

дартными методами реализовать оптимальные алгоритмы функционирования в различных условиях эксплуатации и технического обслуживания. При этом дополнительно решаются следующие важные системные задачи:

- эффективное использование совокупности датчиков и активаторов, имеющихся на автомобиле;
- упрощение самой системы за счет распределения функций;
- унификация элементной базы и аппаратуры;
- упрощение и сокращение сроков разработки системы;
- стандартное выполнение диагностики и прогнозирования технического состояния системы.

Для практической реализации СЭС как открытой системы, если оставить в стороне специфические задачи по информационному обмену (предмет специальных исследований и разработок), необходимо определиться по номенклатуре датчиков и активаторов, а главное, определить алгоритмы работы системы.

Литература

1. Чернов А.Е. Разработка систем электроснабжения транспортных средств с улучшенными энергетическими и экологическими показателями: дис. ... канд. техн. наук [Текст] – М. МЭИ ТУ, 1994.
2. Чернов А.Е. Оптимизированная система электроснабжения для автотранспортных средств. // М.: Машиностроение, «Грузовик», № 6 2010.
3. Чернов А.Е., Сугробов А.М. Интеллектуальные системы электроснабжения автотранспортных средств. // М.: Машиностроение, «Грузовик», № 4, 2010.
4. Чернов А.Е., Акимов А.В., Кротов А.Н. Многофункциональный регулятора напряжения для генераторной установок нового поколения. / Известия МГТУ «МАМИ» №2 (10) 2010.
5. Чернов А.Е., Акимов А.В., Кротов А.Н. Адаптивные алгоритмы регулирования напряжения в системах электроснабжения АТС. // «Автомобильная промышленность» № 9, 2011.
6. Чернов А.Е., Акимов А.В. Системы электроснабжения АТС с Интеллектуальными алгоритмами, обеспечивающие повышение экологических и энергетических показателей. // Известия МГТУ «МАМИ» № 1(13), 2012.

Применение комбинированных силовых установок на автомобилях и экологическая безопасность окружающей среды

к.т.н. Шабанов А.В., к.т.н. Ломакин В.В., Шабанов А.А., к.т.н. проф. Сальников В.И.
МГУПИ, Университет машиностроения
avt@mami.ru

Аннотация. В данной статье приведен анализ тенденций развития современных автомобилей, который показывает, что наиболее перспективным направлением в решении энергетической и экологической проблемы на транспорте является применение комбинированных силовых установок.

Ключевые слова: комбинированные силовые установки автомобилей, экологическая безопасность окружающей среды

Потребление значительного количества топливно-энергетических ресурсов и в том числе на транспорте приводит к удорожанию нефтепродуктов, негативно влияет на состояние общей экологической обстановки. При современном насыщении больших городов автотранспортом все больше внимание уделяется при решении данной проблемы применению энергосберегающих технологий, снижению выбросов вредных веществ автотранспортом в окружающую среду. Поэтому приоритетной задачей при проектировании городских автомобилей является улучшение их топливно-экономических показателей.

Анализ тенденций развития современных автомобилей показывает, что наиболее перспективным направлением в решении энергетической и экологической проблемы на транс-

порте является применение комбинированных силовых установок (КЭУ) на автомобилях, которые кардинально обеспечивают (на 30-50%) улучшение энергетических и снижение выбросов парниковых газов CO₂ [1, 2, 3]. При этом бортовой электроникой обеспечивается постоянный мониторинг исправного состояния основных узлов и агрегатов автомобиля, влияющих на его экологические характеристики. В настоящее время действующими европейскими нормативными экологическими документами запрещено использование технологий, не обеспечивающих эффективный контроль за выбросами вредных веществ в условиях эксплуатации. При массовом применении комбинированных энергоустановок на автомобилях можно решить данные проблемы уже в самом ближайшем будущем. В последние годы почти все ведущие автомобильные компании мира освоили производство гибридных автомобилей и представили их на мировой рынок. Японская фирма Toyota объявляла о намерении в ближайшем будущем перейти исключительно на выпуск гибридов. Стоимость гибридных автомобилей для разных моделей выше, чем стоимость традиционных автомобилей, но в эксплуатации из-за дополнительных государственных льгот и низкого расхода топлива они оправдывают себя. В 2009г в США доля гибридов на рынке продаж автомобилей составляла 3% [4, 8].

Опубликованные в технической литературе результаты испытаний показывают, что гибридная силовая установка очень эффективна в режиме городского движения, где автомобиль большую часть времени работает на электротяге [4, 5, 6]. При проектировании комбинированных силовых установок для автомобиля ставятся несколько задач, направленных на улучшение топливно-энергетических характеристик автомобиля. Это обеспечение движения автомобиля на электротяге в городском цикле на режимах постоянных скоростей и малых нагрузок, движение на режимах разгона совместно на двигателе внутреннего сгорания и электродвигателе, сохранение динамических и скоростных качеств гибридного автомобиля.

В предыдущих публикациях по данной теме авторами данной статьи была сделана попытка обоснования применения у нас в стране комбинированных силовых установок на автомобилях и анализа основных характеристик гибридных автомобилей [5]. Попробуем в рамках данной статьи рассмотреть более подробно данную проблему, а также проанализировать особенности работы КЭУ с различными конструктивными схемами.

Анализ различных схем последовательного привода гибридного автомобиля

Поскольку при последовательной схеме привода, приведенной на рисунках 1 и 2, ДВС передает энергию только генератору, то мощность двигателя внутреннего сгорания должна быть равна мощности генератора.

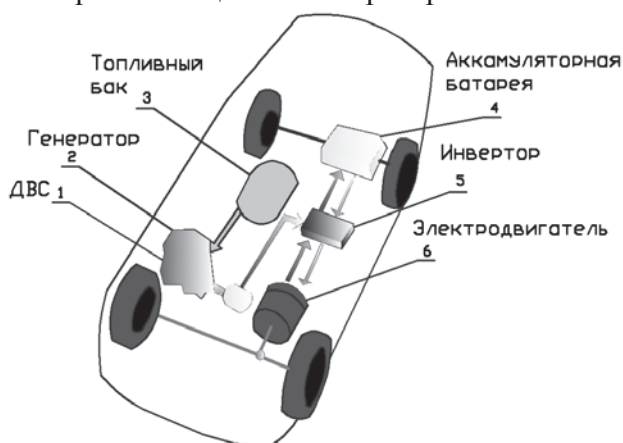
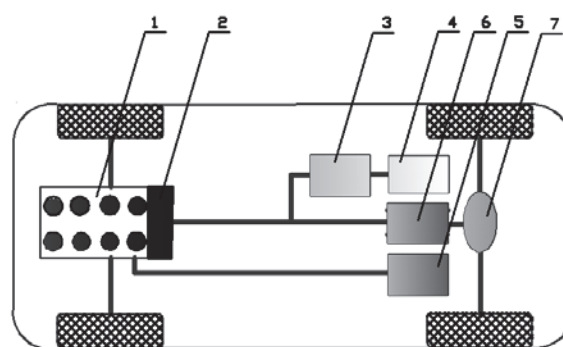


Рисунок 1. Последовательная схема с электроприводом на переднюю ось гибридного автомобиля



1-ДВС, 2-генератор, 3-преобразователь, 4-аккумуляторная батарея
5-топливный бак, 6-обратимая электромашина, 7-дифференциал

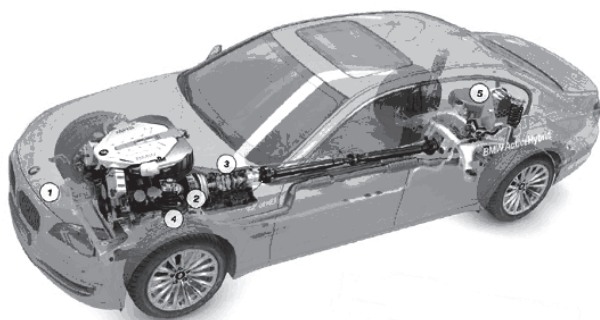
Рисунок 2. Последовательная схема с электроприводом на заднюю ось гибридного автомобиля

Этот принцип используется в электрической трансмиссии, когда необходимо передать большой момент с ДВС на колеса без применения механической трансмиссии. Вместе с тем решается проблема оптимизации работы энергоустановки по расходу топлива, т.к. двигатель внутреннего сгорания работает в области минимальных расходов топлива, при этом КПД

электропривода значительно выше, чем при использовании механической передачи. Тяговый электродвигатель обеспечивает весь необходимый силовой и скоростной диапазоны транспортного средства и при замедлении транспортного средства работает в режиме генератора, обеспечивая рекуперацию энергии торможения. Электродвигатель может быть размещён непосредственно в колесе. Исключение из привода коробки передач, сцепления и карданного вала позволяет существенно снизить инерционные массы и общую массу силового оборудования. Средняя мощность установившегося движения автомобиля в 3-5 раза меньше мощности требуемой для обеспечения динамики разгонов. Следовательно, снижение момента инерции вращающихся деталей положительно повлияет на динамику движения автомобиля и его расход топлива. При этом существенно снижается мощность, требуемая для разгона автомобиля. Появляется также возможность более свободной компоновки агрегатов силовой установки на автомобиле.

К недостаткам данной схемы следует отнести то, что у комбинированной энергоустановки этого типа происходит двойное преобразование энергии, и, следовательно, это приводит к большим потерям. Механическая энергия ДВС через генератор преобразуется в электрическую энергию и далее передается электромотору, который приводит в движение ведущие колеса автомобиля.

Японские автопроизводители на легковых автомобилях в серийном производстве применяют другую схему последовательного привода силовой установки. Например, на автомобиле Honda Insight установлен компактный 10 киловаттный электродвигатель на маховике двигателя внутреннего сгорания. Электродвигатель при этом является одновременно стартер-генератором и тяговым электродвигателем. Электромотор может включаться в работу на малых нагрузках и при интенсивных ускорениях городского цикла, помогая основному ДВС и управляя его запуском при остановках. Часть мощности ДВС идет на привод колес автомобиля, а другая передается через генератор для зарядки аккумуляторной батареи. ДВС можно отключить при полностью заряженной аккумуляторной батарее, и гибридный автомобиль будет передвигаться только на электротяге, данный тип привода называют управляемым гибридом (Direct Hybrid). Достоинством такого привода является простота конструкции. Выбранный алгоритм работы энергоустановки у гибрида Honda Insight позволил получить расход топлива 4,2 л на 100 км в городском цикле и 4,6 л в магистральном цикле. Общий вес силовой электроустановки всего составляет 75 кг. Под полом багажника установлен блок никель-металлогидридных аккумуляторов общим напряжением 144 В. Автомобиль со снаряженной массой 1650 кг обеспечивает хорошую динамику (время разгона до 100 км/ч составляет 12 с), максимальная скорость достигает 182 км/ч.



1 - ДВС V-8 (330 кВт), 2-мотор-генератор 15 кВт, 3 - автоматическая трансмиссия, 4 - электромотор 120В, 5 - Li-Ion батарея 120В

Рисунок 3. Конструкция последовательной схемы гибридной силовой установки автомобиля BMW-7 [4]

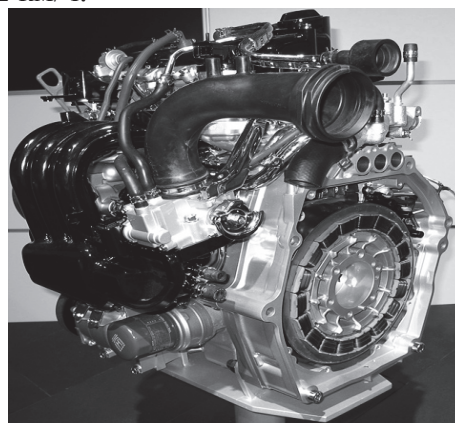


Рисунок 4. Конструкция гибридной силовой установки с мотор-генератором на маховике [4]

На рисунке 3 приведена схема механического последовательного привода гибридного автомобиля BMW-7 и на рисунке 4 конструкция гибридной силовой установки с мотор-генератором, установленным на маховике.

Анализ различных схем комбинированных энергоустановок параллельного типа

На рисунке 5 показана параллельная схема гибридного автомобиля, в которой двигатель внутреннего сгорания используется в качестве основного источника энергии, а электродвигатель используется в режимах старта, малых нагрузок и ускорения. Электродвигатель может работать как генератор для подзарядки аккумуляторов. Схема характеризуется простотой и низкой стоимостью. Достоинством параллельной схемы является более высокий КПД передачи энергии от первичного двигателя к ведущим колесам в сравнении с последовательной схемой и возможность применения одной электромашины вместо двух. Недостатком схемы является то, что ДВС работает на различных нагрузочных режимах, в том числе и на неоптимальных по экономичности, усложнении системы управления силовой установкой и применении ступенчатой механической трансмиссии при регулировании скорости движения.

Параллельную схему применяют на гибридных автомобилях Honda Civic, Honda CR-Z, Hyundai Sonata, Porsche Cayenne, Cadillac Escalade и др. У гибридных автомобилей Honda расход топлива относительно аналогов в смешанном европейском цикле снизился на 50% и у Hyundai Sonata 30%, а Porsche Cayenne и Cadillac Escalade на 27% и 23% соответственно. При сравнении характеристик автомобилей с комбинированными энергоустановками и их аналогами, приведенными в таблице 1, видно, что гибридные автомобили имеют несколько больший вес (от 100 до 170 кг) из-за установки на них дополнительных агрегатов, мотор-генераторов и аккумуляторных батарей, но динамические и скоростные качества у них не ниже аналогов.

Таблица 1

Характеристики автомобилей с бензиновыми ДВС и с комбинированными энергоустановками [4]

Автомобили	Масса, кг	Литраж ДВС, л	Мощность ДВС, кВт	Мощность электродвигателя, кВт	Суммарная мощность силовой установки, кВт	Расход топлива л/100км	CO ₂
Toyota Corolla (впрыск бен.)	1250/1750	1,8	108	-	-	EU 8,7/5,5/6,7	155
Toyota Corolla (гибрид)	1380/1805	1,8	73	60	100	EU 3,8/3,8/3,8	89
Toyota Prius (гибрид)	1370/1805	1,8	73	60	100	EU 3,9/3,7/3,9	89/92
Honda Inspire (впрыск бензина)	1610	3,47	206	-	-	9,0	
Honda Insight (гибрид)	1200/1650	1,34	65	10	72	EU 4,2/4,6/4,4	101
Mercedes-Bens S350 (впрыск бен.)	1835/2505	3,5	225	-	-	EU 10,8/6,5/8,1	
Mercedes-Bens S400 (гибрид)	1880/2550	3,5	205	15	220	EU 10,8/6,4/4,8	188
Hyundai Sonata Fe (впрыск бен.)	1725/2505	2,35	128	-	-	EPA 11,7/6,9/8,7	
Hyundai Sonata (гибрид)	1515	2,36	126	30	156	EPA 6,4/6,0/6,2	
Porsche Cayenne (впрыск бен.)	1995/2765	3,6	220	-	-	EU 15,9/8,4/11,2	263
Porsche Cayenne (гибрид)	2240/2910	3,0	245	34	279	EU 8,7/7,9/8,2	193
Cadillac Escalade (впрыск бен.)	2500/3310	6,2	301	-	-	EU 20,1/11,3/14,5	339
Cadillac Escalade (гибрид)	2780/3400	6,0	248	60	374	EU 11,6/10,7/11,1	264
Lexus LS 460 (впрыск бен.)	1945/2495	4,6	280	-	-	EU 17,2/8,4/11,6	261
Lexus LS 600h (гибрид)	2270/2400	5,0	290	165	327	EU 11,2/8,0/9,3	218

В МГТУ «МАМИ» создан экспериментальный образец полноприводного автомобиля на базе УАЗ-3153 с оригинальной ГСУ параллельного типа, когда обратимая электромашина устанавливается в приводе раздаточной коробки передач. Выбранная компоновка, представленная на рисунке 6, позволяет обеспечить максимальную унификацию с серийно выпускаемым автомобилем [6]. С одной стороны к раздаточной коробке автомобиля через коробку передач подводится крутящий момент от ДВС, с другой – от электрической машины, работающей как в режиме тягового электродвигателя, так и в режиме генератора. Для накопления

энергии при торможении автомобиля генератор заряжает накопитель энергии.

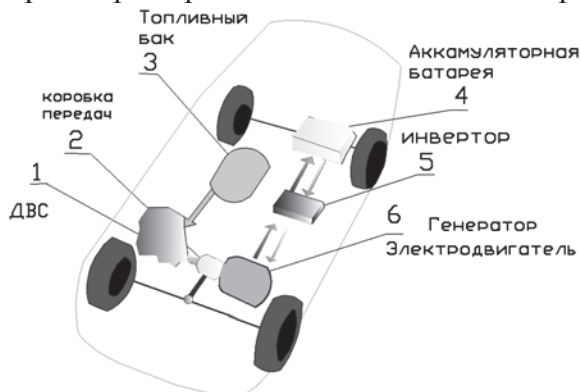


Рисунок 5. Параллельная схема гибридной силовой установки с приводом на передний мост

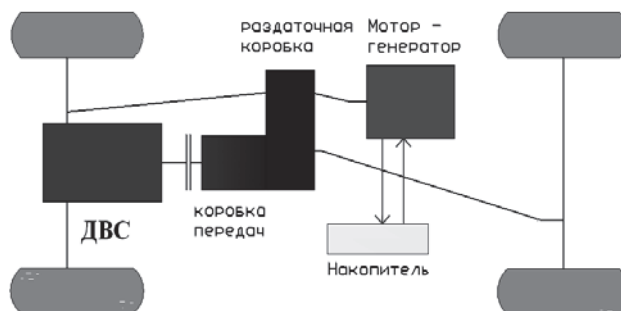


Рисунок 6. Схема автомобиля УАЗ-3153 с КЭУ параллельного типа

Смешанная схема комбинированной энергетической установки

Последовательно-параллельная схема работы гибрида наиболее сложная. Данную схему в технической литературе называют «Full Hybrid» (полный гибрид), она применяется на автомобилях Toyota Prius, Lexus LS 600h и других моделях [4, 7]. Данная конструкция ГСУ может работать как последовательно, так и параллельно в зависимости от режима работы и имеет достаточно высокий КПД при передаче энергии от ДВС к ведущим колесам. В дополнение к параллельной схеме добавляется генератор и планетарный механизм – делитель мощности.

В смешанной схеме поток мощности от ДВС и электромотора к ведущим колесам разделяется. Силовые агрегаты соединены с отдельными входами планетарного редуктора. При такой схеме обеспечивается эффективное управление потоками мощности от электромотора и ДВС. В городском испытательном цикле гибридный автомобиль с данной схемой 80 % времени работает от аккумуляторов. На высоких скоростях и движении с постоянной скоростью подключается двигатель внутреннего сгорания, при этом обеспечивается его работа в режиме минимальных расходов топлива и токсичности. При ускорении включается электромотор, и силовая установка работает по параллельной схеме. Генератор используется для подзарядки аккумуляторов, а электродвигатель для движения гибрида. Схема обеспечивает низкий расход топлива, однако механическая часть трансмиссии и система управления силовой установкой автомобиля усложняется. На автомобиле Toyota Prius было получено снижение расхода топлива 55% в европейском городском цикле и 42% в смешанном цикле относительно аналога Toyota Corolla. У гибридного автомобиля Lexus LS 600h снижение расхода топлива в европейском городском цикле составило 35% относительно аналога Lexus LS 460 и 35% в смешанном цикле.

В таблице 1 приведены характеристики некоторых автомобилей с комбинированными энергоустановками и с бензиновыми ДВС, их аналогами [4].

Как видно из таблицы 1, гибридные автомобили имеют относительно больший вес (от 100 до 170 кг), чем их аналоги, так как на них установлены дополнительные агрегаты, в том числе мотор-генераторы и аккумуляторные батареи, но динамические и скоростные качества у них не ниже аналогов. Там же показан расход топлива автомобилей в Европейских испытательных циклах (EU) и американских (EPA). Первая цифра показывает расход в городском цикле, вторая – в магистральном, третья – в смешанном, наиболее представительном цикле при эксплуатации автомобиля.

Анализ применяемых аккумуляторных батарей гибридных силовых установок

Прежде всего надо сказать, что каждый тип аккумуляторных батарей имеет свои преимущества и недостатки. Для гибридных автомобилей для практического использования необходимы бортовые источники электроэнергии, которые удовлетворяли бы по энергоемкости, габаритам, времени заряда, рабочему диапазону температур, сроку службы, числу за-

рядных циклов, весу и стоимости [7]. В начале 2000-х гг. применение получили литий-ионные, а затем и литиево-полимерные (Li-Ion) аккумуляторы с сухим твердым электролитом. Разработчики аккумуляторных энергоносителей в настоящее время продолжают активно совершенствовать литий-ионные и литиево-полимерные аккумуляторы. Для сравнения следует отметить, что удельная энергоемкость литий-ионных аккумуляторов может в 15 раз превышать энергоемкость свинцовых аккумуляторов. Но чистый литий из-за чрезмерной активности в аккумуляторах не используют. Для безопасности применяют в батареях соединения лития, при этом энергоемкость литий-ионных аккумуляторов значительно снижается, но она по крайней мере втрое превышает энергоемкость свинцовых аккумуляторов. Li-Ion-аккумуляторам характерен 5-10% саморазряд, если не используется, число их рабочих циклов существенно зависят от разрядной мощности батарей [8]. На рисунке 7 приведен внешний вид Li-Ion-аккумулятора, применяемого фирмой Renault на гибридном автомобиле [7].



Рисунок 7. Литий-ионных аккумулятор (Li-Ion) гибридного автомобиля Renault

Таблица 2

Характеристики энергоустановки японских гибридных автомобилей [4]

Автомобили	Масса, кг	Литраж ДВС, л	Мощность ДВС, кВт (Нном)	Мощность электродвигателя, кВт	Суммарная мощность силовой установки, кВт/Нм	Тип аккумуляторов силовой установки	Характеристики силовой установки	Характеристики аккумуляторов силовой установки
Honda Civic (гибрид //)	1249 Σ1720	1,34	70 (6000)	15	84	Никель-металлогидр. (Ni-MH)	Электромотор 158в	5,5 Ah
Honda Insight (гибрид последоват.)	1200- Σ1650	1,34	65 (5800)	10	72	Никель-металлогидр. U=100,8В	Электромотор 0-1500 1/мин	5,75Ah
Hyundai Elantra (гибрид)	1300 Σ1740	1,59	84 (6000)	15		Li-Polymer U=180в	Электромотор	5,3Ah
Lexus RX (гибрид) С 2004г.	2045 Σ2560	3,5	183(6000)	123	219	Никель-металлогидр. (Ni-MH), U=288В 45 кВт	Электр.синх.АС, 650В	6,5 Ah
Lexus LS 600h (гибрид смеш.)	2270 Σ2400	5,0	290 (6400)	165	327	Никель-металлогидр. (Ni-MH), U=288В 45 кВт	Электр.синх, 650В	-
Lexus HS (гибрид) С 2008г	1670	2,4	110(6000)	105	139	Никель-металлогидр. (Ni-MH),U=244,8В 29,8кВт	Электромот.синх. АС, 650в	6,5 Ah 168*1,2в
Toyota Crown (гибрид)	1840 Σ2115	3,45	218(6400)	147	254	Никель-металлогидр. (Ni-MH), U=288В	Электр.синх. АС, 650в	-
Toyota Prius (гибрид смеш.)	1370 Σ1805	1,8	73 (5200)	60	100	Никель-металлогидридная (Ni-MH)	Электромот.синх. АС, Генератор 650в	168 шт. по 1,2в 28 модулей
Toyota Camry (гибрид)	1670	2,36	110 (6000)	105	140	Никель-металлогидр. (Ni-MH) U=244,8v 29,8кВт	Электромот. 120в	6,5 Ah
BMW 7 (гибрид)	2045 Σ2635	4,4	330(5500)	15	345	Li-Ion U=120в	Электронитор 120в	-
Nissan Altima (гибрид)	1575 Σ2055	2,5	116 (5200)	30	146	Никель-металлогидр. (Ni-MH), U=245В	Электр.синх. АС, 650В	-

В настоящее время в автомобилестроении нашли широкое применение никель-металлогидридные аккумуляторы, которые уступают литиевым по энергоемкости запасаемой энергии и большим массогабаритным показателям, но, учитывая, что аккумуляторы находят-

ся у гибридных автомобилей при непрерывном разрядно-зарядном цикле, этот фактор не является определяющим. В таблице 2 приведены характеристики энергоустановок гибридных автомобилей, которые дают в автомобильных каталогах более полную информацию о силовых установках [4].

Отметим особенности применяемой аккумуляторной батареи, установленной на гибридных автомобилях Lexus. Высоковольтная герметичная никель-металлогидридная батарея (Ni-MH) имеет большую плотность энергии, низкую массу и обеспечивает ресурс, сопоставимый с ресурсом гибридного силового агрегата. В период нормальной эксплуатации автомобиля автоматически поддерживается постоянный уровень заряженности высоковольтной батареи. Батарея состоит из 240 элементов (40 блоков по 6 элементов) и обеспечивает номинальное напряжение равное $U=288\text{В}$ (240 элементов напряжением 1,2В). Высоковольтная батарея установлена в багажном отделении за задним сиденьем и состоит из блоков, последовательно соединенных шиной. Там же расположены и другие электронные элементы электроустановки, обеспечивающие нормальную работу батареи [7].

Мотор-генератор комбинированных энергоустановок гибридных автомобилей

В диапазоне мощностей мотор-генераторов от 20 до 70 кВт наибольшее развитие получили асинхронный электропривод и электропривод с синхронным двигателем на основе постоянных магнитов. Имеются экспериментальные разработки с использованием вентильно-индукторного привода.

Отметим, что в настоящее время нет достоверной методики сравнительной оценки электродвигателей различных типов. Электропривод с синхронным двигателем на основе постоянных магнитов имеет некоторое преимущество в коэффициенте полезного действия. В асинхронном электродвигателе уменьшение мощности обеспечивается при ограничении напряжения питания двигателя за счет соответствующего ослабления магнитного поля. В синхронном приводе с постоянными магнитами поле практически не регулируется, что приводит к необходимости завышения установленной мощности преобразователя в 3—10 раз. Для приводов транспортных средств категории М1 это приемлемо, но для более тяжелых автомобилей категории М2 и N2 это приводит к существенному удорожанию системы привода.

Тяговый электродвигатель и мотор-генератор в гибридном автомобиле питаются от силового преобразователя, максимальную выходную частоту которого можно регулировать и устанавливать в диапазоне до 500 Гц и более, в отличие от асинхронных двигателей, питаемых от сети с частотой 50 Гц.

Указанное отличие является принципиальным, поскольку появляется возможность существенного снижения массы тяговых двигателей практически без снижения их КПД. Вопросы оптимизации электродвигателей для транспортного применения связаны не только с оптимизацией самого двигателя, но и с его охлаждением, конструкцией, выбором режимов его работы во всех областях частот вращения и нагрузок.

При проектировании силовой установки необходимо учитывать, что соотношения максимального и минимального моментов по частоте вращения M_{\max}/M_{\min} составляют около 2, а у двигателя внутреннего сгорания 25%. При этом максимальный момент у мотор-генератора в отличие от ДВС находится на максимальной частоте вращения, а у ДВС в средней зоне скоростного диапазона работы. Следовательно, передаточное соотношение привода должно согласовывать характеристики ДВС и мотор-генератора.

Режимы работы электродвигателей в тяговых приводах и в генераторах существенно различаются, поэтому оптимальный тип ЭД для мотора-генератора назвать трудно. В одних вариантах это асинхронный двигатель с короткозамкнутым ротором, в других – синхронный с постоянными магнитами. В последнее время появились новые методики оптимизации параметров асинхронных двигателей, влияющих на их выходные характеристики. Исследования показали, что у асинхронного двигателя имеются значительные резервы совершенствования конструкции. При проектировании высокоэффективных асинхронных двигателей с меньшей массой и повышенным КПД активную часть статора и ротора АД целесообразно сосредоточивать на окружности двигателя, а в центральной части, не участвующей в форми-

ровании электромагнитного поля, активные материалы не применять.

Выводы

Проведенный анализ показал, что бурно развивающаяся в последние годы гибридизация широкого круга моделей автомобилей является одним из основных направлений в решении энергетических и экологических проблем на транспорте. Применение комбинированных силовых установок на автомобилях позволяет на 30-50% расход топлива и снизить выбросы парниковых газов CO₂.

Производители гибридных автомобилей используют разные схемы привода и компоновочные решения при проектировании гибридных автомобилей, что говорит о различии в подходах конструкторов для достижения поставленных целей. Наилучших результатов добились японские автомобильные компании Toyota и Honda на гибридных автомобилях Toyota Prius, Toyota Corolla и Honda Insight благодаря оптимальному подбору параметров силовой установки и выбору алгоритму ее управления.

В настоящее время на гибридных автомобилях нашли широкое применение мотор-генераторы и электродвигатели асинхронного и синхронного типа, а также никель-металлгидридные и литиевые аккумуляторы. Применяемые аккумуляторы имеют хорошую энергоемкость и удовлетворительные массогабаритные показатели. При этом конструкторы продолжают совершенствование силовых установок, применяя новые технологии и методики оптимизации параметров.

Литература

1. Гусаров А.П. Потребление топлива и выбросы CO₂ автомобилями. Журнал ААИ, № 3(56), 2009.
2. Ломакин В.В., Карпучин К.Е., Кондрашов В.Н. Тенденции развития автомобилостроения. Учебное пособие. МАМИ. Москва. 2008.
3. Вайсблум М.Е. Европейский подход к снижению CO₂. ААИ № 3 (62), 2010, с. 59.
4. Каталоги автомобилей 2006-2011г. Automobil revue.
5. Шабанов А.В. Шабанов А.А. Гибридные автомобили и новый этап экологической безопасности при совершенствовании конструкции автомобильных силовых установок. М.: МГУПИ, Вестник МГУПИ № (серия «Машиностроение»), 2012.
6. Бахмутов С.В., Селифонов В.В., Ломакин В.В., Круташов А.В., Карпучин К.Е., Баулина Е.Е. Автомобили с гибридной силовой установки. Учебное пособие для вузов М.: МГТУ «МАМИ», 2009. 136 с.
7. Electric & Hybrid Vehicle Technology International. January 2013.
8. Петров В.Ю. Легковой транспорт будущего: электромобили, водородные или традиционные автомобили? М.: «Автомобильная промышленность», 2009, № 5.

Автоколебательные процессы в сцеплениях автомобилей и тракторов

д.т.н. проф. Шарипов В.М., к.т.н. проф. Маринкин А.П., к.т.н. доц. Шарипова Н.Н.,
к.т.н. проф. Щетинин Ю.С., Климова Е.В., Тарасова Л.И.

Университет машиностроения
8(495)223-05-23 (1111), trak@mami.ru

Аннотация. Приведены результаты экспериментальных исследований, подтверждающие, что в реальной эксплуатации автомобиля и тракторного агрегата автоколебания на парах трения фрикционного сцепления не возникают. Это относится к фрикционным сцеплениям с асбестовыми, безасбестовыми полимерными и спеченными порошковыми фрикционными накладками.

Ключевые слова: фрикционное сцепление, фрикционная накладка, автоколебательный процесс, момент трения.

В работах [1, 2] рассматриваются автоколебательные процессы на парах трения сухого фрикционного сцепления (ФС). Природа этого явления подробно изложена в работе [3]. При