

Рис. 1. Параллельная конструктивная схема ГСУ

В параллельной схеме ЭД и ДВС соединены между собой с помощью согласующего редуктора (сумматора), основной функцией которого является суммирование крутящих моментов, подводимых к нему от ДВС и ЭД, для их дальнейшей передачи через агрегаты трансмиссии на движитель машины. В этом случае возможна работа машины, во-первых, только при работе ДВС; во-вторых, только при работе ЭД (энергия от накопителя электрической энергии); в-третьих, при совместной работе ДВС и ЭД. Недостаток – обязательное усложнение трансмиссии для обеспечения отбора (подвода) мощности электрической машины и определенное усложнение СУ работой ГСУ [3].

Каждый режим работы характеризуется своими затратами мощности. Они зависят от многих параметров, которые учитываются при расчетах.

Отдельно необходимо сказать о тормозном моменте, который также реализуется в тяговых приводах. В этом случае имеет место режим рекуперации энергии. Рекуперированная энергия может поступать в буферный накопитель (аккумулятор) или сбрасываться в ДВС через обратимый мотор-генератор.

Режимы работы ЭД в тяговом приводе и в генераторах существенно различаются, что обуславливает различие в методиках их проектирования и электромагнитного расчета. Максимальный момент тягового двигателя реализуется на относительно низких частотах вращения (низких частотах источника питания), а при высоких частотах вращения момент снижается. Следовательно, для снижения массы тягового двигателя рационально увеличить число пар полюсов. При этом потери с повышением частоты вращения и частоты питания возрастают несущественно. Напротив, в электрогенераторе максимальный момент реализуется на максимальной частоте вращения, и для оптимизации параметров генератора следует снижать потери на высоких частотах, что требует использования двигателя относительно небольшим числом пар полюсов [4].

Мощность ЭД рассчитывается через мощность, необходимую транспортному средству в различных условиях, и через мощность ДВС.

От правильного выбора ЭД по мощности зависят надежность его работы в электроприводе и энергетические показатели в процессе эксплуатации. В тех случаях, когда нагрузка двигателя существенно меньше номинальной, он недоиспользуется по мощности, что свидетельствует об излишних капитальных вложениях, его КПД и коэффициент мощности заметно снижаются.

Задача выбора ЭД по мощности осложняется тем обстоятельством, что нагрузка на его валу в процессе работы, как правило, изменяется во времени, вследствие чего изменяются также потери мощности и соответственно температура двигателя. Если при этих условиях выбрать двигатель таким образом, чтобы его номинальная мощность была равна наибольшей мощности нагрузки, он будет недоиспользован по мощности. Очевидно также, что недопустимо выбирать номинальную мощность двигателя равной минимальной мощности нагрузки [5].

3. Определение силовых факторов, действующих на ТС, и мощности ГСУ

Первым шагом в моделировании ТС является составление уравнения силового баланса. При движении автомобиля касательная сила тяги P_k уравновешивается силами сопротивления, которые могут быть представлены следующей суммой [6]:

$$P_k = P_f + P_w + P_a + P_j, \quad (1)$$

где

- $P_f = P_{f1} + P_{f2}$ – это сила сопротивления качению автомобиля;
- P_w – это сила сопротивления воздуха;
- P_a – это сила сопротивления подъему;
- P_j – это сила инерции (можно интерпретировать как силу сопротивления разгону).

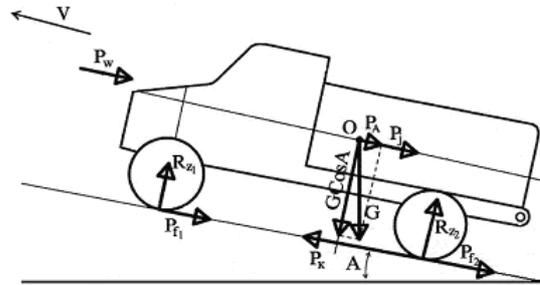


Рис. 2. Силы, действующие на автомобиль в общем случае движения:
 Н – центр масс; α – угол подъема дороги; G – вес автомобиля; V – скорость

В результате соответствующих расчетов по мощности были выбраны следующие значения для ДВС и ЭД: $P_{двс} = 22$ кВт, $P_{эд} = 25$ кВт.

4. Моделирование ГСУ и системы управления

В случае параллельного типа ГСУ (рис. 3) ДВС и ЭД соединены с помощью согласующего редуктора (или планетарной передачи), главной функцией которого является суммирование моментов на выходах ДВС и ЭД [7].

ДВС выполняет следующие функции в ГСУ (для параллельной схемы):

1. Трогание с места и разгон. ДВС работает с постоянной мощностью – когда его мощности не хватает, то включается ЭД, и они работают совместно до тех пор, пока мощность не будет достаточной (пунктирная линия на рис. 4). Если его мощность превышает требуемую мощность, то ЭД начинает работать в режиме генератора и энергия от ДВС идет для подзарядки аккумулятора (пунктирная линия на рис. 3).

2. Движение с постоянной скоростью. ДВС работает с постоянной мощностью – его мощность превышает требуемую, и излишек энергии идет для подзарядки аккумулятора (пунктирная линия на рис. 3).

3. Рекуперативное торможение. ДВС работает с постоянной мощностью – его мощность превышает требуемую, и излишек энергии идет для подзарядки аккумулятора (пунктирная линия на рис. 5).

4. Остановка. ДВС работает с постоянной мощностью – его мощность превышает требуемую, и излишек энергии идет для подзарядки аккумулятора (пунктирная линия на рис. 3).

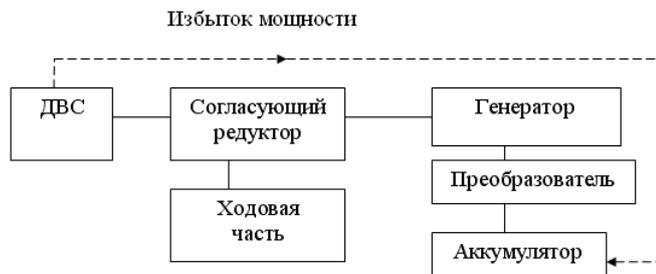


Рис. 3. Автомобиль с ГСУ параллельного типа при избытке мощности



Рис. 4. Автомобиль с ГСУ параллельного типа при недостатке мощности

В ГСУ ЭД выполняет следующие функции (для параллельной конструктивной схемы) [7]:

- 1) осуществляет запуск ДВС;
- 2) работает в двигательном режиме при разгоне ТС;

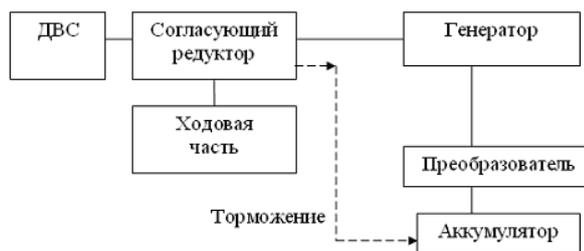


Рис. 5. Автомобиль с ГСУ параллельного типа при торможении

3) работает в режиме генератора, преобразуя излишнюю кинетическую энергию в электрическую при движении транспортного средства с постоянной скоростью и торможении и осуществляя, таким образом, подзарядку аккумуляторных батарей;

4) при остановке осуществляет отвод лишней энергии от ДВС для подзарядки аккумуляторных батарей.

Поскольку мы имеем дело с ДВС с карбюраторной системой подачи топлива, постольку при моделировании не будет регулироваться состав топливовоздушной смеси. Упрощенная схема подачи входных параметров не предусматривает управление процессами в ДВС. Допускаем, что в данном случае ДВС работает при своей номинальной мощности и поэтому в оптимальном режиме расхода топлива.

На рис. 6 представлена модель ГСУ и ее СУ в программном продукте MATLAB.

В модели присутствуют следующие элементы: блок, моделирующий работу ДВС; блок, моделирующий работу ЭД; блок, моделирующий аккумулятор; блок, моделирующий ТС; блок планетарной передачи; блок системы управления.

Блоки ЭД и аккумулятора объединены в один блок электрической подсистемы.

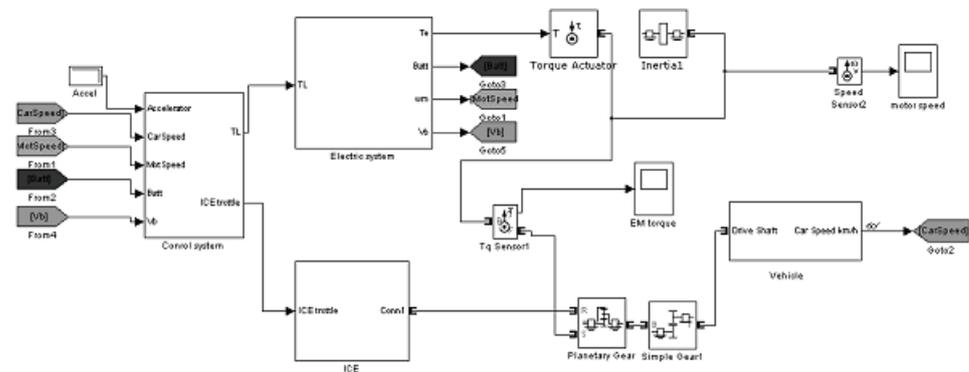


Рис. 6. Модель ГСУ в MATLAB

В данной модели ДВС и электрическая подсистема (блок ICE и блок Electric system на рис. 6 соответственно) соединены между собой с помощью планетарной передачи (блок Planetary gear), на выходе которой – суммарный момент от обоих двигателей. Далее планетарная передача соединена с блоком ТС (Vehicle). Система управления (блок Control system) регулирует входные величины блоков ЭД и ДВС.

Обратная связь осуществлена с помощью блоков датчиков (CarSpeed, MotSpeed, Batt, Vb), которые фиксируют текущие значения скорости ТС, скорости вращения ЭД, уровень заряда аккумулятора и напряжение аккумулятора.

Подсистема ДВС представлена на рис. 7.

Для моделирования ДВС в ПП MATLAB используется блок «Gasoline Engine» в библиотеке «SimScare», который моделирует бензиновый карбюраторный двигатель с регулятором частоты вращения. В диалоговом окне блока указываются: максимальная мощность, скорость при максимальной мощности и максимальная скорость.

ДВС работает при изменяющейся скорости, которую можно регулировать с помощью сигнала дросселя Simulink. Этот сигнал напрямую регулирует выходной момент, который развивает двигатель, и регулирует скорость, при которой работает двигатель. Если скорость двигателя достигает максимального значения скорости,

которая указывается заранее, момент двигателя резко понижается до нуля. Как уже отмечалось ранее, модель не включает в себя динамику сгорания топливоздуш- ной смеси.

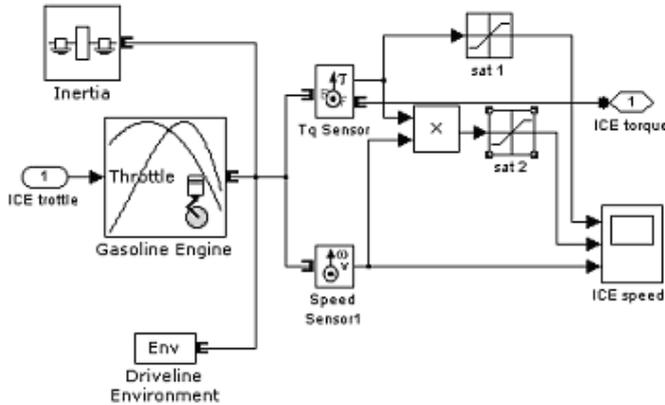


Рис. 7. Подсистема ДВС

В блоке подразумевается, что сигнал дросселя поступает через входной порт Simulink. Этот сигнал определяет момент двигателя как часть максимально допустимого момента для устойчивого состояния при постоянной скорости двигателя и должен лежать в пределах от 0 до 1. Сигнал дросселя ниже нуля воспринимается как 0, 0 воспринимается как 0, а больше 1 – как 1.

Для того чтобы избежать случаев, когда мощность двигателя и момент станут отрицательными, в модели устанавливается верхний предел при максимальной скорости. Если скорость превышает максимальную, указанную заранее, SimDriveline выдает ошибку, которая показывает верхний предел.

На рис. 8 представлена электрическая подсистема ГСУ.

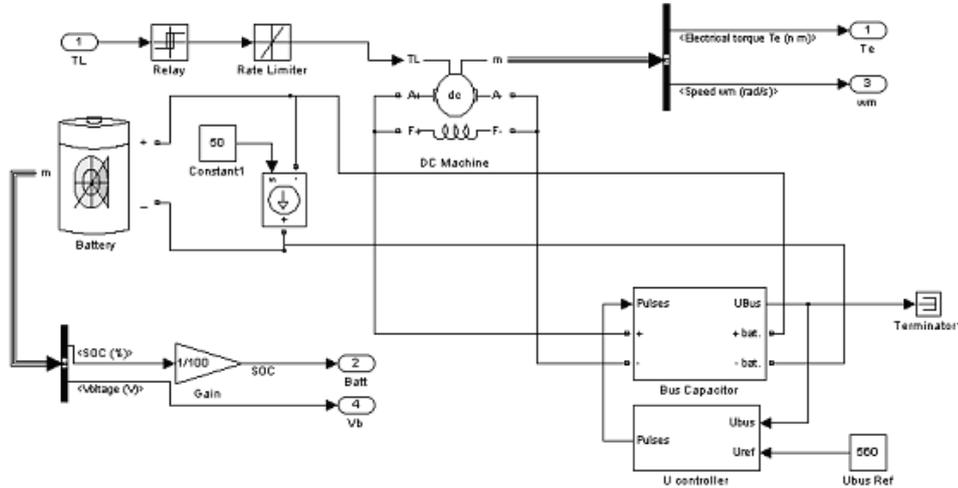


Рис. 8. Электрическая подсистема ГСУ

В электрической подсистеме представлен блок ДПТ (DC machine), блок аккумулятора (Battery) и блок преобразователя напряжения (Bus Capacitor и U controller). Входным параметром электрической подсистемы является управляющий сигнал с блока СУ (TL), а выходными – момент ЭД (T_e), скорость вращения ЭД (ω_m), уровень заряда аккумулятора (Batt) и напряжение аккумулятора (V_b).

Для моделирования электропривода используются блоки из библиотеки «Electric Drives Library». В этой библиотеке содержатся семь видов приводов (от DC1 до DC7) с различными типами двигателей, преобразователей, регуляторов. В основе этих семи моделей лежат ДПТ. Как и большинство ЭД, они имеют статор (неподвижная часть) и ротор (подвижная часть). В нем также имеются два типа обмоток – ОВ и обмотка якоря. Как видно из названия, ОВ предназначена для возбуждения поля в двигателе, тогда как витки обмотки якоря проводят индуцируемый ток. Так как временная постоянная цепи якоря (L/R) значительно меньше временной постоянной ОВ, регулирование скорости лучше производить через изменение напряжения якоря, чем через изменение поля. Поэтому возбуждающее поле «питается» от источника постоянного тока, а обмотка якоря «питается» от изменяющегося источника постоянного тока. Последний источник включает в себя тиристорный конвертер с управляемой фазой для моделей DC1–DC4. Тиристорный конвертер питается от источника переменного тока для моделей DC1 и DC2 и от источника трехфазного тока в случаях с DC3 и DC4. Так же семь моделей ДПТ могут работать в различных квадрантах.

При моделировании аккумуляторной батареи используется блок «Battery» из библиотеки «Electrical source». Этот блок моделирует общую модель, содержащую параметры основных типов аккумуляторов.

В диалоговом окне блока «Battery» указываются тип аккумулятора, номинальное напряжение, номинальная емкость, начальный заряд батареи.

На рис. 9 представлена подсистема ТС.

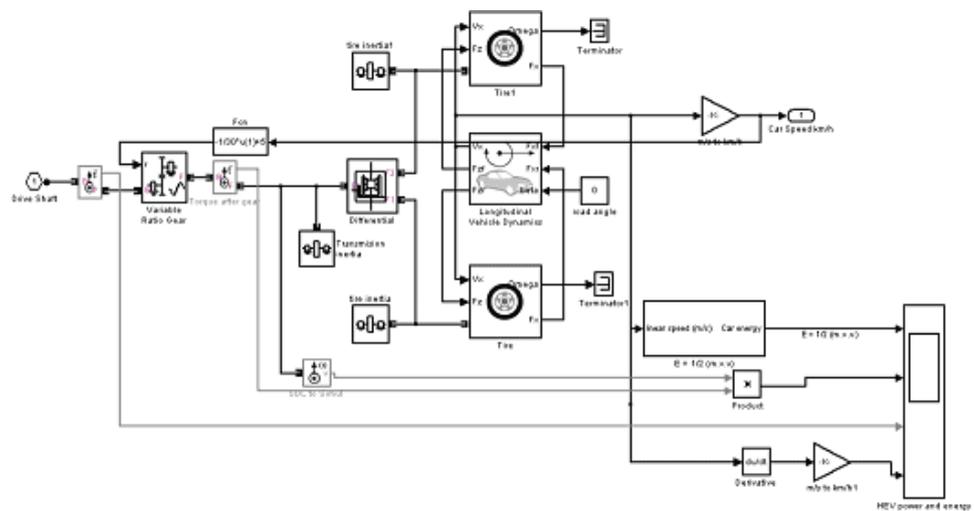


Рис. 9. Подсистема ТС

Эта подсистема состоит из блока продольной динамики ТС (Longitudinal Vehicle Dynamics) и блока колес (Tire). Входной параметр – суммарный момент от обоих двигателей (Drive Shaft), выходной – скорость движения ТС (CarSpeed).

Блок продольной динамики ТС моделирует продольную динамику и движение четырехколесного ТС с двумя осями.

Этот блок моделирует ТС с двумя осями с четырьмя колесами одинакового размера, которое движется вперед или назад вдоль своей продольной оси. Пользователь задает продольные силы F_{xf} , F_{xr} , приложенные к передней и задней точкам соединения с колесами, а также угол наклона плоскости β как сигналы на входе блока. Блок производит расчет скорости движения ТС V_x и переднюю и заднюю нагрузочные силы F_{zf} , F_{zr} ТС как сигналы на выходе.

Пользователь в диалоговом окне должен задать массу и определенные геометрические и кинематические характеристики: положение центра тяжести ТС относительно передней и задней оси и земли; площадь фронтальной поверхности кузова ТС; коэффициент аэродинамического сопротивления и начальную скорость ТС.

Блок колес (Tire) моделирует колеса ТС в соприкосновении с дорогой. Момент от оси моста передается на колеса через карданную передачу. Пользователь должен задать вертикальную нагрузку F_z и горизонтальную составляющую скорости ТС V_x как сигналы на входе блока. На выходе блока получаем угловую скорость вращения колеса Ω и силу F_x .

Принято, что для положительных значений силы F_z она направлена вниз. Если вертикальная сила F_z равна нулю или отрицательна, то горизонтальная составляющая силы F_x исчезает. Продольное направление лежит на оси, соединяющей оси переднего и заднего мостов ТС.

В диалоговом окне указываются радиус качения, номинальная вертикальная нагрузка, максимальная продольная сила при номинальной нагрузке, скольжение при максимальной силе при номинальной нагрузке и длина релаксации.

В параллельной схеме выходные валы ДВС и электродвигателя должны быть соединены с помощью согласующего редуктора. В данном случае при моделировании ГСУ в ПП MATLAB мы будем использовать планетарную передачу, которая обычно используется в комбинированных системах ГСУ.

Планетарный редуктор имеет тип передачи, который относится к зубчатым передачам с непосредственным контактом тел вращения. Это передачи вращательно-го движения, которые служат для передачи энергии от двигателей к рабочим машинам, с преобразованием скоростей, сил и крутящих моментов.

Блок планетарной передачи «Planetary Gear» из библиотеки «Gears» представляет набор из водила (C), солнечной шестерни (S), планетарной шестерни и кольцевой шестерни (R) с определенным передаточным числом между кольцевой и солнечной шестерней.

Планетарный редуктор может быть построен из планетарных и кольцевых шестерен. Кольцевая и солнечная шестерни вращаются в одном направлении с постоянным передаточным числом и в разных направлениях с водилом.

В диалоговом окне блока «Planetary gear» указывается передаточное отношение между кольцевой и солнечной шестернями.

На выходе блока ТС имеем график зависимости скорости ТС от времени, представленный на рис. 10.

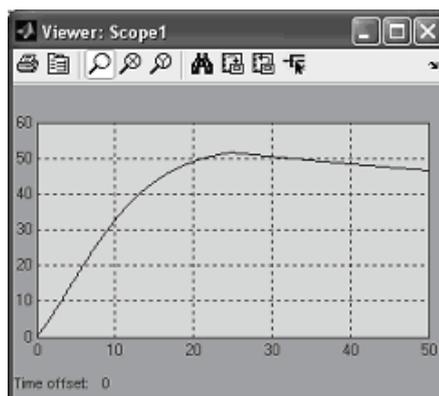


Рис. 10. График зависимости скорости ТС от времени

При моделировании различных ездовых циклов можно получить различные графики зависимости скорости от времени для различных участков, таких как разгон, движение с постоянной скоростью, торможение, ускорение, остановка.

Заключение

Моделирование ГСУ и ее системы управления позволяет значительно удешевить процесс ее разработки и дальнейших испытаний, а также более подробно изучить работу ГСУ в различных эксплуатационных условиях.

Проведенное моделирование работы автомобиля с ГСУ параллельного типа обеспечивает обоснование выбора способов управления ГСУ, а разработанная в результате моделирования модель позволяет получать характеристики работы автомобиля с гибридной силовой установкой параллельного типа.

Список литературы

1. Мельников С. В., Неведов Г. Ф., Фомин А. В. Создание экспериментальной комбинированной энергосиловой установки для легкового автомобиля // Актуальные проблемы автомобильного, железнодорожного, трубопроводного транспорта в Уральском регионе : материалы междунар. науч.-техн. конф. (1–3 дек. 2005 г.) / [редкол.: Я. И. Вайсман и др.]. – Пермь : ПГТУ, 2005. – С. 227–233.
2. Федосеев Ф. И. Подъемно-транспортные машины : учеб. для машиностроит. специальностей вузов. – 6-е изд., перераб. – М. : Высш. шк., 1985. – 520 с.
3. Мельников С. В., Неведов Г. Ф., Фомин А. В. Электрические машины : в 2 ч. : учеб. для студентов вузов, обучающихся по электротехн. специальностям. – 2-е изд., перераб. и доп. – М. : Высш. шк., 1987.
4. Мельников С. В., Неведов Г. Ф., Фомин А. В. Основы теории исследования эксплуатационных свойств автомобиля. – Ижевск : Регуляр. и хаот. динамика, 2006. – 240 с.
5. Rápek, V. Dynamika elektromobilov. – Trenčín : Trenčianska univerzita Alexandra Dubčeka v Trenčíne, Fakulta mechatroniky. 2009. – 26 s. – ISBN 978-80-8075-442-6.
6. Umnyashkin, V. A., Filkin, N. M. Control System by Electromechanical Gear of a Hybrid Automobile // Mechatronics and quality of production : University Review. – Trenčín, TnUAD – IGTU. – 2007. – Vol. 1, nr 2. – Pp. 9-17. – ISSN 1337-6047.
7. Jambor, J. SSQM in Service Activities of Automotive Industry // Mechatronika 2008 : Proceedings of 11th International Conference on Mechatronics. Slovakia, Trenčianske Teplice, June 4-6, 2008. – Pp. 87-90.

N. G. Penina, Magstrand, Izhevsk State Technical University

Yu. V. Turygin, Doctor of Technical Sciences, Professor, Izhevsk State Technical University

N. M. Filkin, Doctor of Technical Sciences, Professor, Izhevsk State Technical University

Vladimír Rápek, Prof. Ing., DrSc., Alexander Dubček University of Trenčín, Slovakia (Trenčianska univerzita Alexandra Dubčeka v Trenčíne)

Modelling of HEV Car

The paper presents a review of hybrid electric vehicles (HEV), its main advantages. The parallel type of HEV and its advantages and disadvantages are considered in more detail. A schematic of parallel HEV and describing of main parts is presented. A structural control schematic is shown and main parts and its purpose are described. A HEV model in MATLAB is shown. Main model blocks, its purpose and parameters are considered.

Keywords: hybrid electric vehicle (HEV), parallel electric vehicle (PEV), hybrids

Получено: 30.03.11

УДК 629.113

G. F. Nbevdbg, доктор технических наук, профессор;

□ : . *Kdłjph* , магистрант

Ижевский государственный технический университет

РАЗРАБОТКА СТЕНДА ДЛЯ ВИБРОАКУСТИЧЕСКОЙ ДИАГНОСТИКИ ДЕФЕКТОВ ВЕДУЩИХ МОСТОВ ЛЕГКОВЫХ АВТОМОБИЛЕЙ

Ij_kl_gZ kljmdlmjgZy ko_fZ kl_gZ ey bZghklbdb \msbo fhklh\ Zhfhpe_c , \ hkghm dhlhjh ih eh_gZ bjhZdmklbq_kdZy hp_gdZ^ndlh\ bZghklbjm_fuo fhklh\ . KnhjmebjhZgu aZZqb , dhlhju_ g_hphbfn j_rZlv ijb khaZgbb kj_kl\ bZghklbdb , b hibkZg ijbgbpi jZflu kl_gZ .

Ключевые слова: виброакустическая диагностика, ведущий мост, стенд

Ведущий мост автомобиля является важным агрегатом при передаче крутящего момента от двигателя к ведущим колесам. Агрегаты трансмиссии должны функционировать во всех режимах эксплуатации автомобиля. Потеря работоспособности ведущего моста приводит к потере работоспособности автомобиля в целом. В связи с этим к техническому состоянию данного агрегата необходимо предъявлять повышенные требования, а также необходимо вести систематический мониторинг, дающий четкое представление о текущем техническом состоянии ведущего моста, и иметь возможность прогнозирования наступления отказа данного агрегата трансмиссии.

На сегодняшний день существуют два основных метода диагностирования технического состояния ведущих мостов автомобилей: шумовая диагностика (экспертная диагностика) и инструментальная диагностика.

Шумовая диагностика, как видно из названия, строится на изучении шума, издаваемого при работе ведущим мостом. Данный вид диагностирования носит еще название «экспертное диагностирование», так как проводится специалистом (экспертом), имеющим большой опыт эксплуатации и обслуживания автомобилей. Данный вид диагностирования дает довольно общее понятие о техническом со-