: замена масла и салонного фильтра через 30 000 км. Приведенные данные показывают не только экологические, но и экономические преимущества электромобилей.

Несмотря на указанные преимущества, в условиях недостаточно развитой инфраструктуры (устройств для относительно быстрой зарядки) аккумуляторных батарей и технологических параметров самих батарей, обеспечивающих ускоренную зарядку, в отечественной практике целесообразно использовать гибридные автомобили.

### **Выводы**

1. Применение электромобилей позволяет существенно уменьшить эксплуатационные затраты и снизить уровень нагрузки на окружающую среду в первую очередь в городских условиях.
2. В настоящее время в электромобилях рационально использование только литий-ионных аккумуляторов. Стоимость литий-ионных аккумуляторов составляет (в зависимости от производителя) 160–200 долларов за кВт·ч емкости.
3. В условиях недостаточно развитой сети станций зарядки аккумуляторов целесообразно использование гибридных моделей легковых автомобилей, оснащенных, кроме электрических аккумуляторов, двигателями внутреннего сгорания пониженной мощности.
4. Для широкого применения электромобилей требуется изменение внутренней экономической политики стран, например, за счет применения налоговых льгот для владельцев электромобилей, а также обеспечения заинтересованности фирм-производителей электромобилей в развитии сети станций зарядки аккумуляторов.

### **Список литературы**

1. Olivier, J. G. J. Trends in global CO<sub>2</sub> and total greenhouse gas emission / J. G. J. Olivier, K. M. Schure and J. A. H. W. Peters // Report PBI Netherlands Environmental Assessment Agency. – 2017.
2. Hori, M. Plug-in Hybrid Electric Vehicles for Energy and Environment / M. Hori // J. Society of Automotive Engineers of Japan. 38 (2). – pp. 265–269.
3. Высоцкий, С. П. Ожидаемые или неожиданные изменения климата / С. П. Высоцкий // Научный вестник НИИГД «Респиратор». – Донецк, 2018. – № 4 (55). – С. 87–99.
4. The development of metal hydrides using as concentrating solar thermal storage materials / Qu Xuanhui [et al.] //

Higher education Press and Springer-Verlag-Berlin. Heidelberg. Front. Mater. Sci. 2015.

5. Висоцький, С. П. Вплив нерівномірності графіка електричних навантажень на економічні та екологічні показники генерації електричної енергії / С. П. Висоцький, Н. Н. Вахтангішвілі, К. А. Єгорова // Вісті Автомобільно-дорожнього інституту. – 2011. – № 2 (13). – С. 168–178.

6. Batteries for the Future: What's Possible? / Slac National Accelerator Laboratory Horizon: An Experiment to Save the World. 2014.

7. Zuo, Lei. Design and characterization of an electromagnetic energy harvester for vehicles suspensions / Lei Zuo, Brian Scully, Jurgen Shestani and Yu Zhou // Smart Materials and Structures. – 2010. – 32 (4). April. – 10 p.

8. The power of prestige: a third of Russian electric car buyers see them as status symbol // TASS: Society and Culture. – 2018. – 12. – Pp. 14–18.

*С. П. Висоцький<sup>1</sup>, И. В. Брусинская<sup>2</sup>, К. В. Халваджи<sup>1</sup>*

*1 – ГОУВПО Донбасская национальная академия строительства и архитектуры,*

*г. Макеевка, 2 – Автомобильно-дорожный институт*

*ГОУВПО «Донецкий национальный технический университет», г. Горловка*

**Улучшение экологических и экономических показателей автомобильного транспорта**

Автомобильный транспорт является неотъемлемой частью экономики любой страны. Только автомобили могут обеспечить отгрузку и доставку большинства товаров от производителей к потребителям. Однако наряду с широким развитием автомобилизации появились угрозы масштабного загрязнения окружающей среды выбросами автомобильного транспорта. Во многих промышленно развитых странах автомобильный транспорт является основным источником эмиссии загрязняющих веществ в городских условиях. Учитывая увеличение урбанизации, это создает глобальную экологическую проблему.

Для решения проблемы уменьшения загрязнения окружающей среды применяются несколько подходов: повышение эффективности использования топлива за счет изменения его вида и состава, совершенствования конструкции двигателей, более широкого применения общественного транспорта, обеспечения заинтересованности в его использовании, применением более современных систем организации движения автотранспорта и др. Одним из перспективных решений является применение на автотранспорте новых двигательных устройств – электромоторов.

В настоящее время мировые производители автомобилей наращивают выпуск электромобилей. Их использование обеспечивает ряд экономических и экологических преимуществ. Для электромобилей важна энергоемкость аккумуляторных батарей. Применение литий-ионных аккумуляторов обеспечивает плотность энергии более чем в 8 раз превышающую этот показатель у традиционных свинцово-кислотных устройств. В условиях недостаточно развитой сети зарядных станций предпочтительно использовать гибридные автомобили, оснащенные двигателем внутреннего сгорания пониженной мощности.

Применение электропривода обеспечивает ряд преимуществ: повышение КПД использования топлива и исключения или значительного сокращения генерации загрязнителей в напряженных условиях трафика в городских условиях, возможность использования более дешевого, менее дефицитного и ресурсоемкого топлива, более широкого применения «умных» систем вождения, относительно меньшую зависимость от погодных условий и др. Применение электропривода позволяет также обеспечить «многотопливность» использования автомобилей с перспективой применения топливных элементов; кроме того, в условиях невысокой технологической культуры производства в отдельных странах электромобили позволяют решить глобальную экологическую проблему защиты окружающей среды.

При средней дальности поездки 35 км использование автомобиля с ДВС требует затрат на бензин 6–8 тыс. рублей в месяц и затрат на техобслуживание ~ 15 тыс. рублей в год. Использование электромобилей с запасом хода 110 км при зарядке его аккумуляторной батареи по ночному тарифу с пробегом до 100 км требует затрат 290 руб. в месяц и техническое обслуживание – замена масла и салонного фильтра через 30 тыс. км.

**ЭЛЕКТРОМОБИЛЬ, ЛИТИЙ-ИОННЫЙ АККУМУЛЯТОР, ПЛОТНОСТЬ ЭНЕРГИИ, РЕКУПЕРАЦИЯ**

*S. P. Vysotskiy<sup>1</sup>, I. V. Brusinskaia<sup>2</sup>, K. V. Khalvadjhi<sup>1</sup>*

*1 – Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture, Makeyevka,*

*2 – Automobile and Highway Institute of Donetsk National Technical University, Gorlovka*

**Improvement of Environmental and Economic Indexes of the Automobile Transport**

Automobile transport is an integral part of the economy of any country. Only automobiles can provide shipment and delivery of goods from producers to consumers. However, along with the widespread development of motorization there are threats of large-scale environmental pollution by the automobile transport emissions. In many industrialized countries, automobile transport is a major source of pollutant emissions in urban conditions. Taking into account the increase in urbanization, it creates a global environmental problem.

To solve the problem of reducing pollution some approaches are applied: an increase of fuel efficiency by changing its composition and improvement of the engine construction, a wider use of public transport and ensuring interest in its use, an application of more advanced traffic organization systems, etc. One of the promising solutions is the use of new propulsion units – electric motors.

Nowadays world automobile producers increase electric vehicles production. Their use ensures a number of economic and environmental advantages. For electric vehicles, energy intensity of batteries is important. The use of lithium-ion batteries provides an energy density of more than 8 times that of traditional lead-acid devices. In conditions of insufficiently developed network of charging stations, it is preferable to use hybrid cars equipped with underpowered internal combustion engines.

The electric drive use has a number of advantages: increased fuel efficiency and elimination or significant reduction of pollutant generation in intense urban traffic conditions, the possibility of using cheaper, less scarce and resource-intensive fuel, wider use of smart driving systems, relatively less weather dependence, etc. The electric drive use allows to ensure multifuel capability of the automobile application with the prospect of using fuel cells. Besides, in conditions of low technological production culture in certain countries, electric vehicles allow to solve the global ecological problem of the environment protection.

With an average trip distance of 35 km, the use of a car with an internal combustion engine requires gasoline costs of 6–8 thousand rubles per year and maintenance costs ~ 15 thousand rubles per year. The electric vehicle use with a cruising range of 110 km requires costs of 290 thousand per month and technical maintenance – oil and passenger compartment filter change in 30 thousand km.

ELECTRIC VEHICLE, LITHIUM-ION BATTERY, ENERGY DENSITY, RECUPERATION

**Сведения об авторах:**

**С. П. Высоцкий**

SPIN-код: 7497-0100  
Scopus Author ID: 7004891012  
ORCID ID: 0000-0002-2988-7245  
Телефон: +38 (071) 391-35-97  
Эл. почта: sp.vysotsky@gmail.com

**И. В. Брусинская**

Телефон: +38 (071) 391-35-97

**К. В. Халваджи**

Телефон: +38 (071) 391-35-97

*Статья поступила 24.01.2019*

*© С. П. Высоцкий, И. В. Брусинская, К. В. Халваджи, 2019*

*Рецензент: А. П. Карпинец, канд. хим. наук, доц., АДИ ГОУВПО «ДОННТУ»*