

ОБОСНОВАНИЕ НЕОБХОДИМОСТИ СОЗДАНИЯ АВТОМОБИЛЯ ОСОБО МАЛОГО КЛАССА (КВАДРИЦИКЛА) С ГИБРИДНОЙ ЭНЕРГОСИЛОВОЙ УСТАНОВКОЙ*

В.А. Умняшкин, Н.М. Филькин, Д.В. Скуба



УМНЯШКИН
Владимир Алексеевич

Профессор, доктор технических наук, академик Российской академии транспорта, заслуженный машиностроитель РФ. Заведующий кафедрой «Дизайн промышленных изделий» Удмуртского государственного университета. Специалист в области мотоцикло- и автомобилестроения, проработал более 20 лет главным конструктором по автомобилям и мотоциклам в ОАО «Ижмаш». Автор более 200 научных трудов, в том числе семи монографий и 20 изобретений.

Введение

Машины, оснащенные тепловыми двигателями, при работе выбрасывают в атмосферу вместе с отработавшими газами большое количество окиси углерода и других вредных веществ. Широкое применение таких машин особенно в городах загрязняет воздушный бассейн и оказывает негативное влияние на здоровье горожан, становясь самой острой экологической проблемой. Например, в принятом документе «Концепция обеспечения экологической безопасности г. Москвы на период до 2001 г. и более отдаленную перспективу» представлены



ФИЛЬКИН
Николай Михайлович

Профессор, доктор технических наук, академик Российской академии транспорта. Начальник бюро «Инженерного анализа автомобиля» ОАО «ИжАвто». Специалист в области математического моделирования динамики технических систем и оптимизации параметров энергосиловых установок транспортных машин. Автор более 150 научных трудов, в том числе четырех монографий.



СКУБА
Денис Владиславович

Аспирант Удмуртского государственного университета. Работает над совершенствованием методов дизайн-проектирования легкового автомобиля, базирующихся на современных компьютерных системах и технологиях. Автор 10 научных трудов, в том числе одной монографии.

* Настоящая работа выполнена при поддержке грантом по фундаментальным исследованиям в области технических наук 2003-2004 гг. Министерства образования и науки Российской Федерации «Разработка научных основ создания конкурентноспособного автомобиля особо малого класса (квадрицикла) с гибридной энергосиловой установкой».

данные Москомприроды за 1998 г., в которых отмечено, что в воздушный бассейн г. Москвы было выброшено 1737,3 тыс. т загрязняющих веществ, в том числе стационарными источниками – 134,3 тыс. т, а передвижными источниками, в основном автомобильным транспортом, выброшено почти в 12 раз больше – 1603 тыс. т загрязняющих веществ. К сожалению, подобная картина наблюдается и в других крупных городах: так, в Нижнем Новгороде 86% загрязняющих воздух веществ приходится на автотранспорт [1].

Известно, что одним из направлений решения проблем экологии крупных городов является замена тепловых двигателей, используемых в настоящее время в конструкциях большинства транспортных машин, электродвигателями, не загрязняющими окружающую среду и производящими гораздо меньше шума.

Многие автомобильные фирмы работают над созданием конструкции электромобиля, способного конкурировать по своим эксплуатационным свойствам с обычными автомобилями. Однако в настоящее время электрохимическая промышленность не может предложить автомобилестроителям эффективные накопители электроэнергии приемлемых габаритов, массы и стоимости, обеспечивающих путьевой пробег электромобиля, сравнимый с пробегом автомобиля на одной заправке топливом. Но, даже решив в обозримом будущем задачу создания эффективных накопителей, возникает экологическая проблема их утилизации.

Все это отодвигает на неопределенный срок создание чистого электромобиля и позволяет сделать вывод о необходимости исследований, направленных на разработку конструкций гибридных (комбинированных) энергосиловых установок (ГЭСУ) транспортных средств, состоящих из теплового и электрического двигателей [2].

Необходимость создания и производства квадрицикла с ГЭСУ

В соответствии со статистическими данными 80% автомобилей в крупных городах

ежедневно проезжают не более 70 км и в 90% случаев в машине находится 1-2 человека. При этом средняя скорость движения машин составляет 30-40 км/ч. Например, в г. Москве средняя эксплуатационная скорость движения грузовых автомобилей составляет около 20 км/ч, а легковых автомашин – чуть более 30 км/ч.

Такой режим движения приводит к увеличению выбросов загрязняющих веществ с отработавшими газами двигателей автомобилей. В связи с этим, можно сделать вывод о потребности общества в двухместной экономичной микролитражной машине (квадрицикл, автомобиль класса А) с малыми выбросами токсичных веществ отработавших газов. Это одно из перспективных направлений решения экологических проблем крупных городов.

В России с 01.07.2002 г. действует государственный стандарт ГОСТ Р 51815-2001 «Квадрициклы. Общие технические требования», который регламентирует понятие квадрицикла как транспортного средства. Классификация такого типа транспортных средств в соответствии с резолюцией ЕЭК ООН (директива 92/61), которая с 01.07.2002 г. принята и в России, представлена в таблице. Кроме того, в соответствии с тенденциями в мировом автомобилестроении, в концепции развития автомобильной промышленности России (Распоряжение правительства РФ от 16 июля 2002 г. № 978-р) к приоритетным направлениям развития производства автомобильной техники относится увеличение производства легковых автомобилей особо малого и малого классов.

Реализация на практике указанных двух направлений совершенствования транспортных средств позволит решить ряд экологических проблем крупных городов и промышленных регионов, а их разумное сочетание в конструкции одной машины – создать микролитражный экономичный автомобиль с ГЭСУ различного назначения и высоким уровнем экологических свойств [3].

Таблица
Классификация квадрициклов

Параметры	Квадрицикл		
	Легкий	Мотоколяска	Мотокар
Масса снаряженная, кг	350	400	550
Максимальная скорость движения, км/ч	Не более 50	Более 50	Более 50
Рабочий объем двигателя, см ³	Не более 50	Более 50	Более 50
Мощность двигателя, кВт не более	4	15	15
Полезная масса, чел. + кг	2 + 50	4 + 50	2 + 300
Возраст водителя для допуска к управлению*, лет	16, медсправка	16, права категории А	16, права категории А
Требования к регистрации	Не регистрируется	Регистрируется	Регистрируется

Типы транспортных средств на основе квадрициклов

Популярность микролитражной автотехники с течением времени проявляется эпизодически по различным причинам, например, вследствие энергетического кризиса, социального положения потребителей, тесноты боль-

ших городов, связанной с непрерывным увеличением количества автомобилей, экологических проблем и др. Типовые транспортные средства на основе квадрициклов представлены на рис. 1. В настоящее время микролитражные автомобили привлекают потенциального потребителя следующими качествами:

- компактностью, что имеет практическую ценность в условиях тесного городского движения и проблемной парковки;
- экономичностью, достигаемую малым расходом топлива и меньшими налогами с владельца;
- привлекательной ценой в сравнении со стоимостью обычных автомобилей;
- возможностью управления миниавтомобилем без водительских прав либо с мотоциклетными правами, что привлекательно для молодежи, пожилых людей и людей с физическими ограничениями.

Компоновочные схемы квадрициклов

На рис. 2 приведены возможные схемы расположения основных агрегатов квадрицик-

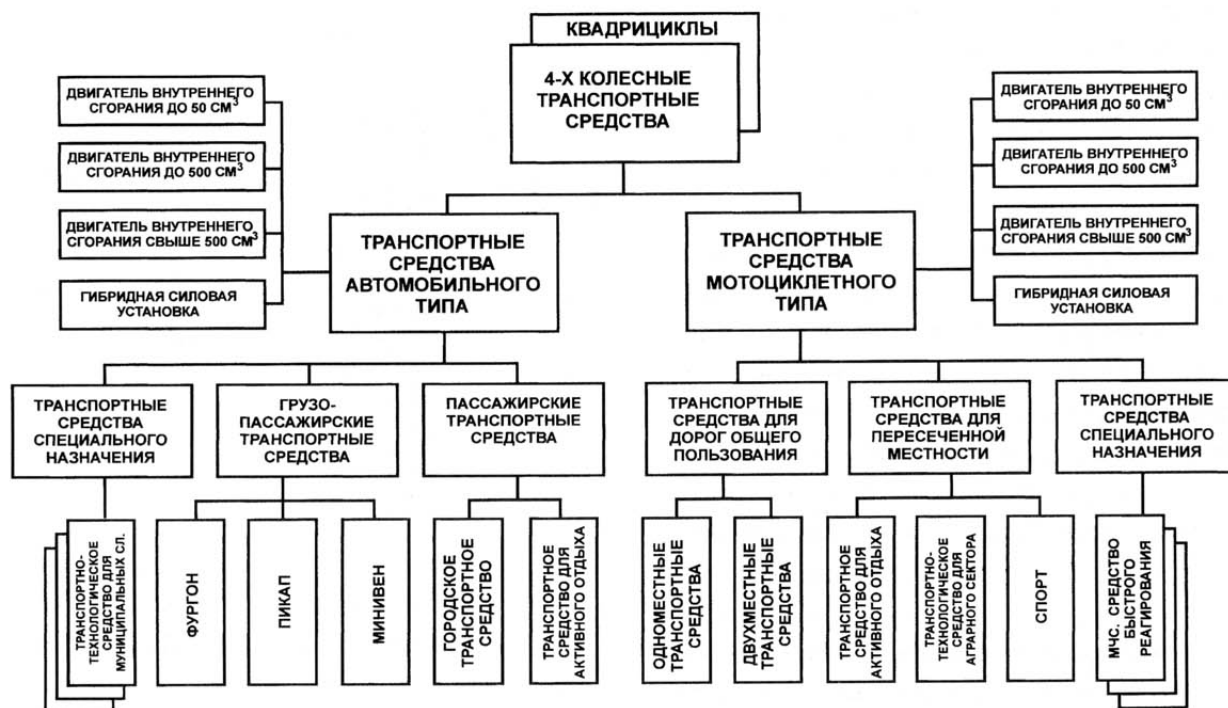


Рис. 1. Типы транспортных средств на основе квадрициклов

* Допуск к управлению транспортными средствами в различных странах: Франция – с 14 лет; Бельгия – с 16 лет; Португалия – предоставление свидетельства о физической годности к вождению с 16 лет; Австрия – предоставление лицензии с 16 лет.

лов. Кроме того, при выборе ведущих колес следует учитывать не только компоновочные схемы, но и эксплуатационные свойства квадрицикла.

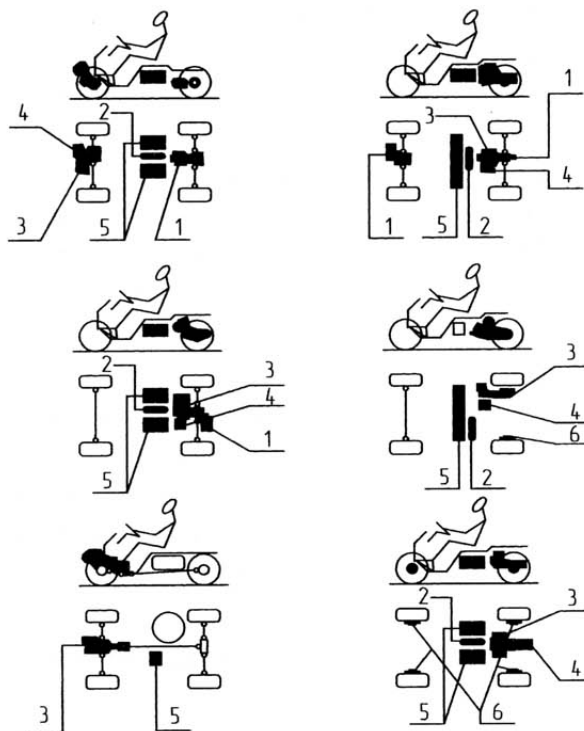


Рис. 2. Компоновочные схемы квадрициклов:
1 – электрический двигатель; 2 – устройство синхронизации; 3 – двигатель внутреннего сгорания; 4 – генератор; 5 – аккумуляторные батареи; 6 – моторколесо

Каждое компоновочное решение имеет свои достоинства и недостатки, что требует выполнения тщательного анализа эксплуатационных свойств квадрицикла в зависимости от его назначения [3]. В результате научно-исследовательской работы по созданию квадрициклов, выполненной авторами в последние годы и включающей комплекс как теоретических и экспериментальных исследований, так и конструктивных разработок, были сформулированы научные основы проектирования квадрициклов, проведен анализ различных конструктивных схем гибридных энергосиловых установок. Результаты исследования, представленные в данной работе, касаются квадрициклов, разра-

ботанных под руководством В.А. Умняшкина в Ижевском государственном техническом университете и ОАО «Ижмаш» (рис. 3, 4, 5).



Рис. 3. Четырехместный квадрицикл с мотоциклетной посадкой



Рис. 4. Двухместный квадрицикл

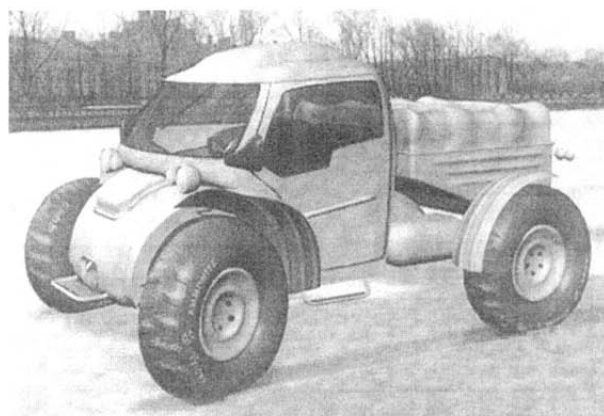


Рис. 5. Квадрицикл с гибридным двигателем:
габаритные размеры – 3250×2200×1910 мм,
максимальная скорость – 90 км/ч;
двигатель – гибридный на основе двухтактного мотоциклетного ИЖ-Ю 5; снаряженная масса – 300 кг; полезная нагрузка – 2 человека и 150 кг груза

Анализ конструктивных схем гибридных энергосиловых установок квадрициклов

В зависимости от сформулированных требований к топливной экономичности, экологичности, тягово-скоростным свойствам, компоновке и т.д. в конструкции квадрицикла можно применить различные агрегаты и конструктивные схемы гибридной энергосиловой установки. Например, в качестве теплового двигателя (ТД) можно использовать карбюраторный двигатель внутреннего сгорания, дизель, газотурбинный двигатель и др.; в качестве электродвигателя (ЭД) – различные типы ЭД постоянного и переменного тока; в качестве накопителя энергии (НЭ) – свинцово-кислотные аккумуляторные батареи, маховичные накопители кинетической энергии и др. В настоящее время наиболее распространены накопители электрической энергии, поэтому в данной работе все структурные схемы гибридных ГЭСУ квадрициклов рассматриваются для этого случая.

Все разрабатываемые ГЭСУ можно разбить на два типа в зависимости от принципа компоновочных решений по размещению тепло- и электродвигателей. Первый тип – ГЭСУ последовательной компоновочной схемы (рис. 6), при которой ведущие колеса квадрицикла приводятся в движение от электродвигателя.

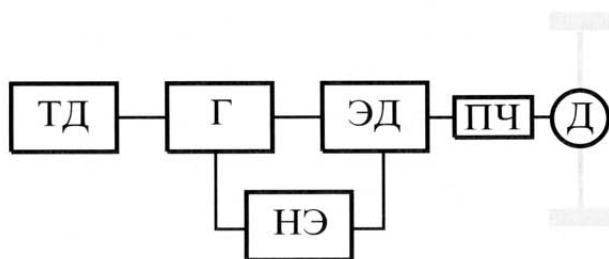


Рис. 6. Структурная схема гибридного квадрицикла с последовательной компоновочной схемой ГЭСУ

Второй тип – ГЭСУ параллельной компоновочной схемы (рис. 7), при которой привод ведущих колес может осуществляться одновременно от теплов двигателя и (или) электродвигателя.

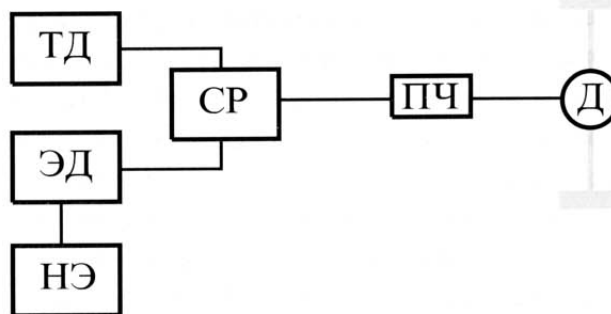


Рис. 7. Структурная схема гибридного квадрицикла с параллельной компоновочной схемой ГЭСУ

Выходным валом ГЭСУ первого типа является выходной вал электродвигателя, с которого поток мощности поступает на ведущие колеса квадрицикла. За тепловым двигателем расположен генератор (Г) электрической энергии, а за выходным валом ЭД обычно находится муфта сцепления. Для увеличения и изменения передаваемого крутящего момента между выходным валом и ведущими колесами можно установить коробку передач и редуктор, а далее – межколесный дифференциал (Д). Участок от выходного вала ГЭСУ до дифференциала условно назовем преобразующей частью (ПЧ) ГЭСУ. Можно заметить, что возможна и другая конструкция ПЧ, например, в полноприводном квадрицикле могут быть размещены раздаточная коробка передач, межосевой дифференциал и т.п. Любая из перечисленных составляющих преобразующей части может как присутствовать, так и отсутствовать в конструкции.

При движении квадрицикла с установившимися скоростями или при разгонах с небольшими ускорениями передача мощности от теплового двигателя до ведущих колес будет проходить через следующие агрегаты квадрицикла: ТД – Г – ЭД – ПЧ – Д. Если при этом накопитель энергии находится в разряженном состоянии, то энергия в него поступает дополнительно по цепи ТД – Г – НЭ. При необходимости дополнительной силы тяги на ведущих колесах (например, в тяжелых дорожных услови-

ях, при динамичном разгоне, увеличении сопротивления движению при высоких скоростях квадрицикла) энергия от накопителя поступает к ведущим колесам по цепи НЭ – ЭД – ПЧ – Д одновременно с передачей мощности от теплового двигателя по цепи ТД – Г – ЭД – ПЧ – Д. Движение квадрицикла возможно при отключенном тепловом двигателе за счет энергии, поступающей только от накопителя энергии, например, при необходимости уменьшения выбросов вредных веществ с отработавшими газами ТД (движение в закрытых заводских и других помещениях, на территории лечебных учреждений, в городах с высокими плотностями населения и транспортных потоков и др.). При торможении и при движении накатом за счет перехода электродвигателя в режим генератора энергия замедления и торможения рекупируется в энергию накопителя энергии по цепи Д – ПЧ – ЭД – НЭ.

Конструктивная схема ГЭСУ (см. рис. 6) позволяет использовать тепловой двигатель в малом диапазоне частоты вращения коленчатого вала на режимах наилучшей топливной экономичности (малых удельных расходов топлива). Однако получить высокие показатели топливной экономичности в данном случае проблематично из-за многократного преобразования энергии. При передаче всей энергии от теплового двигателя на ведущие колеса квадрицикла происходит трехкратное и более ее преобразование. Одна часть тепловой энергии ТД преобразуется в механическую, механическая в генераторе – в электрическую, а затем – в механическую в электродвигателе. Другая часть энергии в накопителе энергии преобразуется дополнительно из электрической энергии в химическую, а затем вновь в механическую в электродвигателе. Очевидно, что каждое преобразование энергии сопровождается ее потерями. Кроме того, надежность этой конструктивной схемы зависит от надежности работы электродвигателя и генератора, т.е. при выходе хотя бы одного из них из строя продолжать движение на квадрицикле невозможно. Но, когда основными требованиями к квадрициклу являются такие, как

уменьшение токсичных выбросов в атмосферу или рациональность компоновочного решения, применение последовательной компоновочной схемы оправдано. Известно, что токсичность отработавших газов теплового двигателя увеличивается многократно при его работе на неустановившихся режимах, большую часть которых можно исключить за счет применения на квадрицикле ГЭСУ рассматриваемой конструктивной схемы. Правда, полностью реализовать работу теплового двигателя на установившихся режимах невозможно из-за частой необходимости увеличения крутящих моментов на ведущих колесах в процессе разгона или при увеличении дорожного сопротивления.

Последовательная компоновочная схема ГЭСУ из-за больших потерь энергии проигрывает энергетическим установкам, у которых тепло- и электродвигатели работают параллельно и позволяют, тем самым, повысить топливную экономичность квадрицикла (см. рис. 7).

Для синхронизации частот вращения валов тепло- и электродвигателей в параллельной компоновочной схеме ГЭСУ предусмотрен согласующий редуктор (СР). Квадрицикл движется с постоянными и близкими к ним скоростями за счет мощности, передаваемой к ведущим колесам по цепи ТД – СР – ПЧ – Д. При этом в случае необходимости происходит зарядка накопителя энергии по цепи ТД – СР – ЭД – НЭ, т.е. электродвигатель переходит в режим работы генератора. Во время динамичного разгона к ведущим колесам квадрицикла поступает дополнительная энергия по цепи НЭ – ЭД – СР – ПЧ – Д. Движение накатом и торможение сопровождается рекуперацией энергии в энергию накопителя энергии по цепи Д – ПЧ – СР – ЭД – НЭ.

В качестве согласующего редуктора могут использоваться различные типы редукторов. При создании ГЭСУ легкового автомобиля с редукторами цепного, шестеренчатого и ременного типов, авторами настоящей статьи проведены теоретические исследования [4, 5, 6]. Результаты исследования, а также многолетний опыт работ по созданию гибридных энергосиловых

установок для транспортных машин позволили выявить следующие недостатки представленной конструктивной схемы (см. рис. 7).

Во-первых, повышенные потери мощности в трансмиссии ГЭСУ из-за введения в конструкцию согласующего редуктора.

В соответствии с общей теорией силового потока [7] согласующий редуктор одновременно преобразует силовые и скоростные факторы потоков мощности от тепло- и электродвигателя. Потери мощности в трансмиссии, связанные с циркуляцией мощности, отсутствуют, так как в рассматриваемой конструкции, изображенной на рис. 7, нет замкнутых потоков мощности. Причина повышенных потерь мощности в трансмиссии заключается в сложных динамических процессах, происходящих в согласующем редукторе, т.е. имеются большие диссипативные тепловые потери, устранить которые конструктивно достаточно сложно.

Во-вторых, сложность согласования работы тепло- и электродвигателей из-за неустановившихся режимов работы теплового двигателя в разнообразных дорожных и природно-климатических условиях эксплуатации, что, в конечном счете, также влияет на потери энергии и приводит к повышению динамических нагрузок в согласующем редукторе. Решение этой проблемы возможно с помощью пускорегулирующей аппаратуры и электронного блока управления, основным показателем совершенства которых является их способность согласовать работу обоих двигателей ГЭСУ при передаче крутящих моментов по заданной программе, моделирующей реальные условия движения.

Возможна и другая конструкция ГЭСУ параллельной компоновочной схемы (рис. 8), которую также можно применять при создании квадрицикла.

Она более благоприятна с точки зрения согласования работы тепло- и электродвигателей и позволяет уменьшить динамические нагрузки в согласующем редукторе и снизить диссипативные потери энергии в трансмиссии. В этом случае ГЭСУ представляет собой замкнутую дифференциальную передачу, позволя-

ющую передавать мощность от теплового двигателя к ведущим колесам после делителя мощности (ДМ) двумя потоками.

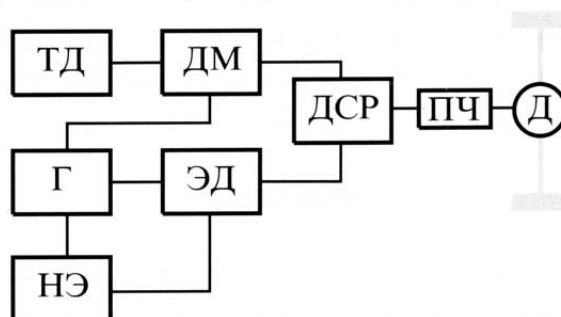


Рис. 8. Структурная схема гибридного квадрицикла при замыкании мощностных потоков от ТД и ЭД через дифференциал

Замыкание мощностных потоков от тепло- и электродвигателей осуществляется за счет введения в конструкцию дифференциального согласующего редуктора (ДСР), что создает дополнительные возможности для создания автоматической трансмиссии квадрицикла. Большая часть мощности от теплового двигателя на ДСР идет по цепи ТД – ДМ – ДСР с постоянным передаточным отношением. Другая часть мощности поступает на ДСР через электродвигатель, который работает под управлением электронного блока как вариатор. Таким образом, получается автоматическая трансмиссия гибридного квадрицикла.

Для гибридного квадрицикла с такой структурной схемой (см. рис. 8), осуществляются следующие потоки мощности. При движении квадрицикла с установившимися и близкими к ним скоростями мощность к ведущим колесам передается по цепям ТД – ДМ – ДСР – ПЧ – Д и ТД – ДМ – Г – ЭД – ДСР – ПЧ – Д. Если разряжен накопитель энергии, то в этом режиме движения энергия поступает дополнительно в накопитель энергии по цепи ТД – ДМ – Г – НЭ. При необходимости реализации больших крутящих моментов на ведущих колесах в ГЭСУ возникает дополнительный (третий) поток энергии от накопителя энергии по цепи НЭ – ЭД – ДСР – ПЧ – Д. При торможении и движении

нактом происходит рекуперация энергии по цепи Д – ПЧ – ДСР – ЭД – НЭ, и электродвигатель работает в режиме генератора. При необходимости движения только на электродвигателе (тепловой двигатель отключен) поток энергии к ведущим колесам поступает по цепи НЭ – ЭД – ДСР – ПЧ – Д.

Заключение

Создание автомобилей с гибридной энергосиловой установкой является актуальной проблемой современного автомобилестроения. Реализация на практике проекта разработки и создания гибридного автомобиля особо малого класса позволит решить ряд экологических проблем крупных городов и промышленных регионов, обеспечивая при этом высокий уровень показателей топливной экономичности транспортных средств. В статье представлены лишь некоторые результаты НИР в данном направлении, которые показывают необходимость проведения дальнейших комплексных исследований автомобилей такого типа.

Литература

1. Фуфаева И. Опыт Нижнего // Вести СоЭС. – Нижний Новгород: Международный социально-экологический Союз. 2001. № 4 (19). С. 5-6.
2. Кондрашкин А.С., Филькин Н.М., Мезрин В.Г., Сальников В.Ю. Легковой автомобиль с гибридной силовой установкой. Результаты экспериментов // Автомобильная промышленность. 2001. № 11. С. 9-10.
3. Умняшкин В.А., Филькина А.Н., Ившин К.С., Скуба Д.В. Автомобили особо малого класса (квадрициклы) с гибридной энергосиловой установкой / Под общ. ред. В.А. Умняшкина. – Ижевск: Научно-издательский центр «Регулярная и хаотическая динамика», 2004. – 138 с.
4. Кондрашкин А.С., Филькин Н.М., Ардашев В.М., Мезрин В.Г., Сальников В.Ю. «Иж» с комбинированной силовой установкой // Автомобильная промышленность. 1997. № 11. С. 7-9.
5. Кондрашкин А.С., Филькин Н.М., Мезрин В.Г., Сальников В.Ю. Легковой автомобиль с гибридной силовой установкой. Результаты экспериментов // Автомобильная промышленность. 2001. № 11. С. 9-10.
6. Умняшкин В.А., Кондрашкин А.С., Сальников В.Ю., Филькин Н.М. Конструкция и лабораторно-дорожные испытания электромобиля с комбинированной энергосиловой установкой // Вестник Уральского межрегионального отделения российской Академии транспорта. – Курган: КГУ. 2001. № 3-4. С. 114-118.
7. Антонов А.С. Силовые передачи колесных и гусеничных машин. Теория и расчет. – Л.: Машиностроение, 1975. – 480 с.