

УДК 629.35

Разработка электрической движущей части для интеграции в различные типы транспортных средств

Серебряков Игорь Андреевич

serabakovtea@bntu.by

Горнак Илья Владимирович

harnakiv@bntu.by

Невертович Валерий Дмитриевич

nevertovicvalerij@bntu.by

Фалей Павел Алексеевич

pavelfalei@bntu.by

Белорусский национальный технический университет, Минск, Республика Беларусь

Аннотация. Описан процесс разработки электрической платформы, подходящей для легковых и легких грузовых автомобилей, задействованных в перевозках пассажиров и грузов. Выбрана исходная автомобильная платформа, подобраны агрегаты для установки на нее. Описан процесс создания цифрового двойника, включающий моделирование рамы, ходовой части, электродвигателя и инвертора.

Ключевые слова: электромобиль, электродвигатель, инвертор, электрическая движущая часть, высоковольтная аккумуляторная батарея

Development of an electric propulsion system for integration into various types of vehicles

Serebryakov Igor Andreevich

serabakovtea@bntu.by

Gornak Ilya Vladimirovich

harnakiv@bntu.by

Nevertovich Valery Dmitrievich

nevertovicvalerij@bntu.by

Faley Pavel Alekseevich

pavelfalei@bntu.by

Belarusian National Technical University, Minsk, Belarus

Abstract. The article describes the process of developing an electric platform suitable for passenger cars and light trucks involved in the transportation of passengers and cargo. The initial car platform has been selected, and the units for installation on it have been selected. The process of creating a digital twin is described, including modeling the frame, chassis, electric motor and inverter.

Keywords: electric vehicle, electric motor, inverter, electric moving part, high-voltage battery

Введение. В Белорусском национальном техническом университете был создан электромобиль на базе Lada 2114 и компонентов от Nissan Leaf. Конструкция реализована на практике силами студентов кафедры «Техническая эксплуатация автомобилей». Данный проект позволил наработать компетенции в области взаимодействия с электрической и электронной частью электромобилей [1]. Совокупность технических решений, которые были получены, легли в основу универсальной электрической платформы для переоборудования или создания транспортных средств на электрической тяге [2].

Методы и материалы; результаты. Процесс разработки электрической платформы делится на следующие этапы.

1. Расчет тяговых характеристик и обоснование мощности электродвигателя.
2. Удаление из исходного автомобиля более не востребованных деталей, узлов и агрегатов.
3. Подбор и диагностирование электродвигателя.
4. Поиск готовых решений для силовой электроники (инверторы).
5. Изготовление кастомизированного подрамника и креплений для установки электродвигателя и других компонентов.
6. Подбор батареи. Эмпирическая оценка емкости батареи.
7. Итоговая сборка и ходовые испытания.

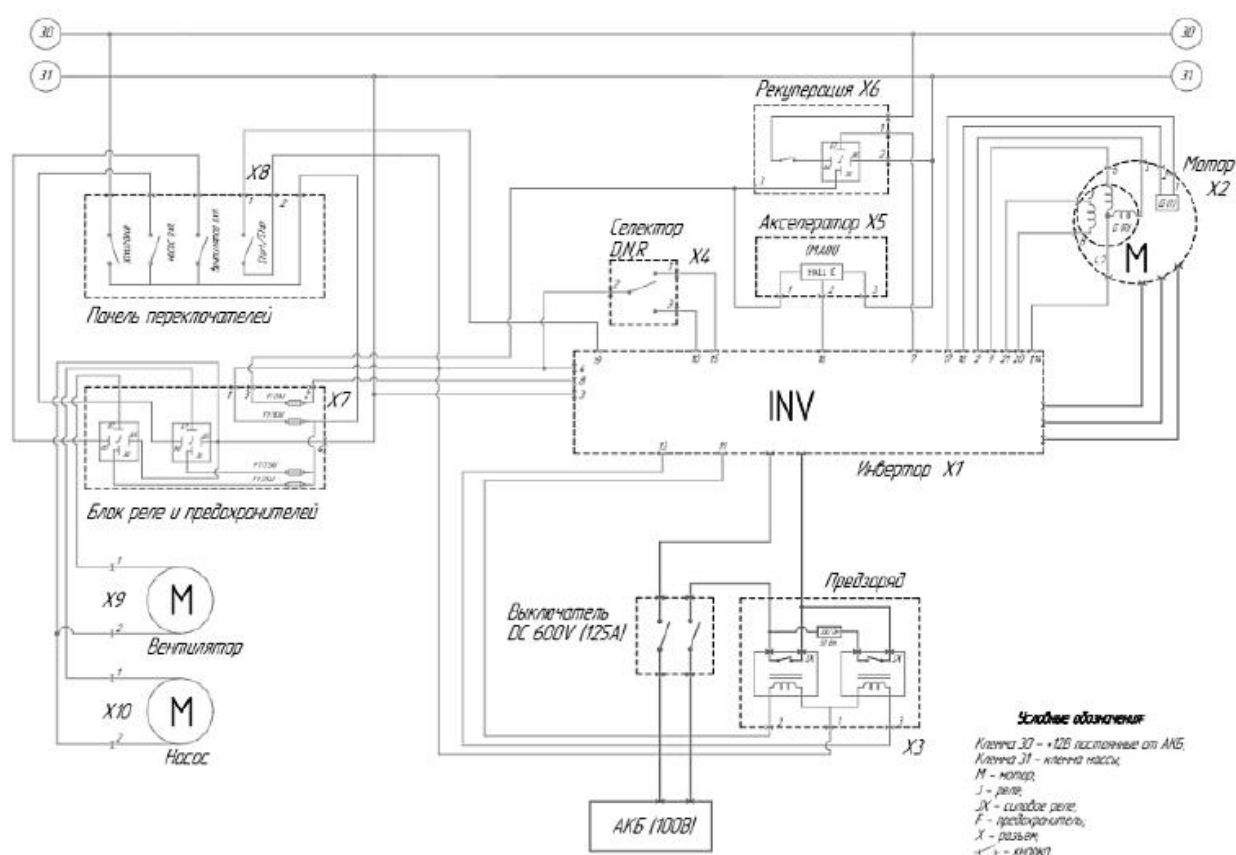
Разрабатываемая платформа представляет собой модульную рамную конструкцию с навесным оборудованием, включающим электродвигатель, инвертор, батарею, органы управления, ходовую часть и подвеску. Модульность конструкции обеспечивает адаптацию транспортного средства под различные задачи коммерческих организаций, а также значительно упрощает процесс замены и модернизации компонентов.

В проекте использован электродвигатель и инвертор от серийного автомобиля Nissan Leaf первого поколения. Такое решение обусловлено широким распространением на вторичном рынке, их надежностью и хорошей совместимостью с разными типами и конструкциями электродвигателей. Электродвигатель и инвертор установлены поперечно вместо штатного силового агрегата. Такой тип установки подразумевает относительно небольшое количество доработок и индивидуальных решений. Для установки электродвигателя были использованы разработанные и изготовленные на ЧПУ станке кронштейны и универсальные подушки двигателя ВАЗ, что обеспечивает ремонтпригодность и легкий демонтаж силовых агрегатов. Вместо штатной коробки передач планируется использовать редуктор от донорского автомобиля Nissan Leaf, так как он обладает оптимальным передаточным отношением и оптимально подходит к электродвигателю. Для соединения редуктора электродвигателя с колесами автомобиля были изготовлены модифицированные приводные валы.

Ключевым элементом силовой электроники является инвертор, предназначенный для преобразования постоянного тока высоковольтной аккумуляторной батареи в трехфазный переменный ток, необходимый для работы электродвигателя [3]. Электродвигатель от Nissan Leaf EM61 представляет собой бесколлекторный синхронный мотор, управление которым осуществляется через инвертор. Запуск инвертора возможен только при наличии корректных управляющих сигналов в CAN-шине — без обмена по CAN он блокирует запуск, выполняя защитные функции. Кроме того, штатный инвертор рассчитан на работу в строго определенном диапазоне высоковольтного питания, порядка 400 В, что также требует адаптации под конкретный проект. Для обхода этих ограничений была разработана собственная электрическая

архитектура с использованием реверс-инжиниринга контроллера инвертора, модернизацией управляющей платы и созданием независимого алгоритма управления электродвигателем. Итогом стала функционально полная схема, включающая блок предзаряда, силовые реле, датчики, резольвер, систему питания, охлаждение и коммутацию всех элементов. При этом штатное электрооборудование базового автомобиля сохранило полную работоспособность.

Полная электрическая схема управления инвертором, включающая высоковольтный контур и низковольтную управляющую логику, представлена на рисунке.



Электрическая схема подключения инвертора

Высоковольтная батарея собрана из 12 ячеек Nissan Leaf с напряжением 8 В (у каждой), соединенных последовательно для достижения общего напряжения батареи 96 В. Естественно, по мере заряда-разряда напряжение изменяется и находится в диапазоне 79,2–98,4. Каждая из ячеек имеет внутри две запараллеленные пары из двух последовательно соединенных аккумуляторов, таким образом, в одной ячейке находятся сразу 4 аккумулятора. Для оценки фактических параметров батареи проводилась ее зарядка и разрядка [4]. Полная зарядка батареи была проведена за 6 часов силой тока в диапазоне 3,0–3,5 А. Показатели записывались через определенный интервал вре-

мени, и эмпирическая оценка показала зарядную емкость 19,8 А·ч. КПД разработанного зарядного устройства составил 92 %. Для его повышения необходимо применять трансформатор, максимально подходящий по выходному напряжению. КПД процесса заряда составил 88 %, т. е. батарея отдала 88 % от принятой в себя электроэнергии. Разрядная емкость составила 17,4 А·ч при номинальном заводском значении 62 А·ч, таким образом SOH в разрезе емкости получился равным 28 %. Безусловно, это низкий показатель, связанный с возрастом ячеек батареи (13 лет) и, вероятно, их эксплуатацией.

Ходовая часть и рама могут использоваться от любых автомобилей. В нашем проекте донором выступает автомобиль БелАЗ Люблин-3554 [5]. Для упрощения процесса физической установки двигателя была создана трехмерная модель рамы автомобиля. Это позволит рассчитать размеры подрамника для правильного крепления электродвигателя, разработать кронштейны для крепления инвертора и батарей, а в перспективе вырезать их на станке с ЧПУ.

Предлагаемое решение имеет в своей основе электродвигатель и инвертор от Nissan Leaf. Система управления инвертором (и, как следствие, электродвигателем) имеет открытую архитектуру и подразумевает возможность использования различных электродвигателей, а также высоковольтных аккумуляторных батарей с различными величинами выходного напряжения.

Заключение. В статье рассмотрен процесс переоборудования автомобиля с ДВС на электротягу. Обоснована актуальность проекта, связанная с дефицитом городского коммерческого электротранспорта. Предложены конструкторские решения для монтажа электрооборудования, включая разработку рамы, креплений, муфт и переходной пластины.

Список источников

- [1] *Доклад об итогах продаж электрического транспорта в Республике Беларусь за первое полугодие 2025 года и перспективах развития рынка.* Минск, Белорусская автомобильная ассоциация, 2025, 26 с.
- [2] Блохин А.Н., Грошев А.М., Козлова Т.А., Яржемский А.Д., Серопян М.С. Результаты исследования электромобиля на шасси «ГАЗель». *Наука и образование*, 2012, № 12(77), с. 75–106. URL: https://elibrary.ru/download/elibrary_18388223_57805306.pdf (дата обращения 15.09.2025).
- [3] Гурский А.С., Савич Е.Л., Капустин В.В. *Автотранспортные средства с электродвигателем.* Минск, Вышэйшая школа, 2023, 256 с.
- [4] Che Y.H., Deng Z.W., Lin X.K., Hu L., Hu X.S. Predictive Battery health management with transfer learning and online model correction. *IEEE Trans. Veh. Technol.*, 2021, vol. 70, pp. 1269–1277.
- [5] Серебряков И.А., Горнак И.В., Тавгень И.А. Разработка универсальных технических решений для переоборудования коммерческих автомобилей на электрическую тягу. *Перспективы развития транспортного комплекса. IX Междунар. науч.-практ. конф.: сб. ст.* Минск, БелНИИТ «Транстехника», 2024, 345 с.