ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИЕ ТЕХНОЛОГИИ И ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТЬ АВТОТРАНСПОРТНЫХ ЭНЕРГОУСТАНОВОК

к.т.н. Шабанов А.В.¹, Ванин В.К.², к.т.н. Есаков А.Е.³

¹НИЦИАМТ ФГУП «НАМИ», Москва, Россия

²ФГУП «НАМИ», Москва, Россия

³Московский политехнический университет, Москва, Россия

saaha-1955@mail.ru

Рассмотрены перспективные альтернативные углеводородным источникам энергии, используемые в настоящее время в мире. Анализируются энергосберегающие технологии использования углеводородного топлива на автотранспорте.

Отмечается необходимость развивать применение электропривода на автомобилях, а также планомерно накапливать и анализировать существующий опыт эксплуатации автомобилей с электроприводом за рубежом и в Российской Федерации. Мониторинг разрабатываемых за рубежом технологий и проблем, возникающих при эксплуатации автомобилей с электроприводом, позволит определить приоритетные пути их развития и сконцентрировать усилия исследователей в направлении, обеспечивающем максимальную эффективность их применения.

Одним из привлекательных и экономически выгодных в настоящее время для отечественной практики путей развития автомобильного транспорта является применение автомобилей с гибридными силовыми установками. Показано, что производство гибридных автомобилей и электромобилей за рубежом успешно развивается и является в настоящее время одним из самых динамичных в мире. Приведены показатели эффективности расхода электроэнергии автомобилей с электроприводом различных автомобилестроительных фирм. Выполнен сравнительный анализ технологий применения автомобилей с электроприводом для улучшения экологической ситуации в мегаполисах и рассмотрены проблемы повышения эффективности автомобильных энергоустановок.

Показано, что климатические условия Российской Федерации с длительными периодами низких температур атмосферного воздуха сильно влияют на потери энергии, связанные с обогревом салона, и в значительной степени – на энергоэффективность силовой установки электромобилей.

Для оценки эффективности использования автомобилей с электроприводом предложено использовать универсальный показатель эффективности расхода энергии. Сравнительную оценку энергетических затрат различных автомобилей предложено проводить по энергетическому параметру qEL . Приведенные расчетные данные показывают, что использование автомобилей с электроприводом и, в частности, подзаряжаемых гибридов более выгодно по сравнению с использованием автомобилей, оборудованных исключительно ДВС.

Ключевые слова: автомобиль, электромобиль, водородомобиль, гибрид, экологичность, топливная экономичность, характеристики эффективности, энергоэффективность, CO_2 , комбинированные силовые установки.

Для цитирования: Шабанов А.В., Ванин В.К., Есаков А.Е. Энергосберегающие технологии и энергоэффективность автотранспортных энергоустановок // Известия МГТУ «НАМИ». 2021. № 4 (50). С. 83–91. DOI: 10.31992/2074-0530-2021-50-4-83-91

Введение

В настоящее время в промышленно развитых странах, таких как Япония, США, Китай, а также страны Евросоюза, наблюдается процесс перехода на альтернативные источники энергии и на энергосберегающие технологии использования углеводородного топлива. Это касается направления использования на автомобилях электроэнергии, применения водородного и газового топлива и т.п. В названных

странах уже более десяти лет находятся в эксплуатации электромобили, обычные гибриды и подзаряжаемые гибриды (гибриды *plug-in*).

Производство гибридных автомобилей и электромобилей за рубежом успешно развивается и является в настоящее время одним из самых динамичных в мире [1]. Также развиваются технологии использования электропривода на автомобилях с использованием топливных элементов. В зарубежных странах

появились в продаже водородомобили [2, 3]. Важность этих направлений развития автомобилестроения обусловлена тем, что большинство промышленно развитых стран находится в высокой зависимости от поставок углеводородов из-за рубежа и от необходимости снижения выбросов вредных веществ и CO_2 .

Для использования электромобилей и водородомобилей требуется производство электроэнергии. Основной объем ее выработки обеспечивается тепловыми электростанциями (ТЭЦ), использующими продукты нефтепереработки, газ, уголь. Следует указать на то, что эти технологии, улучшая экологическую ситуацию в мегаполисах, не решают глобальных экологических проблем, так как всего лишь отдаляют источник выбросов от населенных пунктов. Фильтры очистки газов ТЭЦ не позволяют полностью нейтрализовать вредные выбросы. В этой связи представляется целесообразным выполнить анализ эффективности автотранспортных энергоустановок, а также рассмотреть отдельные проблемы, возникающие при эксплуатации электромобилей, гибридов и альтернативных экологически чистых силовых установок.

Материалы и методы исследования

1. Экологически чистые автомобили, альтернативные источники энергии

Основными производителями экологически чистых автомобилей на мировом рынке являются Япония и США. Япония первой начала производить электромобили (*Mitsubishi i MiEV*), гибриды (*Toyota Prius*) и водородомобиль *Toyota Mirai*, созданный на базе гибрида *Toyota Prius*. Популярность водородомобилей поддерживается дотациями со стороны государств. В США их цена начинается с 58000 \$ [4].

В виду высокой стоимости водородомобили в настоящее время не получили широкого распространения. Но правительства упомянутых стран, учитывая отсутствие собственных топливных ресурсов и острую необходимость независимого развития автотранспорта, стимулируют их производство и поддерживают финансово их эксплуатацию. В этих странах приняты программы, нацеленные на развитие водородной энергетики с целью минимизации углеводородной зависимости. Например, в реформирование энергосистемы и освоение новых технологий КНР намерена вложить порядка 16 трлн \$ за два десятилетия [4].

Отметим, что еще в начале XXI в. в Российской Федерации АО «АвтоВАЗ» также имело разработки в данном направлении. Был разработан и осуществлен выпуск небольшой партии электромобилей *EL Lada*, которые прошли тестовые испытания. Кроме того, используя технологии военно-промышленного комплекса, АО «АвтоВАЗ» разработало экспериментальную водородную «Ниву» с силовой установкой малой мощности на водородно-кислородных топливных элементах. Работая в этом направлении, АО «АвтоВАЗ» получило определенный опыт, который впоследствии может быть использован для новых разработок.

Занимаются разработкой электромобилей и другие автомобилестроительные компании Российской Федерации.

Следует, однако, упомянуть, что проблема использования альтернативных источников энергии в Российской Федерации стоит не так остро, как в Европе или Японии. Российская Федерация пока располагает достаточными запасами углеводородов. Проблемы, которые решают отечественные автомобилестроители, состоят в создании собственных энергоэффективных технологий и ограничении выбросов парниковых газов автотранспортом. Для производителей легковых автомобилей Директивой № 443 ЕС предусмотрено поэтапное существенное снижение показателя выбросов CO_2 . После 2020 г. средний показатель составил 95 г/км, что соответствует расходу топлива 3,7 л на 10 км. К 2030 г. показатель выбросов CO_2 должен составлять 66 г/км.

Для широкого использования этих технологий необходимо решать не только проблему экологии, но и предусматривать решение проблем утилизации батарей, рационального потребления электроэнергии и ее передачи в зарядную сеть в мегаполисах, получение, хранение и транспортировку водорода, безопасность конструкции силовых установок и т.п.

Водород по своим свойствам летуч и взрывоопасен. Хотя при авариях и утечках он не скапливается на месте, а уходит в атмосферу (что снижает пожароопасность) работа с ним требует повышенной осторожности. Водород сложно долго временно удерживать в баллоне под давлением. Даже в случае содержания его в жидком состоянии при низкой температуре, утечка через баллон значительна, так как молекулы водорода легко диффундируют сквозь металл

и скорость испарения составляет около 1 % в сутки [4]. Хранение и эксплуатация таких автомобилей также весьма проблематичны.

Для водородомобилей нужны специальные заправочные станции. При этом на заправочной станции по вышеуказанным причинам требуется соблюдение повышенных мер безопасности, что усложняет создание водородных заправок. Производство водорода обходится в несколько раз дороже производства углеводородного топлива. Так как производство водорода находится вдали от мест его использования, возникает проблема его транспортировки к заправочным станциям. По разным подсчетам стоимость 1 л сжиженного водорода составляет примерно от 2 \$ до 9,5 \$ в зависимости от способа его производства [4].

Специалисты считают, что сложность современных методов производства, хранения и применения водорода не позволит в ближайшие десятилетия использовать его в отечественной практике как экономически эффективное топливо [4]. Если для западного мира и Японии актуальность развития водородной энергетики объясняется необходимостью экономии энергетических ресурсов и защитой окружающей среды от вредных выбросов, то в Российской Федерации, имеющей свои значительные запасы природных ресурсов, проблема экономии нефтепродуктов успешно решается применением газового топлива. К тому же отечественные допустимые нормы вредных выбросов от автотранспорта значительно ниже. Однако следует учитывать, что запасы углеводородов имеют свой предел и ситуация с объемами добычи нефти может в будущем измениться в худшую сторону.

В Российской Федерации автомобильный транспорт потребляет более половины всех топливных ресурсов нефтяного происхождения, и тенденция роста потребления сохраняется. Поэтому, перед отечественными автопроизводителями также ставится задача снижения потребления топлива автотранспортом и применения автомобилей с электроприводом. Использование автомобилей с электроприводом позволит решить не только энергетические проблемы, стоящие перед автомобилестроителями, но также, что не менее важно, улучшить экологическую ситуацию в крупных городах.

Мониторинг разрабатываемых за рубежом технологий и проблем, возникающих при их эксплуатации, позволит определить

приоритетные пути развития автомобилей с электроприводом, концентрировать усилия исследователей в направлении, обеспечивающем максимальную эффективность их применения. Для Российской Федерации необходимо ориентироваться не только на рынок западных производителей, но и на собственное производство автомобилей с электроприводом и комплектующих для них. Россия – страна с особым климатом, и необходимо учитывать особенности эксплуатации электротранспорта в зимних условиях, а также специфику парка общественного транспорта.

2. Энергоэффективность применения электромобилей

Повышение эффективности силовых установок автомобилей и ограничение выбросов автомобильным транспортом по сути своей являются аспектами одной проблемы, взаимосвязанных общей закономерностью. Одним из привлекательных и практически выгодных в настоящее время для нашей страны способов решения этой проблемы является применение автомобилей с электроприводом. Это направление стало развиваться благодаря передовым технологиям по хранению электроэнергии сначала в никель-металлогидридных (Ni-MH), а затем и в более эффективных литий-ионных (Li-Ion) аккумуляторных батареях.

Существует три основных вида энергоустановок с использованием электроэнергии: комбинированные энергоустановки (гибриды), подзаряжаемые гибриды; электромобили. Для электромобилей, как показывают выполненные авторами расчеты и результаты испытаний, расходы энергии при движении в четыре раза меньше, чем у автомобилей, оборудованных в качестве источников механической энергии только ДВС. Например, для *Nissan Leaf E* расход электрической энергии при емкости батареи 24 кВт·ч и запасе хода в 175 км составляет 13,7 кВт·ч на 100 км. В других единицах составляет это 49,4 МДж на 100 км (1 кВт·ч = 3,6 МДж). При пересчете же по теплотворной способности бензина $H_u = 44$ МДж/кг (33 МДж/л) условный расход топлива автомобиля составит 1,5 л на 100 км.

Нерациональное применение электрического источника энергии на автомобиле, как будет показано ниже, может при определенных условиях снижать эффективность использования энергоустановки автомобиля и приводить к су-

щественному увеличению стоимости силовой установки. На период 2011 г. стоимость электромобилей, приведенных в таблице 1, находилась в пределах от 36000 \$ (*Mitsubishi i-MiEV*) до 96000 \$ (*Tesla Model S*). В настоящее время электромобиль *Tesla Model S* оборудуется современными высокотехнологичными дорожными системами и стоит в два раза дороже [5].

Для оценки направлений применения электрических источников энергии на автомобиле рассмотрим основные влияющие на эффективность факторы. Проанализируем также положительные и проблемные стороны использования различных конструкций автомобилей с электроприводом.

Основными показателями, характеризующими автомобили данного типа, является запас хода, показатели расхода электроэнергии на 1 км пробега, а также – удельный расход энергии с учетом массы автомобиля. Запас хода электромобиля определяется емкостью аккумуляторных батарей, а удельные показатели расхода электроэнергии определяются его конструкцией.

Характеристики аккумуляторных батарей определяют конструкцию автомобилей с электроприводом, энергоэффективность силовой установки, конструктивную и экологическую безопасность, управляемость и другие свойства, поэтому совершенствование их характеристик напрямую связано с развитием электромобилей. К проблемам, связанным с применением электромобилей, относится прежде всего создание электросети в местах движения электротранспорта, а также производство, обеспечение должного срока службы и утилизация аккумуляторных батарей. Данные обстоятельства создают определенные технические, технологические и экономические трудности [6, 7, 8].

Опыт западных стран показывает, что одна из проблем эксплуатации электротранспорта – это влияние работы сети зарядных станций на городскую энергосеть. При большой дневной нагрузке в сети наблюдаются пики потребления электроэнергии. Они возникают, как правило, в утренние и вечерние часы. Перед энергетиками стоит задача по сглаживанию этих пиков, то есть распределению потребления электроэнергии по времени в течение суток [9].

В таблице 1 приведены характеристики и показатели эффективности расхода электроэнергии автомобилей с электроприводом различных автомобилестроительных фирм. На-

пример, электромобиль *EL Lada* с полностью заряженной батареей по результатам испытаний на стенде с беговыми барабанами обеспечивает в летний период пробег 162 км в смешанном ездовом цикле. Расход энергии данного электромобиля составляет 569 кДж/км. Запас хода других электромобилей, представленных в таблице 1, с аккумуляторами емкостью 16...30 кВт·ч составляет 130...250 км [3, 10]. Малый пробег на одной зарядке является одним из недостатков электромобилей, так как при небольшом пробеге теряются все основные преимущества этого вида транспорта.

Эксплуатация показывает, что климатические условия Российской Федерации с длительными зимними периодами низких температур атмосферного воздуха сильно влияют на потери энергии, связанные с обогревом салона, и в значительной степени – на энергоэффективность силовой установки электромобилей. Если в летний период значения данной величины в условиях городского движения являются удовлетворительными, то в зимний период, создаваемая обогревателями салона автомобиля, нагрузка на бортовую электрическую сеть сокращает пробег на одной зарядке более, чем на 50 % [11].

Для снижения потерь производители электробусов устанавливают автономные отопительные агрегаты, использующие нефтяное топливо. Но они, не имея нейтрализатора, выделяют в атмосферу городов вредные выбросы с отработавшими газами.

Одним из способом решения проблемы повышения запаса хода является установка батареи повышенной емкости. Например, на электромобиле *Tesla Model S* применяются *Li-Ion* батареи с емкостью 60 и 85 кВт·ч. Благодаря этому пробег автомобиля достигает соответственно 390 и 435 км [3]. Однако увеличение пробега в данном случае сопровождается ростом удельного расхода энергии из-за увеличения массы автомобиля, а также приводит к существенному увеличению стоимости транспортного средства.

Для оценки эффективности подобных мер можно использовать показатели эффективности расхода электроэнергии электромобилей. Более энергоемкая и тяжелая батарея электромобиля *Tesla Model S* приводит к снижению энергоэффективности q_{EL} с 0,154 до 0,195 кВт·ч/км. Расход энергии в других единицах составляет 555 и 702 кДж/км.

Таблица 1

Характеристики и показатели эффективности расхода электроэнергии автомобилей с электроприводом

Table 1. Characteristics and efficiency indicators of energy consumption of electric vehicles

№ п. п.	Электромобили, гибриды	Масса автомобиля (полная), кг	Масса батареи, кг	Ёмкость батареи, кВт·ч	Запас хода на одной зарядке, км	qEL*, кВт·ч/км	qELm*, кВт·ч / т·км
1	Chevrolet Volt E (подзаряжаемый гибрид)	2080 –	198 435	16/18,4 (Li-Ion) 60 (Li-Ion)	80 320	16/80 = 0,20 60/320 = 0,186	16/(2,08·80) = 0,096 60/(2,08·320) = 0,090
2	EL Lada	1610	270	23 (LiFeYPO4)	150	0,153	23/(1,61·150) = 0,095
3	Mitsubishi i MiEV	1450	–	16 (Li-Ion)	130	0,123	16/(1,45·130) = 0,085
4	Nissan Leaf E	1965	250	24 (Li-Ion)	175	0,137	24/(1,965·175) = 0,070
5	Tesla Model S	2100 –	258 365	60 (Li-Ion) 85 (Li-Ion)	390 435	0,154 0,195	–
6	Volkswagen E-Up!	1500	–	18,7 (Li-Ion)	160	0,117	18,7/(1,5·160) = 0,078
7	Renault Fluence	2025	–	22 (Li-Ion)	185	0,119	22/(2,025·185) = 0,059
8	Volkswagen Golf	1960	–	24,2 (Li-Ion)	190	0,127	24/(1,96·190) = 0,064
9	Volvo C30	1995	–	23 (Li-Ion)	150	0,153	23/(1,99·150) = 0,077
10	Volkswagen Sion	–	–	14,4 (Li-Ion) 30 (Li-Ion)	120 250	0,12 0,12	–

* Расчётные данные.

Следует отметить, что, хотя на электромобиле *Tesla Model S* применяется аккумулятор с самым высоким показателем удельной энергоемкости батареи $qEm = 0,233$ кВт·ч/кг, но его удельная характеристика энергоэффективности qEL является относительно низкой по сравнению с другими моделями электромобилей. Данный показатель на 40 % превышает значение, достигнутое на электромобилях *Volkswagen E-Up!* и *Renault Fluence* (удельный расход энергии на км пробега у этих автомобилей составляет соответственно 0,117 и 0,123 кВт·ч/км). Отсюда следует вывод о том, что установка на автомобиле батарей повышенной емкости приводит к существенному снижению энергоэффективности силовой установки. Следует также учитывать соотношение полной массы автомобиля и его грузоподъемности, что также является немаловажным фактором.

Тенденция увеличения емкости батарей прослеживается и на других моделях. Например, на подзаряжаемом гибриде *Chevrolet Volt* установлена батарея энергоемкостью 16 кВт·ч, а на последней ее модели энергоемкость батареи увеличена до 60 кВт·ч. Запас хода на электротяге с такой батареей увеличен до 320 км. Это привело к снижению энергоэффективно-

сти до 40 % режима электротяги относительно других моделей. Показатель qEL *Chevrolet Volt* составляет 0,2...0,186 кВт·ч/км. Энергоемкость батареи в других единицах составляет 57,6 МДж, что соответствует почти 1 л высокооктанового бензина. Масса *Li-Ion* батарей составляет 198 кг. Расход топлива в циклах ЕС (городском / магистральном / смешанном) равен 0,9 / 1,3 / 1,2 л на 100 км. Выбросы CO_2 при этом составляют всего 27 г/км [12].

3. Комбинированные силовые установки

В настоящее время на автотранспорте наиболее распространенными силовыми установками, использующими электрический привод, являются комбинированные силовые установки.

На гибридном автомобиле *Toyota Prius*, появившемся более двадцати лет назад, вначале использовались *Ni-MH* аккумуляторные батареи емкостью 0,4 кВт·ч. На автомобилях модели *Toyota Prius plug-in* стали уже устанавливать *Li-Ion* аккумуляторы емкостью 1,3 кВт·ч, которые имеют в два раза большую удельную плотность энергии [12].

Автомобили с гибридными силовыми установками имеют по сравнению с электромобилями следующие преимущества:

– снижение емкости, удельной мощности, массы и стоимости аккумуляторных батарей, а также увеличения их срока службы;

– снижение потерь мощности в электроустановках при значительно меньшей массе накопителей электроэнергии, нежели у других источников энергии.

Например, на гибриде *Peugeot 3008*, масса *Ni-MH* батареи составляет всего 48 кг при емкости 1,2 кВт·ч.

При выборе алгоритма управления силовой установкой основным критерием оптимальности работы ДВС является его минимальный расход топлива. Снижение расхода топлива у ДВС гибридного автомобиля достигается за счет его работы в зоне минимальных удельных расходов топлива. В режиме движения с максимальной интенсивностью разгон обеспечивается при совместной работе ДВС и ТЭД.

Важным является и оптимальный выбор алгоритма включения в работу агрегатов электротяги, а кроме того – использование рекуперативного торможения автомобиля. Для эффективного функционирования разрядно-зарядной системы силовой установки при движении автомобиля необходимо непрерывно поддерживать заряд батарей на определенном уровне [10].

В таблице 2 приведены основные характеристики гибридных автомобилей *Toyota* и ее аналога, традиционного автомобиля.

Аббревиатурой EU здесь обозначаются европейские испытательные циклы (городской/магистральный/смешанный).

На автомобиле *Toyota Prius* было получено снижение расхода топлива на 55 % в европейском городском цикле и 42 % в смешанном цикле относительно базового аналога *Toyota*

Corolla. Как показали испытания, гибридные автомобили выделяют в атмосферу на порядок меньше CO, HC, NO_x и взвешенных частиц, чем того требуют действующие в Европе нормы Правил ООН № 83-06 [8].

4. Подзаряжаемые гибриды

Наиболее простым решением проблемы повышения энергоэффективности и, что важно, экономически оправданным для городского автотранспорта является применение комбинированных энергоустановок и подзаряжаемых гибридов, позволяющих достичь существенного улучшения энергетических и экологических показателей по сравнению с автомобилями, оборудованными только ДВС. Гибриды *plug-in*, подзаряжаемые от электросети, появились в последнее десятилетие в качестве развития комбинированных энергоустановок. Они максимально используют электрическую тягу при увеличенной энергоемкости батарей и обеспечивают максимальную эффективность ДВС. Используя преимущества гибридов с бортовой зарядкой от генератора, они подзаряжаются дешевой электроэнергией зарядных станций.

На подзаряжаемом гибриде *Toyota plug-in* устанавливаются аккумуляторы емкостью 4,4 кВт·ч и весом 80 кг при передаваемой электродвигателю мощности от батареи в 27 кВт. При этом можно максимально сократить время подзарядки батарей от стационарного источника питания, используя аккумуляторную батарею меньшей мощности и, соответственно, стоимости (в настоящее время аккумуляторная батарея автомобиля *Toyota Prius Plug-in* стоит более 10000 \$ [10]).

Заряд аккумуляторов емкостью 4,4 кВт·ч автомобиля *Toyota Prius Plug-in* осуществ-

Таблица 2

Характеристики гибридных автомобилей *Toyota* и их аналога с бензиновым ДВС

Table 2. Characteristics of *Toyota* hybrid vehicles and their analogue with ICE

Автомобиль	Масса автомобиля, кг	Рабочий объем ДВС, л	Мощность ДВС, кВт	Мощность ТЭД, кВт	Общая мощность СУ, кВт	Расход топлива, л на 100 км
<i>Toyota Corolla</i> (бензиновый)	1250...1750	1,8	108	–	–	EU 8,7/5,5/6,7
<i>Toyota Corolla</i> (гибрид)	1380...1805	1,8	73	60	100	EU 3,8/3,8/3,8
<i>Toyota Prius</i> (гибрид 4-ой серии)	1370...1805	1,8	73	60	100	EU 3,9/3,7/3,9

вляется за 1,5 часа от бытовой электрической сети с напряжением 220 В и частотой 50 Гц. Энергия в 4,4 кВт·ч соответствует тепловой энергии 2,02 л бензина. Расход энергии составляет 672 кДж/км. Это соответствует расходу электромобиля *Tesla Model S*. Средний топливный расход в смешанном цикле движения автомобиля *Toyota Prius Plug-in* не превышает 2,1 л на 100 км, а выбросы CO₂ составляют 49 г/км. Возможный же непрерывный пробег в режиме электротяги EV по данным каталога – 26 км [3].

В случае, если движение автомобиля осуществляется только за счет ДВС, потребление топлива в среднем составляет 3,7 л на 100 км, а выбросы CO₂ – 85 г/км. Совокупный пробег *Toyota Prius Plug-in* составляет 1248 км на одном топливном баке и одной зарядке батареи.

Фирмой *Volkswagen* создан гибрид *Volkswagen XL1 (Extra Light)* с массой 865 кг. Его силовая установка, состоящая из аккумуляторной батареи весом 75 кг, электродвигателя мощностью 20 кВт и бензинового двухцилиндрового ДВС мощностью 35 кВт, позволяет обеспечивать расход топлива в городском цикле всего 0,9 л на 100 км. Автомобиль *Golf 7 plug-in hybrid* имеет силовую установку, включающую четырехцилиндровый ДВС с рабочим объемом 1,4 л, шестиступенчатую трансмиссию и встроенный электродвигатель. Суммарная мощность системы составляет чуть более 147 кВт. Разгон до 100 км/ч – 7,6 с, максимальная скорость – 220 км/ч. Гибрид обладает низким расходом топлива (1,5...2,5 л на 100 км). Это достигается преимущественным использованием электротяги. В данном режиме на скорости до 130 км/ч гибрид *Golf 7 plug-in hybrid* обеспечивает пробег в 50 км [3].

По эффективности использования энергии подзаряжаемые гибриды не уступают электромобилям, но в отличие от электромобилей гибридам удастся при небольшом расходе топлива обеспечить большую дальность пробега.

Выводы

1. Сравнительный анализ энергоэффективности автомобилей по предложенным удельным показателям qEL и qEm показал, что нерациональное применение электрического источника энергии на автомобиле с установкой на автомобиле батарей повышенной емкости снижает эффективность использования энергоустановки и приводит к существенному ее

удорожанию. По эффективности использования энергии подзаряжаемые гибриды не уступают электромобилям, при этом им удастся при небольшом расходе топлива обеспечить большую дальность пробега, и в эксплуатации они могут успешно конкурировать с электромобилями.

2. Для развития рынка автомобилей с электроприводом в России необходимо изучать зарубежный опыт эксплуатации, а также формировать собственный применительно к российским климатическим условиям и существующей инфраструктуре сети зарядных станций в мегаполисах. Данный опыт позволит целенаправленно решать проблемы повышения энергоэффективности силовых установок и улучшения их экологических показателей.

3. По мнению зарубежных экспертов основными препятствиями, сдерживающими расширение использования электромобилей, являются: а) невозможность преодолевать большие расстояния на применяемых сегодня аккумуляторных батареях; б) их высокая стоимость. Эксперты признают, что тенденция к увеличению числа эксплуатируемых электромобилей на Западе не стала в настоящее время господствующей, и склоняются к использованию подзаряжаемых гибридов, которые имеют высокие экологические показатели и по энергоэффективности конкурируют с электромобилями.

Литература

1. Шабанов А.В., Ломакин В.В., Шабанов А.А. Характеристики электромобилей и тенденции развития электропривода // Журнал автомобильных инженеров. 2014. № 3 (86). С. 38–43.
2. Мастепанов А.М. Водородная энергетика России: состояние и перспективы // Энергетическая политика, 2020, № 12 (154). С. 50–52.
3. Каталоги автомобилей *Automobil revue*. 2009. 2015 г.
4. Водородные автомобили: есть ли у них будущее [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.drom.ru/info/misc/81326.html>. Дата доступа: 02.11.2021. Загл. с экрана.
5. *Tesla Model S* [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://tesla.drom.ru/model_s. Дата доступа: 02.11.2021. Загл. с экрана.
6. Шмелев Е.Н. Экологический транспорт в России – зачем? // Журнал автомобильных инженеров. 2012. № 1 (72). С. 54–57.
7. Девянин С.Н., Марков В.А., Савастенко А.А., Савастенко Э.А. Перспективы развития электро-

- мобилей в России // 9-е Луканинские чтения. Проблемы и перспективы развития автотранспортного комплекса: сборник докладов Междунар. науч.-техн. конф. М.: МАДИ, 2021. С. 114–122.
8. Загарин Д.А., Шабанов А.В., Ломакин В.В., Шабанов А.А. Характеристики комбинированных энергоустановок гибридных автомобилей // Материалы Междунар. науч.-практич. конф. «Прогресс транспортных средств и систем» (Волгоград, 24 – 26 сентября 2013 г.) Волгоград: ВолГГТУ, 2013. С. 50–52.
 9. Загарин Д.А., Сальников В.И., Шабанов А.В. [и др.] Гибридные автомобили. Пути повышения их энергетической эффективности // Автомобильная промышленность, 2016, № 1. С. 4–7.
 10. Загарин Д.А., Сальников В.И., Шабанов А.В. Аккумуляторные батареи автомобилей с электроприводом // Автомобильная промышленность, 2016, № 5. С. 24–27.
 11. Морозов С.А., Семенихина И.К., Коробов Д.Г. Быть или не быть? Особенности эксплуатации электромобиля в зимний период // Журнал автомобильных инженеров. 2013. № 4 (81), С. 14–16.
 12. Загарин Д.А., Шабанов А.В., Ломакин В.В. [и др.] Некоторые аспекты и тенденции развития экологически чистых автомобилей с электроприводом // Автомобильная промышленность. 2014. № 7. С. 6–8.
- References**
1. Shabanov A.V., Lomakin V.V., Shabanov A.A. Characteristics of electric vehicles and trends in the development of electric drive. Zhurnal avtomobil'nykh inzhenerov. 2014. No 3 (86), pp. 38–43 (in Russ.).
 2. Mastepanov A.M. Hydrogen energy in Russia: current state and prospects. Energeticheskaya politika, 2020, No 12(154), pp. 50–52 (in Russ.).
 3. Katalogi avtomobiley «Automobil revue» [Automobil revue automobile catalogs]. 2009. 2015 g.
 4. Vodorodn-yye avtomobili: yest' li u nikh budushcheye [Hydrogen automobiles: do they have a future] [Elektronnyy resurs]. URL: <https://www.drom.ru/info/misc/81326.html>. accessed: 02.11.2021. Zagl. s ekrana.
 5. Tesla Model S [Elektronnyy resurs]. URL: https://tesla.drom.ru/model_s. accessed: 02.11.2021. Zagl. s ekrana.
 6. Shmelev Ye.N. Ecological transport in Russia – why? Zhurnal avtomobil'nykh inzhenerov. 2012. No 1 (72), pp. 54–57 (in Russ.).
 7. Devyanin S.N., Markov V.A., Savastenko A.A., Savastenko E.A. Prospects for the development of electric vehicles in Russia. 9-e Lukaninskiye chteniya. Problemy i perspektivy razvitiya avtotransportnogo kompleksa: sbornik dokladov Mezhdunar. nauch.-tekhn. konf. [9th Lukanin Readings. Problems and prospects for the development of the motor transport complex: a collection of reports of international scientific and technical conference]. Moscow: MADI, 2021, pp. 114–122 (in Russ.).
 8. Zagarin D.A., Shabanov A.V., Lomakin V.V., Shabanov A.A. Characteristics of hybrid vehicles power plants. Materialy Mezhdunar. nauch.-praktich. konf. «Progress transportnykh sredstv i sisteM» [Materials of the International scientific-practical conf. Progress of vehicles and systems] (Volgograd, 24 – 26 sentyabrya 2013 g.) Volgograd: VolGGTU, 2013, pp. 50–52 (in Russ.).
 9. Zagarin D.A., Sal'nikov V.I., Shabanov A.V. [i dr.] Hybrid vehicles. Ways to improve their energy efficiency. Avtomobil'naya promyshlennost', 2016, No 1, pp. 4–7 (in Russ.).
 10. Zagarin D.A., Sal'nikov V.I., Shabanov A.V. Batteries for electric vehicles. Avtomobil'naya promyshlennost', 2016, No 5, pp. 24–27 (in Russ.).
 11. Morozov S.A., Semenikhina I.K., Korobov D.G. To be or not to be? Operation of an electric vehicle in winter. Zhurnal avtomobil'nykh inzhenerov. 2013. No 4 (81), pp. 14–16 (in Russ.).
 12. Zagarin D.A., Shabanov A.V., Lomakin V.V. [i dr.] Aspects and trends in the development of environmentally friendly electric vehicles. Avtomobil'naya promyshlennost'. 2014. No 7, pp. 6–8 (in Russ.).

ENERGY SAVING TECHNOLOGIES AND ENERGY EFFICIENCY OF MOTOR TRANSPORT POWER PLANTS

PhD in Engineering A.V. **Shabanov**¹, **V.K. Vanin**², PhD in Engineering **A.E. Yesakov**³

¹Research Center for Testing and Adjustment of Automotive Equipment of the Central research and development automobile and engine institute NAMI, Moscow, Russia

²Central research and development automobile and engine institute NAMI, Moscow, Russia

³Moscow Polytechnic University, Moscow, Russia
saaha-1955@mail.ru

The perspective energy sources alternative to hydrocarbons, which are currently used in the world, are considered. Energy-saving technologies for the use of hydrocarbon fuel in vehicles are analyzed. The need to develop the use of electric drives on automobiles is noted. The importance of systematical accumulation and analyzing of the existing experience of operating vehicles with electric drives abroad and in the Russian Federation is considered. Monitoring the technologies developed abroad and the problems arising during the operation of electric vehicles will make it possible to determine the priority ways of their development and to concentrate the efforts of researchers in the direction ensuring the maximum efficiency of their application.

One of the currently attractive and economically viable ways of developing road transport for domestic practice is the use of vehicles with hybrid power plants. It is shown that the production of hybrid vehicles and electric vehicles abroad is successfully developing and is nowadays one of the most dynamic in the world.

Indicators of efficiency of electric power consumption of vehicles with electric drive of various automobile manufacturers are given. A comparative analysis of technologies for the use of electric automobiles to improve the environmental situation in megalopolises is carried out and the problems of increasing the efficiency of automobile power plants are considered.

It is shown that the climatic conditions of the Russian Federation with long periods of low temperatures of atmospheric air strongly affect the energy losses associated with heating the passenger compartment, and to a large extent - on the energy efficiency of the power plant of electric vehicles.

To assess the efficiency of using electric vehicles, it is proposed to use a universal indicator of the efficiency of energy consumption. It is proposed to carry out a comparative assessment of the energy consumption of various vehicles by the energy parameter qEL .

The calculated data show that the use of vehicles with electric drive and, in particular, rechargeable hybrids is more profitable in comparison with the use of vehicles equipped exclusively with internal combustion engines.

Keywords: vehicle, electric vehicle, hydrogen vehicle, hybrid, environmental friendliness, fuel efficiency, efficiency characteristics, energy efficiency, CO₂, hybrid power plants.

Cite as: Shabanov A.V., Vanin V.K., Yesakov A.E. Energy saving technologies and energy efficiency of motor transport power plants. *Izvestiya MGTU «MAMI»*. 2021. No 4 (50), pp. 83–91 (in Russ.). DOI: 10.31992/2074-0530-2021-50-4-83-91