

АНАЛИЗ СПОСОБОВ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ НА БАЗЕ ТЯГОВОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА

Коротков В.С.¹, Лежнев Л.Ю.¹, Папкин Б.А.¹, Шустров Ф.А.¹

¹Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Московский государственный машиностроительный университет (МАМИ)» (Университет машиностроения), (107023, г. Москва, ул. Большая Семеновская, д.38), e-mail: v.korotkov@mami.ru.

В статье проведен анализ основных направлений развития транспортных средств с электрическим приводом, в том числе гибридные и транспортные средства с экологически чистыми топливными элементами. Рассмотрены существующие технологии быстрого пополнения аккумулирующих систем необходимым количеством электроэнергии для обеспечения длительного автономного хода, выявлены достоинства и недостатки каждого способа. Также проведен анализ возможностей выравнивания электрической нагрузки на сеть современной мощной энергосистемы с применением аккумулирующих систем транспортных средств с электроприводом. Предложен способ энергоснабжения, при котором энергопитание транспортного средства осуществляется буксируемым передвижным аккумулирующим устройством, включающим в себя набор модулей аккумулирования энергии на базе перспективных электрохимических источников тока, систему контроля и управления, а также при необходимости систему термостатирования и вспомогательные агрегаты.

Ключевые слова: общественный транспорт, тяговый электропривод, буферный накопитель энергии, система обеспечения электроэнергией.

ANALYSIS OF POWER SUPPLY OF VEHICLES ON THE BASIS OF THE ELECTRIC TRACTION

Korotkov V.S.¹, Lezhnev L.Y.¹, Papkin B.A.¹, Shustrov F.A.¹

¹Moscow State University of Mechanical Engineering (UMech), (107023, Moscow, Bolshaya Semenovskaya str., 38), e-mail: v.korotkov@mami.ru.

This article analyzes the basic directions of development of vehicles with electric drive, including hybrid vehicles and with clean fuel cells. The existing technologies of rapid recharge systems accumulate it necessary amount of electricity for long of an independent course, revealed the advantages and disadvantages of each method. Also the analysis capabilities of electric load balancing on a network contemporary power systems with the use of accumulating systems of vehicles with electric drive. A power supply method in which vehicle power supply apparatus is towed mobile accumulating device, comprising a set of power storage units based on the promising electrochemical current source and control system, and, if necessary, temperature control system and the auxiliary aggregates.

Keywords: public transport, electric drive, power storage unit, power supply system.

Экологические проблемы и ограниченность запасов традиционных топлив вызывают повышенный интерес к альтернативным системам привода транспортных средств. С другой стороны, производители все чаще сталкиваются с ужесточающимися требованиями законодательства по сокращению выбросов вредных веществ с отработавшими газами [3].

Автобусы как средство общественного транспорта могут значительно уменьшить проблемы, связанные с загрязнением воздуха в условиях больших городов, в частности, благодаря использованию инновационных систем привода. Развитие систем привода транспортных средств становится все более ориентированным на электрификацию силовых установок, что позволяет снизить выбросы вредных веществ, повысить суммарную эффективность ТС, снизить потребление топлива и уровень шума, а также в перспективе снизить расходы на его обслуживание.

Основными направлениями развития транспортных средств с электрическим приводом являются: гибридные, электрические и с применением топливных элементов [5]. На рисунке 1 графически показана классификация транспортных средств в зависимости от вида источника энергии и устройства привода.

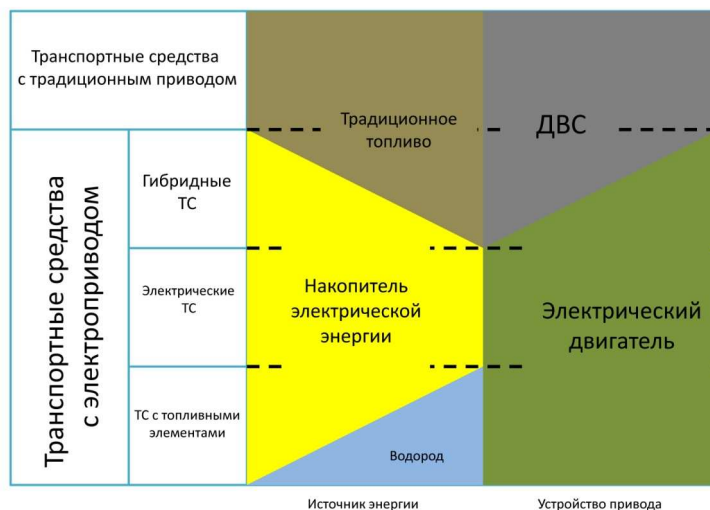


Рисунок 1 - Классификация транспортных средств в зависимости от вида источника энергии и устройства привода.

Гибридные транспортные средства (HEV - Hybrid Electrics Vehicles) в зависимости от используемой схемы приводятся в движение с помощью электрического двигателя и/или двигателя внутреннего сгорания. Основными схемами гибридных ТС являются последовательная и параллельная, однако нередко используются более сложные схемы, являющиеся их комбинациями.

Частным случаем, а также новой вехой в развитии гибридных ТС, являются гибридные транспортные средства с возможностью подзарядки накопителя электрической энергии (PHEV - Plug-in Electrics Vehicles). Благодаря наличию возможности зарядки накопителя электрической энергии от бытовой сети, либо на специализированной заправочной станции, такие транспортные средства для небольших суточных пробегов могут обеспечить нулевое потребление традиционного топлива. Дополнительного повышения эффективности ТС и снижения выбросов вредных веществ можно добиться использованием водородсодержащих топлив для питания двигателя внутреннего сгорания, входящего в его состав [4].

Хотя гибридные транспортные средства с возможностью подзарядки и могут обеспечить нулевой уровень выбросов вредных веществ, они характеризуются высокой себестоимостью, а также сложностью согласования режимов работы ДВС и электрического двигателя.

Электрические транспортные средства (BEV - Battery Electric Vehicles) приводятся в движение с помощью одного или нескольких электрических двигателей, используя энергию накопителя. В качестве накопителя электрической энергии могут выступать как электрохимические элементы, так и конденсаторы.

Электрические транспортные средства по сравнению с гибридными обладают целым рядом преимуществ, основными из которых являются:

- отсутствие выбросов вредных веществ;
- более высокий КПД транспортного средства;
- низкая стоимость 1 км пробега;
- отсутствие необходимости согласования режимов работы ДВС и электродвигателя.

Несмотря на явные преимущества, область применения электрических транспортных средств ограничена вследствие малого, по сравнению с гибридными ТС, пробега на одной заправке, что обуславливается малой энергоемкостью существующих накопителей электрической энергии.

В транспортных средствах с топливными элементами электрическая энергия, необходимая для их привода, производится прямым преобразованием из химической энергии топлива, минуя процесс горения и связанные с ним потери. В качестве топлива могут использоваться такие вещества, как водород и метанол.

Таким образом, структурно ТС с топливными элементами являются гибридными последовательной схемы, в которых двигатель внутреннего сгорания заменен на более экологичный источник энергии. Благодаря высокой эффективности топливных элементов и энергоплотности топлива, значительно возрастает пробег транспортного средства на одной заправке, превосходя по этому показателю даже гибридные ТС с двигателем внутреннего сгорания. На сегодняшний день массовое применение ТС с топливными элементами нереализуемо из-за их высокой себестоимости, неразвитости инфраструктуры заправки водородом и несовершенства систем его хранения.

Введение автобусов с водородными топливными элементами в состав городского транспорта – сложный многостадийный процесс, который включает в себя демонстрацию возможностей, длительное тестирование в реальных условиях, производство небольших партий ТС с последовательным наращиванием его объемов. За последние 10 лет стартовали несколько таких проектов, многие из них на данный момент завершены [9].

На основании анализа преимуществ и недостатков различных транспортных средств с электрическим приводом можно сделать вывод о необходимости развития технологий создания модулей аккумулирования энергии на базе перспективных электрохимических источников тока.

Успех электрификации колесных транспортных средств в городских хозяйствах зависит в значительной степени от разработки технологии быстрого пополнения аккумулирующих систем необходимым количеством электроэнергии для обеспечения длительного автономного хода. В настоящее время существуют несколько способов реализации этой задачи:

– заряд встроенных в транспортное средство накопителей энергии с помощью стационарных зарядных установок различной мощности [7]. Так, например, для обеспечения автономного запаса хода троллейбуса в пределах 220-250 км в условиях городского движения потребуется не менее 5-6 получасовых зарядок. Уменьшение количества зарядок возможно с ограничением пассажироместимости и увеличением количества электронакопительных элементов. Такой алгоритм работы, связанный с длительным простоем транспорта или уменьшением его пассажироместимости, не находит поддержки у эксплуатирующих организаций в связи с потерей экономической эффективности транспортных перевозок;

– другой применяемый способ пополнения встроенного накопителя электрической энергией является организация на пассажирских остановках маршрута следования транспортного средства кратковременных сеансов заряда, длительностью, сопоставимой с длительностью процесса посадки и высадки пассажиров [6]. Этот способ является промежуточным решением между осуществлением движения по контактной троллейбусной линии и длительными зарядками электробуса. Такая концепция подзарядки транспортных средств во время маршрута предусматривает наличие на пассажирских остановках контактных линий, на которые подается энергия. Через токосъемники с контактных линий энергия подается в накопительный блок транспортного средства, состоящий из литий-полимерных аккумуляторных батарей, суперконденсаторов и электрической системы преобразования. Подобная схема уже реализована и работает в Шанхае [8]. Недостатком такой технологии в первую очередь является сложная инфраструктура заряда и конструкция транспортного средства, запас хода равен дистанции между остановками (до 5 км). Такая технология имеет все недостатки, которые присущи контактным троллейбусным линиям, а также значительное удорожание стоимости самого транспортного средства;

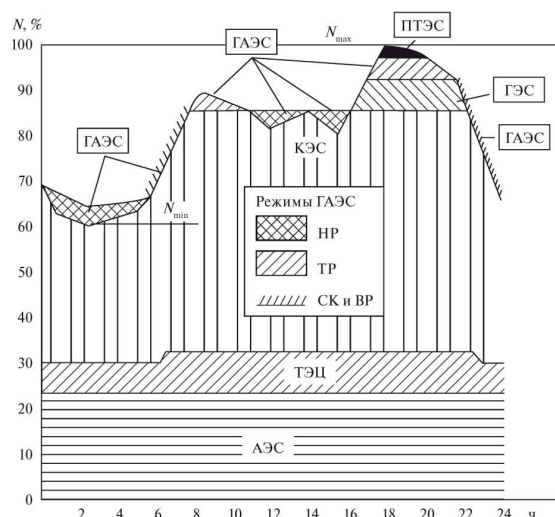
– следующим способом пополнения встроенных накопителей электрической энергии большой ёмкости является их автоматизированная замена, в процессе которой осуществляется с помощью роботизированной оснастки извлечение аккумуляторов из электробуса, установка их в зарядное приспособление и затем установка предварительно заряженных накопителей в электробус. Замена накопителей энергии значительно сокращает

время вынужденного простоя транспорта. Подобная схема уже реализована и также работает в Шанхае[8]. Из недостатков этой схемы нужно отметить специальную конструкцию транспортных средств с оборудованными местами крепления сменных аккумуляторов. Такая технология накладывает ряд ограничений на возможность применения транспортных средств различных производителей, используемых в одном транспортном хозяйстве;

– еще одним способом пополнения энергией электронакопительных транспортных средств является применение на борту мобильных зарядных устройств на базе тепловых двигателей. В этом направлении сейчас широко ведутся работы, создаются специализированные двигатели внутреннего сгорания и компактные генераторы, позволяющие вырабатывать электрическую энергию непосредственно на борту транспортного средства. Недостатками такой технологии является хоть и незначительное, но наличие выбросов вредных веществ с отработавшими газами двигателя внутреннего сгорания. При этом стоимость получаемой на борту электрической энергии еще пока в несколько раз превышает тарифы сетевого электроснабжения. Достоинством такой технологии, бесспорно, является большой запас хода, возможность периодического движения в режиме с нулевыми выбросами вредных веществ и более низкая стоимость транспортного средства по сравнению с электробусом.

Проведя краткий анализ различных технологий обеспечения электроэнергией автономных транспортных средств с электроприводом, предлагается в качестве направления исследований выбрать способ, при котором энергопитание транспортного средства осуществляется буксируемым передвижным аккумулялирующим устройством. Такой способ энергопитания имеет ряд видимых преимуществ:

- отсутствие необходимости усложнения конструкции транспортного средства за счет размещения на его борту накопителей энергии, уменьшая его полезную нагрузку и пассажироместимость;
- повышается электро- и пожаро-безопасность за счет размещения потенциально опасных элементов вне кузова пассажирского транспортного средства;
- возможность применения прицепного аккумулялирующего устройства с различными видами троллейбусов и пассажирскими транспортными средствами на базе тягового электропривода;
- возможность распределения, выравнивания (см. рис.2 и рис.3) электрической нагрузки на сеть за счет оптимизации времени подключения на заряд израсходованных передвижных аккумулялирующих устройств.



АЭС, ТЭЦ, КЭС, и ПТЭС – атомные, теплофикационные, конденсационные и пиковые тепловые электростанции; ГЭС – гидроэлектростанции; ГАЭС – гидроаккумулирующие электростанции, работающие в режимах: НР – насосном, ТР – турбинном, СК и ВР – синхронного компенсатора и во вращающемся резерве активной или реактивной мощности

Рисунок 2 – Суточный график нагрузки современной мощной энергосистемы [1].

Выравнивание электрической нагрузки на сеть возможно как за счет оптимизации времени подключения на заряд израсходованных передвижных аккумулирующих устройств, так и с помощью использования технологии V2G (Vehicle To Grid) при массовом внедрении ТС с электроприводом. V2G – концепция двухстороннего использования электромобилей и гибридов, подразумевающая подключение машины в общую энергосеть для подзарядки автомобиля и отдача лишней электроэнергии обратно, которая сейчас активно развивается при поддержке правительства США и компании Google. Потенциал выравнивания электрической нагрузки на московскую энергетическую систему можно оценить по графику, представленному на рисунке 3.

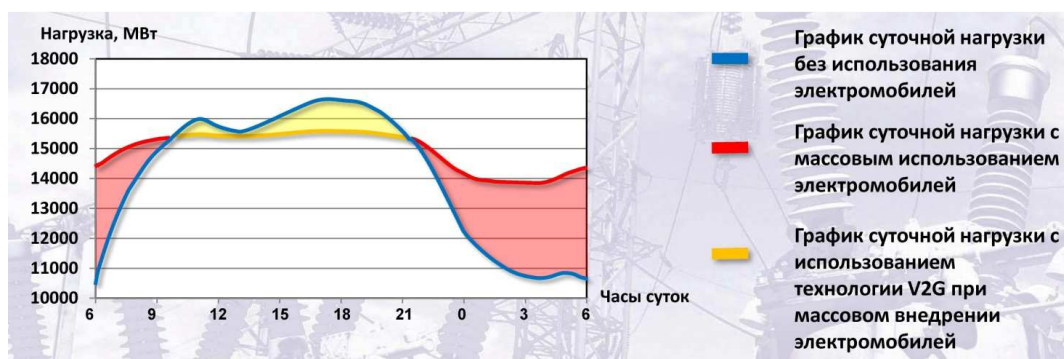


Рисунок 3 – Потенциал выравнивания электрической нагрузки на московскую энергетическую сеть [2].

Также с помощью передвижных аккумулирующих устройств может быть обеспечена возможность резервного энергопитания потребителей, например, при чрезвычайных ситуациях, связанных с перебоями сетевого электроснабжения.

Технология энергопитания транспортных средств на основе тягового электропривода с помощью буксируемого передвижного аккумулирующего устройства и системы интеллектуального управления является новой и имеет большой потенциал для дальнейшей коммерциализации.

Конструкция буксируемого передвижного аккумулирующего устройства должна включать в себя модули аккумулирования энергии на базе перспективных электрохимических источников тока, систему контроля и управления, а также при необходимости систему термостатирования и вспомогательные агрегаты.

На основании вышеизложенного анализа можно заключить, что разрабатываемый автономный модуль аккумулирования электроэнергии для работы в составе энергопитающих комплексов транспортных средств на базе тягового электропривода может обеспечить:

- независимость от контактных линий и времени заряда электронакопителей колесного электротранспорта;
- снижение затрат на эксплуатацию контактных сетей;
- снижение неравномерности загрузки электросетей (день, ночь);
- улучшение экологии мегаполисов при замещении транспортных единиц электротранспортом.

Работа по созданию автономного модуля аккумулирования электроэнергии для работы в составе энергопитающих комплексов транспортных средств на базе тягового электропривода проводится при финансовой поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации в рамках государственного контракта № 14.516.11.0113 от «14» октября 2013 г.

Список литературы

1. Синюгин В.Ю., Магрук В.И., Родионов В.Г. Гидроаккумулирующие электростанции в современной энергетике – М.:ЭНАС, 2008. – 352 с.
2. Сницкий А.В. Развитие инфраструктуры для электротранспорта в г. Москва как элемента технологий интеллектуальных сетей Smart Grid, тезисы докл. 3-я общероссийская конференция «Государственная политика в области энергоэффективности и энергосбережения» 26-27 апреля 2012г.
3. Хрипач Н.А. Обзор нормативных документов, ограничивающих выбросы токсичных веществ автомобилями в странах Европы, с различными временными периодами действия – М., Изд. ГНЦ РФ ФГУП «НАМИ», 2007. – 31 с.

4. Хрипач Н.А, Лежнев Л.Ю., Ипатов А.А. Hybrid Electric Vehicles of Use Hydrogen Fuel, Proceedings of the 31st FISITA World Automotive Congress, Japan, Yokohama, 2006. – paper F2006P141.
5. Chan C. The State of the Art of Electric, Hybrid, and Fuel Cell Vehicles, Proceedings of the IEEE, 95(4), 704-718, 2007.
6. Griffith P., Bailey J.R., Simpson D. Inductive Charging of Ultracapacitor Electric Bus, The World Electric Vehicle Journal, Vol 2, ISSN 2032-6653, 2008.
7. Kakuhama Y., Kato J., Fukuizumi Y. Next-generation Public Transportation: Electric Bus Infrastructure Project, Mitsubishi Heavy Industries Technical Review Vol. 48 No. 1, 2011.
8. Malorny C. Recharging China's Electric Vehicle Aspirations, Electric Mobility Congress, IAA Commercial Vehicles Hannover, 26 September 2012.
9. Zivanovic Z., Diligenski Dj., Sakota Z. The Application of Hybrid Drive Technology in City Buses. Belgrade, XXII. JUMV International Automotive Conference Science & Motor Vehicles, Proceedings, 1-15, 2009.

Рецензенты:

Ерохов В.И., д.т.н., профессор, Московский государственный машиностроительный университет (МАМИ), г. Москва.

Фомин В.М., д.т.н., профессор, Российский университет дружбы народов (РУДН), г. Москва.