

Рис. 7. Рекомендации к изменению конструктивных параметров перспективного легкового автомобиля АО "АВТОВАЗ".

С целью реализации этого метода предполагается доработать существующие математические модели, что существенно упростит процедуру обработки результатов моделирования. Данный подход по праву можно считать более перспективным, так как при этом сохраняется общий принцип поэтапной технологии многокритериальной оптимизации, эффективность которого неоднократно подтверждалась в ходе решения задач по проектированию и доводки автомобильной техники.

Литература

1. Бахмутов С.В., Богомолов С.В., Висич Р.Б. Технология двухэтапной оптимизации эксплуатационных свойств автомобиля. "Автомобильная промышленность", стр. 32-35. 1998, №12.
2. Бахмутов С.В., Богомолов С.В., Висич Р.Б., Карунин М.А. Математическая модель легкового автомобиля для его оптимизации по критериям управляемости и устойчивости. Сб. избр. докладов межд. науч. симпозиума "Автотракторостроение. Промышленность и высшая школа", М. МГТУ "МАМИ", 1999, ISBN: 5-94099-001-0.
3. Бахмутов С.В., Ахмедов А.А., Карунин А.Л. Совершенствование характеристик управляемости и устойчивости легкового автомобиля в условиях случайного микропрофиля дороги. // "Современные тенденции развития автомобилестроения в России" (сборник трудов). Т. 2, стр. 70–76. Гольягги. 26-28 мая 2004.
4. Савочкин В.А., Дмитриев А.А. Статистическая динамика транспортных и тяговых машин. М. Машиностроение. 1993. – 320 с.

Гибридные автомобили – решение экологической проблемы автомобильного транспорта

к.т.н., проф. Селифонов В.В., Карпухин К.Е., Филонов А.И., Баулина Е.Е., Авруцкий Е.В.
МГТУ «МАМИ»

Описаны преимущества автомобилей с гибридными силовыми установками (ГСУ), рассмотрены схемы гибридных силовых установок автомобилей. Представлена конструкция разработанного экспериментального полноприводного автомоби-

ля с гибридной силовой установкой, выполненной по параллельной схеме, приведена его техническая характеристика. Дано описание стендовых испытаний экспериментального автомобиля на топливную экономичность и токсичность отработавших газов (ОГ), проведенных на ФГУП НИЦИАМТ; приведены результаты испытаний, подтверждающие снижение расхода топлива и токсичности ОГ автомобилей с ГСУ, сделаны соответствующие выводы.

Сегодня автомобильным миром правят два «эко» - экология и экономия. Действительно, все мировые автопроизводители работают в поисках компромиссов между снижением себестоимости продукции и заботой об экологии, предлагают самые разные варианты решения глобальной проблемы – снижения расхода топлива. Крупнейшие концерны, такие как: «Тойота», «Хонда», «Дженерал моторс», «Даймлер-Крайслер», «БМВ» и другие предлагают и развивают несколько путей решения этой проблемы. Бесспорно, одно из перспективных направлений – топливные элементы, но ждать быстрых результатов в этой области не приходится. Прототипы автомобилей с топливными элементами проектируют и испытывают многие мировые автопроизводители, но, как показывает практика, конкурентоспособные образцы таких транспортных средств появятся не ранее 2015 г. А вот автомобили с гибридными силовыми установками уже неотъемлемо вошли в нашу жизнь.

Альтернативу ДВС инженеры и конструкторы всего мира ищут фактически со времени рождения автомобиля. Еще в 1900 году на Всемирной выставке в Париже показали любопытный прототип работы знаменитого конструктора Фердинанда Порше – «Лонер-Порше» с четырьмя электромоторами в ступицах колес. Мощность каждого составляла около 5 л.с., а питали их аккумуляторы емкостью 300 Ач общей массой 410 кг. Образец достигал максимальной скорости 50 км/ч и проходил на полной зарядке около 50 км. Увы, машина получилась тяжелой, дорогой и очень сложной в производстве. Тем не менее, нечто подобное пытались сделать на протяжении всего XX века инженеры и конструкторы всего мира. Но настоящему масштабные программы разработки гибридных автомобилей, поддержанные крупными мировыми производителями автомобилей, появились только в 80-е годы прошлого века, и лишь к концу 90-х потребители смогли оценить реальные – серийные плоды их деятельности.

Гибридные автомобили - это новый и в то же время уже неплохо зарекомендовавший себя вариант снижения расхода топлива и выбросов вредных веществ в атмосферу. Гибридизация всего мира не обошла стороной и Россию, где в течение ряда лет в Московском Государственном Техническом Университете «МАМИ» учеными, инженерами и конструкторами на кафедре «Автомобили», а сейчас и в рамках созданного при кафедре Научно-образовательного центра «Автомобили с гибридными силовыми установками» проводятся работы по созданию автомобиля с гибридной силовой установкой.

Прежде чем перейти к описанию конкретной конструкции, созданной в стенах университета, разберемся с терминологией данного вопроса.

Под гибридной силовой установкой (ГСУ) следует понимать такую установку, которая включает в себя два двигателя, получающих энергию из источников разных типов, как правило, это двигатель внутреннего сгорания, питающийся углеводородным топливом, и электромотор (один или несколько) с аккумуляторными батареями. Автомобили с такими силовыми установками принято называть гибридными.

Все типы гибридных автомобилей можно разделить на три группы.

К первой группе отнесем т.н. последовательные гибриды.

В этом случае двигатель внутреннего сгорания (ДВС) питает энергией только генератор и не имеет механической связи с ведущими колесами. Генератор в свою очередь производит электрическую энергию для тягового электродвигателя (ТЭД), либо дополнительно заряжает накопитель энергии (тяговая аккумуляторная батарея (ТАБ) или конденсаторы). При нехватке энергии генератора для обеспечения необходимого режима работы автомобиля ТЭД получает дополнительную энергию из батарей, а при ее избытке - отдает его в накопитель. Дан-

ная схема позволяет на ограниченном пути движение с выключенным ДВС в режиме электромобиля.

Вторая группа – это параллельные гибриды. В данной схеме ДВС через механическую трансмиссию отдает энергию ведущим колесам автомобиля и через специальную систему отбора мощности может при избытке энергии, используя электромотор-генератор (обратимую электрическую машину) питать аккумуляторную батарею. При дефиците энергии через эту же систему автомобиль может получить дополнительную энергию из накопителя через элементы электротрансмиссии. Здесь также возможно на ограниченном участке пути движение с неработающим ДВС.

Существует также третья, т.н. последовательно-параллельная схема или, как мы ее называем, – "сплит", которую можно считать симбиозом последовательной и параллельной схем. В ней ДВС, генератор и электродвигатель связаны друг с другом и с ведущими колесами автомобиля посредством специального механического устройства, которое можно назвать сплиттером, представляющим из себя не что иное, как планетарную передачу. Такое техническое решение позволяет объединить преимущества и реализовать режимы работы гибридной силовой установки как у двух описанных выше схем.

Теперь рассмотрим конструкцию гибридного автомобиля УАЗ-3153 «МАМИ-КВАНТ».

Сотрудниками центра создан экспериментальный образец полноприводного автомобиля двойного назначения с оригинальной ГСУ параллельной схемы. При его создании в качестве базового был выбран многоцелевой полноприводный автомобиль модели 3153, выпускаемый Ульяновским автомобильным заводом.

Как показали расчеты топливной экономичности автомобилей с ГСУ различных схем, самый выгодный вариант с точки зрения топливной экономичности, – ГСУ, выполненная по схеме «сплит»: в этом случае автомобиль УАЗ оказывается экономичнее серийного образца на 52,8%; вариант с ГСУ, выполненной по последовательной схеме, обеспечивает экономию на 47%, а по параллельной схеме - на 51,7%. Тем не менее, выбор разработчиков пал на параллельную схему ГСУ, поскольку, во-первых, отечественная промышленность выпускает все необходимые для ее реализации автомобильные и электрические агрегаты и узлы и, во-вторых, она обеспечивает автомобилю топливную экономичность, практически не отличающуюся от той, которую может дать схема «сплит».

Компоновочная схема автомобиля УАЗ-3153, оборудованного параллельной ГСУ, приведена на рис. 1. Как видно из рисунка, в нее входят элементы не только серийного автомобиля (ДВС, коробка передач, приводы переднего и заднего мостов), но и новые для автомобиля устройства (обратимая электрическая машина со своим приводом, система управления тяговым электрооборудованием и накопители энергии).

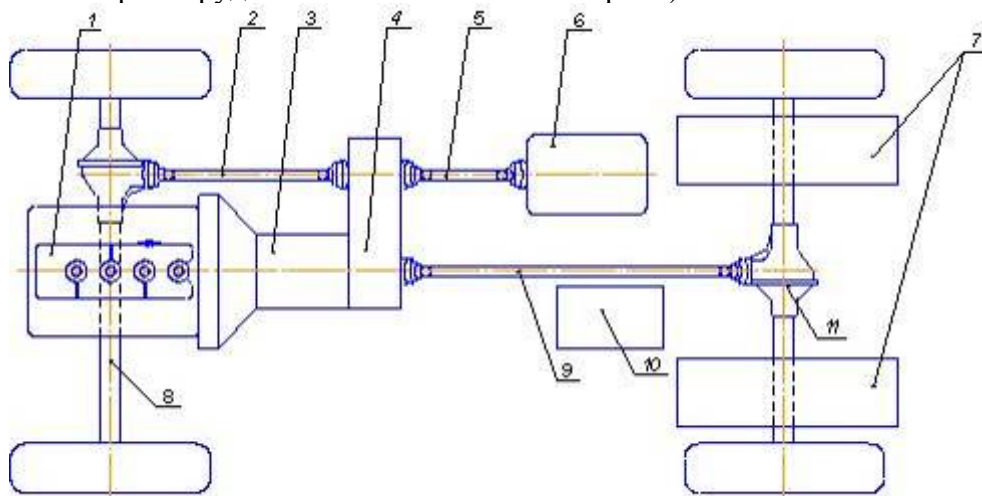


Рис. 1. Компоновочная схема

Автомобиль с ГСУ содержит ДВС 1 со сцеплением и коробкой передач (КП) 3, установленными на его выходе; обратимую электрическую машину (ЭМ) 6, единое приемно-

распределительное устройство (ЕПРУ) 4, карданный вал 9 привода заднего моста 11, карданный вал 2 привода переднего моста 8, карданный вал 5 привода обратной электрической машины 6, блок преобразования 10, блок аккумуляторных батарей 7.

Специально для этого автомобиля на базе серийной раздаточной коробки спроектировано и изготовлено единое приемно-распределительное устройство: с одной стороны к нему подводится крутящий момент от ДВС, а с другой - от обратной электрической машины, работающей как в режиме тягового электродвигателя, так и в режиме генератора для зарядки ТАБ (при торможении автомобиля для рекуперации накопленной кинетической энергии и при равномерном движении для обеспечения возможности работы ДВС по характеристике минимальных удельных расходов топлива (с практически полностью открытой дроссельной заслонкой)). В результате появилась возможность реализации на экспериментальном автомобиле нескольких вариантов параллельной схемы ГСУ при различных схемах привода от разных источников энергии, что обеспечивает реальную оценку и сопоставление преимуществ и недостатков каждой из них:

- разблокированный полный привод: передний мост приводится от тягового электродвигателя, а задний – от ДВС через стандартную трансмиссию;
- полный привод от двух двигателей одновременно: от ДВС со стандартной трансмиссией и тягового электродвигателя с подачей мощности на выходной вал раздаточной коробки;
- полный привод только от ДВС;
- полный привод только от тягового электродвигателя;
- задний привод только от ДВС;
- задний привод от обоих двигателей;
- задний привод только от тягового электродвигателя;
- передний привод только от тягового электродвигателя.

Режим разблокированного полного привода колес является постоянным полным приводом, поэтому может длительно использоваться на дорогах с высоким коэффициентом сцепления, и при этом нет необходимости введения в конструкцию трансмиссии автомобиля межосевого дифференциала.

Таким образом, примененная на опытном образце автомобиля компоновочная схема гибридной силовой установки (рис.1) при использовании ЕПРУ обеспечивает возможность варьирования как энергетической установки (ДВС, электродвигатель или их комбинация), так и привода (полный блокированный, полный от разных источников энергии, индивидуальный, т.е. от разных источников энергии на каждый из мостов). При этом использование промежуточных агрегатов при передаче мощности не требуется, что повышает КПД трансмиссии автомобиля; возможность движения с полным приводом обеспечивается при выключенном ДВС, т.е. при минимальных тепловых и звуковых излучениях. Все перечисленное в совокупности упрощает конструкцию, снижает массу автомобиля и затраты на его производство.

Конструкция, общий вид разработанного ЕПРУ и его установка на автомобиле приведены соответственно на рис. 2, 3 и 4 .

Система тягового электрооборудования выполнена на основе выпускаемых в настоящее время отечественной промышленностью компонентов, теоретических разработок и практического опыта НПП «КВАНТ». В ней использованы эффективные и экономичные способы и средства управления тяговым электродвигателем и преобразования электрической энергии в механическую. В ее состав входят асинхронный электродвигатель (обратимая электрическая машина), блок преобразования энергии и управления, блок силовой коммутации, пульт управления, блок управления режимами электромашин, распределительная панель, блок аккумуляторных батарей.

Размещение пульта управления, блока управления режимами электромашин и распределительной панели представлено на рис. 5; установка на автомобиле блока преобразования энергии и управления, блока силовой коммутации и блока аккумуляторных батарей – на

рис. 6.

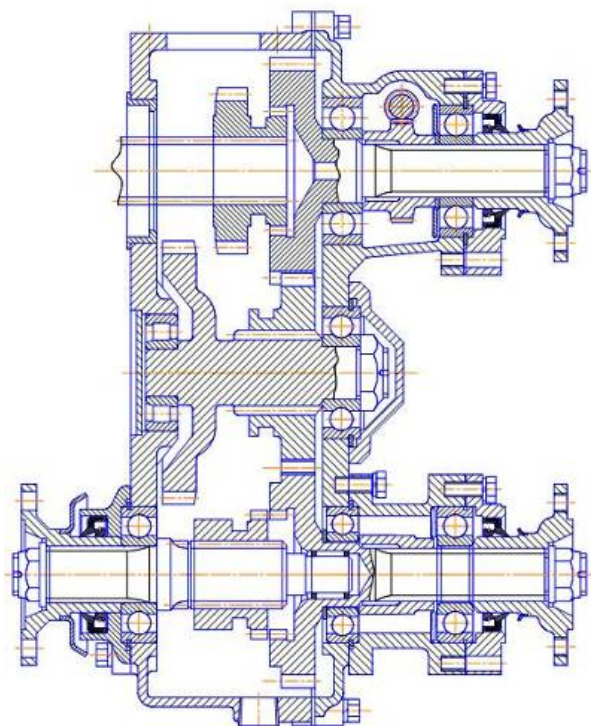


Рис. 2.

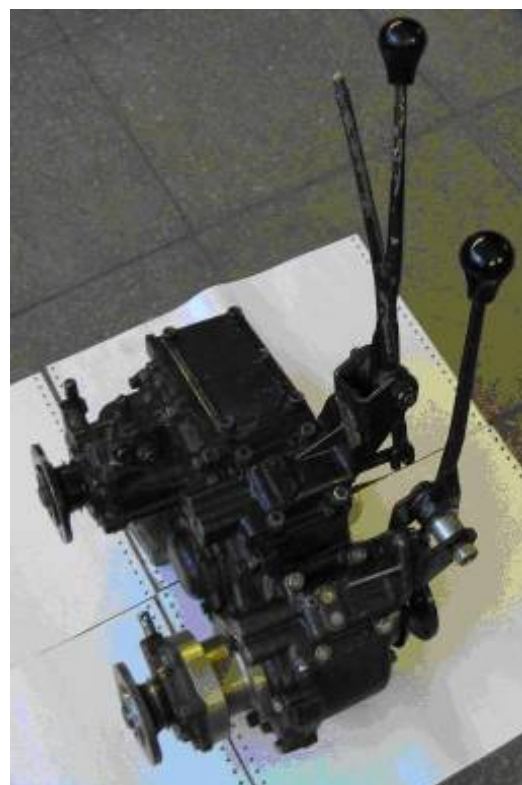


Рис. 3.



Рис. 4.



Рис. 5.



Рис. 6.

Общий вид многоцелевого автомобиля УАЗ-3153 с ГСУ показан на рис.7.



Рис. 7.

В табл. 1 приведены технические характеристики стандартного автомобиля и экспериментального автомобиля с гибридной силовой установкой.

Таблица 1.

Технические характеристики.

Модель автомобиля	УАЗ-3153	УАЗ-3153 с ГСУ
Колесная формула	4x4	4x4, 4x2
Масса, кг:		
снаряженная	1800	2140
тягового электрооборудования	-	340
полная	2600	2600
Двигатель	УМЗ-4218.10	УМЗ-4218.10
Максимальные:		
крутящий момент, Н·м (кгс·м)	200 (20,4)	200 (20,4)
мощность, кВт (л.с.)	73 (99,2)	73 (99,2)
Минимальный удельный расход топлива, г/(кВт·ч) [г/(л.с.·ч)]	300 (221)	300 (221)
Электродвигатель	-	обратимая асинхронная электромашинa с короткозамкнутым ротором
Масса, кг	-	100
Максимальные:		
крутящий момент, Н·м	-	280
мощность, кВт	-	35
частота вращения ротора, мин-1	-	2600
напряжение, В	-	120

ток фазы, А	-	220
Электрические накопители	-	кислотно-свинцовые аккумуляторные батареи " Оптима D 1000"
Масса, кг	-	190
Число	-	10
Максимальная емкость в трехчасовом режиме разряда, А·ч	-	55
Гибридная силовая установка:	-	УМЗ-4218.10 + обратимый асинхронный электродвигатель с комплектом аккумуляторных батарей
Максимальные:		
крутящий момент, Н·м (кгс·м)	-	480 (49)
мощность, кВт (л.с.)	-	108 (147)
Максимальная скорость, км/ч	117	125
Время разгона до скорости 80 км/ч, с	18	14

Поскольку у автомобиля с ГСУ возможен вариант движения только на электротяге с выключенным ДВС, данное обстоятельство оставляет автомобиль без гидроусилителя руля и без вакуумного усилителя тормозов при работе в этом режиме, т.к. эти агрегаты берут энергию от ДВС. На экспериментальном автомобиле предусмотрена установка насоса гидроусилителя руля с приводом от электромотора, а также предусмотрена установка электровакуумного насоса с вакуумным ресивером.

В случае эксплуатации автомобиля при пониженных температурах окружающей среды в стандартном автомобиле предусмотрен обогрев салона жидкостным обогревателем, получающим тепло от ДВС. В случае автомобиля с ГСУ при движении его в электрорежиме предусмотрена установка обогревателя типа «Вебасто», обеспечивающая нормальный тепловой режим двигателя и салона автомобиля.

Сотрудники Научно-образовательного центра «Автомобили с гибридными силовыми установками» при кафедре «Автомобили» им. Е.А.Чудакова МГТУ «МАМИ» совместно с сотрудниками ФГУП НИЦИАМТ (г. Дмитров) провели испытания автомобиля с гибридной силовой установкой.

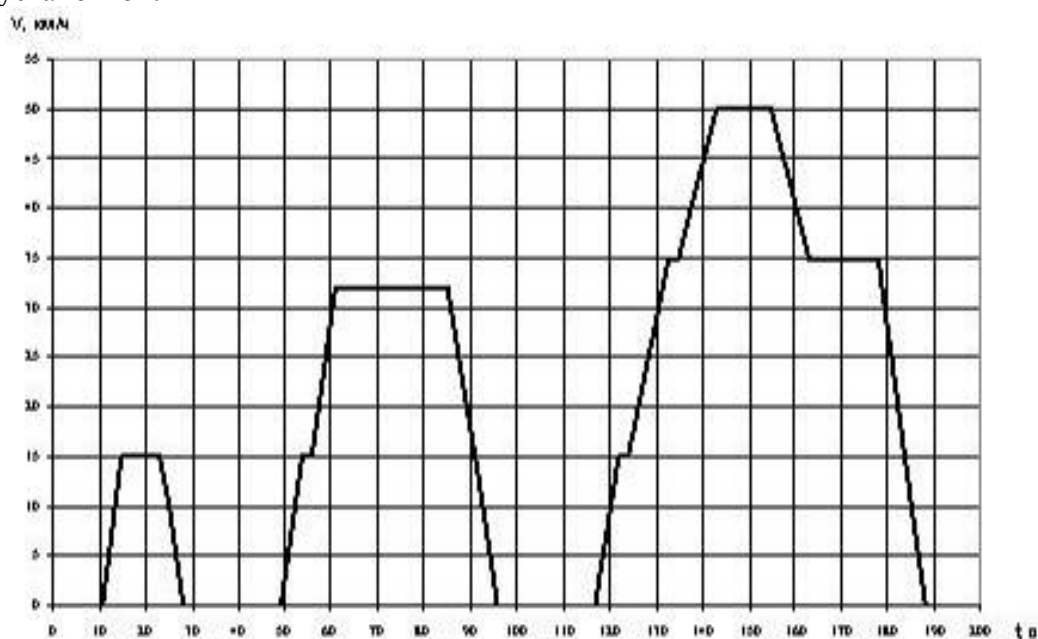


Рис. 8. Простой городской цикл (195 с).

Для определения топливной экономичности и токсичности отработавших газов автомобиля были проведены стендовые испытания согласно правилам ЕЭК ООН №83 и №101 (для автомобилей с ГСУ), в соответствии с которыми расход топлива и количество вредных выбросов автомобиля измеряются в режиме движения по городскому циклу⁶. Испытательный городской цикл в этом случае состоит из четырех повторов простых циклов продолжительностью 195 с каждый, при этом общая продолжительность цикла составляет 780 с. Описание простого городского цикла приводится на рис. 8 и в табл. 2.

Таблица 2.

Простой городской цикл.

№	Тип операции	Ускорение, м/с ²	Скорость, км/ч	Номер передачи в КП	Продолжительность операции, с	Общее время, с
1	Остановка	0,00	0	н	11	11
2	Ускорение	1,04	0-15	I	4	15
3	Движение с постоянной скоростью	0,00	15	I	8	23
4	Замедление	-0,83	15-0	I	5	28
5	Остановка	0,00	0	н	21	49
6	Ускорение	0,69	0-15	I	6	55
7	Ускорение	0,79	15-32	II	6	61
8	Движение с постоянной скоростью	0,00	32	II	24	85
9	Замедление	-0,81	32-0	II	11	96
10	Остановка	0,00	0	н	21	117
11	Ускорение	0,69	0-15	I	6	123
12	Ускорение	0,51	15-35	II	11	134
13	Ускорение	0,46	35-50	III	9	143
14	Движение с постоянной скоростью	0,00	50	III	12	155
15	Замедление	-0,52	50-35	III	8	163
16	Движение с постоянной скоростью	0,00	35	III	15	178
17	Замедление	-0,97	35-0	II	10	188
18	Остановка	0,00	0	н	7	195

Испытания проводились на стенде с беговыми барабанами. Условия испытаний приведены в табл. 3:

Таблица 3.

Условия испытаний.

1	Атмосферные условия	давление, кПа - 98	t – 24оС	влажность – 54%	
2	Топливо при испытаниях	бензин, АИ-92			
3	Стенд с беговыми барабанами	мод. CD-60 ф. Froude (Великобритания)			
	алгоритм загрузки	F=11,57+0,07865 V ²			
	эквивалентная инерционная масса, кг	2150			
	поглощаемая мощность стенда, кВт	50км/ч-2,89	80 км/ч-11,44		
4	Газоанализатор	мод. SAE 8539 ф. Yanako (Япония)			
5	Система отбора ОГ	CFV/CVS мод. CVS LD-30 ф. AVL (Австрия)			

⁶ Использовалась первая часть городского цикла, представляющая наибольший интерес для сопоставления различных схем ГСУ и режимов их работы. Магистральная часть цикла, связанная с обеспечением баланса энергии ГСУ, в данной работе не рассматривалась.

Поскольку стенд не позволяет исследовать полноприводные автомобили, то экспериментальный автомобиль проходил испытания только в заднеприводном варианте. Целью стендовых испытаний являлось определение наименьшего расхода топлива при возможно меньшем отрицательном балансе энергии аккумуляторных батарей. При реализации городского цикла для экономии топлива ДВС работал по характеристике минимальных удельных расходов топлива, избыток мощности, развиваемый ДВС, направлялся через обратимую электрическую машину, работавшую в этом случае как генератор, в накопители. На режимах повышенного расхода топлива и повышенного содержания вредных выбросов (холостой ход, разгон до невысоких скоростей, торможение двигателем) ДВС выключался.

Остановимся на режимах работы гибридной силовой установки во время стендовых испытаний.

Простой городской цикл состоит из трех частей (рис. 8). Поскольку первая часть цикла характеризуется невысокой скоростью, ее целесообразно проходить на ТЭД. Во второй части цикла движение на ТЭД целесообразно только на фазе разгона, так как в дальнейшем нужно восполнить запасы энергии, затраченные при движении в электрорежиме. Фаза равномерного движения второй части городского цикла происходит на ДВС, работающем в режиме минимальных удельных расходов топлива, при этом избыток энергии направляется через ТЭД (режим генератора) в накопитель. Рекуперация энергии происходит и при торможении, причем ДВС в фазе торможения выключается. На третьем этапе городского цикла разгон до 35 км/ч происходит на ТЭД, дальнейший разгон (до 50 км/ч) на ТЭД не целесообразен, т.к. не обеспечивается требуемое ускорение. Чтобы ускорения соответствовали требованиям городского цикла, разгон от 35 до 50 км/ч происходит на ДВС, работающем в режиме минимальных удельных расходов топлива, при этом избыток энергии направляется в ТАБ. Равномерное движение третьей части городского цикла осуществляется на ДВС, работающем в режиме рекуперации энергии (ТЭД – в режиме генератора), замедление – также в режиме генератора. Следующий участок равномерного движения третьей части цикла ТЭД может работать как в режиме тягового электродвигателя, так и в режиме генератора, последнее замедление – в режиме генератора. При этом во всех частях цикла при движении на ДВС в КП может быть включена как третья, так и четвертая передача. При равномерном движении на третьей передаче запас мощности ДВС больше, поэтому можно зарядить накопитель за меньшее время, т.е. время работы ДВС в цикле будет меньше. Однако чем больше запас мощности, тем больше удельный расход, что может привести к повышенному путевому расходу топлива. Следовательно, целесообразно найти время дополнительной работы ДВС в цикле на обеих передачах и сравнить путевые расходы топлива в обоих случаях.

Таким образом, при стендовых испытаниях (рис. 9) были реализованы следующие режимы работы ГСУ в условиях равномерного движения (табл.4)

Таблица 4.

Режимы работы ГСУ.

№ режима	Режим работы ГСУ
1	равномерное движение со скоростью 35 км/ч происходит на ТЭД
2	равномерное движение со скоростью 35 км/ч происходит на ДВС (третья передача), избыток мощности направляется в накопитель
3	равномерное движение со скоростью 35 км/ч происходит на ДВС (четвертая передача), избыток мощности направляется в накопитель

Расход топлива испытуемого автомобиля определялся двумя способами: прямым – по расходомеру и косвенным – по показаниям газоанализатора. Выполнение городского цикла осуществлялось по прибору водителя, который допускал погрешность по скорости ± 2 км/ч, по времени - ± 1 с.

В результате испытаний были определены следующие значения расхода топлива и количества вредных выбросов (табл.5)

Таблица 5.

Выбросы вредных веществ и расход топлива в городском цикле.

Вид силовой установки	Выбросы вредных веществ, г/км			Q _s , л/100км	
	CO	CH	CO ₂	по газовому анализу	по расходомеру
Штатная (бензиновый ДВС)	17,8	3,43	383	18,8	20,45
Гибридная - режим 1	5,3	1,51	211	9,5	10,2
Гибридная - режим 2	7,5	1,21	225	10,2	10,45
Гибридная - режим 3	9,23	2,1	218	10,1	10,76



Рис. 9 Стендовые испытания гибридного автомобиля.

Вместе с тем следует иметь в виду, что для стендовых испытаний автомобилей с гибридными силовыми установками приняты правила ЕЭК ООН №101. При наличии дефицита электрической энергии в городском цикле этими правилами предусмотрена коррекция показаний расхода топлива с учетом величины дефицита электрической энергии. Коррекция осуществляется по следующим формулам:

1. Корректирующий коэффициент расхода топлива:

$$K_{fuel} = \frac{n \cdot \sum Q_i C_i - \sum Q_i \cdot \sum C_i}{n \cdot \sum Q_i^2 - (\sum Q_i)^2} \quad (\text{л/100 км/А}\cdot\text{ч}), \quad (1)$$

где: C_i – расход топлива, измеряемый при i -том испытании, проведенном заводом-изготовителем (л/100 км); Q_i – электроэнергетический баланс, измеряемый при i -том испытании, проведенном заводом-изготовителем (А·ч), n – количество данных.

2. Расход топлива, приведенный к нулевому балансу энергии:

$$C_0 = C - K_{fuel} \cdot Q \quad (\text{л/100 км}),$$

где: C – расход топлива, измеряемый в ходе испытания (л/100 км),

Q – электроэнергетический баланс, измеряемый при испытании (А·ч).

Ниже приведены значения рассчитанных в соответствии с требованиями правил №101 ЕЭК ООН приведенных путевых расходов топлива с учетом замеренной в процессе испытаний разницы между энергией, потребленной электродвигателем, и энергией, возвращенной в накопитель генератором.

Результаты приведены для режима "3", при котором равномерное движение со скоростью 35 км/ч происходит на четвертой передаче от ДВС, избыток мощности направляется в ТАБ (табл. 6).

Однако необходимо отметить, что данная методика расчета приведенного расхода топлива не является обоснованной и может привести к очевидным несоответствиям.

Так, например, если на испытуемом автомобиле с ГСУ применить накопители энергии, способные потреблять значительно большие токи (свыше 100 А), появляется возможность увеличить величину рекуперлируемой энергии торможения и вследствие этого можно существенно сократить дефицит электрической энергии в цикле, что приводит к увеличению величины коэффициента K_{fuel} и, как следствие, к увеличению приведенного расхода топлива, что противоречит здравому смыслу.

Ниже (табл. 7) приведены расчеты приведенного расхода топлива автомобиля с теми же расходами топлива, что и в случае с испытываемым автомобилем, но с уменьшенным до минимальной величины 0,100 А·ч (43,2 кВтс) дефицитом электроэнергии.

Таблица 6.

Расчет корректирующего коэффициента K_{fuel} и расхода топлива с учетом дефицита электрической энергии.

замер	C_i , л/100км	Q_i , А·ч	K_{fuel} , л/100км/А·ч	C_0 , л/100км
1	11,53	-0,225	3,74	12,37
2	9,64	-0,734		12,39
3	10,93	-0,400		12,43
4	10,93	-0,400		12,43

Таблица 7.

Расчет корректирующего коэффициента

замер	C_i , л/100км	Q_i , А·ч	K_{fuel} , л/100км/А·ч	C_0 , л/100км
1	11,53	-0,100	149,06	26,43
2	9,64	-0,110		26,04
3	10,93	-0,100		25,84
4	10,93	-0,100		25,84

Данная таблица показывает, что приведенный расход топлива оказывается значительно выше, чем в реальном случае, что противоречит логике.

В результате проведенных испытаний и последующих расчетов была разработана другая методика определения топливной экономичности автомобилей с ГСУ по правилам 83 и 101.

Суть ее заключается в том, что при испытании автомобиля с ГСУ необходимо определить баланс электрической энергии. Баланс энергии равен нулю, если энергия, потребляемая из накопителя, равна энергии, рекуперированной генератором. Энергия, потребляемая или рекуперированная равна произведению силы тока на напряжение и время. Так как сила тока в тяговом режиме и при рекуперации переменная, то все время записи разбивается на элементарные отрезки, величину силы тока на которых можно принять постоянной, средней на данном участке. При отрицательном балансе недостаток энергии может компенсироваться работой ДВС. Топливо, затраченное на восполнение недостатка энергии, необходимо прибавить к измеренному расходу топлива в городском цикле. При компенсации недостатка электрической энергии ДВС работает на режиме минимальных удельных расходов топлива. При использовании на автомобиле с ГСУ механической ступенчатой коробки передач можно утверждать, что частота вращения коленчатого вала двигателя изменяется в достаточно узком диапазоне. При этом удельные расходы топлива в этом интервале частот также изменяются в относительно небольшом диапазоне. Так, для двигателя УМЗ 4218.10 удельные расходы находятся в пределах 260 – 300 г/кВтч. В этом случае допустимо принять средний удельный расход топлива на этапе компенсации дефицита электрической энергии $g_{\text{ср.}} = 280$ г/кВтч (см. нагрузочную характеристику ДВС, рис.10).

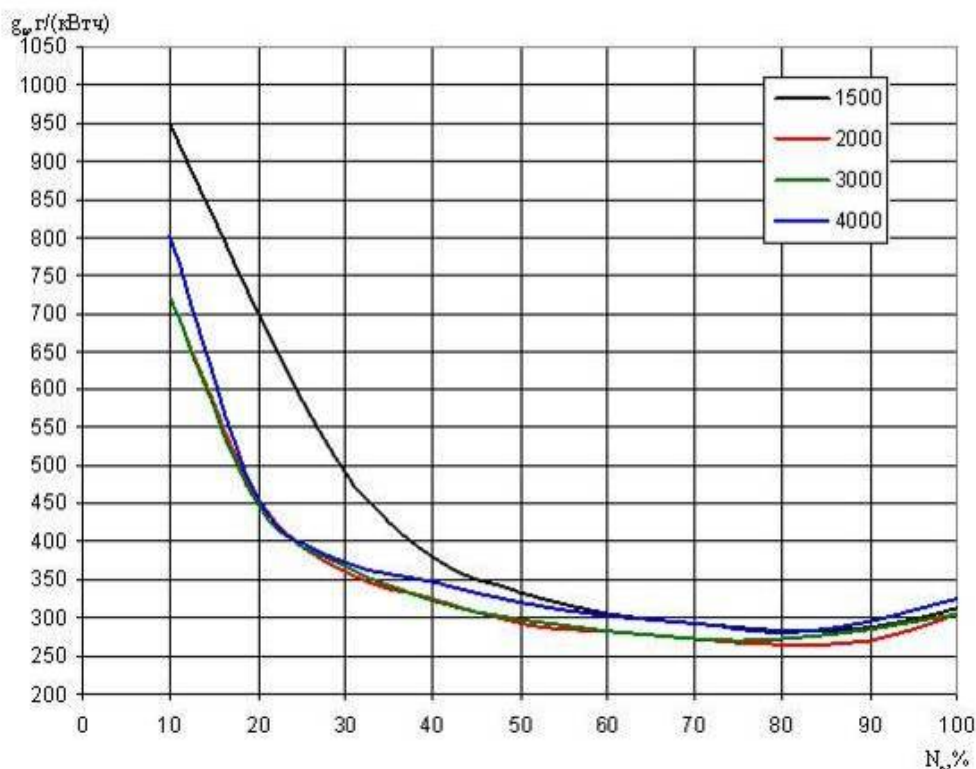


Рис. 10 Нагрузочная характеристика двигателя УМЗ 4218.10

Дефицит электрической энергии ΔE , выраженный в кВт·ч, необходимо умножить на принятый средний удельный расход топлива. Полученное количество топлива ΔQ следует прибавить к количеству топлива $Q_{\text{цикл.}}$, израсходованного при движении в городском цикле.

Так, например, при испытании автомобиля УАЗ-3153 с ГСУ:

- дефицит электрической энергии ΔE составил в среднем 0,694 Ач (300 кВт·с) на 195 с цикла;
- измеренный за цикл расход топлива $Q_{\text{цикл.}} = 110 \text{ см}^3$

- количество дополнительного топлива, необходимого для компенсации полученного дефицита электрической энергии:

$$\Delta Q = \frac{\Delta E}{3600} \cdot g_{\text{ср.}} = \frac{300}{3600} \cdot 280 = 23,3 \text{ г (31,9 см}^3\text{)}.$$

Таким образом, эквивалентный расход топлива в городском цикле:

$$Q_{\text{цикл.}} + \Delta Q = 110 + 31,9 = 141,9 \text{ г, что составляет 12,9 л/100 км.}$$

Если, как в рассмотренном выше примере, принять недостаток энергии в 0,100 А·ч (43,2 кВтс), то количество дополнительного топлива составит 3,36 г (4,6 см³). Эквивалентный расход топлива в городском цикле:

$$Q_{\text{цикл.}} + \Delta Q = 110 + 4,6 = 114,6 \text{ см}^3, \text{ что составляет 10,5 л/100 км.}$$

Как видно из приведенного примера, предлагаемая методика реально учитывает снижение эквивалентного расхода топлива при уменьшении дефицита электроэнергии.

Кроме того, были проведены дорожные испытания автомобиля, при которых замерялся расход топлива в городском цикле при движении с разными схемами ГСУ (рис. 11).



Рис. 11. Дорожные испытания гибридного автомобиля.

Результаты испытаний приведены в табл.8.

Таблица 8.

Расход топлива в дорожном городском цикле

Тип силовой установки	1	2	3	4	5
Q_s г.ц., л/100км	20,074	15,600	14,800	15,100	14,925
разница, л/100км		4,47	5,274	4,974	5,1
разница, %		22,29	26,27	24,78	25,65

где: 1 – автомобиль в стандартной комплектации;

2 – ГСУ, отдельный полный привод, движение только на третьей передаче в КП;

- 3 – ГСУ, раздельный полный привод, движение на третьей и четвертой передачах в КП;
- 4 – ГСУ, задний привод, движение на третьей и четвертой передачах в КП;
- 5 – ГСУ, блокированный полный привод, движение на третьей и четвертой передачах в КП.

Выводы

Таким образом, как показали проведенные испытания, наличие гибридной силовой установки на транспортном средстве обеспечивает существенную экономию топлива, значительное снижение экологически вредных выбросов, уменьшение суммарного времени работы ДВС, особенно в местах вынужденной остановки при движении в режиме городского цикла, что положительно сказывается на потребительских качествах таких автомобилей в сравнении со стандартными автомобилями.

Теоретическое исследование вибрационной характеристики силового агрегата полноприводного легкового автомобиля при движении по неровной дороге

к.т.н., проф. Дементьев Ю.В., Ле Чонг Кьонг
МГТУ «МАМИ»

Предлагаются кинематическая модель трансмиссии и колебательная динамическая модель полноприводного легкового автомобиля, позволяющие исследовать вибронагруженность силового агрегата и кузова с учетом нелинейности характеристик ряда упругих элементов в трансмиссии и влияния неровности дорог, выбирать рациональные параметры подвесок агрегатов на стадии проектирования и доводки. Предложенная модель учитывает вертикальные, и крутильные колебания трансмиссии.

Механические колебания, возникающие при движении автомобиля, являются причиной различного рода вибраций, приводящих к усталостным разрушениям агрегатов и формирующих акустическое поле значительной интенсивности. Исследования колебаний в трансмиссии автомобиля связаны с появившейся крайней необходимостью оценки и расчета динамической нагруженности трансмиссии как выпускаемых, так и вновь создаваемых автомобилей.

Трансмиссию автомобиля можно представить в виде комплекса маховых масс, соединенных между собой валами, муфтами и другими упругими элементами с различной угловой жесткостью. Эти конструктивные элементы образуют сложные крутильные колебательные системы с рассредоточенными параметрами. Кроме того, сцеплением ведущих колес с дорогой поступательно движущаяся масса автомобиля также включается в крутильную колебательную систему трансмиссии через эластичные в тангенциальном направлении шины.

Исследование динамической нагруженной трансмиссии автомобиля невозможно без рассмотрения колебательной системы, которая образуется ее конструктивными элементами, поскольку переменные внешние воздействия, прикладываемые к такой системе, влияют на состояние баланса энергии в ней и вызывают сложные взаимные перемещения масс, закручивание упругих элементов, колебания нагружающих детали трансмиссии моментов.

В связи с этим стоит задача правильного и точного учета колебаний силового агрегата и выбора рациональных параметров его подвески на стадии проектирования и доводки автомобиля.

Цель работы - исследование вибрационной характеристики силового агрегата автомобиля.

В этой работе решаются следующие задачи:

- создание кинематической и динамической схем трансмиссии автомобиля, учитывающих влияние нелинейных звеньев и неровностей дороги;
- создание математического описания динамической модели колебаний силового агрегата;