

УДК 629.2

ОСОБЕННОСТИ РАЗРАБОТКИ БЕСПИЛОТНЫХ ГРУЗОВЫХ АВТОМОБИЛЕЙ С ЭЛЕКТРОТЯГОЙ С УЧЕТОМ УСЛОВИЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ В РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Сайкин А. М., доктор технических наук, старший научный сотрудник,
главный специалист Центра интеллектуальных систем
Федеральное государственное унитарное предприятие «Центральный ордена Трудового Красного
Знамени научно-исследовательский автомобильный и автомоторный институт «НАМИ»,
г. Москва, Россия
E-mail: a.saykin@nami.ru, ec02@bk.ru

Аннотация

В статье рассматриваются вопросы развития автомобильного транспорта в мире с учётом повышения требований к безопасности и экономической эффективности выполнения грузопассажирских перевозок, снижения отрицательного воздействия автомобильного транспорта на человека и окружающую среду, путём разработки беспилотных автомобилей и электромобилей. С учетом зарубежного опыта в статье рассмотрены перспективы и особенности разработки беспилотного грузового транспорта с электротягой при эксплуатации в условиях Российской Федерации, которые заметно отличаются от условий их эксплуатации в Центральной Европе, Северной Америке и странах Азиатского региона.

Ключевые слова: беспилотное грузовое транспортное средство, электромобиль, система управления движением, система технического зрения, датчики информации, кабина водителя, грузопассажирские перевозки, безопасность дорожного движения, условия эксплуатации

FEATURES OF DEVELOPING UNMANNED ELECTRIC TRUCKS TAKING INTO ACCOUNT THE OPERATION CONDITIONS IN THE RUSSIAN FEDERATION

Saykin A. M., doctor of technical sciences, senior researcher,
chief specialist of the Center for Intelligent Systems
Federal State Unitary Enterprise «Central Scientific Research Automobile and Motor Institute of the Order
of the Labour Red Banner “NAMI”», Moscow, Russia
E-mail: a.saykin@nami.ru, ec02@bk.ru

Annotation

The article discusses the development of road transport in the world, taking into account the increasing requirements for safety and economic efficiency of cargo and passenger transportation, as well as the reduction of the negative impact of road transport on humans and the environment, through the development of unmanned vehicles and electric vehicles. Based on international experience, the article examines the prospects and features of developing unmanned electric cargo vehicles, taking into account their operation in the Russian Federation, which differs significantly from their operation in Central Europe, North America, and the countries of the Asian region.

Keywords: unmanned cargo vehicle, electric vehicle, traffic control system, technical vision system, information sensors, driver's cabin, cargo and passenger transportation, road safety, and operating conditions

В настоящее время ведущие автопроизводители реализуют проекты, направленные на создание автономных беспилотных транспортных средств (БТС), включая БТС на электротяге. С практической точки зрения в большинстве таких разработок речь идет о 3-4 уровнях автоматизации систем управления движением ТС согласно стандарту SAE J3016 [1]. При 3-ем уровне автоматизации система управления движением (СУД) полностью берёт на себя контроль за динамикой ТС в случае, если водитель соответствующим образом отреагирует на информационные предупреждающие сигналы СУД. При 4-ом уровне автоматизации СУД берёт на себя управление движением ТС даже в том случае, если водитель не реагирует на требование вмешаться в процесс управления. На этом уровне решение по управлению принимает на себя система управления движением ТС.

В 2016 году вступила в силу директива Европейского союза UE (347/2012 & 351/2012) по обеспечению безопасности дорожного движения. Директива предписывает оснащать все грузовые автомобили, зарегистрированные или используемые в границах ЕЭС, специальными системами, обеспечивающими повышение безопасности дорожного движения. Среди таких систем можно выделить системы помощи водителю (ADAS), обеспечивающие обнаружение пешеходов, предупреждение водителей об аварийной ситуации, а также ассистенты движения ТС в пробках, при торможении, системы взаимодействия автомобиля с другими участниками движения и с дорожной инфраструктурой.

В сравнении с другими направлениями совершенствования ТС создание БТС, систем ADAS и компонентов БТС ведется опережающими темпами. Принято считать, что внедрение БТС позволит: повысить производительность и снизить себестоимость грузопассажирских перевозок, обеспечить безопасность дорожного движения, более эффективно использовать пропускную способность дорог, расширить возможность использования грузовых ТС, обеспечить возможность перевозки грузов в опасных зонах, во время природных и техногенных катастроф или военных действий, повысить комфортность езды водителей, снизить эксплуатационный расход топлива и время в пути, уменьшить выброс вредных веществ и парниковых газов в атмосферу [2-7].

Другим важнейшим по значимости направлением является внедрение грузовых электромобилей [9-11], которые не выделяют в атмосферу вредные вещества, в том числе парниковые, с отработавшими газами двигателей внутреннего сгорания. Решение о выводе из эксплуатации ТС с бензиновыми и дизельными двигателями является частью программы сокращения выбросов диоксида углерода (CO₂), принятой в соглашении по климату в Париже в декабре 2015 года, поскольку, по мнению экспертов-разработчиков данной программы, на ТС приходится около одной пятой выбросов в атмосферу парникового газа диоксида углерода. О планах запрета в перспективе эксплуатации автомобилей с двигателями внутреннего сгорания заявили Норвегия, Германия, Великобритания, Франция и другие страны.

Сдерживающими факторами, препятствующими широкому применению электромобилей, является необходимость создания инфраструктуры для подзарядки

аккумуляторных батарей (АКБ), длительное время зарядки АКБ по сравнению с заправкой топливом, относительно малый пробег электромобилей на одной зарядке АКБ и особые требования, предъявляемые к элементам хранения и накопления энергии, которые должны быть взрыво- и пожаробезопасными, иметь малые массогабаритные показатели, высокий КПД зарядно-разрядной характеристики, иметь широкий диапазон рабочих температур, высокий срок службы, быть механически прочными, простыми в обслуживании и выделять минимум токсичных газов.

Большинство зарубежных разработок беспилотных грузовых автомобилей, в том числе с электроприводом, ведется за счет переоборудования серийных грузовых ТС и оснащения их системами управления движением с применением разнообразных систем технического зрения, а также путем разработки принципиально новых конструкций, причем в последнее время - в бескабинном исполнении. Основными компаниями, занимающимися разработкой грузовых БТС, являются: Einride; Komatsu; Caterpillar; Volvo; Ford; Waymo, дочерняя компания Alphabet, дочерней компании Google; Otto, дочерняя компания Uber; концерн Daimler и др. В последние годы при разработке акцент делается на грузовые БТС с электроприводом и без кабины водителя. Среди отечественных разработчиков БТС следует отметить такие предприятия, как КАМАЗ; УАЗ, ФГУП «НАМИ», Cognitive Technologies; КБ Аврора; Traft (Трафт) и др.

Примеры разрабатываемых зарубежными автопроизводителями грузовых БТС представлены на рисунке 1.

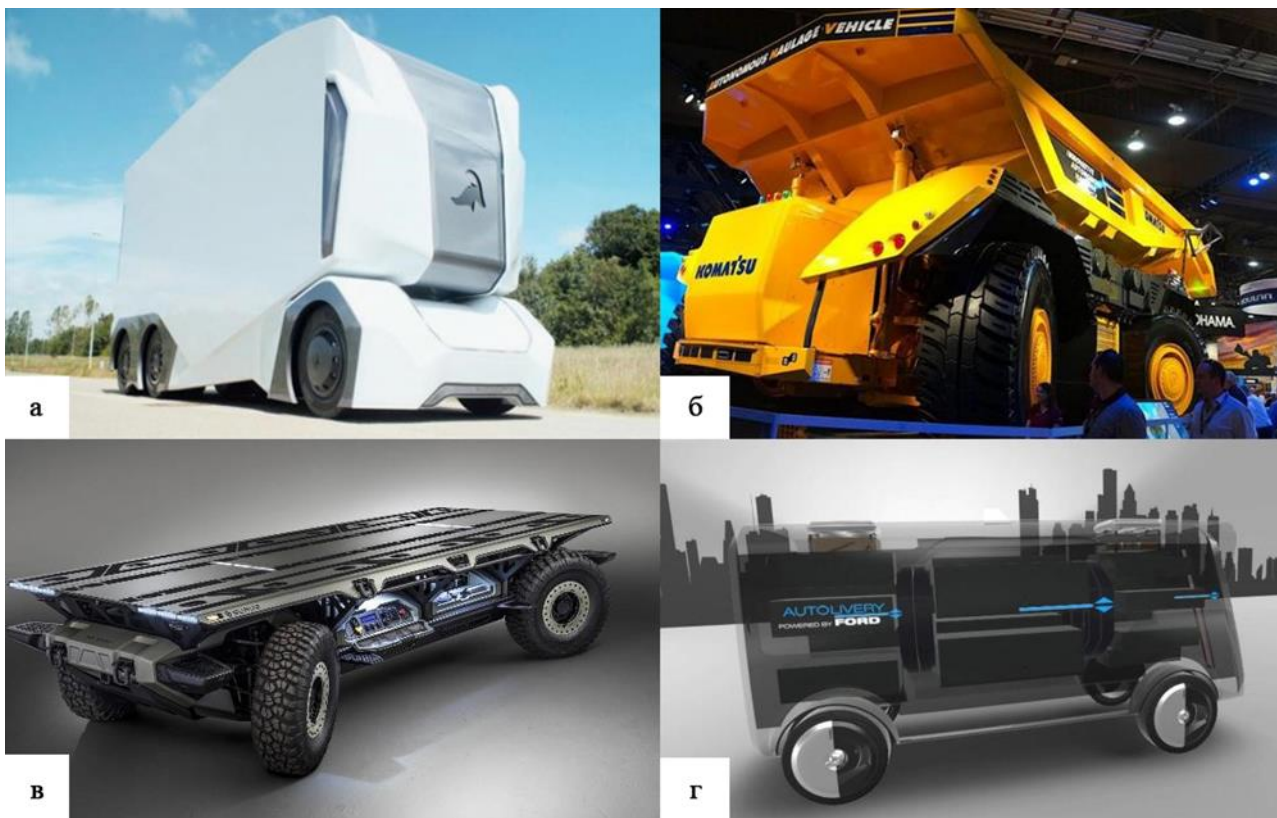


Рисунок 1. Грузовые БТС, разрабатываемые зарубежными автопроизводителями
а – грузовой БТС T-pod, б – беспилотный самосвал Autonomous Haulage Vehicle (AHV),
в – беспилотная грузовая платформа SURUS, г – грузовая платформа Ford

В шведском перспективном БТС T-pod с системой управления Einride (рисунок 1, а) отсутствует кабина водителя [2]. БТС оснащено системой дистанционного управления и представляет собой прямоугольное шасси с электроприводом. Дистанционное управление

осуществляется оператором и, по мнению разработчика, особенно актуально при движении по городу. Технические параметры T-prod: масса с полным грузом 20 т, длина 7 м (23 фута), ёмкость батареи 200 кВт·ч, пробег на одной зарядке 200 км (124 мили) [3, 4]. По прогнозам разработчика, применение БТС T-prod позволит не только снизить загрязнение окружающей среды, но и улучшить безопасность дорожного движения, создаст новые рабочие места и позволит снизить затраты при осуществлении транспортных перевозок.

Беспилотный карьерный самосвал Autonomous Haulage Vehicle (AHV) японской компании Komatsu (рисунок 1, б) спроектирован без кабины водителя [5]. Компания Komatsu еще с 2008 года разрабатывает беспилотные карьерные технологии в сотрудничестве с компанией Rio Tinto. За это время ее автономные беспилотные самосвалы классической конструкции с кабиной водителя перевезли сотни миллионов тонн породы на рудниках Чили и Австралии.

В настоящее время компания Komatsu имеет серьезный научно-технический задел и опыт эксплуатации БТС для разработки бескабинных карьерных самосвалов. Система технического зрения самосвала AHV обеспечивает сканирование окружающего пространства со всех сторон машины, что позволяет самосвалу двигаться в любом направлении без помощи водителя или оператора. За счет отсутствия кабины водителя увеличен объем кузова. У самосвала все 4 колеса управляемые, он обладает повышенной маневренностью, что позволяет отказаться от разворотных участков на маршрутах движения в карьерах и шахтах.

Отсутствие кабины позволило добиться более равномерного распределения нагрузки на колеса: 250 тонн груза распределяются по осям практически поровну. Технические данные Komatsu AHV: длина 15 м, ширина 8 м, грузоподъемность 230 т, масса 416 т, мощность двигателя 2700 л. с. (2014 кВт), максимальная скорость 65 км/ч независимо от направления движения, размер шин 59/80R6, независимая подвеска каждого колеса, индивидуальная трансмиссия каждого колеса, независимый поворот каждого колеса.

Компания General Motors разработала беспилотную грузовую электрическую платформу Silent Utility Rover Universal Superstructure (SURUS) также без кабины водителя (рисунок 1, в) [7]. В SURUS применены водородные топливные элементы второго поколения Hydrotec фирмы General Motors, независимый электропривод каждого колеса, полноприводное рулевое управление, система литий-ионных аккумуляторов. Длина платформы 5 м, ширина 2,3 м. Одна заправка водородом обеспечивает машине запас хода более чем в 400 миль (644 км). Как вариант исполнения – несколько таких платформ теоретически могут двигаться в беспилотном режиме за машиной-лидером. Топливный элемент может работать как мобильный генератор с переменным током напряжением 120 В, кроме зарядки собственных аккумуляторов. SURUS может быть выполнена в виде обычного грузовика или в виде бескабинной платформы. Размеры шасси соответствуют размерам морского контейнера для перевозки грузов: длина от 6 до 13 м, ширина 2,4...2,5 м, высота 2,5...2,9 м.

По прогнозу GM, беспилотное ТС SURUS может использоваться для решения следующих задач: в качестве грузовика в гибких системах доставки грузов, для коммерческих грузоперевозок, в качестве легких и среднетоннажных грузовиков для военных, для узконаправленных военных конфигураций в будущем.

Шасси SURUS разработано для военного и для гражданского использования: в войсках, полиции, спасательных службах и грузоперевозках. Платформа может быть использована как мобильная электростанция с питанием от солнечных батарей и как машина скорой помощи для движения по пересечённой местности или в виде беспилотной грузовой платформы. Кроме абсолютной бесшумности, шасси отличается нулевым уровнем выбросов вредных веществ в атмосферу, обеспечен быстрый заряд батареи. GM рассчитывает, что БТС SURUS станет основой для серийного использования топливных элементов и будет применяться в сложных транспортных ситуациях, вызванных стихийными бедствиями и военными конфликтами. SURUS может передвигаться как по шоссе, так и по бездорожью [7].

В рамках программы по исследованиям перспективных технологий для мегаполиса под названием “City of tomorrow” компания Ford представила концепцию автономной службы доставки посылок Autolivery [8]. Внешний вид шасси представлен на рисунке 1, г.

В состав службы Autolivery входят грузовые фургоны и беспилотные летательные аппараты (БЛА). В рамках службы беспилотные самоходные шасси транспортируют грузы от бакалейных товаров до предметов медицинского назначения на земле, а БЛА осуществляют их доставку по воздуху на заключительном этапе перевозки для того, чтобы обеспечить доставку груза до мест назначения, недоступного для БТС. Радиус действия БЛА не превышает 15 м, что является достаточным для транспортировки груза от БТС до, например, дверей частного владения. Концепция “The City of Tomorrow” предусматривает преодоление проблем мобильности в городских условиях, включая пробки на дорогах и загрязнение воздуха.

Из проведенного краткого анализа следует, что зарубежные разработки перспективных БТС ведутся практически для всей номенклатуры грузовых ТС с акцентом на конструкции БТС с электроприводом и в бескабинном исполнении.

По сравнению с БТС разработка грузовых электромобилей началась намного раньше. В настоящее время они нашли широкое практическое применение. Как было отмечено выше, факторами, препятствующими масштабному применению электромобилей, является необходимость создания дорогостоящей инфраструктуры для подзарядки АКБ, для электромобилей характерны более длительное время зарядки АКБ по сравнению с заправкой топливом, относительно малый пробег электромобилей на одной зарядке и особые требования, предъявляемые к элементам хранения и накопления энергии. АКБ должны быть взрыво- и пожаробезопасными, иметь малые массогабаритные показатели, высокий КПД зарядно-разрядной характеристики, иметь широкий диапазон рабочих температур и т.д. Однако, по мере совершенствования параметров электропривода, АКБ и его комплектующих, а также перехода на более массовое производство, приоритет остается за электромобилями.

Из других разработок грузовых электромобилей [9-12] следует отметить тяжелый грузовик Urban eTruck фирмы Mercedes (рисунок 2), запускаемый в производство, а также автомобильный тягач класса 8 Nikola One американской компании Nikola Motor и портовый тягач YT202-EV ведущего европейского изготовителя портовых (терминальных) тягачей компании Terberg Benschop BV из Нидерландов.

Грузовик Urban eTruck имеет максимальную допустимую массу 26 т. Электропривод Urban eTruck включает два электродвигателя с суммарной мощностью в 250 кВт, расположенные с каждой стороны автомобиля. Их энергоснабжение обеспечивают две модульные аккумуляторные литий-ионные батареи емкостью 212 кВт/ч, причем регенеративная тормозная система подпитывает аккумуляторы при торможении. Плечо ездки без подзарядки 200 км. Телематическая система FleetBoard обеспечивает связь водителя с диспетчером, позволяя спланировать маршрут доставки. Вся информация о текущем состоянии машины выводится на 12,3-дюймовый дисплей, расположенный на передней панели кабины водителя. Грузовое ТС Urban eTruck – модульного типа. Серийное производство машины планируется после 2025 года.

Грузовик Nikola One может работать на электричестве, природном газе и других видах топлива. Он может перевозить грузы весом до 36 287 кг и проезжать расстояние в 1 609 км без единой остановки. Аккумулятор грузовика заряжается через турбину, а также путем рекуперативного торможения. Автомобиль оснащен шестью электродвигателями с суммарной выходной мощностью в 2 000 л. с. и крутящим моментом в 5 017 Н·м. По данным разработчика, эксплуатационные затраты Nikola One в два раза меньше, чем у обычных дизельных грузовиков.

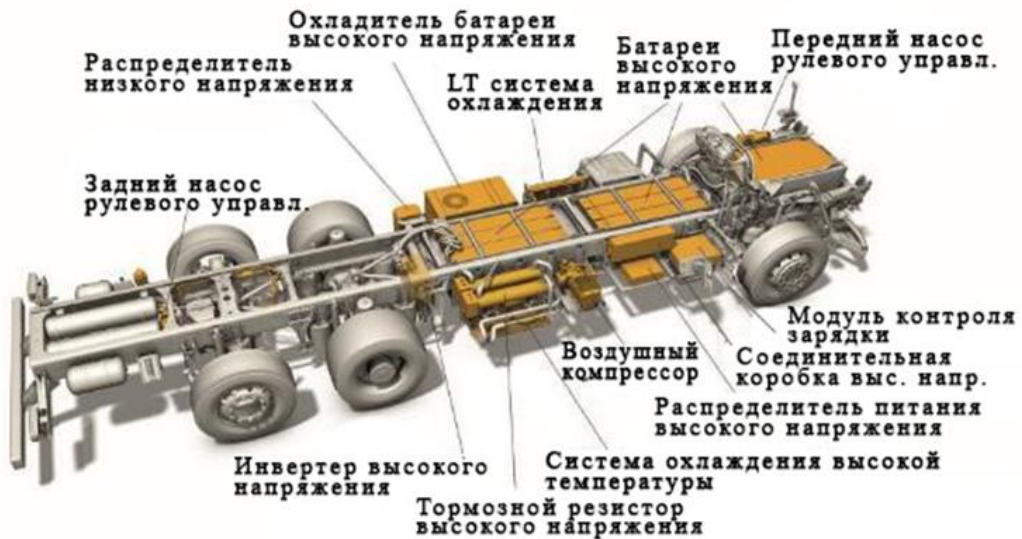


Рисунок 2. Состав, параметры и компоновка основных элементов электропривода на шасси грузовика Urban eTruck

Тягач YT202-EV разработки Terberg, предназначенный для дорог общего пользования, оснащен литий-железо-фосфатной батареей напряжением 614 В. Запас хода автопоезда, включающего в себя одноместный тягач и стандартный тентованный полуприцеп, составляет 100 км. Время зарядки аккумуляторных батарей от 2 до 4 часов. Автопоезд работает в составе автопарка компании Scherm, специализирующейся на доставке запчастей со склада на завод BMW. В сравнении с дизельным аналогом, расход дизельного топлива которого превышает 50 тысяч литров, экономия, которая достигается при эксплуатации электротягача Terberg, составляет 35 тысяч долларов.

В настоящее время ФГУП «НАМИ» совместно с ПАО «КАМАЗ», в качестве индустриального партнера, выполнил разработку и экспериментальную апробацию прототипа перспективного беспилотного грузового транспортного средства с электроприводом (БГТСЭ) на базе шасси КАМАЗ с компоновкой без кабины водителя для осуществления логистических перевозок.

Ключевые принципы при разработке перспективного грузового БГТСЭ: беспилотное исполнение; применение электропривода; увеличение объема грузовой платформы за счет исключения кабины из конструкции шасси; исключение водителя из процесса управления; организация управления движением БГТСЭ удаленным оператором; создание электронной системы управления движением, работающих с использованием новых технологий их построения [13-21]; размещение систем управления движением и технического зрения БГТСЭ в габаритах грузовой платформы.

Грузовая платформа БГТСЭ включает грузовую платформу, электропривод платформы, систему управления движением с системами технического зрения, обработки информации, связи, а также привода управления (рисунок 3).

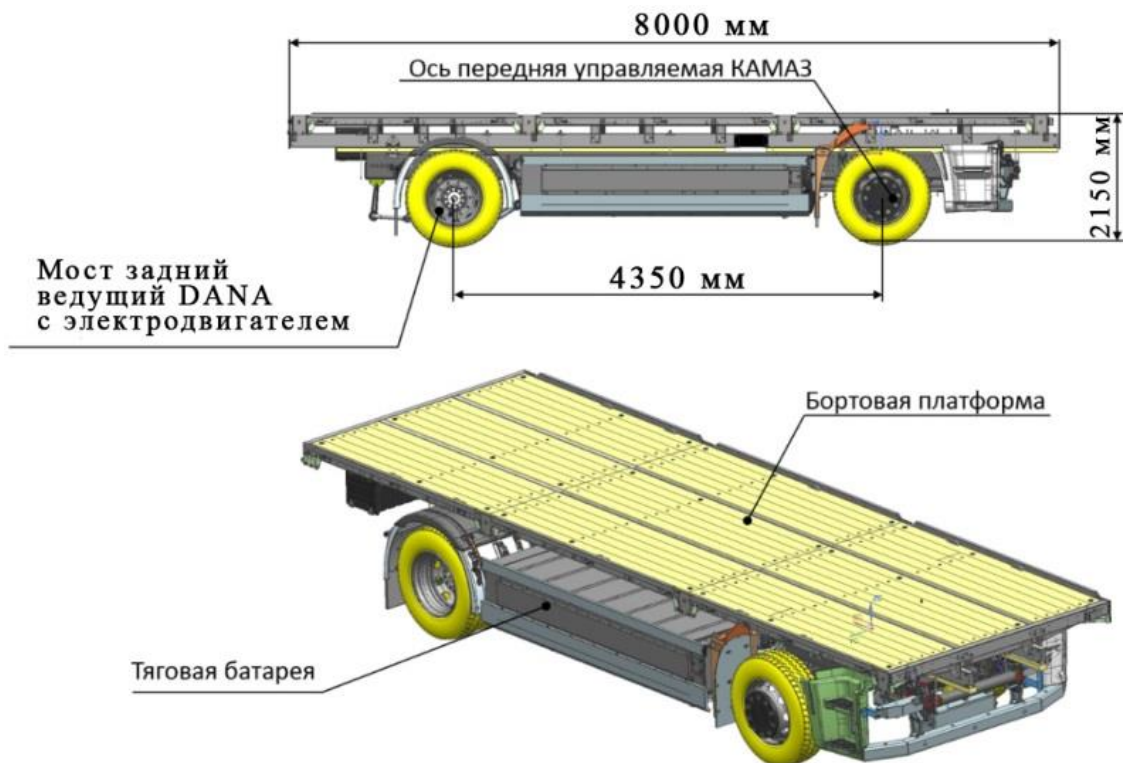


Рисунок 3. Компоновочное решение специального шасси БГТСЭ

Общий вид разработанного БГТСЭ с электроприводом и без кабины водителя представлен на рисунке 4.

Система управления движением прототипа БГТСЭ включает: блок управления с микроконтроллером, блок обработки видеoinформации, вторичный источник питания, исполнительное устройство управления тормозной системы, электропривод рулевого управления, навигационный автомобильный терминал с принимающими антеннами, бесплатформенную инерциальную навигационную систему, автомобильные радары, лидар, датчики частот вращения колес, видеокамеры.



Рисунок 4. Общий вид БГТСЭ с электроприводом без кабины водителя

Архитектура модуля системы управления движением БГТСЭ представлена на рисунке

5.

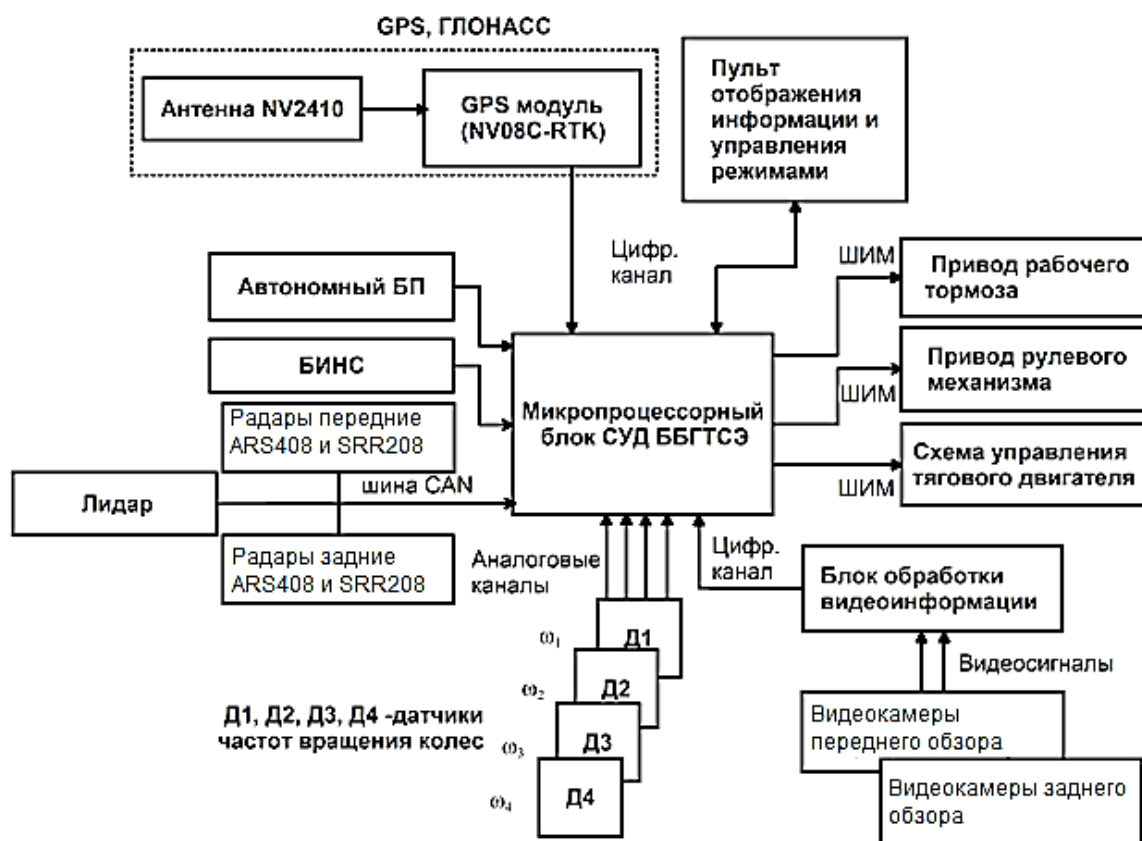


Рисунок 5. Архитектура модуля системы управления движением БГТСЭ

Основные преимущества БГТСЭ заключаются в повышении объема перевозимого груза, снижении времени и затрат на транспортировку грузов и пассажиров, улучшении

транспортной и экологической безопасности, минимизации дорожно-транспортных происшествий и числа человеческих жертв в них; снижении расхода топлива, выброса вредных веществ в атмосферу; более эффективном использовании пропускной способности дорог.

При создании БГТСЭ применительно к условиям эксплуатации в Российской Федерации учтены географические и климатические особенности, большая протяженность дорог, низкие среднегодовые температуры для большей части территории РФ по сравнению, например, с европейскими странами, отсутствие должной инфраструктуры для эксплуатации электромобилей.

Ориентировка на применение зарубежных технических решений, разработанных и обеспечивающих удовлетворительное функционирование систем управления движением БТС с электроприводом для условий их эксплуатации в Западной Европе, является проблемной для дорожно-климатических условий северных регионов и Арктической зоны РФ, составляющих более 70 % территории страны. Это связано с тем, что дорожно-климатические условия северных регионов и Арктической зоны РФ характеризуются следующими особенностями:

- аномально низкие температуры (до -60°C), существенно снижающие эффективность работы аккумуляторных батарей и функционирования электронных систем технического зрения БТС, работающих при минимально допустимых температурах $-20^{\circ}\text{C} \dots -40^{\circ}\text{C}$;
- длительные периоды низких температур, снегопадов, тумана, гололедицы и др., снежные заносы, не позволяющие распознавать дорожную разметку и затрудняющие функционирование устройств систем технического зрения БТС;
- тяжелые условия движения по бездорожью, допускающие эксплуатацию ТС только в летнее и зимнее время года;
- в условиях бездорожья на больших территориях этих регионов эксплуатация БТС осуществляется на безориентированной местности, затрудняющей визуальное определение местоположения БТС на маршруте движения;
- ограниченная видимость в условиях полярной ночи;
- непредсказуемое влияние геомагнитной обстановки и состояния тропосферы и ионосферы Земли в полярных широтах на условия бесперебойного приема сигналов спутниковой навигации.

В отношении БТС на эффективность работы систем технического зрения негативное влияние оказывают также неблагоприятные условия эксплуатации автомобилей в виде загрязнения ветровых стекол, плохой освещенности (недостаточной освещенности полос движения), плохих погодных условий (снегопад, обледенение, сильный туман, дождь), отсутствия или плохой разметки полос движения и др.

При разработке системы управления движением были выбраны и обоснованы конструктивные решения при создании БГТСЭ, эффективно реализующие необходимые, в том числе отсутствующие в зарубежных аналогах, функции рассматриваемых систем с учетом дорожно-климатических условий РФ. По результатам испытаний разработанная система управления движением прототипа БГТСЭ удовлетворяет следующим требованиям:

- содержит виртуальные датчики информации, то есть алгоритмические конструкции, способные при определенных условиях формировать адекватные оценки физических переменных и замещающих физические средства измерений (датчики);
- обеспечивает измерение координат состояния автомобиля с периодом не более 1 с;
- обеспечивает мониторинг текущего состояния органов управления (акселератор, тормоза, коробка переключения передач – КПП) с погрешностями не более 5 % для управляющих воздействий на акселератор и тормоза и не более одной передачи для КПП;

- обеспечивает измерение расстояния до препятствий в передней и задней полусферах на полосе движения с использованием систем технического зрения в диапазоне от 0 до 50 м с погрешностями не более 1 м;
- обеспечивает мониторинг отклонения продольной оси автомобиля от центра полосы движения с помощью навигационных систем и систем технического зрения в диапазоне от минус 3,5 до 3,5 м с погрешностями не более 0,5 м;
- обеспечивает измерение максимальных (топовых) значений коэффициентов трения скольжения в диапазоне от 0,2 до 1,2 с погрешностью не более 0,1;
- обеспечивает измерение продольной скорости движения центра масс автомобиля в диапазоне от 0 до максимальной скорости движения автомобиля с погрешностями в установившемся режиме движения не более 0,5 км/ч;
- обеспечивает измерение продольных и поперечных ускорений центра масс в диапазоне от минус 10 до 10 м/с² с погрешностями не более 0,1 м/с²;
- обеспечивает мониторинг давления воздуха в шинах в диапазоне от 0,5 до 5 бар при движении автомобиля на скоростях от 15 до 25 км/ч с погрешностями не более 0,3 бар;
- обеспечивает мониторинг температуры перегревов шин и тормозов в диапазоне от 0 до допустимых температур;
- обеспечивает во время движения измерение угла поворота управляемых колес с учетом угла бокового увода в диапазоне от минус 0,6 до 0,6 рад с погрешностями не более 0,01 рад.
- обеспечивает измерение скорости продольных скольжений колес в диапазоне скольжений от минус 100 % до 100 % с погрешностями не более 3 %;
- обеспечивает измерение угловой скорости дополнительного вращения центра масс при сносе и заносе колес в диапазоне от минус 0,3 до 0,3 рад/с с погрешностями не более 0,1 рад/с.

Комплексными дорожными испытаниями, проведенными на Дмитровском автополигоне по аналогии с испытаниями отдельных функций и разработанных централизованных систем управления движением с виртуальными датчиками информации, также установлено, что разработанная конструкция перспективного грузового БГТСЭ с электроприводом в условиях эксплуатации РФ полностью обеспечивает реализацию системой управления движением таких основных функций, как:

- идентификация состояния дорожного покрытия, надежное распознавание дорожной разметки и дорожных знаков;
- обеспечение работоспособности, надежности и эффективности работы электропривода, систем управления движением и их комплектующих в условиях низких и сверхнизких температур окружающего воздуха;
- обеспечение надежной работы систем ориентирования на местности, особенно в северных и арктических регионах страны;
- исключение сносов, заносов и опрокидываний БГТСЭ;
- определение давления и температуры воздуха в шинах, опасных неисправностей подвески и рулевого управления;
- прогнозирование состояния и разрушения шин;
- распознавание на начальных стадиях процессов отсоединения колес от ступиц и других функций.

По ряду характеристик разработанная система СУД БГТСЭ превосходит характеристики известных зарубежных систем, некоторые функции этой системы в известных системах отсутствуют. Подтвержденные в результате испытаний уровни ошибок косвенных измерений продольной скорости центра масс, пройденного пути, угла поворота управляемых колес, продольных и поперечных ускорений не превосходят 0,1 %, что выше точности, достигнутой в других известных системах.

Полученные характеристики позволяют определять местоположение ТС в условиях плохого приёма спутникового сигнала.

Контроль изменений углов схождения управляемых колес, износов кордов шин и отсоединения колес от ступиц в зарубежных системах не проводится.

С учетом изложенного можно утверждать, что развитие беспилотного грузового транспорта с электротягой в условиях РФ должно вестись путем разработки дополнительных по сравнению с известными технологиями управления и научно-технических решений, обеспечивающих беспилотное управление движением перспективных грузовых ТС для эксплуатации в условиях Российской Федерации. Необходимо отметить, что системы управления движением и электропривод не могут иметь универсального исполнения для БТС, эксплуатируемых в различных регионах РФ, например южных, северных, арктических.

Разработанная бескабинная конструкция грузового БТС с электроприводом является перспективной для применения в составе колонн из грузовых БТС, использование которых позволяет до 10-20 % снизить расход топлива и выброс вредных веществ в атмосферу при выполнении грузопассажирских перевозок.

При разработке перспективных грузопассажирских БТС с электроприводом в плане обеспечения экологической безопасности пассажиров и рабочего персонала следует также решить вопрос их защиты от сверхнормативного загрязнения воздуха в кабинах и обитаемых отсеках БТС, которому в настоящее время не уделяется должного внимания.

Анализ накопленного опыта, современной научно-технической, нормативной, методической литературы по проблеме разработки БТС с электроприводом позволяет утверждать, что решение данной проблемы с учетом условий эксплуатации в РФ требует разработки конструкций перспективных грузовых БТС с электроприводом и реализации в их системах управления движением дополнительных, по сравнению с аналогичными европейскими аналогами, таких функций, как:

- идентификация состояния дорожного покрытия, надежное распознавание дорожной разметки и дорожных знаков;
- обеспечение работоспособности, надежности и эффективности работы электропривода, систем управления движением и их комплектующих в условиях низких и сверхнизких температур окружающего воздуха;
- обеспечение надежной работы систем ориентирования на местности, особенно в северных и арктических регионах страны;
- прогнозирование состояния и разрушения шин;
- определение опасных неисправностей подвески и рулевого управления;
- распознавание на начальных стадиях процессов отсоединения колес от ступиц и других.

Использование зарубежных систем стабилизации продольных и поперечных скольжений колес в системах управления движением мало эффективно в условиях низких температур, гололеда, неровностей дорожного покрытия. Распознавание дорожной разметки современными системами технического зрения БТС затруднено из-за загрязнения дорожного покрытия в осенне-зимний и весенний периоды года.

Построение систем управления движением с физическими датчиками информации, используемыми в зарубежных аналогах, вызывает необходимость применения новых материалов, технологий и конструкций, отсутствующих в РФ. С учетом прогнозируемой долгосрочной изоляции РФ от развитых стран мира такой путь представляется нереализуемым.

В сложившейся ситуации использование нового принципа замещения физических датчиков информации виртуальными по технологии управления, реализуемой в ФГУП «НАМИ» на косвенных измерениях путем интегрировании функций управления, является новым научно-техническим решением задачи создания эффективной и надежной системы управления движением для беспилотных грузовых ТС, предназначенных для эксплуатации в

условиях РФ, и позволяет, в значительной степени, уменьшить зависимость ведущихся разработок от зарубежных технологий и комплектующих.

Создание интегрированных интеллектуальных систем управления движением БТС, построенных на новых принципах, дает возможность поэтапной реализации проектов, начиная с эксплуатации беспилотных грузовых ТС с электроприводом на ограниченных территориях с последующим выходом их на дороги общего пользования, в том числе в северных регионах и Арктической зоне РФ. Концептуальным ядром таких систем является математическое и программное обеспечение, что требует концентрации усилий разработчиков именно в этой области.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. SAE J3016. Standard: Taxonomy and Definitions for Terms Related to On-Road Motor Vehicle Automated Driving Systems. Issued: 2014-01-16 – SAE International Inc., 2014.
2. Einride представил прототип T-pod – автономного электрического грузовика, которым также можно управлять дистанционно // Electrec : сайт. URL: <https://venturebeat.com/2017/04/07/meet-t-pod-an-autonomous-electric-truck-that-can-also-be-controlled-remotely/> (дата обращения: 07.08.25).
3. Электрический беспилотный автомобиль T-pod от Einride – это новый вид грузового транспортного средства // TechCrunch : сайт. URL: <https://techcrunch.com/2017/04/06/einrides-electric-self-driving-t-pod-is-a-new-kind-of-freight-transport-vehicle/> (дата обращения: 07.08.25).
4. Беспилотный грузовик Einride T-pod похож на автомобиль будущего и не имеет кабины // IXBT.COM : сайт. URL: <http://www.ixbt.com/news/2017/07/05/einride-t-pod.html> (дата обращения: 07.08.25).
5. Komatsu. Инновационное транспортное средство. URL: <https://www.trucksplanet.com/catalog/model.php?id=2275> (дата обращения: 07.08.25).
6. От катастроф до грузоперевозок – эта беспилотная платформа на топливных элементах справится с любой задачей // Ars Technica : сайт. URL: <https://hightech.fm/2017/10/09/driverless-fuel-cell-platform> (дата обращения: 07.08.25).
7. Беспилотная грузовая платформа на топливных элементах // TechInsider : сайт. URL: <https://www.popmech.ru/vehicles/news-390862-bespilotnaya-gruzovaya-platforma-na-toplivnyh-elementah/> (дата обращения: 07.08.25).
8. Концепция беспилотного автомобиля «Autolivery» от сотрудников Ford демонстрирует идеи для более устойчивого «Города будущего» // Медиацентр Ford : сайт // URL: https://media.ford.com/content/fordmedia/feu/en/news/2017/02/27/ford-employees_-self-driving-autolivery-concept-demonstrate-idea.html (дата обращения: 07.08.25).
9. New Energy and Industrial Technology Development Organization, NEDO: сайт компании. URL: <http://www.nedo.go.jp> (дата обращения: 31.08.2018).
10. Нагайцев М. В., Эйдинов А. А. Электромобили. Москва : НАМИ, 2014. 515 с.
11. Terenchenko A., Karpukhin K., Kurmaev R. Features of operation of electromobile transport in the conditions of Russia. Paper of EVS 28 International Electric Vehicle Symposium and Exhibition, KINTEX, Korea, 2015.
12. Using Data From Multiplex Networks on Vehicles in Road Tests, in Intelligent Transportation Systems, and in Self-Driving Cars / S. S. Shadrin, A. M. Ivanov, K. E. Karpukhin // Russian Engineering Research. 2016. Vol. 36. № 10. P. 811-814. DOI:10.3103/S1068798X16100166.
13. Tendency of creation of “driverless” vehicles abroad / A. Saykin, S. Bakhmutov, A. Terenchenko [et al.] // Bioscience Biotechnology Research Asia. 2014. 11. P. 241-246.
14. Saykin A. M., Buznikov S. E., Karpukhin K. E. The analysis of technical vision problems typical for driverless vehicles // Research journal of pharmaceutical, biological and chemical sciences. 2016. № 7 (4). P. 2053-2059.

15. Analysis of results of investigation tests of the developed information and measuring active safety system of the vehicle / S. E. Buznikov, A. M. Saikin, D. S. Elkin [et al.] // Journal of Physics: Conference Series. 2061 (2021). DOI:10.1088/1742-6596/2061/1/012132 (Scopus indexed).
16. Tests of Monitoring of Motion Variables of Unmanned Vehicle Convoy / A. M. Saikin, D. V. Endachev, S. E. Buznikov [et al.] // International Journal of Recent Technology and Engineering (IJRTE) ISSN: 2277-3878 Vol. 8, Issue 4, November 2019. pp. 8885-8889. DOI:10.35940/ijrte.D9526.118419 (Scopus indexed).
17. Integrated Navigation System for Unmanned Vehicle Convoy / A. M. Saikin, S. E. Buznikov, D. S. Elkin, V. O. Strukov // International Journal of Innovative Technology and Exploring Engineering (IJITEE) ISSN: 2278-3075. Vol. 8, Issue 12, October 2019. pp. 4021-4025. DOI: 10.35940/ijitee.L3623.1081219 (Scopus indexed).
18. Saikin A. M., Buznikov S. E. Principles of Building Competitive Motion Control Systems for Highly Automated Vehicles // Journal of Physics: Conference Series. International Conference on Actual Issues of Mechanical Engineering (AIME 2021). Cep. "Journal of Physics: Conference Series" IOP Publishing. 2061, 012133. 2121. DOI: 10.1088/1742-6596/2061/1/012133 (Scopus)
19. Patent No. 2779539 of the Russian Federation. Method for identifying the maximum values of sliding friction coefficients of vehicle wheels / Saikin A. M., Buznikov S. E., Elkin D. S., Strukov V. O., Loginov I. D. // Rospatent, 2022.
20. Patent No. 2811998 RF. Method for preventing rollover of a road train / Saikin A. M., Strukov V. O., Evgrafov V. V., Elkin D. S., Loginov I. D. // Rospatent, 2024.
21. Patent No. 2812030 RF. System for monitoring and preventing additional yaw of car wheels / Saikin A. M., Endachev D. V., Strukov V. O., Elkin D. S., Loginov I. D., Tuktakiev G. S. // Rospatent, 2024.