

УДК 621.311

ОБЗОР РАЗРАБОТОК ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ С КОМБИНИРОВАННЫМИ СИЛОВЫМИ ЭНЕРГОУСТАНОВКАМИ

Лазарев Д.Б.

ФГБОУ ВПО «Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ)», Москва, Россия (125319, Москва, Ленинградский проспект, 64)

В статье представлен обзор существующих решений по улучшению показателей энергетической эффективности и экологической безопасности транспортных средств за счет применения в составе силовой установки автотранспортных средств электрического привода. Автомобили с комбинированной энергетической установкой (КЭУ) и электромобили – являются основными объектами реализации технических решений, в связи с этим анализ информации о существующих тенденциях в развитии данного вида транспорта, а также техническом уровне производимых автотранспортных средств (АТС), является необходимым условием выбора оптимального направления исследований. В настоящее время наиболее распространенными конструкциями КЭУ являются сочетание двигателя внутреннего сгорания, аккумуляторной батареи и одной или двух электрических машин – электродвигателей-генераторов.

Ключевые слова: автомобиль, комбинированная энергетическая установка, аккумуляторные батареи, двигатель внутреннего сгорания, генератор, силовой агрегат.

REVIEW OF DEVELOPMENTS VEHICLES WITH COMBINED POWER SYSTEMS

Lazarev D.B.

Federal state educational institution «Moscow state automobile and road technical University (MADI)», Moscow, Russia, 125319, Moscow, Leningradsky Prospekt, 64)

The article presents an overview of existing solutions to improve the performance of energy efficiency and environmental safety of vehicles through the use of the power plant as part of an electric drive motor vehicles. Hybrid vehicles and electric vehicles – are the main objects of the implementation of technical solutions in this regard, the analysis of information on current trends in the development of this mode of transport, as well as the technical level produced vehicles is a prerequisite for choosing the optimal research directions. Currently, the most common are the combination of constructs hybrid vehicles with internal combustion engine, battery and one or two electric machines – motors-generators.

Keywords: the car, the combined power unit, rechargeable battery, internal combustion engine, generator, the power unit.

Введение

Автомобили с комбинированной энергетической установкой (КЭУ) и электромобили – являются основными объектами реализации технических решений, в связи с этим анализ информации о существующих тенденциях в развитии данного вида транспорта, а также техническом уровне производимых автотранспортных средств (АТС), является необходимым условием выбора оптимального направления исследований.

Обзор HondaInsight II

HondaInsight II (Япония) автомобиль второго поколения создан на базе нового автомобиля Fit/Jazz с 1,34-литровым 8-клапанным ДВС L13A. Со степенью сжатия 10,8 данный ДВС развивает 88 л.с. при 5800 мин⁻¹, максимальный крутящий момент – 121 Н·м.



Рис. 1 HondaInsight II

ДВС автомобиля HondaInsight II работает в составе комбинированного силового агрегата IMA (IntegratedMotorAssist). Последний включает в себя выполненный в единой конструкции с маховиком бесконтактный стартер-генератор на основе синхронной электрической машины: максимальная мощность электродвигателя-генератора – 10 кВт при 1500 мин^{-1} ; максимальный крутящий момент – 79 Н·м (от 0 мин^{-1}). Общая мощность энергетической установки IMA – 98 л.с., тогда как суммарный крутящий момент достигает 167 Н·м (при 1000 мин^{-1}). Общий вид гибридной силовой установки АТС HondaInsight II и ее основных агрегатов изображен на рис.2 и 3.



Рис. 2. ДВС автомобиля HondaInsight II с силовым агрегатом IMA

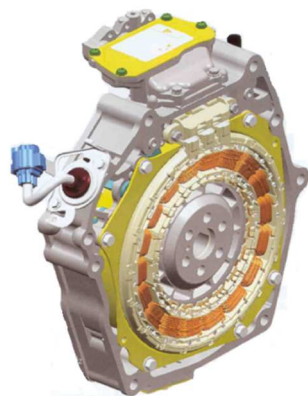


Рис. 3. Синхронный электродвигатель-генератор AC55 автомобиля HondaInsight II

Силовой агрегат автомобиля HondaInsight II сопряжен с бесступенчатым вариатором. Таким образом, HondaInsight II – так называемый «частичный гибрид» (в отличие от «полных» – типа Prius японской фирмы Toyota), силовой агрегат которой работает по параллельной

схеме. Термин «частичный гибрид» – означает, что в автомобиле не предусмотрен режим движения только за счет электрической тяги, при этом тяговый электродвигатель-генератор (ЭДГ) лишь «помогает» ДВС при разгоне. Поэтому данный автомобиль невозможно модифицировать по перспективной схеме plug-in (с зарядом батареи от сети).

Свою роль в снижении расхода топлива играет инновационный газораспределительный механизм ДВС L13A – под обозначением VCM (VariableCylinderManagement). Механизм с двухрежимным изменением фаз газораспределения с электронным управлением допускает деактивацию впускных и выпускных клапанов. Тем самым при замедлении автомобиля (в режиме рекуперации) цилиндры выводятся из рабочего процесса, при этом резко уменьшаются так называемые насосные потери [5,10].

Обзор EscaladeHybrid

Автомобиль американского концерна GeneralMotors марки EscaladeHybrid оснащен инновационным гибридным силовым агрегатом, способным работать в двух режимах. Обеспечивают высокие показатели топливной экономичности при движении как в городе, так и по автомагистрали, при сохранении всех функциональных возможностей в части маневренности и проходимости автомобиля. В городских условиях современная гибридная система позволяет АТС Escalade трогаться с места и двигаться на низкой скорости исключительно за счет ЭДГ. В случае необходимости дополнительной мощности система организует совместную работу ЭДГ и ДВС.



Рис. 4. EscaladeHybrid

Трансмиссия с электронным управлением (ElectronicallyVariableTransmission – EVT) автомобиля EscaladeHybrid управляет переключением передач в обоих режимах. В первом режиме она работает как обычный вариатор (CVT), постоянно регулируя передаточные числа для достижения наивысшей энергетической эффективности. На повышенных скоростях система EVT способна выбрать одно из четырех фиксированных передаточных чисел и работать как традиционная автоматическая коробка передач. EVT использует систему оптимизации гибридной силовой установки HybridOptimizationSystem, которая

автоматически выбирает оптимальный режим движения – режим только электрической тяги, режим традиционного автомобиля или гибридный режим.

Так же, как и другие гибридные АТС, например, Toyota Prius, Escalade Hybrid способен генерировать энергию во время движения. При движении накатом и при торможении электрическая энергия накапливается в 300-вольтовом никелевом аккумуляторе, который у Cadillac получил название Energy Storage System (система хранения энергии).

В EscaladeHybrid используется система активного управления подачей топлива Active Fuel Management, которая отключает часть цилиндров ДВС, когда требуется меньшая мощность, например, при равномерном движении по шоссе [5].

Краткие технические характеристики ГСУ:

Рабочий объем ДВС, см³: 5967

Количество цилиндров ДВС: 8

Мощность ГСУ, л.с. при мин⁻¹:332/5100

Максимальный крутящий момент ГСУ, Н·м. при мин⁻¹:497/4100

Расход топлива в городском цикле, л/100 км:11,8

Расход топлива в загородном цикле, л/100 км:11,2

Обзор LexusGS 450h

LexusGS 450h японской компании Toyota – это первый в мире заднеприводный седан класса «премиум», оснащенный гибридным приводом, демонстрирующий высокие тягово-динамические показатели и топливную экономичность.



Рис. 5. LexusGS 450h

Для достижения высоких тягово-динамических показателей, эффективности и экономичности в GS 450h применена новая конструкция гибридного привода, которая включает в себя двигатель внутреннего сгорания, расположенный спереди продольно, и гибридную трансмиссию с приводом на заднюю ось. При этом движение автомобиля может обеспечиваться как одним электромотором, так и его совместной работой с бензиновым двигателем.

Установленный на автомобиле бензиновый двигатель V6 объемом 3456 см³ с системой двойного впрыска D-4S (непосредственный впрыск в цилиндр и распределенный впрыск), системой Dual VVT-i (электронная система регулировки фаз газораспределения впускных и выпускных клапанов) развивает максимальную мощность 296 л.с. и крутящий момент 368 Н·м при 4800 об/мин, а компактный электродвигатель мгновенно развивает мощность 200 л.с. и крутящий момент 275 Н·м. Общая мощность гибридной силовой установки GS 450h составляет 345 л.с., что делает его самым мощным седаном с гибридным приводом и первым автомобилем с гибридной силовой установкой, удельная мощность которой достигла значения 100 л.с. на литр рабочего объема двигателя внутреннего сгорания.

Суммарный момент двух двигателей передается на задние колеса через вариатор. Условно он имеет 6 ступеней, а фактически – это бесступенчатая передача [5].

Краткие технические характеристики ГСУ:

Двигатель внутреннего сгорания:

Рабочий объем, см³: 3457

Количество цилиндров: 6

Мощность, л.с. при мин⁻¹: 339/6400

Крутящий момент, Н·м при мин⁻¹: 368/4800

Расход топлива, городской цикл, л/100 км: 8,7

Расход топлива, загородный цикл, л/100 км: 7,8

Максимальная скорость, км/ч 211

Время разгона до 100 км/ч, с: 5,2

Электродвигатель:

Максимальная мощность, кВт: 147

Максимальный крутящий момент, Н·м: 275

Обзор Toyota Prius III

Автомобиль японской фирмы Toyota Prius третьего поколения является дальнейшим совершенствованием гибридной системы THS (Toyota Hybrid System). Силовая установка Prius включает ДВС с рабочим объемом 1,8 л и синхронный ЭДГ с планетарным делителем мощности.



Рис. 6. ToyotaPriusIII

Расход топлива ToyotaPriusIII в смешанном режиме движения находится на уровне 4,7 л на 100 км (4,7 л в городе, 4,8 л по трассе), что подтверждено опытной эксплуатацией.

Новыми для Prius 2010 г. являются режимы работы ГСУ. Режим только электрической тяги (Pure EV) осуществляется с неработающим ДВС до скорости 40 км/час и в случае малого ускорения при разгоне. Экономичный режим «Eco» корректирует резкие нажатия на педаль акселератора и сокращает степень открытия дроссельной заслонки на 11,6 %. Режим «Power», напротив, повышает степень открытия дроссельной заслонки, особенно в среднем диапазоне частот вращения [5,13].

Краткие технические характеристики ГСУ:

Двигатель внутреннего сгорания:

Тип: бензиновый

Число цилиндров: 4 (в ряд) VVT-I

Рабочий объем, см³: 1798

Количество цилиндров: 4 (DOHC)

Мощность, л.с. при мин⁻¹: 98/5200

Крутящий момент, Н·м при мин⁻¹:142/4000

Расход топлива, л/100 км (городской цикл):4,9

Расход топлива, л/100 км (загородный цикл):4,6

Расход топлива, л/100 км (смешанный цикл):4,7

Электродвигатель:

Максимальная мощность, кВт: 60

Максимальный крутящий момент, Н·м: 207

Обзор Фольксваген Touareg V6 TSI Hybrid

ЭДГ Touareg V6 TSI Hybrid, с максимальными значениями мощности и момента 38 кВт (52 л.с.) и 300 Н·м соответственно, функционирует совместно с шестицилиндровым ДВС V6 TSI, работает в генератором режиме при рекуперации энергии и обеспечивает электропитание автомобильного электрооборудования.



Рис. 7. TouaregV6 TSIHybrid

На рис. 8 представлена конструкция силовой установки автомобиля Touareg V6 TSI Hybrid, основные элементы которой:

- 1) Маховик;
- 2) Диск сцепления;
- 3) Корзина сцепления;
- 4) Коренной подшипник;
- 5) Станина электромотора;
- 6) Разъём подключения силовой электроники;
- 7) Статор;
- 8) Ротор.

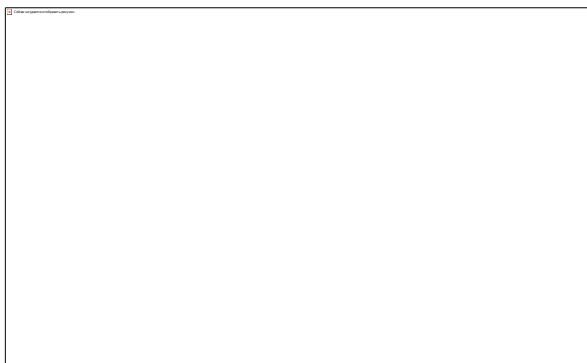


Рис. 8. Конструкция силовой установки автомобиля Touareg V6 TSI Hybrid

В спортивном режиме (положение "S" коробки передач) оба двигателя (электрический и тепловой) реализуют суммарную мощность 275 кВт (374 л.с.), при этом обеспечивая высокие тягово-динамические показатели – разгон до 100 км/ч за 6,8 секунд.

В тестовой конфигурации гибрид Touareg V6 TSI показывает предельно низкие значения выбросов CO₂ (меньше 210 г/км.). Такие цифры удовлетворяют нормам Евро-5 и ULEV2.

Используемая в составе ГСУ никель-металлогидридная аккумуляторная батарея конструктивно состоит из 240 отдельных ячеек, каждая номинальным напряжением 1,2 В, что обеспечивает напряжение 288 В. Масса батареи 67 кг. Устройство контроля заряда и температуры постоянно отслеживает характеристики батареи. Наличие системы контроля

режима работы АБ позволяет существенно продлить срок службы аккумуляторной батареи, это немаловажно, учитывая тот факт, что стоимость батареи, как правило, превышает 30 % стоимости АТС с ГСУ [2].

Краткие технические характеристики ГСУ:

Двигатель внутреннего сгорания:

Тип: бензиновый

Число цилиндров:6

Мощность максимальная, л.с.: 331

Расход топлива, л/100 км (смешанный цикл):8,7

Электродвигатель:

Максимальная мощность, кВт: 32

Максимальный крутящий момент, Н·м: 300

Выводы

Анализируя все данные, можно сделать вывод о том, что в настоящее время наиболее распространенными конструкциями КЭУ является сочетание двигателя внутреннего сгорания, аккумуляторной батареи и одной или двух электрических машин – электродвигателей-генераторов. Рассматривая тип используемого топлива и применяемых двигателей внутреннего сгорания в составе КЭУ транспортных средств, следует отметить, что автомобили с полной массой до 3,5 т преимущественно оснащаются бензиновыми ДВС (автомобили фирм Toyota, Honda, Ford и др.) [1,3, 7, 11, 16, 14]. АТС с полной массой более 3,5 т, в том числе автобусы и грузовые автомобили, оборудуются дизельными ДВС (MAN [8], Volvo [6], Daimler [12] и др.).

В качестве батарей накопителей энергии распространение получили батареи на основе никель-металлогидридных (Ni-MH) аккумуляторов (автомобили фирм Toyota, Honda), но в настоящее время отмечается тенденция к применению литий-ионных (Li-Ion) АБ, имеющих более высокие показатели удельной энергии и мощности в сравнении с другими типами аккумуляторов (автомобили фирм Mercedes-Benz, BMW [4]). Последний факт объясняется сравнительным удешевлением данных источников тока за последние годы.

В отношении типов электрических машин, применяемых в составе КЭУ, анализ существующих разработок АТС свидетельствует о том, что в части применения тяговых электродвигателей-генераторов предпочтение отдается бесконтактным ЭДГ переменного тока, а именно синхронным машинам (СМ) с возбуждением от постоянных магнитов (ПМ) (автомобили фирм Toyota, Honda и др.) и асинхронным машинам (АМ) с короткозамкнутым ротором (автомобили совместного производства фирм Ford и AzureDynamics [9], автобусы фирмы MAN [11], разработки фирмы Siemens [15]).

Список литературы

1. 1052 Daimler Orion VII Hybrid Buses Ordered. [Электронный ресурс]: The Energy Blog. – Electronic text data. – 2007.
2. Advanced Vehicle Testing Activity. [Электронный ресурс]: Idaho National Laboratory. – Electronic text data. – Idaho, 2010.
3. AZD. Azure Dynamics part of the solution. [Электронный ресурс]: Azure Dynamics Inc . – Electronic text data. – Oak Park, 2010.
4. Bernhard, Bjoern. Hybrid drives for off-road vehicles // Fisita World Automotive Congress, Barcelona, 2004.
5. Chevrolet. [Электронный ресурс] – URL: <http://www.chevrolet.com/silverado-hybrid/>
6. Edmunds. [Электронный ресурс]: URL: <http://www.edmunds.com/nissan/leaf/2011/road-test2.html>
7. ELFA – The modular drive system [Электронный ресурс]: Siemens AG. – Electronic text data. – 2010.
8. FrancfortJames. Hybrid Electric Vehicle Fleet and Baseline Performance Testing. – Idaho: Idaho National Laboratory, 2006.
9. French, D. A., “Hybrid Electric HMMWV Powered By UQM Propulsion Systems Begins Cold Weather Evaluation At The U.S. Army’s Cold Regions Test Center”, Press Release 03-27, UQM Technologies, Inc., pp. 1-3, January 22nd, 2003.
10. UQM Company Presentation [Электронный ресурс] Honda. [Электронный ресурс] – URL: <http://automobiles.honda.com/civic-hybrid/>
11. MAN urbanbuses. [Электронный ресурс]: MAN Nutzfahrzeuge Group. – Electronic text data. – Munich, 2010.
12. Nissan. [Электронный ресурс]: URL: http://www.nissan-global.com/EN/NEWS/2009/_STORY/090802-02-e.html
13. Pichler P., Linderl J., Niederlechner G., Schmidhofer A., Teuschl G., Kramer R, Erjawetz K. Muller H., Kussmann C. Full Hybrid SUV mitelektrischen 4WD – praktische Ergebnisse // 28 Internationales Wiener Motorensymposium. – Wien, 2007.
14. The ActiveHybrid 7 with Li-ion Pack. [Электронный ресурс]: Green Car Congress. BioAgeGroup. – Electronic text data. – LLC, 2010.
15. UQM Technologies Inc., USA, Colorado – Electronic text data. – 2011. – URL: <http://www.uqm.com/docs/UQMpresentation.pdf>
16. Volvo Buses: Volvo 7700 Hybrid. [Электронный ресурс]: AB Volvo. – Electronic text data. – 2010.

Рецензенты:

Ютт В.Е., д.т.н., профессор, зав. кафедрой «Электротехника и электрооборудование», ФГБОУ ВПО «Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ)», г. Москва.

Марсов В.И., д.т.н., профессор, профессор кафедры «Автоматизация производственных процессов», ФГБОУ ВПО ФГБОУ ВПО «Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ)», г. Москва.