

**СОВРЕМЕННЫЕ АСПЕКТЫ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ АВТОТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ.  
ЧАСТЬ 3: РЕАЛИЗАЦИИ ЭЛЕКТРОПРИВОДА<sup>1</sup>**Кандидат техн. наук **Грушников В.А.**

(Всероссийский институт научной и технической информации Российской академии наук. ВИНТИ РАН)

**MODERN ASPECTS OF IMPROVEMENT OF MOTOR VEHICLES.  
PART 3: REALIZATION OF THE ELECTRIC DRIVE****V.A. Grushnikov, Ph.D. (Tech.)**

(Russian Institute for Scientific and Technical Information. VINITI RAS)

**Аннотация.** Вызванные серьезными опасениями реальной угрозы глобального потепления исследования и разработки в сфере природоохранных мероприятий с активным участием автомобилестроителей и транспортников приводят к появлению усовершенствованных и инновационных концепций конструктивно-технологических схем и собственно приводов электрифицированных автомобильных колесных транспортных средств и электромобилей. Но они являются лишь промежуточными решениями на пути к созданию экологически чистых автомобилей, все преимущества которых в полной мере проявляются только при их полнокомплектной реализации. Рассмотрим их наиболее характерные и наглядные варианты практического осуществления за рубежом.

**Abstract.** Driven by serious fears of the reality of the threat of global warming, research and development in the field of environmental protection measures with the active participation of automotive transport workers lead to the emergence of improved and innovative concepts for structural and technological schemes and the actual drives of electrified road wheeled vehicles and electric vehicles. But they are only intermediate solutions on the way to the creation of environmentally friendly cars, all the advantages of which are fully manifested only in their complete implementation. Let us consider their most characteristic and illustrative variants of practical implementation.

**Ключевые слова.** Автомобили, подвижной состав автомобильного транспорта, электрификация, электропривод, реальное исполнение.

**Keywords.** Cars, road vehicles, electrification, electric drive, real performance.

**Введение**

В современных условиях реальной угрозы глобального потепления процесс декарбонизации, в том числе и в первую очередь на автомобильном транспорте, является единственно правильным путем достижения поставленной цели. И хотя эта цель реальна, способы и средства решения проблемы охраны окружающей среды до сих пор не до конца концептуально, а уж тем более технологически продуманы. Но, бесспорно, эта цель не может быть достигнута без применения в той или иной степени электрифицированного привода. Привод совершенствуется концептуально, конструктивно, технологически с необходимой инфраструктурной поддержкой. Эти процессы происходят непрерывно, постоянно и параллельно, наглядно проявляясь в автомобильной промышленности – наиболее ярко на примерах инноваций мировых лидеров в исследованиях, разработках и производстве автомобилестроения. Подтверждением тому являются многочисленные публикации по этой теме зарубежных авторов, являющихся признанными специалистами по многовекторным проблемам, так или иначе связанным с автомобилестроением и автотранспортом.

Выбранная тематика оказалась настолько многоплановой, неисчерпаемой и плодотворной, что ее аналитическое рассмотрение не вместились в рамки одной статьи. Поэтому две предыдущие публикации по этой тематике были посвящены аспектам эффективных реализаций традиционного привода автотранспортных

средств и аспектам осмысления, разработки и осуществления концепций энергоэффективных электрифицированных приводов с конструктивно-технологически оптимизированными компонентами. А наиболее интересные, известные из зарубежных публикаций, реализации возможностей электрифицированных, комбинированных или гибридных как правило, и чисто электрических с электрическими машинами с функциями электродвигателей и генераторов рекуперативного торможения рассмотрены в настоящей статье.

**Целевая направленность**

Эффективное решение рассматриваемой проблемы невозможно без четко поставленной и сформулированной программы комплексного развития и совершенствования электрифицированных приводов. На фоне всемерного ужесточения требований по выбросам вредных веществ автомобильными колесными транспортными средствами (АКТС) и настороженного внимания мирового сообщества к процессу глобального потепления их исследователями, разработчиками и производителями предпринимаются усилия по их совершенствованию. Так, например, сотрудниками консалтинговой компании и независимого исследовательского института автотранспортной проблематики AVL List (Австрия) рассматриваются преимущества и потенциальные практические результаты реализации возможностей комплексной методологии виртуального проектирования и верификации конечных данных в рамках программы

<sup>1</sup> Продолжение. Часть 1. Традиционный привод. ТНТУ № 2-2022.-С. 60 – 65. DOI: 10.36535/0236-1914-2022-02-9. Часть 2. Концепции и компоненты электропривода. ТНТУ № 3-2022.-С. 34 – 39. DOI: 10.36535/0236-1914-2022-03-7.

комплексного развития электрифицированных приводов подвижного состава АКТС [1]. В ходе ретроспективного анализа прогресса в этой сфере деятельности положительно оценены успехи электрификации и сделан вывод о конкурентоспособности компактного и высокоскоростного чистого электропривода при оптимизационном уровне его удельной энергооборуженности на уровне 350 Вт/кг собственной массы.

На пути к будущему АКТС без выбросов в атмосферу подключаемые гибриды являются ключевой технологией, и новый S-класс легковых автомобилей Mercedes-Benz не является исключением [2]. Благодаря инновациям в программном и аппаратном обеспечении, особенно в новом гибридном приводе, электрической машине и управлении зарядкой мощностью 3,7 кВт и 7,2 кВт, серия 223 с базовым шестицилиндровым рядным бензиновым двигателем внутреннего сгорания (ДВС) конструктивной серии M 256 номинальной мощности 270 кВт открывает новые преимущества для клиентов. Автономный запас хода на чистой электротяге мощностью 85 кВт и в экспериментальном опционном исполнении - 110 кВт до 100 км также стал возможен благодаря новой высоковольтной батарее с повышенной энергоемкостью.



Рис. 1. Электромобиль Mercedes-Benz S-класса

Наиболее обоснованной представляется многокритериальная оптимизация электроприводов АКТС. При проектировании электрифицированного и/или чисто электрического привода конкретного назначения даже небольшие изменения концептуальных решений в практической реализации могут иметь серьезные конструктивно-технологические и эксплуатационные последствия, проявляющиеся в потребительской, вообще, и стоимостной, в частности, цене решения вопроса модификации. На примере встроенного в конструкцию моста привода ведущих колес автомобиля инновационного интегрального агрегата EMR3 проектно-консалтинговая компания Vitesco Technologies (Германия) показывает, как могут быть эффективно достигнуты многоплановые цели, адаптивно и оптимизированно взвешенные в зависимости от назначения и типоразмера легкового автомобиля той или иной модели или серии [3]. В частности, использование комбинации виртуальных экспериментов с применением программного инструмента оптимизации управляемого нагружения iMCO и стендовых испытаний позволило достичь адаптивно регулируемых режимов работы 48-вольтовой бортовой электрической сети питания электродвигателя

гибридного привода и температурного менеджмента аккумуляторной батареи и силовой электроники.

Одним из наиболее важных для потребителя АКТС с электроприводом критериев практической оптимальности его эксплуатации является запас автономного хода электромобиля на автомагистралях. Преодоление больших расстояний по-прежнему является проблемой для электрообъемности. На автомагистралях возможности зарядки ограничены, и длительное время зарядки аккумуляторных батарей АКТС из соображений безопасности и ограниченной пропускной способности недопустимо. Поэтому в Университете прикладных наук федеральной земли Остфалия Германии в специальном адресном контексте передвижения электромобилей по автомагистралям с целью оптимизации размещения электростанций и продолжительности этой технологической операции транспортной логистики проведены модифицированные по своей постановке расчеты длительности ее отдельных составляющих в зависимости от максимальной разрешенной скорости движения и интенсивности потери аккумуляторной батареи ее энергоемкости в разных режимах эксплуатации (скорость, разгонно-тормозная динамика, интенсивность и плотность транспортных потоков, время суток, температура, влажность атмосферного воздуха и т.п.) [4]. Получены аналитические зависимости оптимального расхода электроэнергии и размещения того или иного количества электростанций в разных режимах движения.

Во Всемирной гармонизированной испытательной процедуре WLTP используются около 40 отдельных разгонных и тормозных составных цикла продолжительностью около 30 мин каждая. В качестве инструмента дифференциальной оценки энергетической эффективности транспортного процесса использованы уравнения динамики в виде различных функционалов моментов количества движения и зависимостей его параметров от перемещений, скоростей и ускорений.

### Оптимизационные решения

Электрификация трансмиссии АКТС предъявляет новые требования к конструкциям мостов ведущих колес. В перспективной стратегии развития электрических мостов проектно-исследовательского альянса Valeo Siemens eAutomotive (Франция – Германия) сделана ставка на механическую, электрическую и функциональную интеграцию подсистем инвертора, электродвигателя и коробки передач с расширенной областью изысканий в диапазоне мощности электропривода от 30 кВт у микрогибридов до 300 кВт для передних и задних ведущих колес каждого для мощных дорожно-спортивных болидов с напряжением бортовой электросети от 48 до 400 В [5]. По критерию максимальной энергоэффективности, показателю КПД, мощности на единицу массы, приемлемого конструктивного объема, уровня внешнего и внутреннего шума, функциональной и эксплуатационной безопасности и стоимости установлены оптимальные диапазоны мощности интегральных силовых агрегатов электромобилей энергетических классов А - до 75 кВт, В - до 170 кВт, С/Д - до 210 кВт и Е/Ф - до 300 кВт с максимальным крутящим моментом до 2 кНм в первом случае, 3,2 кНм – во втором и до 6 кНм – в третьем и четвертом с напряжением электропитания от 250 до 450 В. В оптимальном варианте конструктивно-технологического исполнения схемы

управления электроснабжением потребителей силовых агрегатов она состоит из замкнутого конденсатором контура с шестью параллельно соединенными двойными диодно-индуктивными модулями с прошивкой трехфазными электромашинными.

В случае с проектированием, изготовлением и эксплуатацией электромобилей важна хорошая координация виброшумовых характеристик, определяющих их безопасность и комфорт. Поэтому при создании серии моделей EQC электромобилей марки Mercedes-Benz использован неразрывный процесс разработки для достижения конечной цели - максимальной отслеживаемости и адаптивности управления этими регулируемые параметрами, технологично решаемой во взаимодействии между оптимизацией характеристик и режимов работы электродвигателя и последовательной интеграцией его в конструктивно оптимизированную трансмиссию [6]. Критерием оптимизации этой прикладной эксплуатационной стратегии стал минимум расхождений между так называемыми эталонными и фактическими адресными агрегатными отслеживаемыми локальными тональными шумами. На фотоспектрограммах приведены карты плотности шумового фона электромобилей на скоростях до 100 км/ч и частотах до 10 кГц, что позволило получить моды основных гармоник виброколебаний и оптимальные формы кольцевых прокладочных демпферов.

Среди оптимизационных мероприятий электрификации АКТС важное место занимают управленческие, связанные с технологичностью использования и частотой вовлечения в процесс генерирования реализуемой движителями энергии силовых агрегатов. В особенности это приобретает решающее значение при гибридном приводе с комбинированной энергетической установкой с ДВС и электромашинной с функциями тягового электродвигателя и генератора рекуперативного торможения.

Эта значимость наглядно проявляется на примере технологичной мягкой гибридной за счет управления аккумуляторными батареями разного напряжения. Чтобы соответствовать будущим жестким законодательно-рамочным требованиям экологической безопасности по выбросам углекислого газа и других вредных веществ в продуктах сгорания углеводородного топлива в цилиндрах ДВС автомобильных приводов в период ограниченного поэтапного перехода на полностью электрические силовые агрегаты, эффективными оказываются мероприятия не только полной, средней, но и, даже, мягкой гибридной, в особенности, при 48-вольтовой бортовой электрической сети. Это продемонстрировали результаты изыскательских исследований и разработок в рамках реализации опытного проекта подразделения менеджмента аккумуляторных батарейных источников электропитания энергетического концерна Hella (Германия) [7]. Доказано, что эффект расширенного использования, наряду с 48-вольтовой батареей питания электродвигателя или стартер-генератора в случае мягкого гибрида микро-, мини- и/или среднеразмерного легкового автомобиля, 12-вольтовой аккумуляторной батареи питания компонентов светотехники, привода электростеклоподъемников и других сервоприводов и вспомогательных устройств и трансформации бортового напряжения значительно превосходит эффект их отдельных реализаций.

Эта система электропитания с двухпараметрическим напряжением перекидывает технологический мостик между потребителями 48-вольтового силового агрегата и 12-вольтового напряжения функции стартера, поддерживаемых трансформаторным преобразователем электроэнергии и силовой электроникой. В первом случае речь идет о литий-ионной аккумуляторной батарее с диапазоном рабочего напряжения 35...52 В, во втором - о свинцово-кислотной - с 9...16 В, соединенных электро-электронными компонентами. Результатом функционирования этой системы является реальное снижение выбросов углекислого газа и других вредных веществ 5 г/км.

Мягкие гибридные приводные системы с напряжением бортовой электрической сети 48 В имеют преимущества с точки зрения затрат и места для установки по сравнению с высоковольтными системами. Но из-за низкого уровня напряжения требуемые силы тока повышаются до очень высокой и опасной величины. Производственно-технологическая компания Mahle (Германия) с углубленной специализацией в энергетической области предпринимает успешные попытки компромиссного решения этого технологического конфликта, предлагая автопроизводителям агрегаты, удовлетворяющие повышенным требованиям - в первую очередь - к компонентам аккумуляторной батареи и электродвигателям комбинированных энергетических установок АКТС [8].

Для коммерческого подвижного состава в виде средне- и крупнотоннажных грузовых автомобилей и автобусов это решение связано с реализацией концепции комбинированной P2-архитектуры гибридного привода с электродвигательным источником энергии, генерируемой в процессе рекуперативного торможения и движения накатом, в первом проявлении функциональности, и поддерживаемой энергоемкостью аккумуляторной батареи - во втором. Для вспомогательного привода это означает выработку пиковой мощности в 20...24 кВт в течение 10 и 4...5 кВт в течение 20 тыс. циклов заряда-разряда аккумуляторной батареи, что предъявляет к ней очень жесткие требования в диапазоне эксплуатационных температур от -30 °С до 50...60 °С.



Рис. 2. Первый в Европе электрический грузовой автобус

Адекватное предложение фирмы Mahle - инновационная литий-ионная аккумуляторная батарея с литий-титаноксидным анодом с увеличенной цикловой ресурсом и электрическим зарядом в 20 А·ч при единовременной отдаче энергоемкости в 920 Вт·ч. Высокая работоспособность, долговечность и энергоэффективность обеспечиваются оптимальной коммуникацией с компактным трансформатором постоянного тока и адаптивным обслуживанием миниконденсатором микроклимата, управляемыми электронным контроллером

оптимизации температурных режимов. Основой такого мягкого гибридного привода является 48-вольтовая двухмоточная трехфазная электромашинка с функциями электродвигателя максимальной мощностью 40 кВт (длительная - 25 кВт) и генератора максимальной мощностью 48 кВт (длительная - 30 кВт), максимальным крутящим моментом 110 Нм (в длительной реализации - 50 Нм), максимальными оборотами 12000 мин<sup>-1</sup>, КПД 95%, размерами 230 × 290 мм и массой 33 кг с интегрированным инвертором.

В этом же направлении успешно работает и компания Vitesco Technologies из Регенсбурга (Германия), совершенствующая свою оригинальную энергетическую систему полного гибридного привода бортовым напряжением 48 В [9]. Эта технология высокой мощности предлагает недорогой вариант гибридизации, который позволяет снизить выбросы углекислого газа, виртуально оцениваемые по методике Всемирной гармонизированной процедуры WLTP со снижением по сравнению со средним гибридом до 20%. Помимо привода, система включает в себя комбинированную литий-ионную накопительную систему на 12 В и 48 В Advanced Energy Storage и катализатор электрического нагрева Emicat. Компания Vitesco Technologies разрабатывает инновационные и эффективные технологии трансмиссии для всех типов АКТС: решения по электрификации на 48 В, электрические приводы и силовая электроника для гибридных и аккумуляторных электромобилей. Кроме того, ассортимент продукции включает электронные блоки управления, датчики и исполнительные механизмы, а также решения для дополнительной обработки отработавших газов (ОГ). Vitesco Technologies делает трансмиссии чистыми, эффективными и доступными - для чистого будущего, что полностью укладывается в рамки стратегии Евросоюза по снижению к 2030 г. выбросов вредных веществ и парниковых газов системами выпуска ОГ на 37,5%. В экспериментальной апробации инновационной системы полного гибрида с литий-ионной аккумуляторной батареей энергоемкостью 8,6 кВт·ч, обеспечивающей запас автономного хода на электротяге, достигнуто среднее потребление топлива ДВС в 1,6 л/100 км.

В дополнение к стандартным измерениям состава ОГ систем выпуска ДВС на роликовом динамометрическом стенде, для осуществления процедуры одобрения типа АКТС по международному стандарту ISO 27001 требуются измерения компонентов реальных ОГ. В реальном движении многие факторы влияют на поведение выбросов и затрудняют проведение достоверных натурных замеров. Традиционный подход к оценке выбросов с использованием оптимально выбранных ездовых циклов должен иметь более широкую методическую основу для точных замеров. Для повышения точности и технологичности проведения стендовых измерительных испытаний исследовательско-консалтинговая компания Etas (Германия) использует искусственный интеллект для продвижения подхода, при котором облачное моделирование призвано минимизировать потребность в реализации испытательных ездовых циклов - главным образом в наиболее продвинутой и реальной Всемирной гармонизированной испытательной процедуре WLTP с 23-км дистанциями замеров на средних скоростях движения 46,5 км/ч с максимумом в 131 км/ч и ускорениями в 1,6 м/с<sup>2</sup>, в том числе с одновременными испытаниями в термокамере.

И если эффективность энергетических автомобильных концепций закладывается при исследованиях, то ее оценка осуществляется по результатам контрольных испытаний. Наиболее технологично эта комплексная задача, практически, одновременно, решается возможностями интеграции приложения виртуального ДВС в квазиреальную или дополненную виртуально-реальную среду разработки АКТС с оптимальной энергетической установкой на борту.

Внедрение и постоянная интеграция приложения виртуального ДВС в повседневный рабочий процесс представляет собой изменение, которое часто встречает сопротивление и неприятие. Чтобы процесс изменений увенчался успехом, его необходимо рассматривать целостно, при этом необходимо учитывать корпоративную культуру и уровень вовлечения персонала в этот виртуальный процесс проектирования. Эти аспекты разработки реальных машин на примере энергетических агрегатов рассматриваются авторами инновационной концепции - профессором кафедры термодинамики и ДВС Факультета автомобильной техники и самолетостроения Технического университета и руководителем группы систематического тренинга Гамбурга в рамках реализации опытного исследовательского проекта формирования полномасштабного процесса трансформируемого проектирования [10].

Результат этой направленной деятельности представлен в виде размещенной в центре структуры цели виртуального приложения с направленными векторами от тематических исходных мод данных цифровой информации, имитаций, модельных описаний, системного анализа, формирования модели и ее реализации в программном обеспечении. Верификация этой исследовательско-проектной схемы проведена на экспериментальном стенде, результаты испытаний на котором промежуточных прототипов будущих оптимизированных по своим технико-эксплуатационным характеристикам ДВС подтвердили продуктивность этой философской концепции разработок реальных образцов с помощью виртуальных приложений.

### Конкретные реализации

На пути к серийной электромобилизации уже имеются эффективные конструктивно-технологические реализации. Так, например, автоконцерн Ford (Германия) с 2020 г. выпускает гибридный автофургон Ford Transit Customer PHEV [11].



Рис. 3. Автофургон Ford Transit Customer PHEV

Полная гибридная версия более чем двухтонного по снаряженной массе и бесшумного на электротяге с автономным запасом хода до 44 км на аккумуляторной батарее емкостью 3,6 кВт·ч и 500 км (на автомагистрали - до 600 км) этого развозного фургона внутренним полезным объемом 5,4 м<sup>3</sup> схожа с версией автоконцерна Daimler (Германия). Она оснащена электродвигателем мощностью 92 кВт в качестве основного силового агрегата и однолитровым трехцилиндровым турбонаддувным бензиновым ДВС, служащим только для привода вырабатывающего электроэнергию генератора с потреблением 7,6 л/100 км топлива. Это означает, что Daimler в Ford Transit Customer PHEV снова вернулся к концепции Range-Extender с ролью ДВС в качестве поддерживающего агрегата удлинителя пробега, но с акцентом на повышение экологической безопасности. Суммарный крутящий момент этой комбинированной энергетической установки впечатляет - 335 Нм.



Рис. 4. Автофургон Ford E-Transit

С февраля 2022 г. начался серийный выпуск электроприводного развозного аккумуляторного фургона Ford E-Transit с тремя вариантами колесной базы и двумя - по высоте надставной крыши. Этот транспортер классической компоновки будет оснащаться электродвигателем мощностью до 198 кВт и максимальным крутящим моментом 430 Нм, запитанным от литий-ионной аккумуляторной батареи напряжением 400 В и емкостью 67 кВт·ч, заряжаемой устройством мощностью 11,3 кВт переменного тока и 115 кВт - постоянного и обеспечивающей запас автономного хода в 350 км [12].



Рис. 5. Электромобиль Audi E-tron S

Примечательная система трехкомпонентного электропривода легкового автомобиля Audi E-tron S. В моделях E-tron S Audi автоконцерн AUDI (Германия) пер-

вым из крупнейших и известнейших автопроизводителей реализовал в крупносерийном производстве платформу с электроприводом с трехкомпонентной компоновкой электромашин и вектором электрического крутящего момента [13]. Наряду с прямым приводом передних колес, двойной коаксиальный задний мост завершает масштабируемую модульную систему привода серии E-tron и способен передавать крутящий момент в несколько килоньютон-метров на вертикальную ось дифференциала задних ведущих полностью электрических легковых автомобилей.

Увеличенная на 88...91% по сравнению с предшественником емкость литий-ионной аккумуляторной батареи и усовершенствованная силовая электроника значительно улучшила энергооборуженность нового Audi E-tron S, а также конструктивная оптимизация колесных тормозных механизмов с устранением остаточного тормозного момента, снижение потерь энергии на кондиционирование воздуха в салоне и уменьшение коэффициента аэродинамического сопротивления позволили повысить запас автономного хода до 446 км. Главной основой оптимизации инновационной структуры электропривода конструктивного ряда АТА250 являются асинхронные электромашин с функциями электродвигателя и генератора электроэнергии длиной 120 мм спереди и 210 мм сзади с интеллектуальным управлением, поддерживающие максимальную мощность 300 кВт (408 л.с.) и крутящий момент 664 Нм.

Примечателен и новый концептуальный компактный четырехметровый четырехместный городской электромобиль BMW i Vision Circular [14]. С усовершенствованным электроприводом с увеличенным запасом автономного хода, инновационной диодной светотехникой, информационно-навигационно-развлекательной аудиовидео системой, проекционным экраном электронной карты на ветровом стекле, распахивающимися крыльевыми створками боковых дверей кузова с алюминиевыми панелями, он интересен не только и не столько этими ожидаемыми новинками, а, прежде всего, тем, что в нем максимально возможно на сегодняшний день используются вторичные материалы - отходы заверщенного жизненного цикла. А напечатанное на 3D-принтере рулевое колесо из бионических материалов и бугристые сиденья из пенополимеров полностью состоят из переработанных отходов.



Рис. 6. Городской электромобиль BMW i Vision Circular

Дочерним предприятием многопрофильной промышленной группы Goriziane (Италия) представлен прототип полностью электроприводного легкогрузового коммерческого транспортера Green G реализации

революционной концепции Car EV [15]. Он оснащен усовершенствованной кабиной с легким доступом с рабочим обозначением Esapu и предназначен, главным образом, для оказания услуг по удалению городских отходов, городской логистики и доставки по месту товаров первой необходимости. Уникальный по эргономике, вместимости, производительности и габаритам в своей категории N1 легкий грузовой автомобиль допустимой полной массой 3,5 т способен перемещаться со скоростью до 80 км/ч. На инновационном электроприводе со штатной литий-никель-марганцево-кобальтовой аккумуляторной батареей энергоемкостью 35 кВт·ч компании Webasto автономный запас хода Esapu составляет 100...150 км, а с двумя общей энергоемкостью 70 кВт·ч в премиальном варианте исполнения - до 250 км.

В конце 2021 г. производственно-технологическая компания Huvia - совместное предприятие автомобильного концерна Renault (Франция) и компания-разработчик систем водородных топливных элементов Plug Power (США) представила три легких коммерческих автомобиля с электроприводом на топливных элементах [16]. Эти фургоны с двойной архитектурой экологически чистого привода в серийном производстве будут оснащены аккумуляторной батареей энергоемкостью 33 кВт·ч и пакетом водородных топливных элементов на 30 кВт, агрегированным с водородным топливным баком вместимостью от 3 до 7 кг водорода. Такое энергетическое оснащение должно позволить реализовывать дальность автономного хода до 500 км, из которых 100 км - на аккумуляторной электротяге. За основу взят фургон Renault Master в классе легких коммерческих автомобилей допустимой полной массой от 2,8 до 4,5 т.

### Заключение

Успешность реализации программы электрификации подвижного состава автомобильного транспорта с объективными и субъективными препятствиями на пути к достижению этой цели в настоящее время, во многом, определяются нахождением высокотехнологичных и инновационных решений. В этом плане несомненный интерес представляет собой аналитическом обзоре публициста из Германии по проблеме автомобилизации, вообще, и электромобильности, в частности [17]. В нем на примере наиболее чутко реагирующего на запросы на электрификацию автомобильного подвижного состава китайского рынка рассматриваются суждения специалистов по вопросам изменения в сторону увеличения или снижения сложностей с массовым производством гибридных и чисто электрических автомобилей. По мнению профессора Научно-исследовательского института автомобильной техники и автомобильных двигателей Штутгарта (Германия) - активного партнера автопроизводителей международного уровня с развитой стендовой испытательной базой и современными разработками, возможны и должны быть найдены эффективные решения концептуальных проблем электромобилизации автомобилей с высокой долей устройств искусственного интеллекта, электроники и электросетей.

Такого же мнения из соображений синергии оптимальных вариантов гибридной электрификации, возможностей электроники и облачных вычислений придерживается руководитель системных разработок авто-

компонентной компании Magna (Канада), отмечающий эффективную роль 48-вольтовой бортовой электрической сети, к которому присоединяется профессор Института автомобильных технологий Университета Штутгарта. Особое внимание уделяется оптимизации агрегатирования, главным образом, бензинового, но не полностью исключая и дизельного ДВС с КПД более 45% с электромашиной в составе комбинированной энергетической установки гибридного привода. Снижение сложностей за счет электрификации автомобильного привода в гибридах вице-президент одной из крупнейших автомобилестроительных компаний Китая Geely видит за оптимизированной бортовой энергетической архитектурой интегрального модульного шасси, оптимизированного по силовым, трансмиссионным и виброакустическим свойствам улучшенной доводкой на стендах.

Руководитель системных разработок известнейшего североамериканского поставщика таких автомобильных компонентов, как автоматические, главным образом, коробки передач и компрессоры, BorgWarner отмечает увеличенную потребность в гибко адаптируемых к конкретным требованиям архитектурах трансмиссий с усовершенствованным электроразрядным модулем. С этим полностью согласен директор компании Byton (Китай) - производителя электромобилей. На не до конца раскрытую в гибридном приводе роль температурного менеджмента, способного значительно повысить функциональность и энергетическую эффективность ДВС, указывает профессор крупнейшей в мире независимой компании по разработке, моделированию и испытаниям систем трансмиссии, их интеграции в автомобиль, а также в новых областях автомобильной техники AVL (Австрия).

Руководитель ведущего мирового эксперта в области автомобильного шума, вибрации и жесткости - компании Vibraoustic (Германия) отмечает важность им же предлагаемых инновационных решений для всех текущих и будущих проблем мобильности клиентов из автомобильной промышленности на основе индивидуального подхода. Выделяется важнейшая роль средств коммуникации электрифицированных АКТС на инфраструктурно усовершенствованной дорожно-транспортной сети регионов с целью реализации оптимизированного процесса электроразрядки аккумуляторов на основе цифровых протоколов беспроводной связи. С этим согласны все без исключения участники заочной дискуссии по проблеме электрификации. А говоря о конкретном вкладе в ее решение, стоит выделить активное участие в нем автокомпонентного и шинного концерна Continental (Германия), только в 2019 г. инвестировавшего 20 млрд евро в инновационные разработки по концептуальному прорывному совершенствованию сетевой инфраструктуры, программного обеспечения и интеллектуальной архитектуре электрифицированного шасси.

Успешность процесса электромобилизации с технологичным и энергоэффективным использованием АКТС с комбинированным электрифицированным и чисто электрическим приводом невозможная без надежной поддержки производственной и электроразрядной инфраструктуры, чему будет посвящена следующая публикация по рассматриваемой тематике.

## Литература

1. Volk A., Leighton M. Integratives Entwicklungsprogramm fuer elektrifizierte Triebstraenge// ATZ: Automobiltechnische Zeitschrift.- 2020, Vol. 122, № 6. - S. 40, 42, 45.
2. Efizient, Kraft und Dynamik// ATZ. Extra.- 2020, Okt., Neue S-Kl. Mercedes-Benz.- S. 128-132.
3. Adler C., Siedenberг D., Töns M. Multikriterielle Optimierung von elektrischen Antriebssträngen// ATZ: Automobiltechn. Z.- 2020.- Vol. 122, № 3.- S. 44-49.
4. Kraft K.H. Reichweite eines Elektrofahrzeugs auf Autobahnen// ATZ: Automobiltechn. Z.- 2020.- Vol. 122, № 4.- S. 70-74.
5. Höfer A., Peschkow W., Hamon P. Elektrische Achsen im Spannungsfeld von NVH, Wirkungsgrad und Leistungsdichte// ATZ: Automobiltechn. Z.- 2020.- Vol. 122, № 4.- S. 48-50.
6. Lieske D., Landes D., Fischer J. Optimierung des Antriebsgeräuschs für das Elektrofahrzeug Mercedes-Benz EQC// // ATZ: Automobiltechn. Z.- 2020.- Vol. 122, № 3.- S. 60-62.
7. Fähnrich B. Einfache Mildhybridisierung durch Zweispannungs-Batteriemanagement// ATZ extra.- 2020, Apr.,- прил. Hybridantriebe und 48-V-Bordnetz.- S. 32-35.
8. Geskes P., Moser M., Rinderle M. 48-V-Mildhybridsystem für Lastkraftwagen// ATZ: Automobiltechnische Zeitschrift.- 2020, Vol. 122, № 9. - S. 38-39, 42.
9. Lauer S., Weldle R., Perugini M., Lyubar A. 48-V-High-Power-Vollhybridsystemen// MTZ: Motortechnische Zeitschrift.- 2021, Vol. 82, № 2. - S. 26-27, 33.
10. Ihme-Schramm H., Schramm A. Integration der virtuellen Motorapplikation in die reale Entwicklungsumgebung// MTZ: Motortechnische Zeitschrift.- 2020, Vol. 81, № 7-8 - S. 54-55, 58.
11. Führt auch mit Strom aus Sprit// DDS: Der Deutsche Schreiner: Das Magazin für Möbel und Ausbau.- 2020, Vol. 121, № 8. - S. 66 - 67.
12. Antriebssimulation mit neuen Funktionen// MTZ: Motortechn. Z/- 2021.- Vol. 82, № 3.- S. 37.
13. Doerr J., Fröhlich G., Stroh A., Baur V. Das elektrische Antriebssystem mit Drei-Motor-Layout im Audi E-tron S// MTZ: Motortechnische Zeitschrift. - 2020, Vol. 81, № 7-8. - S. 18-19, 26.
14. BMW i Vision Circular// Auto, Mot. Und Sport.- 2021, № 20.- S. 14.
15. Elektrischer Transporter// ATZ: Automobiltechn. Z.- 2021.- Vol. 123, № 10.- S. 32.
16. Drei Wasserstoff-Transporter in 2021// MTZ: Motortechn. Z.- 2021.- Vol. 82, № 10.- S. 38.
17. Goppelt G. Weniger Komplexität durch Elektrifizierung?// MTZ: Motortechnische Zeitschrift.- 2020, Vol. 81, № 11. - S. 9-10, 14.

### Сведения об авторе:

**Грушников Виктор Александрович**, старший научный сотрудник ОНИ по машиностроению Всероссийского института научной и технической информации Российской академии наук. ВИНТИ РАН.

Телефон 8 499 152 59 10 (сл.),

E-mail: mach04@viniti.ru.