



# ОБЩИЕ ПРОБЛЕМЫ МЕХАНИКИ

УДК 621.311: 625.42

С.Н. ПОДДУБКО, канд. техн. наук, доц.  
генеральный директор<sup>1</sup>

О.М. ЕЛОВОЙ, канд. техн. наук  
заместитель генерального директора по научной работе и инновационной деятельности<sup>1</sup>

А.В. БЕЛЕВИЧ  
начальник НИЦ «Электромеханические и гибридные силовые установки мобильных машин» —  
заведующий лабораторией бортовых мехатронных систем и мобильных машин<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Объединенный институт машиностроения НАН Беларуси, г. Минск, Республика Беларусь

Поступила в редакцию 14.09.2018.

## ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ЭЛЕКТРИФИЦИРОВАННОГО ТРАНСПОРТА В РЕСПУБЛИКЕ БЕЛАРУСЬ

*В статье рассматриваются ключевые вопросы создания и освоения в Республике Беларусь производства электротранспорта на основе отечественных разработок и передовых зарубежных технологий. Анализируется зарубежный опыт создания производств и построения рынка транспорта с электрифицированными силовыми установками, а также решения и механизмы предоставления государственной поддержки производителям и потребителям данного транспорта в развитых странах. Показана определяющая роль «зеленого» транспорта в решении проблем загрязнения окружающей среды, возникающих при дорожном движении. Обсуждаются основные аспекты и предпосылки создания новой для отечественного автомобилестроения подотрасли электромобилестроения на основе освоения технологий проектирования и производства электрифицированных силовых установок, как ключевого фактора экономической стабильности машиностроения на долгосрочную перспективу. Рассматриваются компетенции науки и промышленности в этой области. Обсуждаются целевые задачи Программы развития электротранспорта в Республике Беларусь и даются способы их решения, в том числе механизмы и меры стимулирования разработки, производства и потребления электротранспорта на государственном уровне.*

**Ключевые слова:** экологичный транспорт, электромобили, электрифицированные силовые установки, электропривод, топливные элементы, накопители энергии, Программа развития электротранспорта, меры стимулирования

На сегодняшний день одной из важнейших тенденций развития транспортного машиностроения, оказывающих долгосрочное влияние на отрасль в целом, является электрификация силовых установок, обеспечивающая повышение их экологичности и экономической эффективности применения.

Наибольшее распространение данная тенденция получила в сегменте легковых автомобилей, что обусловлено массовостью и уровнем конкуренции, а также в секторе пассажирского транспорта, режим работы которого характеризуется жестко установленным маршрутом и графиком движения, а закупка осуществляется с при-

влечением коммунальных предприятий городов, позволяя формировать техническую политику в области пассажирских перевозок. На рисунке 1 приведены наиболее показательные аспекты преимущества использования электрических силовых установок на примере коммерческого грузового автомобиля или односекционного электробуса [1].

Осознавая перспективность данной тематики и необходимость наработок технических решений в области разработки и эксплуатации электрифицированных силовых установок, являющихся неотъемлемым компонентом транспортных средств с батарейным и водородным силовым агрегатом, практически все крупные автопроиз-



Рисунок 1 — Электрификация транспорта  
Figure 1 — Electrification of transport

водители начали серийный выпуск автомобилей с электрическими силовыми установками.

Как видно из рисунка 2 [2] большинство автопроизводителей используют электрические силовые установки именно в премиум сегменте, что, с одной стороны, позволяет нивелировать стоимость, а с другой — обеспечить характерные для этих машин требования по динамике движения и шуму в салоне автомобиля. Планируемый пробег создаваемых электромобилей на одной зарядке как правило составляет от 300 до 500 километров. При этом, нарабатанный на сегодня мировой опыт эксплуатации электромобилей показывает, что экономическая целесообразность их использования полностью зависит от государственной политики в данной области. Рас-

смотрев стоимость владения автомобилем Nissan Leaf в разных странах (Германии, России, Норвегии и Соединенных штатах Америки), видим, что окупаемость электромобилей в Норвегии достигается за 0,5 года, в Германии — за 5 лет, в США (Калифорния) — за 19 лет, в России — за 34 года. Это обусловлено тем, что начальная цена данного электромобиля с учетом мер государственной поддержки составляет: в Норвегии — 23 760 USD, в Германии — 20 200 USD, в США — 20 680 USD, в России — 46 150 USD. Годовая экономия на налогах и дорожных сборах составляет: в Германии — 300 USD, Норвегии — 1250 USD, а в США и России — 0. Экономия на топливе составляет: в Германии — 330 USD, Норвегии — 1520 USD, США — 260 USD, в России —

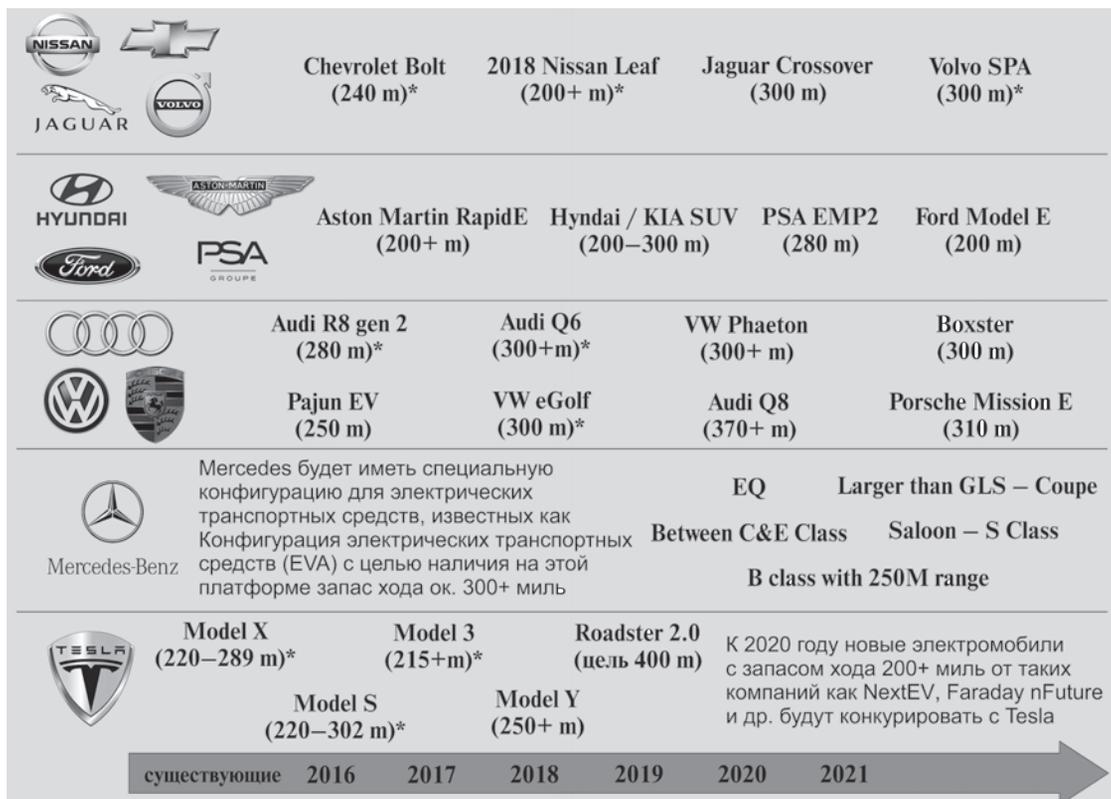


Рисунок 2 — Планы по созданию новых моделей легковых электромобилей: \* — включает объявленные и предполагаемые выпуски  
Figure 2 — Plans for creation of new models of electric motor cars: \* — includes announced and anticipated releases



Рисунок 3 — Планы по развитию грузовых электромобилей  
Figure 3 — Plans for development of electric trucks

580 USD. В итоге получаем, что на сегодня парк электромобилей в общем объеме легковых автомобилей составляет: в Норвегии — 29%, Германии — 0,7%, в США — 3,7%, в России — менее 0,01% [3].

Примером активной роли государственной и муниципальной поддержки потребления электромобилей является Калифорния (США). Количество зарядных станций на душу населения в Калифорнии примерно в 5 раз выше, чем в среднем по США. Владельцы электромобилей имеют право бесплатного пользования парковками и движения по выделенным полосам движения. Кроме того, в Калифорнии развита солнечная энергетика и фактическая экономия на топливных затратах может быть значительно выше, чем при потреблении энергии из сети [1].

Экологическая составляющая эксплуатации электротранспорта является важнейшим аспектом успешного внедрения такого транспорта в крупных городах, так как проблема загрязнения окружающей среды со временем становится все актуальнее, а автомобильный транспорт в структуре источников загрязнения воздуха мегаполисов занимает 80–90%. Также внедрение электротранспорта позволяет существенно снизить уровень шума, создаваемого транспортом, что также благоприятно влияет на общую экологическую обстановку крупных городов.

Именно поэтому электромобили как нельзя лучше подходят для решения проблемы загрязнения воздуха в мегаполисах несмотря на иногда худшие показатели энергоэффективности электротранспорта в сравнении с транспортом с традиционными двигателями внутреннего сгорания (ДВС).

Особый интерес представляет развитие технологий электрифицированных силовых установок на коммерческом транспорте. По данным статистики в 2002 году в США в эксплуатации было 223 миллиона легких транспортных средств и около 6 миллионов единиц коммерческого транспорта. При этом первые за год потребили 137 миллиардов галлонов топлива, а вторые — 37. То есть 27% топлива было израсходовано группой транспортных средств менее 3% [4].

Таким образом, очевидно, что применение электрифицированных силовых установок на коммерческом транспорте в целом и грузовых

автомобилях в частности, с точки зрения экономии топлива и снижения вредных выбросов, значительно эффективней, чем на легковых. Большинство мировых лидеров в области коммерческого транспорта освоили производство электрических версий своей продукции (рисунок 3) [2].

Наибольшее распространение в области коммерческого транспорта электрифицированные силовые установки получили на электробусах, серийный выпуск которых налажен такими компаниями как HESS (Швейцария), BYD Motors (Китай), Iveco (ЕС), Mercedes-Benz (Германия), Mitsubishi (Япония), Skoda (Чехия) и многие другие.

Таким образом, сегодня не оспаривается вопрос о необходимости и эффективности использования электрических приводов на транспорте, а остается тема конструктивных вариантов их применения в силовых установках транспортного средства (ТС), обеспечивающих оптимальный технико-экономический эффект.

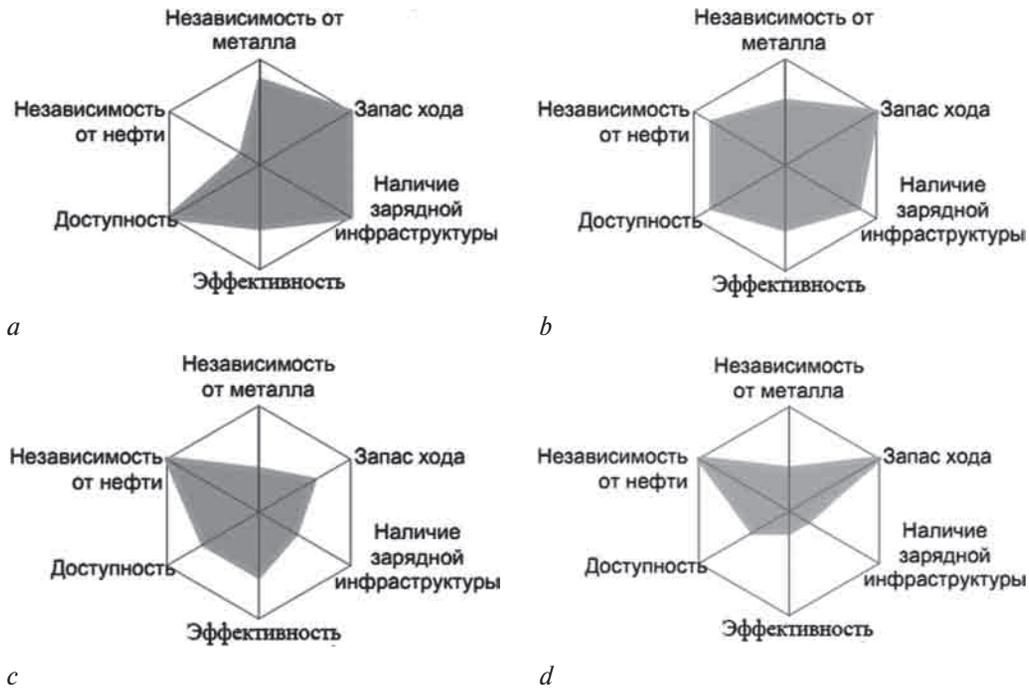
Условно, весь комплекс технических решений силовых установок ТС можно разделить на четыре группы:

- ТС с двигателями внутреннего сгорания (ДВС);
- ТС с электроприводом и батарейным источником энергии;
- ТС с гибридной силовой установкой (комбинацией электропривода с батареей и ДВС);
- ТС с электроприводом и источником энергии на топливных элементах.

Преимущества и недостатки каждого из типов автомобилей представлены на рисунке 4 [2].

Учитывая значительную роль машиностроения в промышленности Республики Беларусь, в стране начато активное освоение технологий проектирования и производства электрифицированных силовых установок как ключевого фактора экономической стабильности машиностроения на долгосрочную перспективу (рисунок 5).

На сегодня наибольший опыт применения и серийного производства транспорта с электрическими силовыми установками имеют отечественные предприятия ОАО «БЕЛАЗ», использующее электрическую трансмиссию на карьерных самосвалах, и ОАО «Белкоммунмаш», более 40 лет выпускающее троллейбусы и трамваи, а с 2017 года — и электробусы.



**Рисунок 4 — Проблемные вопросы развития различных видов электрифицированного транспорта:**  
*a* — двигатель внутреннего сгорания; *b* — гибридный автомобиль с подзарядкой от электросети; *c* — электромобиль на аккумуляторных источниках; *d* — электромобиль на топливных элементах

**Figure 4 — Problematic issues of development of various types electrified transport:**  
*a* — internal combustion engine; *b* — hybrid vehicle with charging from electricity mains; *c* — battery electric vehicle; *d* — electric vehicle on fuel elements

Опытные образцы машин с электрическими силовыми установками в разное время были разработаны и изготовлены и другими производителями Беларуси: ОАО «МТЗ», ОАО «Гомсельмаш», ОАО «МАЗ» — однако дальнейшего развития эти проекты не получили, главным образом по причине невозможности получения быстрого экономического эффекта от внедрения данного инновационного продукта в народном

хозяйстве. Большое отрицательное значение имеет так же отсутствие серийного отечественного производства компонентов силового электропривода для транспортных машин в мощностном диапазоне 50...200 кВт. Данный пробел в номенклатуре продукции машиностроительного комплекса Республики Беларусь объясняется стратегией развития и структурой промышленности бывшего СССР, где центры



**Рисунок 5 — Состояние и тенденции развития электротранспорта в Республике Беларусь**  
**Figure 5 — State and development trends of electric transport in the Republic of Belarus**

компетенций и производства компонентов силовых электроприводов транспортных машин были сосредоточены в других регионах, главным образом в России и Украине. После развала СССР в Беларуси не осталось центров подготовки специалистов, производств и испытательной базы современных силовых электроприводов, а на указанных выше предприятиях используются компоненты импортного производства.

Таким образом, перспективы создания и развития отечественного электротранспорта, включая электромобили, напрямую связаны с наличием в республике компетенций в области проектирования, исследований, испытаний и производства компонентов современных силовых электроприводов, к числу которых можно отнести тяговые электродвигатели, накопители электроэнергии (аккумуляторные батареи, суперконденсаторы, источники энергии на топливных элементах), изделия силовой электроники и микропроцессорные системы управления, обеспечивающие их согласованную работу в составе ТС.

Для этих целей в Объединенном институте машиностроения НАН Беларуси (ОИМ НАН Беларуси) в 2016 году был создан научно-инжиниринговый центр «Электромеханические и гибридные силовые установки мобильных машин» и сформирован инновационный кластер «Интеллектуальный электротранспорт» (рисунок 6), призванный координировать работу и оказывать техническую и кадровую поддержку проектов в области разработки и освоения производства транспортных средств с электрическими силовыми установками.

Первичные результаты деятельности кластера позволили наработать кооперационные связи в области производства перечисленных выше базовых компонентов и начать освоение их производства на предприятиях Республики Беларусь.

Приказом Министерства промышленности от 5 апреля 2018 г. № 184 ответственным за освоение производства тяговых электродвигателей назначен ОАО «Могилевлифтмаш». При этом разработка технических решений, конструкторской документации и моделирование режимов работы всех типов электрических машин для транспорта выполняется в НИЦ «Электромеханические и гибридные силовые установки мобильных машин» ОИМ НАН Беларуси. Там же выполняется моделирование технических решений, разработка конструкторской документации и программного обеспечения изделий силовой электроники и тяговых аккумуляторных батарей для транспорта. В качестве производственной базы по данной тематике приказом Министерства промышленности определено ОАО «Измеритель», входящее в холдинг «Горизонт». Там же предстоит и освоить производство микропроцессорных систем управления верхнего уровня.

На рисунках 7–9 представлены компетенции НИЦ «Электромеханические и гибридные силовые установки мобильных машин» ОИМ НАН Беларуси в области разработки компонентов силового электропривода для транспортных машин.

Пути развития электротранспорта в Республике Беларусь на 2018–2022 годы изложены

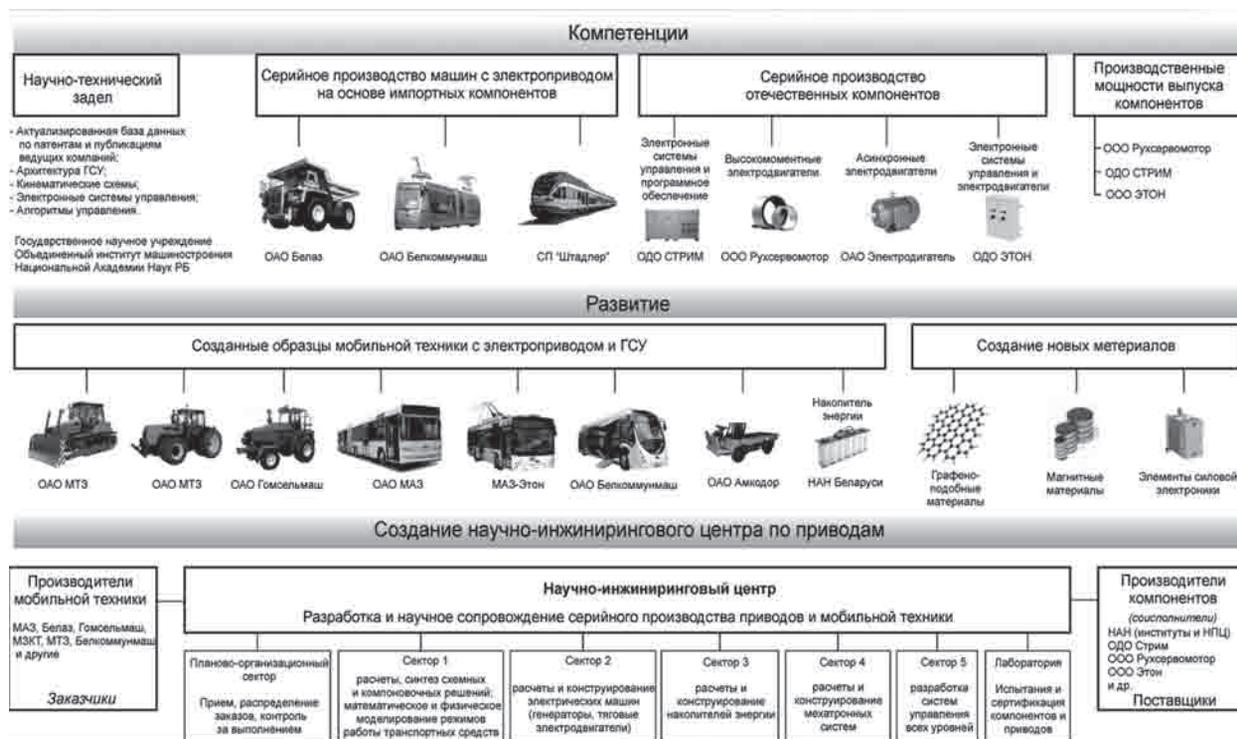


Рисунок 6 — Участники кластера «Интеллектуальный электротранспорт»  
Figure 6 — Members of the cluster “Intelligent Electric Transport”

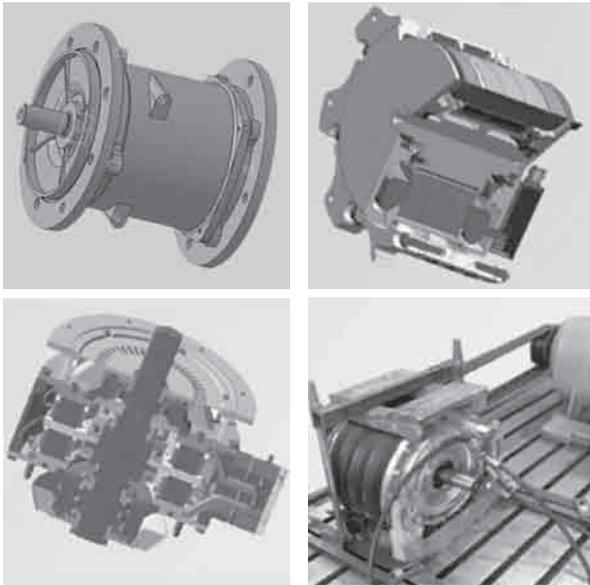


Рисунок 7 — Разработка электрических машин для транспорта  
Figure 7 — Development of electric cars for transport

в одноименной Программе, разработанной Национальной академией наук Беларуси по Поручению Президента Республики Беларусь Александра Григорьевича Лукашенко от 14 февраля 2018 г. Целевой задачей программы поставлена поэтапная локализация производства базовых компонентов электропривода, и создание транспортных и технологических машин на «электрической тяге». В качестве заказчика-координатора программы на сегодняшний день выступает Национальная академия наук Беларуси.

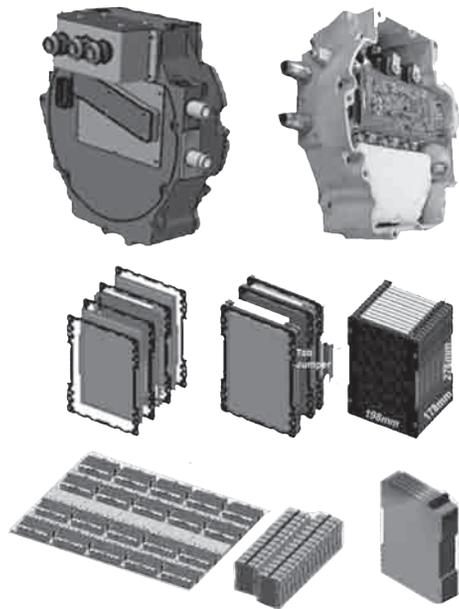


Рисунок 8 — Разработка и производство изделий силовой электроники для транспорта  
Figure 8 — Development and production of power electronics products for transport

Программа ставит задачей обеспечить к 2023 году уровень локализации производства до 60% по основным компонентам силового электропривода.

Функциональный состав Программы включает перечень первоочередных мер государственного стимулирования производства и потребления электротранспорта и пять подпрограмм, направленных на разработку и освоение произ-

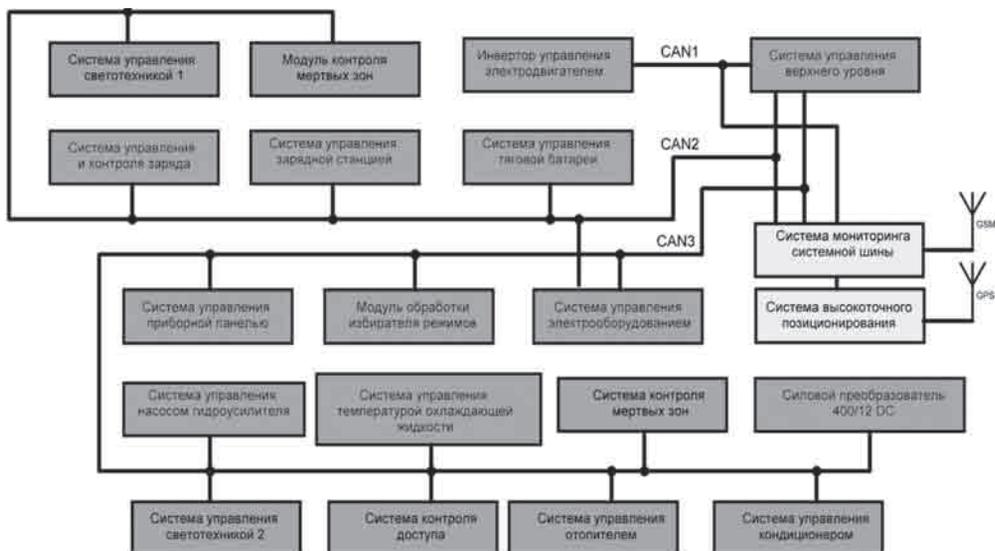
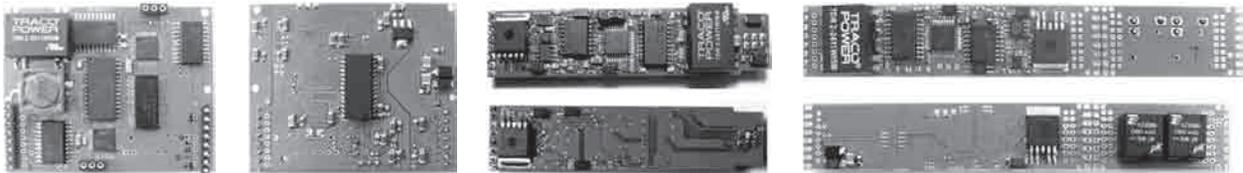


Рисунок 9 — Разработка и производство изделий многоуровневых систем управления для транспорта  
Figure 9 — Development and production of products of multilevel control systems for transport

водства коммерческого и легкового электро-транспорта, типоразмерного ряда базовых компонентов электрических силовых установок, комплекса элементов инфраструктуры для эксплуатации электротранспорта, а также создание и развитие материально-технической базы испытательно-исследовательской отраслевой лаборатории в области электроприводов.

В качестве мер стимулирования развития электротранспорта Программа предусматривает разработку нормативно-правовой базы по предоставлению разработчикам, производителям, покупателям, эксплуатирующим и обслуживающим организациям различного рода преференций (льготные займы, освобождение от НДС и ввозных пошлин и другое), стимулирующих развитие электротранспорта в Республике Беларусь.

Подпрограммы «Коммерческий электротранспорт» и «Легковой электротранспорт» предполагают создание новых образцов электротранс-

порта в ОАО «Белкоммунмаш» и ОАО «МАЗ» и разработку опытных образцов легкового электромобиля с использованием отечественных компонентов электрической силовой установки.

Подпрограмма «Электрокомпоненты» ориентирована на создание отечественных производств основных компонентов силового электропривода для транспортных машин, в том числе тяговых электродвигателей с электронными системами управления, редукторных узлов, силовых преобразователей, тяговых батарей.

На рисунках 10–12 представлены перспективные разработки в области коммерческого и легкового электротранспорта и компонентов силового электропривода.

Подпрограмма «Инфраструктура» направлена на освоение производства станций быстрого заряда тяговых аккумуляторных батарей транспортных машин, разработку нормативных документов по стандартизации и сертификации элементов зарядной инфраструктуры, разработку технологий



Рисунок 10 — Перспективные изделия подпрограммы «Коммерческий электротранспорт»  
Figure 10 — Promising products of the subprogramme “Commercial Electric Transport”



Рисунок 11 — Перспективные изделия подпрограммы «Легковой электротранспорт»  
Figure 11 — Promising products of the subprogramme “Electric Motor Cars”

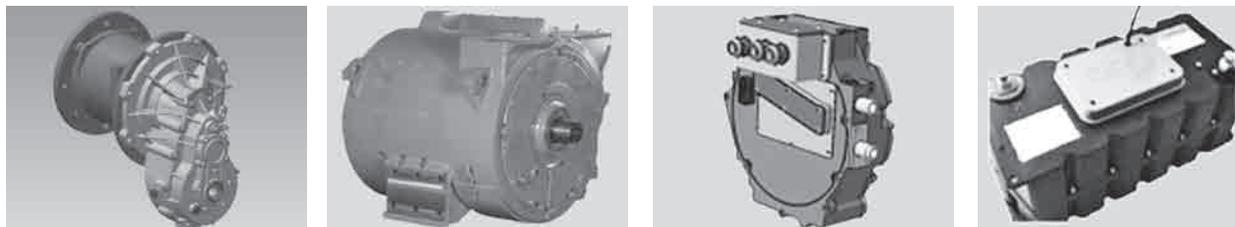


Рисунок 12 — Перспективные изделия подпрограммы «Электрокомпоненты»  
Figure 12 — Promising products of the subprogramme “Electric Components”

утилизации и систем вторичного использования тяговых аккумуляторных батарей.

Подпрограмма «Испытательные лаборатории» предполагает поэтапное оснащение испытательным оборудованием отраслевой лаборатории ОИМ НАН Беларуси по исследованиям, проектированию и испытаниям электромобилей и базовых компонентов электропривода.

Реализация Программы развития электротранспорта в Республике Беларусь на 2018–2022 годы позволит усилить интеллектуальный потенциал республики в области разработки силового электропривода, создать инновационные производства компонентов силового электропривода, которые послужат основой успешного освоения производства и эффективного использования современных образцов экологичных транспортных и технологических машин на «электротяге».

PODDUBKO Sergey N., Ph. D. in Eng., Assoc. Prof.  
Director General<sup>1</sup>

YELOVOY Oleg M., Ph. D. in Eng.  
Deputy Director General for Research and Innovations<sup>1</sup>

BELEVICH Alexander V.  
Chief of the R&D Center “Electromechanical and Hybrid Power Units of Mobile Machines” – Head of the Laboratory of Onboard Mechatronic Systems of Mobile Machines<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Joint Institute of Mechanical Engineering of the NAS of Belarus, Minsk, Republic of Belarus

Received 29 November 2018.

## PROSPECTS OF DEVELOPMENT OF ELECTRIFIED TRANSPORT IN THE REPUBLIC OF BELARUS

*The article considers the key issues of creation and development of electric transport production in the Republic of Belarus on the basis of domestic developments and advanced foreign technologies. The foreign experience of creating productions and building the market of transport with the electrified power units, as well as decisions and mechanisms of providing the state support to producers and consumers of the transport in the developed countries are analyzed. The defining role of green transport in solving environment pollution problems arising from road traffic is shown. The article discusses the main aspects and prerequisites for the creation of a new sub-sector of the electric vehicle industry for the domestic automotive industry on the basis of the development of design technologies and production of electrified power units, as a key factor in the economic stability of mechanical engineering in the long term. The capacity of science and industry in this field is considered. The paper discusses the targets of the Program of Development of Electric Transport in the Republic of Belarus and provides ways to meet them, including mechanisms and measures to stimulate the development, production and consumption of electric transport at the state level.*

**Keywords:** green transport, electric vehicles, electrified power units, electric drive, fuel elements, energy storage, Program of Electric Transport Development, incentive measures

### References

1. *The Electric Delivery Van revolutionizes the way you deliver your goods*. Available at: <http://www.emoss.nl/en/electric-vehicles/electric-delivery-van/> (accessed 10 September 2018).
2. Meilhan N. *Electric Car Wars - Who will win the race between BEVs, PHEVs, and FCEVs?* 2017. Available at: <https://www.slideshare.net/NicolasMeilhan/electric-car-wars-who-will-win-the-race-between-bevs-phevs-and-fcevs> (accessed 10 September 2018).
3. *Avtonomnaya elektrifikatsiya transporta* [Autonomous electrification of transport]. Available at: [http://www.energystrategy.ru/projects/Energy\\_21/2-4.pdf](http://www.energystrategy.ru/projects/Energy_21/2-4.pdf) (accessed 11 September 2018).
4. Krasnevskiy L.G., Poddubko S.N., Nikolaev Yu.I. *Perspektivy primeneniya gibridnykh silovyykh ustanovok v voennoy avtomobilnoy tekhnike* (po materialam zarubezhnoy pechati) [Prospects for the use of hybrid power units in military vehicles (based on the materials of foreign publications)]. *Sbornik nauchnykh trudov "Aktualnye voprosy mashinovedeniya"* [Collection of scientific papers "Topical Issues of Mechanical Engineering"], 2014, issue 3, pp. 77–82.