

ОТЕЧЕСТВЕННЫЕ ЭЛЕКТРОМОБИЛИ:

этапы создания и результаты



Сергей Поддубко,
генеральный
директор
Объединенного
института
машиностроения
НАН Беларуси,
кандидат
технических наук



Александр Белевич,
начальник НИЦ
«Электромеханические
и гибридные силовые
установки мобильных
машин»
Объединенного
института
машиностроения
НАН Беларуси

Аннотация. Представлены результаты работы научной школы Объединенного института машиностроения НАН Беларуси в области проектирования электрических и гибридных силовых установок и транспортных средств на их основе.

Ключевые слова: гибридные и электрические силовые установки, тяговый электропривод, управляемые силовые преобразователи.

Для цитирования: Поддубко С., Белевич А. Отечественные электро-мобили: этапы создания и результаты // Наука и инновации. 2021. №1. С. 23–29. <https://doi.org/10.29235/1818-9857-2021-1-23-29>

Начало третьего тысячелетия ознаменовалось стремительным развитием гибридных (комбинированных) и электрических силовых установок (ГСУ и ЭСУ) автомобилей как эффективного средства снижения уровня потребления жидкого углеводородного топлива и загрязнения окружающей среды. Их внедрение стало главным направлением технического прогресса автомобилестроения и привело к созданию принципиально новых машин с ГСУ и ЭСУ, в том числе с ГСУ на водородных топливных

элементах (ТЭ). За последние два десятилетия пройден путь от первого в мире серийного японского автомобиля Toyota Prius (1997 г.) до массового производства многочисленных типов и моделей с рассматриваемым типом силовых установок. При этом, несмотря на существенные конструктивные отличия новых технологий (ГСУ, ЭСУ и ГСУ на ТЭ), все они характеризуются использованием однотипных базовых компонентов: систем тягового электропривода, тяговых аккумуляторных батарей и систем менеджмента энергетических потоков (систем верхнего уровня управления).

Их применение дает возможность рекуперации кинетической энергии транспортного средства при торможении, а также обеспечивает наличие режимов перегрузки по крутящему моменту практически во всем скоростном диапазоне. Это позволяет повысить расчетный КПД использования химической энергии топлива до 75% (при том, что КПД ДВС не превышает 50%), а ГСУ с ДВС дает экономию топлива до 20–30% в зависимости от особенностей эксплуатации [1].

Ожидается, что технологии в автомобилестроении и смежных отраслях в ближайшем будущем кардинально изменятся. Практически все мировые производители (и некоторые страны) заявили о крупномасштабном увеличении выпуска автомобилей с ГСУ и ЭСУ. При этом один из главных факторов, ставший мощным стимулом перехода к электромобилям, – перманентное ужесточение международных требований к топливной экономичности и снижению загрязнения окружающей среды [1].

Учитывая значительную роль машиностроения в структуре экономики Республики Беларусь,

а также имеющийся опыт отечественных разработчиков и промышленных предприятий в области систем управления силовыми установками и систем электропривода, Национальная академия наук Беларуси при поддержке Министерства промышленности, начиная с 2016 г., активно включилась в работу по данному направлению. За последние 4 года на базе Объединенного института машиностроения создана научная школа в области проектирования электрических и гибридных силовых установок и транспортных средств на их основе, и результаты работы уже внедряются. Первый полномасштабный проект – создание экспериментального образца легкового электромобиля на базе серийной модели в 2017 г. (рис. 1). Он разработан специалистами ОИМ НАН Беларуси с привлечением партнеров из частных компаний на базе автомобиля Geely SC7 с применением отечественных компонентов электрической силовой установки. В качестве донора использован первый автомобиль Geely, собранный в Республике Беларусь. В настоящее время он экс-

плуатируется в Объединенном институте машиностроения для служебных целей, а также в качестве своеобразной ходовой лаборатории для отработки технических решений в рамках программ научных исследований.

Сроки выполнения, а также полученный результат показали наличие потенциала отечественных разработчиков в создании транспортных средств с электрическими силовыми установками. Это доказывает также первоочередную роль компетенций в области проектирования компонентной базы ЭСУ и ГСУ как ключевого фактора их эффективности, в значительной мере определяющей величину добавочной стоимости конечного продукта.

С учетом полученных результатов, а также запроса рынка инжиниринговых услуг нашей страны и Российской Федерации, в 2017 г. в структуре Объединенного института машиностроения и при непосредственной поддержке руководства НАН Беларуси создан научно-инжиниринговый центр «Электромеханические и гибридные силовые установки мобильных машин» (НИЦ).

Рис. 1. Экспериментальный образец легкового электромобиля на базе Geely SC7



Основные его задачи – развитие научных подходов проектирования и разработка конструкций (документации, алгоритмов и программного обеспечения) следующих современных образцов:

- **систем тягового электропривода** (расчет и проектирование синхронных и асинхронных электродвигателей, а также конструкций, схемотехнических решений, алгоритмов и программного обеспечения инверторов их управления);

- **тяговых аккумуляторных батарей** (схемотехнических решений, алгоритмов и программного обеспечения электронных систем их управления, а также конструкции корпусных элементов и компонентов системы термостабилизации);

- **управляемых силовых преобразователей** (схемотехнических решений, алгоритмов и программного обеспечения, а также конструкции корпусных элементов, включая систему охлаждения бортовых зарядных устройств и преобразователей для вспомогательных нужд);

- **системы управления силовой установки** (схемотехнических решений, алгоритмов и программного обеспечения типоряда электронных блоков управления).

Важнейшим направлением работы НИЦ стало создание в 2019 г. специализированного испытательного центра, отраслевой лаборатории по исследованиям и проектированию электромобилей и базовых компонентов электропривода, в компетенции которого входят разработка методик, а также проведение исследовательских и сертификационных испытаний базовых компонентов ЭСУ и ГСУ и транспортных средств на их базе.

В 2017–2020 гг. коллективом НИЦ при реализации эта-

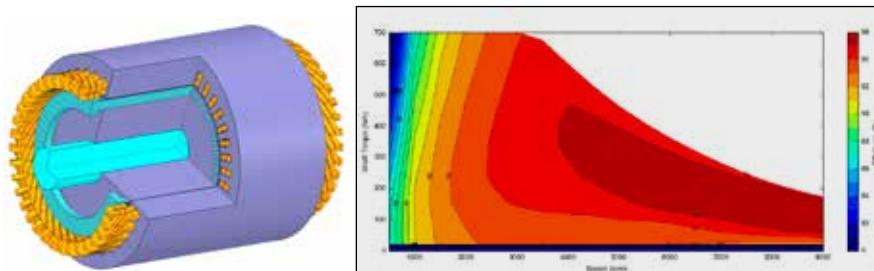


Рис. 2. Расчетная модель и характеристики эффективности асинхронного тягового электродвигателя

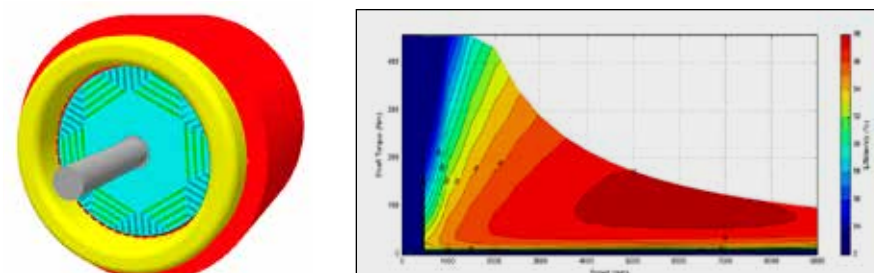


Рис. 3. Расчетная модель и характеристики эффективности синхронного тягового электродвигателя

пов заданий ГПНИ «Механика, металлургия, техническая диагностика», ГП «Наукоемкие технологии и техника», ГНТП «Машиностроение и машиностроительные технологии» и НТП СГ «Автоэлектроника», выполнявшихся НИЦ «Электромеханические и гибридные силовые установки мобильных машин», достигнуты определенные результаты. В частности, разработаны методики проектирования тяговых электродвигателей синхронного (с использованием ротора на постоянных магнитах) и асинхронного типа, включающие аналитический расчет исходных данных конструкции; предварительный 2D-расчет электромеханических и электромагнитных характеристик работы проектируемых электрических машин; анализ полномасштабной 3D-модели расчета электромеханических и электромагнитных параметров и тепловых режимов работы автомобилей.

С помощью указанных подходов разработаны компьютерные модели и проведен полнофакторный анализ характеристик современных образцов асинхронного тягового электродвигателя длительной мощностью 130 кВт (рис. 2) для использования в составе ЭСУ грузового электромотоцикла МАЗ полной массой 12 т и синхронного тягового электродвигателя длительной мощностью 80 кВт (рис. 3) для ЭСУ легкового электромотоцикла класса минивэн.

Изучение конструкторских решений электрических машин, используемых в автомобилях с ЭСУ и ГСУ ведущих мировых автоконцернов (Tesla, Nissan, Toyota и др.) и анализ технологических возможностей отечественных производителей позволили создать полные комплекты конструкторской документации представленных выше электромобилей. Разработанная конструкторская документация, включающая 3D-модели (рис. 4), передана

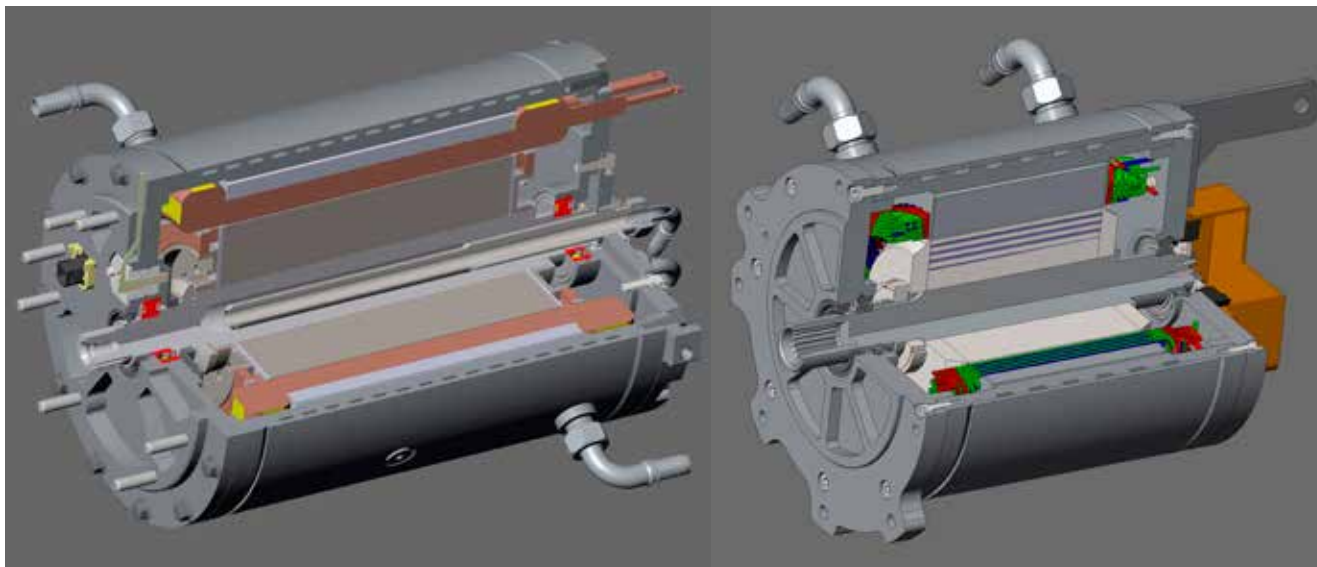


Рис. 4. Общий вид конструкции асинхронного и синхронного тяговых электродвигателей разработки Объединенного института машиностроения НАН Беларуси

на промышленные предприятия Республики Беларусь для изготовления опытных образцов.

Получены результаты и по части систем управления (инверторов) тяговых электродвигателей. Отработаны методические подходы к построению алгоритмов и выбору основных технических систем их векторного

управления, включающие типовые компьютерные модели синхронных и асинхронных систем тягового электропривода, методики расчета их исходных данных на базе таких электродвигателей.

Созданы базовые функциональные алгоритмы и программные модули формирования векторных законов управле-

ния систем тягового электропривода, в том числе бездатчикового, на базе синхронных и асинхронных двигателей вспомогательных электроприводов (компрессоры пневматической системы и кондиционера, насос гидроусилителя и др.). Разработаны базовые схемотехнические решения инверторов управления высоко- (более 50 кВт) и низко- (до 10 кВт) нагруженными электроприводами для использования в составе электрических силовых установок транспортных средств.

Имеющиеся методические подходы для проведения исследовательских испытаний позволяют обрабатывать алгоритмы их функционирования в условиях стенда и в составе систем электропривода. В сотрудничестве со специалистами ОАО «Измеритель» (г. Новополоцк) создана конструкторская документация и изготовлены инверторы управления синхронным тяговым электродвигателем мощностью 58 и 80 кВт легкового электромобиля класса минивэн, асинхронным тяговым 10-киловаттным электродвига-



Рис. 5. Общий вид инверторов управления разработки Объединенного института машиностроения НАН Беларуси

телем для льдозаливочного комбайна, синхронным электродвигателем мощностью 3 кВт привода насоса гидроусилителя и асинхронным электродвигателем мощностью 3 кВт привода компрессора грузового электромобиля (рис. 5).

В рамках работ по данной тематике отраслевой лабораторией по исследованиям, проектированию и испытаниям электромобилей и базовых компонентов тягового электропривода созданы стенды для изучения и сертификационных испытаний его систем.

Стенд тяговых электроприводов мощностью до 200 кВт (рис. 6) аттестован в национальной системе качества на проведение сертификационных испытаний и позволяет оценить соответствие заявленной мощности тягового электропривода транспортного средства в соответствии с Правилами ООН №85-00.

Разработаны подходы к проектированию конструкций тяговых аккумуляторных батарей, а также алгоритмы и основные технические решения систем их управления. Они включают методики расчета исходных данных тяговой аккумуляторной батареи на основании требований, предъявляемых к транспортному средству с электрической силовой установкой, алгоритмы и программные модули для расчета остаточной емкости тяговых батарей на базе аккумуляторных ячеек LiNMC и LiFePo типа; алгоритмы и схемотехнические решения систем управления режимом работы и сбора диагностической информации тяговой аккумуляторной батареи; активной и пассивной балансировки аккумуляторных ячеек.

С использованием данных подходов разработана конструкторская документация и изготовлены



Рис. 6. Общий вид стенда испытаний тяговых электроприводов мощностью до 200 кВт



Рис. 7. Тяговые аккумуляторные батареи и их компоненты разработки Объединенного института машиностроения НАН Беларуси



Рис. 8. Бортовое зарядное устройство разработки Объединенного института машиностроения НАН Беларуси

опытные образцы тяговых аккумуляторных батарей каркасно-панельного и каркасного электромобилей спортивной компоновки и льдозаливочного комбайна, модернизирована тяговая аккумуляторная батарея для минивэна в части замены блоков ее управления на электронные модули собственной разработки, а также подготовлена конструкторская документация тяговой аккумуляторной батареи электромобиля МАЗ (рис. 7).

Определены методические подходы к проектированию конструкций управляемых силовых преобразователей в части используемых алгоритмов и базовых схемотехнических реше-

ний: методики расчета высокочастотных контуров регулирования потоков электрической энергии; базовые схемотехнические решения резонансных преобразователей энергии; алгоритмы и программные модули управляемых выпрямителей и резонансных преобразователей электрической энергии.

Разработана конструкторская документация и изготовлены опытные образцы управляемых силовых преобразователей (DC/DC конвертеры и бортовые зарядные устройства) мощностью 3 кВт и 18 кВт соответственно, используемых в составе экспериментальных образцов каркасно-панельных электромобилей, электро-

минивэна, а также планируемых к применению в составе создаваемой Объединенным институтом машиностроения НАН Беларуси электрической силовой установки электромобиля МАЗ (рис. 8).

Отработка данных компонентов выполняется в составе электрических силовых установок транспортных средств, создаваемых в институте. В частности, на их базе появились экспериментальные образцы каркасно-панельных электромобилей (рис. 9). Выбор конструкции кузова обусловлен относительной простотой технологии их мелкосерийного производства, что делает потенциально возможным его организацию в структуре Национальной академии наук Беларуси.

Перспективным направлением массового внедрения разработок института является создание совместного предприятия с одним из серийных производителей на условиях локализации компонентной базы электрической силовой установки. Учитывая структуру стоимости электромобилей, без организации выпуска компонентов электрической силовой установки в нашей стране и промышленной сборки на территории стран Таможенного союза (с уровнем



Рис. 9. Экспериментальные образцы каркасно-панельных электромобилей

локализации не менее 60%) подобное не представляется возможным. Проанализировав перспективы рынка легковых электромобилей, институтом проведена работа по локализации компонентов электрических силовых установок минивэнов EF5 и E6 (рис. 10) компании JoyLong (Китай) в части конструкторской привязки и экспериментальной апробации компонентной базы отечественной разработки для использования в составе электрических силовых установок данных электромобилей.

При этом одним из наиболее перспективных направлений внедрения наработок ОИМ НАН Беларуси в части компонентной базы электрических силовых установок остается ее применение в составе новых образцов коммерческой техники, создаваемой на отечественных машиностроительных предприятиях. В настоящее время данные наработки используются в составе электрической силовой установки опытного образца комбайна льдозаливочного, а также создаваемого грузового электромобиля полной массой 12 т (рис. 11).

Таким образом, основным результатом работ Объединенного института машиностроения в области электротранспорта за 2017–2020 гг. являются сформированные рабочие группы и созданный ими в структуре научно-инжинирингового центра «Электромеханические и гибридные силовые установки мобильных машин» задел в части разработки ключевых компонентов электрических силовых установок. Специалистами центра освоены современные подходы в проектировании электрических машин, инверторов управления тяговыми электроприводами, систем управле-



Рис. 10. Экспериментальные образцы электромобилей JoyLong с локализованными компонентами электрических силовых установок разработки Объединенного института машиностроения



Рис. 11. Экспериментальные образцы коммерческой техники с электрическими силовыми установками разработки Объединенного института машиностроения

ния термостабилизации тяговых аккумуляторных батарей, верхнего уровня управления электрических силовых установок и других компонентов электротранспорта. Изготовлены

опытные образцы, которые проходят испытания в составе транспортных средств, создаваемых институтом совместно с машиностроительными предприятиями республики. ■

■ **Summary.** The article presents the research results in the field of designing electric and hybrid power plants and vehicles based on them, which were created within the framework of the Joint Institute of Mechanical Engineering of the National Academy of Sciences of Belarus.

■ **Keywords:** electrical power plants, synchronous traction motors, synchronous traction motors, rechargeable batteries, onboard charger.

■ <https://doi.org/10.29235/1818-9857-2021-1-23-29>

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Красневский Л.Г. Автоматические трансмиссии: анализ и перспективы применения на гибридных и батарейных электромобилях. Часть 1. // Механика машин, механизмов и материалов. 2020. №2 (51). С. 16–29.
2. Перспективы развития электрифицированного транспорта в Республике Беларусь. Поддубко С.Н., Еловой О.М., Белевич А.В. // Механика машин, механизмов и материалов. 2018. №4 (45). С. 5–12.
3. Ходовой макет электромобиля: этапы создания и первые результаты. Поддубко С.Н., Белевич А.В., Адашкевич В.И. // Механика машин, механизмов и материалов. 2017. №4 (41). С. 7–14.

Статья поступила в редакцию 06.01.2020 г.

SEE http://innosfera.by/2021/01/hybrid_power_plants