

вым. Наиболее целесообразно это напряжение принять равным 24В, т.к. на автомобиле перед пуском двигателя НЭ от АБ может зарядиться не более, чем на 24В (соответствует номинальному напряжению бортовой сети). В таблице 3 представлены основные параметры НЭ в режиме стартерного разряда.

Сопrotивления НЭ типа 24ПП-30/0.003 оказалось более, чем в два раза выше паспортного значения (ЗМОм), а НЭ типа ИКЭ-40/28 в 1,4 раза (7МОм). Таким образом, в результате разрядов НЭ стартерными токами определена величина отдаваемой энергии при снижении напряжения от номинального до половины номинального и определены значения внутренних сопротивлений НЭ.

Полученные в результате исследований результаты будут использованы при разработке и обосновании требований к системе пуска с накопителями энергии, обеспечивающей повышение работоспособности автомобильной техники в условиях низких температур.

Литература

1. Квайт С.М., Менделевич Я.А., Чижков Ю.П. Пусковые качества и системы пуска авто-тракторных двигателей. – М.: Машиностроение, 1990. – 256 с.
2. Чижков Ю.П. Исследование процесса прокручивания коленчатого вала двигателя при использовании в системе электростартерного пуска емкостного накопителя энергии. Межвузовский сборник научных трудов «Автомобильные и тракторные двигатели». Выпуск XIV. – М.: МАМИ, 1998. – С. 197-217.
3. Чижков Ю.П., Малеев Р.А., Шматков Ю.М. Режимы совместной работы аккумуляторной батареи и емкостного накопителя в системе электростартерного пуска. Межвузовский сборник научных трудов «Автомобильные и тракторные двигатели». Выпуск XIII. – М.: МАМИ, 1996. – С. 118-124.

Альтернативный источник электрической энергии на автомобиле: использование энергии отработавших газов

д.т.н. проф. Овсянников Е.М., к.т.н. доц. Ключкин П.Н., к.т.н. доц. Кецарис А.А., Акимов А.В.
*Университет машиностроения
495-223-05-23, доб. 1574*

Аннотация. В статье рассмотрен способ использования энергии, выбрасываемой вместе с отработавшими газами в окружающую среду, приведен обзор подобных разработок мировых производителей. Рекуперация «бесполезной» энергии позволяет исключить генератор системы электроснабжения и увеличить к.п.д. двигателя внутреннего сгорания.

Ключевые слова: электротурбогенератор, рекуперация энергии отработавших газов, альтернативный источник энергии.

Непрерывный прогресс и рост количества систем комфорта и других потребителей электроэнергии на автомобиле в последние годы изменили структуру его бортовой сети. Зачастую мощности генераторных установок уже не хватает: суммарная мощность потребления на автомобилях достигает 3-4 кВт.

Сегодня существует необходимость в новом источнике электроэнергии на автомобиле, пригодном для установки на все выпускаемые автомобили с различными типами двигателей, недорогим и надежным. Увеличение мощности штатного стандартного генератора вызывает массу сложностей: он практически уже не умещается под капотом, поликлиновый ремень не может передать большой крутящий момент, приходится применять для него свою жидкостную систему охлаждения, что значительно удорожает и усложняет конструкцию.

Найдено другое техническое решение: использовать энергию отработавших газов, которая сейчас в каждом ДВС выбрасывается в атмосферу в виде тепла и никак не используется. По оценкам специалистов, доля этой «бесполезной» энергии составляет около 30% (!) от энергии топлива при его сжигании.

Это принципиально новое решение предложено при совершенствовании систем турбонаддува. Энергия на вращение насосного колеса поступает от вращения турбинного колеса за счет выбрасываемых разогретых газов из цилиндров ДВС на такте выпуска.

Специальное устройство – регенератор энергии (лат. *regeneratio* - восстановление, возвращение) может быть любым по устройству, но оно предназначено для улавливания и преобразования энергии выхлопных газов и выделяемого тепла от сгоревшего топлива в электрическую энергию. Дальше она может направляться как в накопитель энергии, так и сразу на «подкрутку» коленчатого вала ДВС, повышая его общий к.п.д.

Современные системы, использующие «бесполезную» энергию для повышения энергоэффективности силовой установки, например система KERS (*Kinetic Energy Recover System*), называют системами рекуперации энергии (лат. *recuperatio* - возвращение). При торможении тяговая электрическая машина транспортного средства, которая работала в двигательном режиме, переключается в режим генератора и отдает электрическую энергию в сеть для дальнейшего использования. Впервые системы KERS стали применяться в автоспорте и на железнодорожном транспорте.

Также известны экспериментальные установки и опыты ведущих автоконцернов (в основном японских) по созданию систем регенерации тепловой энергии в системе выпуска отработавших газов по циклу Ранкина (*Rankine cycle*) и термоэлектрических генераторов на эффекте Зеебека (*Seebeck Effect*), однако, ввиду сложности и низкого к.п.д. они не получили распространения.

Возможность упростить конструкцию системы электрооборудования, улучшить экологические показатели автомобиля, повысить мощность двигателя и силовой установки (на гибридном автомобиле), снизить расход топлива за счёт использования энергии выхлопных газов вызвала большой интерес у научно-исследовательских центров и мировых автопроизводителей. Подобные проекты нашли поддержку со стороны отраслевых правительственных комитетов стран Запада и США в виде выделения материальных средств и льгот для разработчиков. Созданием преобразователя энергии отработавших газов в электрическую энергию занимается и московская группа ученых инжинирингового центра «Smart».

Можно с уверенностью сказать, что в ближайшее время на современных автомобилях должна появиться установка для регенерации энергии. Авторы статьи рассмотрели возможные варианты систем регенерации кинетической энергии отработавших газов, работающих совместно с двигателями внутреннего сгорания различной мощности и объема, как бензиновыми, так и дизельными, а также двигателями, работающими в сочетании с тяговым электроприводом (гибридные автомобили).

Почти все ведущие компании одновременно с созданием источника дополнительной энергии за счет использования энергии отработавших газов на основе турбоэлектрогенератора, ведут параллельные работы по созданию турбоэлектрокомпрессора. Цель этого устройства – помочь за счет электропривода быстрее раскрутить вал турбокомпрессора при разгоне автомобиля. Эти два устройства могут быть как отдельными системами, так и быть совмещены в одном устройстве.

Турбоэлектрокомпрессор состоит из корпуса, турбинного и насосного колес, закрепленных на общем валу и электрической машины, которая может работать как в двигательном режиме, так и в генераторном (рисунок 1).

В турбоэлектрокомпрессоре за счет использования электрической машины (электродвигателя) устранены основные недостатки классического турбокомпрессора, используемого на автомобиле, а именно нестабильность работы при различных режимах работы двигателя и нагрузках. Основная задача электрического двигателя – это при необходимости включиться в работу, раскрутить вал турбины и, таким образом, восполнить потребность двигателя в большом объеме воздушной массы. Питание электрической машины происходит от штатной аккумуляторной батареи. Ротор электрического двигателя установлен на одном валу с турбинным и рабочим колесом с целью уменьшения габаритных размеров и облегчения установки на автомобиль. Практичность такого решения подтверждается наличием патентов

на подобные разработки, в которых в качестве базовой используется описанная выше конструкция [5, 6 и др.].

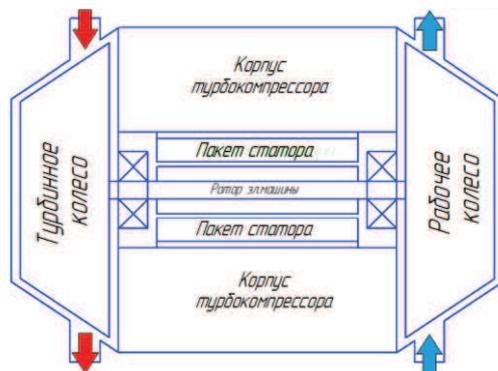


Рисунок 1. Принципиальная схема турбоэлектродвигателя: (стрелками указаны направления воздушных потоков, которые воздействуют на лопасти турбокомпрессора и турбогенератора)

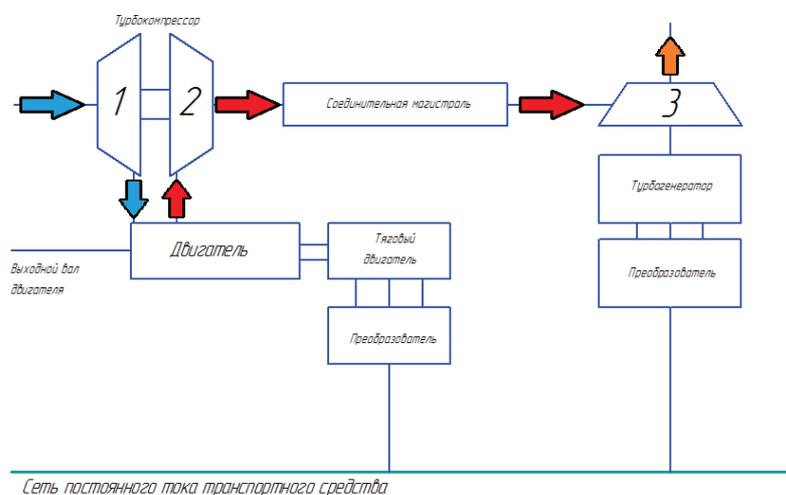


Рисунок 2. Принципиальная схема работы турбоэлектродвигателя компании John Deere: 1- турбинное колесо; 2- рабочее колесо; 3-турбинное колесо турбогенератора

В настоящий момент, в открытом доступе, имеется разработка компании John Deere (рисунок 2). Порядок работы приведенной схемы следующий: турбинное колесо, которое приводится во вращение выхлопными газами, вращает вал турбокомпрессора и соответственно рабочее колесо, которое обеспечивает забор охлажденного наддувочного воздуха для подачи в цилиндры двигателя. Далее поток выхлопных газов поступает по соединительной магистрали на турбинное колесо турбогенератора, приводя во вращение вал и ротор генератора. Температура потока выхлопных газов поступающего на турбинное колесо турбогенератора уже снижена (за счёт прохождения через турбинное колесо турбокомпрессора и прохождения по соединительной магистрали) и находится в пределах от 700°C до 800°C . Температура потока выхлопных газов воздействующих на турбинное колесо турбокомпрессора составляет до 1000°C и более. Приведенный во вращение турбогенератор начинает вырабатывать напряжение и отдавать его в бортовую сеть автомобиля. В данной схеме выбран турбокомпрессор с изменяемой геометрией сопла для подачи потока выхлопных газов.

Конструкция достаточно проста, имеет высокую эффективность, в ней применяются известные технологии изготовления комплектующих турбогенератора, поэтому его стоимость относительно невысока.

Проект турбоэлектродвигателя компании John Deere, стоимостью около \$4,8 млн. (денежные средства, выделенные на разработку), достаточно многообещающий. Сама компания John Deere выделяет следующие достоинства данной системы:

- работа системы в циклах высокой нагрузки при постоянном использовании транспортного средства с максимальными преимуществами;

- увеличение эффективности использования топлива на 10 %;
- увеличение на 20% энергоснабжения транспортного средства;
- понижение температуры выхлопных газов;
- высокий потенциал масштабного коммерческого использования.

Другой интересной разработкой является предложение британской компании СРТ (Controlled Power Technologies). Компания СРТ была основана в 2007 г. специально для изучения и разработки процессов, способных уменьшить выбросы вредных веществ и повысить энергоэффективность транспортных средств. Девиз разработки: «Waste to Watts – Powering the Planet with TIGERS™», что в переводе на русский язык означает «тепло в ватты – обеспечение энергии с TIGERS™».

Перспективная разработка компании – турбогенератор TIGERS (дословный перевод – турбогенератор интегрирующий энергию газов в электрическую). По мнению специалистов, именно эта разработка имеет наиболее значимые перспективы использования на современных транспортных средствах и массовом производстве в последующем. Характеристики турбогенератора TIGERS:

- максимальная частота вращения: 80000 (об/мин);
- максимальная вырабатываемая мощность: 6 (кВт);
- эффективность работы при выходном напряжении 14,6 (В): >70%;
- эффективность работы при выходном напряжении 340 (В): >90%;
- суммарная масса: ~ 10 (кг);
- габаритный размер (длина): ~ 150 мм;
- способ охлаждения: охлаждающая жидкость.

Турбогенератор TIGERS способен работать при температуре выхлопных газов более 900° С. Конструктивно турбогенератор состоит из турбинного колеса, якоря генератора, установленного на валу с турбинным колесом, статора, перепускного клапана. Перепускной клапан получает сигналы управления от своей электронной системы (блока), который в свою очередь использует информацию от блока управления двигателем, с целью подачи на турбинное колесо необходимого потока выхлопных газов и наиболее продуктивной и безопасной работы турбогенератора. Из общих достоинств своего изобретения разработчики приводят следующие:

- более эффективное генерирование электрической энергии в момент работы двигателя при больших нагрузках двигателя;
- регенерация тепловой энергии выхлопных газов;
- компактность установки (длина ~ 150 мм), вырабатываемая мощность 4.2 кВт при выходном напряжении 14.6 В;
- возможность установки в любом месте выхлопной системы транспортного средства;
- готовые к производству компоненты системы турбогенератора, а именно программное обеспечение, контролирующее работу турбогенератора и преобразователи электрической энергии;
- полностью управляемый турбогенератор за счёт перепускного клапана, который разделяет и подаёт на лопасти турбинного колеса необходимую пропорцию потока выхлопных газов при различных нагрузках и режимах работы двигателя, что, как указано выше, способствует обеспечению более продуктивной и безопасной работы;
- экономическая целесообразность установки турбогенератора на современное транспортное средство в условиях «энергетического голода», постоянно растущего потребления электрических машин осуществляющих рекуперацию электрической энергии (электромоторы на гибридных автомобилях).

Среди отечественных разработок известны конструкции с применением керамических материалов для повышения срока службы и надежности отдельных элементов конструкции в условиях высоких температур [7, 8].

Разработки для систем рекуперации энергии выхлопных газов компании СРТ в отличие

от системы рекуперации компании John Deere, рассчитаны на установку на легковых автомобилях, в то время, как John Deere делает акцент на крупногабаритный транспорт, грузовики, специализированный транспорт и различной вариации крупногабаритную сельскохозяйственную технику.

Ещё одно изобретение для системы регенерации было представлено на 16-й ежегодной конференции по наддуву и регенерации выхлопных газов, проходившей в Техническом университете Дрездена в Германии. Компания CPT представила VTES (сокращение брэнда с английского), это гибрид между турбокомпрессором и электрическим двигателем, который отвечает за подачу воздуха и отработавших газов в камеры сгорания двигателя. VTES – это электротурбокомпрессор с переменным крутящим моментом, который входит в систему рециркуляции и регенерации выхлопных газов.

Принцип работы электротурбокомпрессора с переменным крутящим моментом практически не отличается от обычного турбокомпрессора, однако в электротурбокомпрессоре разработчики устранили самый главный недостаток в работе обычного турбокомпрессора – нестабильность работы при различных нагрузках двигателя и различном объеме выхлопных газов. За счет внедрения в конструкцию небольшого по габаритным размерам электродвигателя, способного включаться в работу и раскручивать вал электрокомпрессора, когда не хватает объема выхлопных газов для вращения турбинного колеса.

Разработчики электротурбокомпрессора VTES предусмотрели несколько этапов охлаждения воздушной массы в системе наддува, в конечном результате это необходимо для увеличения объема наддувочной воздушной массы подаваемой в цилиндры двигателя и уменьшения выделяемого тепла при сжигании рабочей смеси. Из основных достоинств работы электротурбокомпрессора VTES можно выделить сокращение выбросов CO₂ на 15-20 % в зависимости от типа двигателя и используемого топлива и следующие основные характеристики электротурбокомпрессора VTES:

- максимальная частота вращения: 70000 (об/мин);
- диапазон температуры для работы : -40° С ... +125° С;
- время выхода на максимальные обороты: < 350 мсек;
- максимальная мощность на валу: 1.7 кВт;
- потребляемый ток на холостом ходу двигателя: 1.5 А;
- потребляемый ток при разгоне: 350 А;
- потребляемый ток при устойчивой работе двигателя: 220 А;
- напряжение питания: 12 В.

С целью получения более точных данных о сокращении выбросов CO₂ и подтверждении эффективности работы электротурбокомпрессора, на двигателях, с установленными электротурбокомпрессорами VTES, были проведены испытания. В процессе проведения испытаний электротурбокомпрессоры устанавливались на различные типы легковых автомобилей с двигателями разного объема и мощности (как бензиновых, так и дизельных). Таким образом, эмпирическим путём было проверено и доказано, что во всех случаях на различных типах двигателей значительно возрастала мощность двигателя и уменьшались выбросы вредных веществ. Наблюдалось:

- 1) сокращение выбросов CO₂ и отсутствие потерь производительности двигателя при этом;
- 2) увеличение крутящего момента без увеличения выбросов CO₂ (в среднем от 30% до 50 % в зависимости от объема и вида топлива двигателя);
- 3) увеличение мощности двигателя на средних и низких оборотах (до 25 кВт в зависимости от объема и вида топлива двигателя);
- 4) сокращение времени на разгон до 15 %.

Наряду с зарубежными научными центрами, в Университете Машиностроения (МАМИ) ведутся разработки отечественной модели турбоэлектрокомпрессора. Авторы предложили принципиально новую конструкцию турбоэлектрокомпрессора с использованием обратимой электрической машины, ротор которой объединен с валом силовой турбины и компрессора.

Турбоэлектрокомпрессор имеет три режима работы. В первом режиме, при избытке мощности турбины над потребной мощностью компрессора, обратимая электрическая машина работает в режиме генератора и заряжает аккумулятор автомобиля. Во втором режиме, при избытке мощности турбины над необходимой мощностью компрессора и при заряженном аккумуляторе, обратимая электрическая машина работает в режиме генератора и питает бортовую сеть автомобиля вместо штатного генератора. Особенность третьего режима – при недостатке мощности турбины для работы компрессора, обратимая электрическая машина работает в режиме двигателя и «подкручивает» компрессор за счет энергии аккумулятора.

Также полученную электрическую энергию из кинетической энергии выхлопных газов можно накапливать в аккумуляторных батареях или суперконденсаторах, а затем использовать для работы электротурбокомпрессора.

Использование электротурбокомпрессора и систем регенерации энергии выхлопных газов – это кардинальный способ повысить энергоэффективность силовой установки и сократить расход топлива в среднем на 10-15 % в зависимости от типа двигателя и топлива. С учетом прогнозов специалистов об использовании традиционных двигателей внутреннего сгорания еще как минимум лет двадцать, использование систем регенерации кинетической энергии выхлопных газов актуально как с экономической, так и экологической точки зрения.

Литература

1. Патент РФ №2459097 «Электромеханическая система для двигателя внутреннего сгорания»
2. Патент US7891185; Deere & Company; Turbo-generator control with variable valve actuation.
3. Патент US7893554; Deere & Company; Turbo compounding system.
4. Патент US7950231; Deere & Company; Low emission turbo compound engine system.
5. Патент № 2010134216; Электро-турбокомпрессор.
6. Патент № 2216647; Turbocompressor.
7. Патент № 2427714; Turbo-electro-generator.
8. Патент № 2418957; Turbo-electro-generator.
9. <http://www.cpowert.com/products/tigers.htm>.
10. <http://www.cpowert.com/products/vtes.htm>.

Сравнительная оценка опорной проходимости автомобилей КамАЗ-4350, КамАЗ-43114 и Урал-4320-31 на сыпучем песке

к.т.н. с.н.с. Острецов А.В., к.т.н. Есаков А.Е., д.т.н. проф. Шарипов В.М.
Университет машиностроения
(495) 223-05-23, доб. 1111, avt@mami.ru

Аннотация. В статье приведены результаты экспериментальных исследований опорной проходимости автомобилей КамАЗ-4350, КамАЗ-43114 и Урал-4320-31 с шинами модели Кама-1260 на сухом сыпучем песке. Сравнительная оценка опорной проходимости проведена по основным показателям: удельной силе тяги на крюке, удельной силе сопротивления буксированию автомобиля, наибольшей скорости прямолинейного равномерного движения без нагрузки на крюке и наименьшему радиусу поворота автомобиля без потери проходимости.

Ключевые слова: полноприводный автомобиль, нагрузка на ось, система регулирования давления воздуха в шинах, опорная проходимость, удельная сила тяги на крюке автомобиля, удельная сила сопротивления буксированию, угол преодолеваемого подъёма, скорость движения, деформируемая опорная поверхность.

Тяговые и скоростные свойства автомобиля на деформируемой опорной поверхности и энергия, затрачиваемая на её деформирование и преодоление потерь в шинах, являются определяющими факторами опорной проходимости автомобиля. Соответствие нагрузочных