

# КОМБИНИРОВАННЫЕ ИСПЫТАНИЯ АВТОМОБИЛЕЙ, СИСТЕМ И КОМПОНЕНТОВ АВТОМОБИЛЕЙ

В начале XXI века производителям автомобильной техники необходимо решить ряд очень серьезных задач: ужесточение норм по экологической чистоте, обеспечение высокой экономичности в связи с ограниченным запасом природных ресурсов с последующим переходом на альтернативные источники энергии или создание новых гибридных схем силовых установок, улучшение эффективных характеристик силовых установок автомобилей, повышение требований по комфорту и эргономичности: нелегкий естественный отбор - сохранение конкурентоспособности и борьба за существование - улучшение позиций на национальных и международных рынках.

Решение этих задач является результатом успешной деятельности в различных отраслях промышленности, областях научной деятельности.

Матвей Резников  
Марат Кашапов  
info@ostec-smt.ru

**П**ристальное внимание современных автомобилестроителей привлекает применение средств, позволяющих использовать комплексное регулирование всех систем современного автомобиля. Новые технологии, новые конструкторские решения, новые материалы обеспечивают теоретически неограниченные возможности по совершенствованию систем управления, с целью достижения заданного уровня параметров. Но практически необходимо, чтобы система управления помимо отменных функциональных качеств обладала еще достаточным уровнем живучести и надежности. Изделия общего назначения - приборы и детали, используемые в автомобильных транспортных средствах (группа надежности «А») - находятся в самых тяжелых условиях. Изделие должно выдерживать высокие температуры, перепады температур, вибрацию, механические удары и толчки, влажность, попадание на проводники воды с ионными загрязнениями, изменение напряжения, статическое электричество.

Например, в подкапотном пространстве температура может достигать 100 -150°C, при действии прямых лучей солнца на элементы внутренней отделки и приборную панель - до 100°C. Значения влажности достигают предельных значений: при

падении температуры влага конденсируется, запускается механизм ионной миграции, электрохимической коррозии.

## 1 Экспериментальные данные по воздействиям на системы автомобиля: климатические воздействия

### 1.1 Источники тепла

Основными источникам тепловыделения в автомобиле являются диссипация энергии, т.е. тепловое излучение двигателя. Самые тяжелые условия в подкапотном пространстве реализуются при движении в гору и в городских пробках. Тенденция к уменьшению размеров подкапотного пространства, более плотное размещение агрегатов, иногда недостаточно широкие (для соответствия дизайнерской концепции) жалюзи для охлаждения моторного отсека вместе с увеличивающимся тепловыделением двигателя, турбокомпрессора и системы управления фазами газораспределения, увеличение тепловыделения и ухудшение конвекции приводит к тому, что температура под капотом автомобиля достигает 80-120°C. В таблице 1 приведены характерные температуры для наиболее теплонагруженных элементов двигателя автомобиля.

Таблица 1 Максимальная температура в моторном отсеке	
Место измерений	максимальная температура, °C
охлаждающая жидкость двигателя	120
температура масла двигателя	120
масло коробки передач	150
впускной коллектор	120
выпускной коллектор	650
воздухозаборник генератора	130

### 1.2 Изменение температуры во время парковки

При парковке на открытой стоянке в солнечный день при полностью закрытых дверях и окнах под действием прямых солнечных лучей температура

передней панели и на задней полке салона может достигать 110-120°C. Воздух в салоне нагревается до температуры 65-85°C. В таблице 2 приведены характерные температуры для различных частей салона.

### 1.3 Относительная влажность

Большинство автомобилей в настоящее время оснащается системой контроля климата в салоне. При открытии дверей воздух с высоким содержанием влаги попадает в салон и конденсируется при попадании на поверхности устройств и элементы внутренней отделки. Характерный пример. Автомобиль простоял длительное время на открытом воздухе при низкой температуре. При запуске двигателя и включении обогревателя поток горячего воздуха от двигателя начинает омыwać устройства и приборы, расположенные на передней панели. В течение некоторого времени после включения обогревателя возникает перепад между температурой воздуха в салоне и температурой поверхности панели и расположенных на ней элементов конструкции. Эта разница температур вызывает конденсацию влаги на внутренней и внешней поверхности устройств, подверженных этому перепаду.

### 1.4 Условия эксплуатации бортовой автомобильной электроники

Автомобильная электроника при эксплуатации должна выдерживать:

1 высокие и низкие температуры;

2 перепады температур в течение короткого промежутка времени.

Кроме того, приведенные выше условия усугубляются изменениями средней температуры в салоне и механическими воздействиями от двигателя, неровностей дороги и характера езды.

Пример А. Запуск двигателя и начало движения автомобиля после стоянки под прямыми солнечными лучами.

Необходимо обеспечить бесперебойную работу устройств автомобиля при температурах 80-120°C. В течение 10 минут после включения кондиционера температура в салоне достигает значений в 20-25°C. После парковки и выключении кондиционера, температура повышается снова до 80-120°C.

Пример Б. Запуск двигателя после зимней ночной стоянки в холодном климате. Температура окружающей среды -30°C. Необходимо обеспечить безотказную работу всех систем автомобиля. В течение 10 минут температура в подкапотном пространстве достигает 80-120°C. Обогреватель салона доводит температуру воздуха до значений в 20-25°C. По завершении поездки и постановке на стоянку, температура всего автомобиля и его систем снова возвращается до -30°C.

Таблица 2 Максимальная температура в салоне

Место измерений	максимальная температура, °C
Верхняя часть приборной панели	120
Нижняя часть приборной панели	71
Пол салона	105
Задняя полка салона	117
Обивка салона	83

Таблица 3 Максимальная влажность в разных отсеках автомобиля

Место измерений	максимальная температура, °C/ % значения относительной влажности
Подкапотное пространство (в непосредственной близости от двигателя)	
Подкапотное пространство (в непосредственной близости от панели приборов)	66/80
Сиденья пассажиров	66/80
Вблизи боковых дверей	
Вблизи приборной панели	
Поверхность пола	66/80
Задняя полка салона	
Багажник	

По данным журнала «Vehicle electronics and reliability»

**1.5 Условия эксплуатации датчиков автомобильных систем**

Датчики и сенсоры автомобильных систем подвержены очень сильным внешним воздействиям в виде вибраций, ударов, крайних температур, высокой относительной влажности, разрядам статического электричества и колебаниям напряжений. Любые неполадки и отказы могут привести к аварии на скоростной автостраде. Поэтому требования к надежности оборудования предъявляются очень высокие:

1 Высокие требования по эксплуатации в тяжелых условиях.

2 Средние требования по точности измеряемой величины (по сравнению с изделиями специального назначения).

В таблице 4 приведены точность и допустимая интенсивность отказов датчиков автомобильных систем.

Современные датчики отслеживают ускорения элементов шасси в направлении 2-х осей, и ускорения движения транспортного средства в направлении 3-х осей для активации подушек безопасности, служат для определения содержания различных химических соединений и элементов выпускных газов, рабочей смеси т. д.

**2 Экспериментальные данные по воздействиям на системы автомобиля: механические воздействия**

Существует множество источников вибрации, шума и механических ударов, которые передаются в салон автомобиля, на его системы и компоненты. На рисунке 1 приведена примерная классификация видов механических воздействий, испытываемых транспортным средством при эксплуатации, транспортировке и хранении, и комментарии по причинам их возникновения. При эксплуатации автомобиля

Источники вибрации и ее влияние на подвесную систему и управление

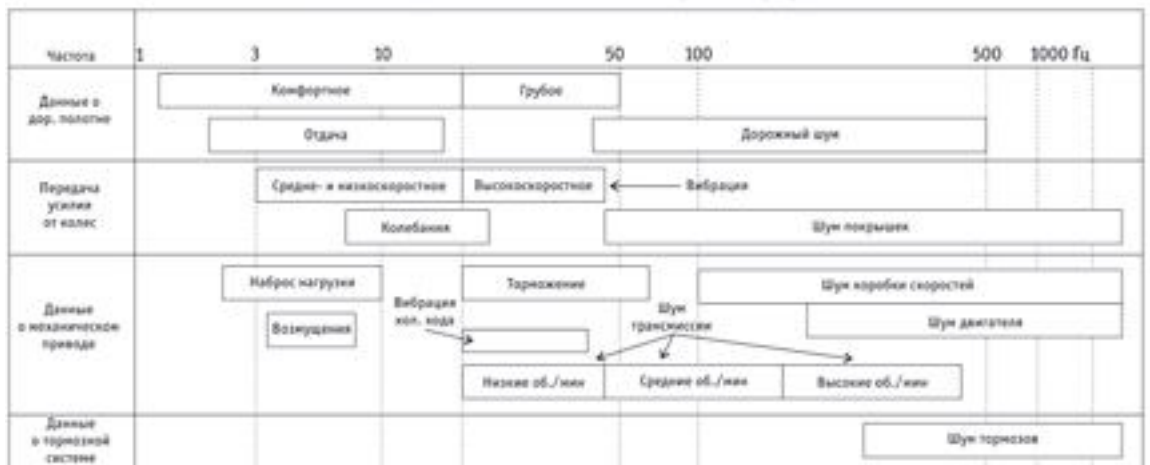


Рис. 1 Салон: механические воздействия и причины их

Таблица 4 Технические характеристики и требования по устойчивости к воздействиям окружающей среды для датчиков для различных применений

Назначение	Для бытового использования	Для измерений	Авионика	Транспорт	
Точность	несколько %	от 0.1 до 1%	от 0.1 до 1%	более 1%	
Выносливость окружающей среды	Температура при эксплуатации	от -10 до 50°C	от 0 до 40°C	от -55 до 70°C	от -40 до 120°C
	Перегрузки	до 5G	1G	от 0.5 до 10G	от 2 до 25G
	Отклонения питающего напряжения	±10%	±10%	±10%	±50%
	Электромагнитный фон		хороший	неблагоприятный	плохой
	Водный раствор солей		нет		да
	Вода	да	нет		да
	Вода с загрязнениями		нет	нет	да
Газы		нет	нет	да	
Интенсивность отказов			Не более 10 <sup>9</sup>	Не более 10 <sup>9</sup> 10 <sup>6</sup> км пробега	

По данным журнала «Vehicle electronics and reliability»

присутствуют практически все виды механических воздействий. Низкочастотная вибрация и толчки, как правило, связаны с макропрофилем дороги: неровностями, выбоинами. Среднечастотная вибрация – с вибрацией двигателя и с биением неуравновешенных вращающихся масс. Шумы представлены относительно широкими полосами спектра. Форма и расположение того или иного спектра зависит от источника шума.

### 2.1 Классификация шумов при движении автомобиля

Вибрация на частотах от 1 до 2 Гц (продольное и поперечное качание кузова на подвеске)

Причины: макронеровности при скоростной езде по автостраде, затухающие колебания (виброудар) после наезда на неровность. Частота зависит от динамических характеристик упругих и демфирующих элементов: пружин, рессор, амортизаторов, шин, давления в шинах и т.д.

Вибрация на частотах от 2 до 15 Гц (вибрация всего кузова автомобиля)

Причины: микронеровности дороги, резкий толчок при наезде на неровность (виброудар). Явление может усиливаться резонансом упругого элемента

кузова. Передается на сидения, рулевой механизм и пол автомобиля.

Вибрация на частотах от 15 до 30 Гц (вибрация, передающаяся в салон автомобиля)

Причины: Движение по шероховатой поверхности. Продольные и поперечные колебания передаются на кузов, сидения без ослабления в подвеске.

### 2.2 Низкочастотная вибрация двигателя при движении

Элементы подвески автомобильного двигателя имеют резонанс при частотах от 10 до 30 Гц. Причем профиль и тип вибрации могут иметь различные формы. Вибрация и виброудары возникают

продольные быстро затухающие колебания корпуса (виброудары) имеют место при резком изменении крутящего момента двигателя и резкого изменения ускорения автомобиля, например, при переключении скоростей.

Вибрация двигателя: частоты от 7 до 20 Гц.

Примерный диапазон основных гармоник собственных частот корпуса двигателя; вибрация, генерируемая работающим двигателем; взаимовлияния элементов крепления двигателей к кузову, приводов и систем двигателя.

Вибрация холостого хода: частоты от 20 до 50 Гц.

При работе автомобильного двигателя на холостом ходу, вибрации от приводов и систем двигателя передаются на пол салона, сидения и рулевой механизм. Неуравновешенные вращающиеся и поступательно движущиеся массы цилиндрической группы являются источником вибрации на частотах от 20 до 35 Гц для 4-х цилиндрового двигателя и на

частотах от 30 до 50 Гц – 6-ти цилиндрового. Осциллирующая или качающаяся вибрация присутствует на частотах от 5 до 10 Гц из-за нестабильности процессов сгорания. Основная компонента при передаче такой вибрации – колебания двигателя на элементах подвески вдоль продольной оси.

### 2.3 Источники вибрации автомобильной подвески

Динамические характеристики автомобильной подвески отличаются от статических. Виброизолирующая резина хорошо работает в области низких частот – больших амплитуд виброперемещений. При воздействии шумов, часть спектра которых лежит в области высоких частот и характеризующихся малыми амплитудами виброперемещений, такая резина не обеспечивает достаточных виброизолирующих свойств. Для витых цилиндрических пружин сжатия зависимость динамической постоянной от частоты имеет острый максимум в области высоких частот. У амортизаторов гистерезисная характеристика аналогична характеристике виброизолирующей резины: амортизатор не может «убрать» высокие частоты.

Основные виды воздействий, передаваемые автомобильной подвеской:

Вибрация в продольном и вертикальном направлениях от шин и неровностей дороги.

Неравномерность крутящего момента, возникающая при неравномерностях усилия в парах трения при торможении.

Биения, возникающие вследствие влияния несбалансированных масс (турбокомпрессор) вращающихся частей трансмиссии до двигателя, а также вследствие поступательно движущихся масс центрально-поршневой группы.

Высокочастотная вибрация от 400 до 1000 Гц,

коробки передач, механизма газораспределения при зацеплении зубчатых колес.

Высокочастотная вибрация от 1000 до 5000 Гц появляется при торможении в парах трения тормозной системы.

### 2.4 Источники вибрации рулевого механизма

Основные предпосылки возникновения и передачи механических воздействий в рулевом приводе аналогичны явлениям в подвеске: вибрация не влияет непосредственно на рулевой механизм, а усиливается или ослабляется шинами и подвеской. Сюда можно отнести вибрации, возникающие в системе рулевого механизма – усилитель при попадании колеса на неровность (углубление, выступ дорожного профиля), биения неуравновешенных вращающихся масс колес, тормозной системы.

Шимми на низких скоростях возникает из-за упругих деформаций в элементах рулевого механизма, зазоров в размерной цепи, неуравновешен-

правильно, явление шимми характерно для скоростей

Диаграмма механизма образования вибрационного шума внутри салона автомобиля

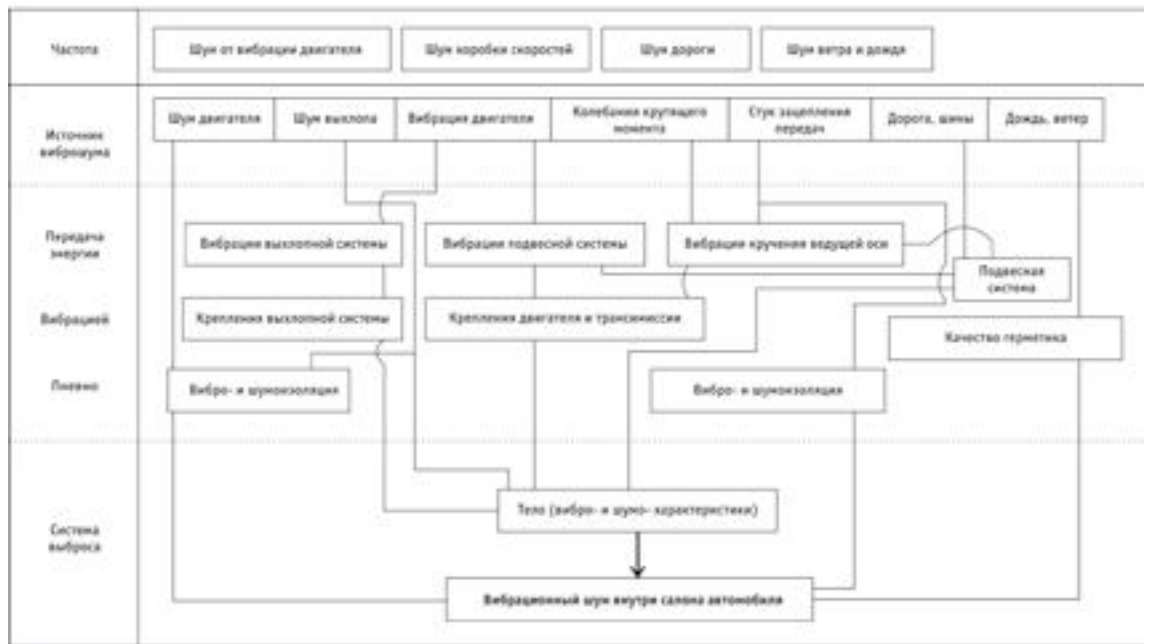


Рис. 2 Рулевой механизм: механические воздействия и причины их возникновения



Рис. 3 Система управления механическим воздействием К2. Виды воздействий, реализуемые контроллером К2: случайная вибрация, случайная вибрация со случайным спектром, библиотека ударных профилей, виброудар, экспоненциально-затухающий удар с полисинусоидальным заполнением, синусоидальная точечная вибрация, синусоидальное качание частоты, синусоидальная вибрация со случайным спектром, определение резонанса, воспроизведение записанных профилей  
Производитель компания IMV Corp., Япония  
Номер в Государственном реестре средств измерений 36717-08 от 17 января 2008 года



Рис. 4 Виброметр VM-0110/n  
Производитель компания IMV Corp.,

шимми относительно тем больше, чем меньше поперечная жесткость шин, чем больше их износ, чем меньше давление в шинах.

Шимми на высоких скоростях возникает из-за статического и динамического дисбаланса в шинах, в дисках, отклонения оси колеса от горизонтальной плоскости и неравномерности распределения материала в компонентах колеса. По этим причинам возникает вибрация на частотах от 10 до 30 Гц. Перемещение при шимми мало, но при увеличении износа шин и падении давления перемещение имеет тенденцию к увеличению.

вибрацию в покрышках приводных колес в продольном и поперечном, относительно хода автомобиля, направлениях. Возмущение передается через рулевые тяги на рулевое колесо. Это явление характерно для автомобилей с передним приводом, где продольное усилие на обод колеса изменяется в широком диапазоне.

Рулевой механизм воспринимает колебания колес, вызванные работой продольных и поперечных пружин, рессор, торсионов. Уровень вибрации сильно зависит от жесткости автомобиля в продольном направлении и прямо пропорционален давлению в шинах. Каждый тип шин (сложный объем, находящийся под давлением, со сложным профилем) имеет свой собственный индивидуальный спектр. У шин с радиальным кордом в спектре присутствуют частоты 90, 110, 135, 160 Гц; у шин с диагональным кордом – 140, 155 Гц.

На рисунке 2 приведена диаграмма со статистическими данными по видам механических факторов и причинам их возникновения.

**2.5 Кузов: упругие колебания и шум**

При движении автомобиля пассажир ощущает большинство механических воздействий. Они передаются от двигателя, от трансмиссии, от неровностей дороги, при изменении режима работы двигателя. В таблице 5 представлены упругие колебания кузова и связанные с ним явления.

**2.6 Трансмиссия: вибрация и шум**

В таблице 6 представлена классификация вибрации и шума, производимых трансмиссией и причина их возникновения.

Источниками возникновения шума являются процесс зацепления зубчатых передач, дисбаланс

Толчок при наезде на препятствие или при движении по неровному дорожному профилю вызывает

крутящего момента по углу поворота коленчатого вала. Характерные виды вибрации: профиль ШСВ,

профиль ШСВ со случайным спектром, синусоидальный профиль со случайным спектром. Для воспроизведения транспортной вибрации необходима специальная высокопроизводительная система управления (рисунок 3), позволяющая воссоздать

указанные профили. В некоторых специальных случаях, для серьезных исследований целесообразно воспроизводить запись реального профиля вибрации, полученную с помощью виброизмерительного

Таблица 5 Упругие колебания и шум кузова автомобиля

Источник шума и вибраций	Упругие колебания в кузове автомобиля	Связанные между собой вибрационные явления
Продольные колебания	Основная гармоника изгибных колебаний кузова (5-30 Гц)	Жесткие вибрации в подвеске двигателя, резонанс при работе передних рессор, вибрации рулевого механизма
Поперечные колебания	Основная гармоника крутильных колебаний кузова (30-50 Гц)	Резонанс ходовой части, поперечные колебания сидений
Вибрация на холостом ходу	Основная гармоника крутильных колебаний кузова (30-50 Гц)	Жесткие вибрации в подвеске двигателя, вибрации в выпускном трубопроводе
Перебои в работе двигателя	Основная гармоника изгибных колебаний рамы кузова (10 Гц)	Крутильные колебания в приводе
Вибрации при ускорении/торможении	Основная гармоника крутильных колебаний кузова (5-30 Гц)	Жесткие вибрации кузова в подвесной системе двигателя, основная и побочная вибрации в системе привода
Характерный шум на низких скоростях	Частота колебаний пола кабины автомобиля (30-50 Гц)	Резонанс задней подвески при сильном ускорении, резонанс карманов подушек безопасности
Характерный шум на средних скоростях	Продольная вибрация панелей (50-100 Гц)	Упругие вибрации в задней подвеске, гармоника 4-го порядка в приводе, резонанс карманов подушек безопасности
Характерный шум на высоких скоростях	Резонанс панели (100-200 Гц)	Вибрация трансмиссии, резонанс карманов подушек безопасности
Шум дороги и низкочастотная вибрация кузова	Резонанс всех указанных выше автокомпонентов	Вибрация шин и подвески

По данным журнала «Vehicle electronics and reliability»

Таблица 6 Трансмиссия: вибрация и шум

Источник вибрации	Причины	Диапазон частот
Неравномерность крутящего момента двигателя	Наброс нагрузки (вибрация)	2-10 Гц
Несоосность муфты	Толчкообразное движение с места при включении сцепления (вибрация)	2-10 Гц
Излом карданного шарнира	Вибрация при ускорении (вибрация)	10-20 Гц
Неравномерность крутящего момента двигателя	Торможение двигателем (вибрация, шум)	20-50 Гц
Биения	Торможение двигателем (вибрация, шум)	20-50 Гц
Неравномерность крутящего момента двигателя	Скручивание элементов трансмиссии (шум)	50-80 Гц
Излом карданного шарнира	Скручивание элементов трансмиссии (шум)	50-80 Гц
Общий приведенный момент инерции вращающихся частей двигателя	Силовая установка/изгибные колебания карданного вала (шум)	100-200 Гц
Сила зацепления гипоидной передачи	Силовая установка/изгибные колебания карданного вала (шум)	400 Гц-2 кГц

По данным журнала «Vehicle electronics and reliability» ■