

ТЕНДЕНЦИИ РАЗВИТИЯ ГРУЗОВЫХ АВТОМОБИЛЕЙ С ЭЛЕКТРИЧЕСКИМ ПРИВОДОМ: МИРОВОЙ ОПЫТ И ПЕРСПЕКТИВЫ

Татаринцев В.Ю., Поздеев И.А., Колядин П.А., Прядкин В.И., Мураткин С.Е.

*Воронежский государственный лесотехнический университет
имени Г.Ф. Морозова, Воронеж*

Ключевые слова: грузовые электромобили, электрический привод, логистика, экология, технологические платформы, аккумуляторные батареи, транспорт, альтернативные источники энергии.

Аннотация. В статье рассматриваются тенденции развития грузовых автомобилей с электрическим приводом, даны их преимущества и недостатки, а также сравнительная характеристика отечественных и зарубежных моделей, перечислены схемы подключения электропривода грузовых автомобилей и рассмотрены их компоновки. Рассмотрены технологии производства различных аккумуляторных батарей и специализированных шин, а также развитие заправочной инфраструктуры.

TRENDS IN THE DEVELOPMENT OF ELECTRIC-POWERED TRUCKS: GLOBAL EXPERIENCE AND PROSPECTS

Tatarintsev V.Yu., Pozdeev I.A., Kolyadin P.A., Pryadkin V.I., Muratkin S.E.

Voronezh state forestry engineering University named after G.F. Morozov, Voronezh

Keywords: electric cargo vehicles, electric drive, logistics, ecology, technology platforms, batteries, transport, alternative energy sources.

Abstract. The article discusses the trends in the development of electric-powered trucks, their advantages and disadvantages, as well as comparative characteristics of domestic and foreign models, lists the wiring diagrams for electric trucks and their layouts. The technologies for the production of various batteries and specialized tires, as well as the development of the refueling infrastructure, are considered.

Проблематика широкого внедрения электрических грузовых автомобилей концентрируется вокруг ключевых технологических ограничений, прежде всего, недостаточной энергоёмкости аккумуляторов, ведущей к дефициту запаса хода и сокращению полезной нагрузки, а также вокруг высокой капитальной стоимости и недостаточно развитой сети быстрой зарядки, что формирует существенные экономические и инфраструктурные барьеры для логистических компаний. Вследствие этих объективных ограничений, наиболее эффективной и экономически обоснованной областью применения электрогрузовиков на сегодняшний день является городская и пригородная логистика с фиксированными маршрутами малой протяжённости, такая как доставка товаров «последней мили», обслуживание ритейл-сетей и вывоз коммунальных отходов, где предсказуемый пробег и возможность ночной зарядки в депо нивелируют основные недостатки [1, 2].

Параллельно формируется устойчивая ниша для использования электрогрузовиков в рамках закрытых технологических циклов и хабов, таких как порты, крупные промышленные предприятия и распределительные центры, где

техника работает на ограниченной территории по чёткому графику, что позволяет развернуть локальную зарядную инфраструктуру и полностью реализовать преимущества низких эксплуатационных расходов. Для междугородных и магистральных перевозок массовое применение электрической тяги сдерживается указанными фундаментальными проблемами, однако на данном этапе возможным решением выступает использование гибридных силовых установок с двигателем-генератором (т.н. «расширителем диапазона») или фокус на пилотных маршрутах с заранее развёрнутой сетью мегазарядных станций. Таким образом, текущая проблема применения не блокирует развитие направления, но жёстко сегментирует рынок, определяя электрический грузовой транспорт не как универсальную замену дизельному, а как высокоэффективный специализированный инструмент для конкретных бизнес-задач, где его эксплуатационные характеристики дают конкурентное преимущество в рамках расчёта совокупной стоимости владения.

Перечень вариантов приводов для электрического грузового транспорта выявляет три основных архитектурных решения, определяемых балансом эффективности, стоимости и компоновки (рис. 1).

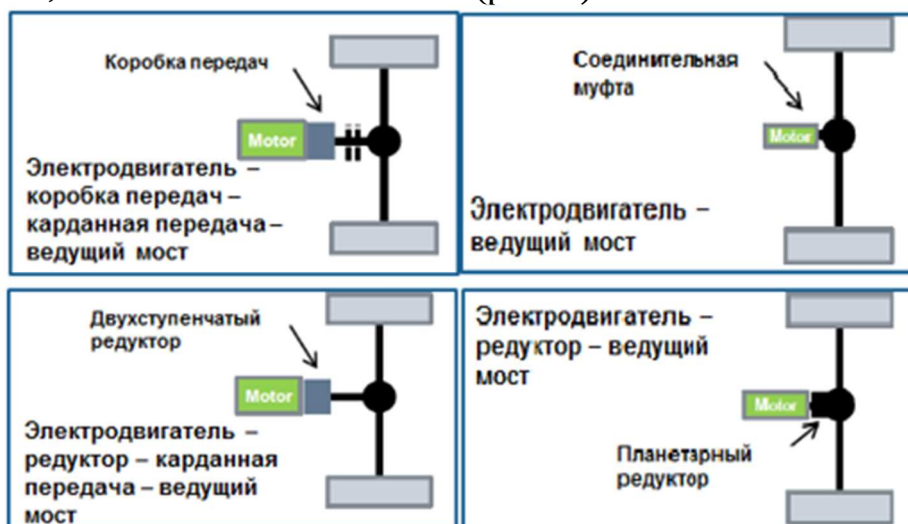


Рис. 1. Схемы силовых установок грузовых электромобилей

Традиционная схема с центральным электродвигателем и механической трансмиссией обеспечивает надёжность и низкую стоимость благодаря унификации с классическими шасси, однако несёт потери в передачах и ограничивает размещение батарей. Более перспективными для новых платформ являются интегрированные электрические мосты, объединяющие мотор и редуктор в единый компактный модуль, что повышает общий КПД, снижает массу и оптимизирует пространство на шасси. Для специализированных применений, где критичны маневренность и управляемость, рассматриваются мотор-колёса (рис. 2), обеспечивающие независимое управление тягой, но увеличивающие неподрессоренную массу и требующие сложного охлаждения. Итоговый выбор привода определяется целевым сегментом эксплуатации: электрические мосты доминируют в городской логистике, центральные двигатели сохраняют актуальность для тяжёлых магистральных перевозок, а гибридные схемы с ДВГ-генераторами служат компромиссом для маршрутов без развитой зарядной инфраструктуры [3, 4].

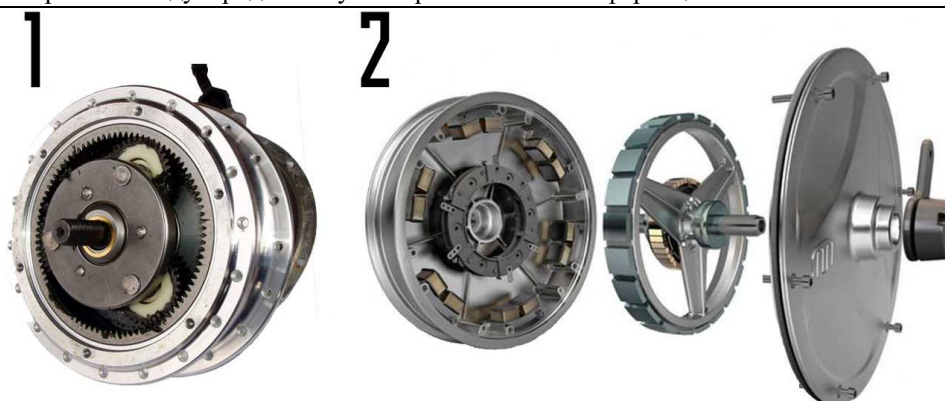


Рис. 2. Мотор колесо, используемое на грузовых электромобилях

Так, доминирующей технологией остаются литий-ионные аккумуляторы на основе NMC- и LFP-химии, где ключевым вектором развития является не столько прорыв в увеличении удельной энергоемкости, а снижение стоимости, повышение пожаробезопасности LFP-батарей и оптимизация систем термоменеджмента для увеличения срока службы. Параллельно для специфических сегментов (например, городского пассажирского транспорта с жестким графиком) активно тестируются решения на основе суперконденсаторов для рекуперативного торможения и прототипы водородных топливных элементов, которые пока уступают по общей энергоэффективности цепи «от источника до колеса», но решают проблему длительной зарядки. Развитие заправочной инфраструктуры характеризуется разделением на два основных формата: станции постоянного тока высокой мощности (мегаваттного класса, 1+ МВт) для ультрабыстрой зарядки магистральных тягачей в формате «кофе-брейка» и распределенная сеть более медленных зарядных хабов на базе логистических центров для ночной зарядки локального коммерческого транспорта. Ближайший прогноз (5-7 лет) предполагает не революцию, а планомерную эволюцию: LFP-батареи станут стандартом для большинства моделей благодаря долговечности и низкой стоимости, сети мегазарядок начнут формироваться вдоль ключевых европейских и трансатлантических транспортных коридоров, а водородные заправки останутся нишевым решением для регионов с избытком «зеленой» энергии и для тяжелого бездорожья, где вес батареи неприемлем.

Проведенный анализ рынка грузовых автомобилей с электрическим приводом показывает существенный технологический и продуктовый разрыв между зарубежными и российскими производителями (рис. 3), обусловленный разной глубиной интеграции в глобальные цепочки создания стоимости и доступом к ключевым компонентам.

Зарубежные лидеры, такие как Daimler (eActros, eCascadia), Volvo (FH Electric, FL Electric), Tesla (Semi) и китайские компании (BYD, SANY), предлагают серийные модели, построенные на специализированных электрических платформах с интегрированными силовыми модулями (e-axle), продвинутой системой рекуперации и энергоемкими батареями, что обеспечивает им конкурентные эксплуатационные характеристики, прежде всего запас хода в 300-500 км для ряда моделей (табл. 1). Отечественные разработки, представленные электрическими модификациями УАЗ, ГАЗ и КАМАЗ, в текущей конфигурации представляют собой в значительной степени адаптацию существующих шасси с

установкой импортных или лицензионных силовых компонентов (электродвигателей, систем управления), что приводит к компромиссным показателям по грузоподъемности и запасу хода, которые зачастую не превышают 150-200 км в реальных условиях, особенно для среднетоннажных моделей.



а



б



в



г

Рис. 3. Грузовые электромобили: а) Daimler eActros; б) Volvo FH Electric; в) КамАЗ-53193; г) ГАЗель e-NN

Основным драйвером для российских производителей является не столько коммерческий спрос, сколько выполнение государственных заказов и пилотных проектов в рамках импортозамещения и экологических программ крупных городов, тогда как глобальные игроки ориентированы на экономику совокупной стоимости владения для крупных логистических операторов. Прогноз на ближайшую перспективу указывает на углубление этого разрыва из-за санкционных ограничений, затрудняющих доступ к передовым батареям и электронике, что может сконцентрировать российскую отрасль на сегментах легкого коммерческого транспорта для муниципальных нужд и локализации относительно простых силовых установок, в то время как мировой рынок будет двигаться к дальнейшему снижению стоимости батарей, стандартизации мегазарядки и автономизации грузоперевозок.

Табл. 1. Сравнительные параметры электрических грузовых автомобилей (зарубежные и отечественные модели)

Параметр	Ведущие зарубежные модели (Tesla Semi, Daimler eActros, Volvo FH Electric)	Отечественные модели (ГАЗель e-NN, КамАЗ-6282, «Зетта»)
1. Грузоподъемность	Широкий диапазон: от 10-12 т (eActros) до свыше 37 т (Tesla Semi в составе автопоезда)	Ограниченный диапазон: в основном до 3,5-8 т (LCV). КамАЗ-6282 – до 18,5 т .
2. Запас хода	300-800+ км (Tesla Semi до 800 км)	150-250 км (реальный запас хода)
3. Мощность	400-1000+ л.с.	130-300 л.с.
4. Ёмкость батареи	300-900 кВт·ч	70-200 кВт·ч
5. Время зарядки	~45 мин до 80% (на станциях 1+ МВт)	1,5-2 часа до 80% (на станциях ~150 кВт).
6. Стоимость	Высокая: ~ 25 – 45+ млн. руб. (Tesla Semi ~ 16 млн. руб. за базовую версию)	Средняя: 10-25 млн руб. (ГАЗель e-NN от 10 млн руб., КамАЗ от 22 млн руб.)
7. Инфраструктура	Развитая сеть быстрых зарядных станций в ЕС/США	Формирующаяся. Проблема с зарядками вне крупных городов
8. Адаптация к климату	Для умеренного климата	Заявлена лучшая адаптация к зимам
9. Локализация	В России – единичные поставки	Высокий приоритет, льготный лизинг, субсидии

Фундаментальными преимуществами электрического транспорта являются кардинальное снижение локальных выбросов, полное отсутствие выбросов CO₂ в месте эксплуатации при использовании энергии из возобновляемых источников, значительно более высокий энергетический КПД силовой установки (60-80% против 20-35% у ДВС) за счёт рекуперативного торможения, кардинальное снижение уровня шума и вибраций, а также принципиально более низкие эксплуатационные расходы на техобслуживание и топливо. Теоретический подход к его развитию, основанный на концепции «от скважины до колёс», смещает фокус с экологичности самого транспортного средства на чистоту всей энергетической цепочки, требуя комплексной декарбонизации электроэнергетики для реализации полного экологического потенциала технологии. Другой ключевой теоретический подход, «умная сеть» (Smart Grid), рассматривает парк электромобилей не просто как потребителей, а как распределённый мобильный накопитель энергии, способный стабилизировать электросеть, запасая избыток энергии от солнечных и ветровых станций и отдавая его в периоды пиковой нагрузки. С позиции экономической теории, наиболее актуальным является анализ совокупной стоимости владения, доказывающий экономическую целесообразность электромобилей в сегментах с высокой интенсивностью эксплуатации, несмотря

на высокие начальные капитальные затраты, что формирует базис для бизнес-моделей коммерческих перевозок. Наконец, системный подход в градостроительстве и логистике рассматривает массовый переход на электротранспорт как возможность для перепроектирования городской среды – снижения шумового загрязнения, улучшения качества воздуха и трансформации логистических цепочек за счёт создания зон с нулевыми выбросами и сети зарядной инфраструктуры, интегрированной в умную городскую энергосистему [5, 6].

Шины для грузового электротранспорта представляют собой специализированную продукцию, спроектированную с учётом уникальных эксплуатационных нагрузок, где ключевыми инженерными задачами являются минимизация сопротивления качению для максимального сохранения запаса хода батареи, а также обеспечение повышенной несущей способности и износостойкости протектора для компенсации возросшей массы из-за тяжёлой аккумуляторной батареи. Конструктивно такие шины отличаются применением особых резиновых смесей с низким гистерезисом, оптимизированным рисунком протектора и усиленным каркасом, что в совокупности позволяет снизить энергопотери на качение на 15-30% по сравнению с обычными грузовыми шинами, напрямую конвертируя это в дополнительные километры пробега. Ещё одной критической характеристикой становится способность эффективно передавать повышенный крутящий момент электродвигателей, особенно в режиме резкого старта и рекуперативного торможения, что требует улучшенного сцепления и устойчивости брекерного пояса к деформациям. Параллельно инженеры ведут работу по снижению шума, создаваемого шиной, так как в условиях отсутствия шума двигателя внутреннего сгорания акустический комфорт становится значимым конкурентным преимуществом, особенно для городской доставки. Таким образом, шинная индустрия активно адаптируется к новой парадигме, где шина перестаёт быть пассивным компонентом, а становится активным системным элементом, напрямую влияющим на ключевые потребительские характеристики электрического грузовика – энергоэффективность, запас хода, безопасность и общую экономику владения.

Выводы

1. Существует фундаментальное расхождение в подходах между глобальными и российскими производителями: зарубежные лидеры создают специализированные электрические платформы с высокими эксплуатационными характеристиками, ориентируясь на коммерческую эффективность и общую стоимость владения, в то время как отечественные разработки в текущей реализации представляют собой адаптацию существующих платформ с использованием доступных компонентов, фокусируясь на решении конкретных задач в рамках импортозамещения и государственных программ.

2. Препятствия для массового внедрения грузовых электромобилей носят взаимосвязанный системный характер и не могут быть решены только в рамках автомобилестроения. Их преодоление требует скоординированного развития смежных отраслей: энергетики, химической промышленности, шинного производства и формирования новой нормативно-правовой базы. Выбор силовой

архитектуры и тип накопителя энергии также не являются универсальными, а должны комплементарно соответствовать конкретным условиям эксплуатации и бизнес-модели перевозчика.

Список литературы

1. Ильина Т.Н., Смирнов В.П. Электрический транспорт: проблемы и перспективы интеграции в логистические системы // Логистика и управление цепями поставок. – 2023. – №2(109). – С. 45-58. – DOI: 10.17238/issn2541-8778.2023.2.45.
2. Nykvist B., Olsson M. The feasibility of heavy battery electric trucks // Joule. 2021, vol. 5, no. 4, pp. 901-913. DOI: 10.1016/j.joule.2021.03.010.
3. Al-Hanahi B., Ahmad I., Habibi D., Masoum M.A.S. Charging Infrastructure for Commercial Electric Vehicles: Challenges and Future Works // IEEE Access. 2021, vol. 9, pp. 121476-121492. DOI: 10.1109/ACCESS.2021.3108817.
4. Smirnov A.D. Safety Requirements for Electric Car Charging Stations // The World of Science Without Borders. 2022, pp. 27-29.
5. Горбунова А.Д., Анисимов И.А. Влияние мер стимулирования на развитие электротранспорта в мире и оценка сложившейся ситуации в Российской Федерации // Проблемы функционирования систем транспорта: Материалы Международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. В 2-х томах, Тюмень, 05-07 декабря 2018 года. Том 2. – Тюмень: Тюменский индустриальный университет, 2019. – С. 87-89.
6. Braslavskaya E.A., Smirnov I.K., Ivchenko O. R. Analysis of trends in the development of electric transport and infrastructure in Russia up to 2033 // Наукосфера. 2024. – №12-2. – Р. 57-61. – DOI: 10.5281/zenodo.14499086.

Сведения об авторах:

Татаринцев Василий Юрьевич – ассистент кафедры автомобилей и сервиса;

Поздеев Илья Алексеевич – студент;

Колядин Павел Александрович – ассистент кафедры автомобилей и сервиса;

Прядкин Владимир Ильич – д.т.н., профессор кафедры автомобилей и сервиса;

Мураткин Сергей Евгеньевич – преподаватель кафедры автомобилей и сервиса.