

Технологии электромагнитной совместимости *Technologies of electromagnetic compatibility* 2016. № 2(57).

emc-journal.ru

ISSN 1729-2670

УЧРЕДИТЕЛЬ ЖУРНАЛА:

ООО «Издательский Дом «ТЕХНОЛОГИИ».

Зарегистрирован в Министерстве Российской Федерации по делам печати, телерадиовещания и средств массовых коммуникаций. Регистрационное свидетельство ПИ № 77-9669 от 24 августа 2001 года

Оформить подписку можно

по объединенному каталогу «Пресса России»:

10362 — полугодовой индекс;

в издательстве (предпочтительно) (8-985-134-4367).

Главный редактор журнала,

председатель редакционного совета

БАЛЮК НИКОЛАЙ ВАСИЛЬЕВИЧ, д.т.н., проф.

Зам. главного редактора журнала

КЕЧИЕВ ЛЕОНИД НИКОЛАЕВИЧ, д.т.н., проф.

ФАЙЗРАХМАНОВ НИКОЛАЙ ИСХАКОВИЧ,

Редакционный совет:

АКБАШЕВ БЕСЛАН БОРИСОВИЧ, д.т.н.

ВОРШЕВСКИЙ АЛЕКСАНДР АЛЕКСЕЕВИЧ, д.т.н., проф.

КИРИЛЛОВ ВЛАДИМИР ЮРЬЕВИЧ, д.т.н., проф.

КОСТРОМИНОВ АЛЕКСАНДР МИХАЙЛОВИЧ,

д.т.н., проф.

КРИВОВ АНАТОЛИЙ СЕРГЕЕВИЧ, д.т.н., проф.

МЫРОВА ЛЮДМИЛА ОШЕРОВНА, д.т.н., проф.

НЕФЕДОВ ВИКТОР ИВАНОВИЧ, д.т.н., проф.

НИКИТИНА ВАЛЕНТИНА НИКОЛАЕВНА, д.мед.н., проф.

НИКИФОРОВ ВЛАДИМИР ВАСИЛЬЕВИЧ, к.т.н.

ПОЖИДАЕВ ЕВГЕНИЙ ДМИТРИЕВИЧ, д.т.н., проф.

САРЫЛОВ ВЛАДИМИР НИКОЛАЕВИЧ

САХАРОВ КОНСТАНТИН ЮРЬЕВИЧ, д.т.н., с.н.с.

СУХОРОУКОВ СЕРГЕЙ АРСЕНЬЕВИЧ, к.т.н., доцент

ТУХАС ВЯЧЕСЛАВ АНАТОЛЬЕВИЧ, д.т.н., проф.

ФОМИНИЧ ЭДУАРД НИКОЛАЕВИЧ, д.т.н., проф.

ЧЕРМОШЕНЦЕВ СЕРГЕЙ ФЕДОРОВИЧ, д.т.н., проф.

ИЗДАТЕЛЬ ЖУРНАЛА:

ООО «Издательский Дом «ТЕХНОЛОГИИ».

РЕДАКЦИЯ ЖУРНАЛА:

НОЧУ «Новая Инженерная Школа»

Главный редактор СТАСЬ Андрей Константинович

Исполнительный директор

Леонтьева Анна Анатольевна

Адрес: 105005, Москва, Наб. академика Туполева, 15,

стр. 29, оф. 117.

ООО «Издательский Дом «ТЕХНОЛОГИИ»

Редакция: тел. +7-985-134-4367,

e-mail: leontanna@yandex.ru

Статьи рецензируются. Статьи опубликованы в авторской редакции. Мнение членов редакционного совета может не совпадать с точкой зрения авторов публикаций. Перепечатка материалов допускается только с письменного разрешения редакции. Рукописи не возвращаются.

Подписано к печати 1.06.2016

Журнал включен в перечень ведущих журналов и изданий Высшей аттестационной комиссии (ВАК).

Журнал включен в Реферативный журнал и Базы данных ВИНИТИ. Сведения о журнале ежегодно публикуются в международной справочной системе по периодическим и продолжающимся изданиям «Ulrich's Periodicals Directory». Журнал входит в РИНЦ.

Содержание

Представительный научный форум в области электромагнитной совместимости.....	3
Николаев П.А., Подгорный А.С., Кечиев Л.Н., Балюк Н.В. Автотранспортное средство в условиях воздействия гармонических электромагнитных полей.....	5
Викторов В.М., Голиков Р.Ю., Никулин П.В. Оценка эффективности экранирования импульсных магнитных полей многослойными покрытиями.....	16
Пантелеев С.В., Прокушев Д.С., Родин И.А. Влияние резонансных эффектов на возможные ошибки при оценке электромагнитной совместимости объектов.....	23
Бибиков С.Б., Кириллов В.Ю., Куликовский Э.И., Томилин М.М. Защита космических аппаратов от воздействия электромагнитных полей.....	28
Бозриков В.С., Костин А.В. Способ обеспечения целостности экранирования от электромагнитных полей электростатических разрядов, возникающих на космических аппаратах в процессе штатной эксплуатации, при помощи электропроводящей липкой ленты и его экспериментальное исследование.....	33
Жихарев Д.Ю. Исследование проникновения излучаемых помех во внутренний объем конструкции бортовых приборов космических аппаратов.....	38
Салтыков В.М., Салтыков А.В. Условия обеспечения электромагнитной совместимости дуговых сталеплавильных печей с системой электроснабжения.....	44
Рябов Ю.Г., Трубицын А.В., Ломаев Г.В., Тюренков С.Н. Снижение «электромагнитных загрязнений» и дискомфортных условий в среде обитания путем перехода на симметричную систему электроснабжения.....	52

УДК 537.531

П.А. Николаев, А.С. Подгорный, Л.Н. Кечиев, Н.В. Балюк

Автотранспортное средство в условиях воздействия гармонических электромагнитных полей

Проблема электромагнитной устойчивости технических систем является в настоящее время ключевой в научных исследованиях и опирается на достигнутые успехи в области фундаментальных исследований физики взаимодействия электромагнитных полей с объектами и на достижения в методах воспроизведения полей.

Современные научные исследования в этой области характеризуются решением частных теоретических задач воздействия электромагнитных полей на отдельные элементы и технические системы в трехмерной постановке. Предлагаемый комплекс исследований, прежде всего, направлен на разработку практических методов обеспечения электромагнитной безопасности автотранспортных средств (АТС) и оценки устойчивости АТС от электромагнитных воздействий на этапах концептуального проектирования.

Ключевые слова: автотранспортное средство, электромагнитное поле, воздействие, исследование, электромагнитная безопасность

Автотранспортное средство (АТС) следует рассматривать как объект, который может находиться в сложной электромагнитной обстановке, подвергаться воздействию различного рода преднамеренных электромагнитных угроз и должен иметь хорошие показатели по скорости, маневренности, управляемости, комфорту, по массогабаритным характеристикам. Зачастую это компромиссные решения. Поэтому обеспечение защиты АТС от электромагнитных воздействий не должно повлиять на требуемые эксплуатационные характеристики. К АТС должны быть предъявлены такие требования по устойчивости к электромагнитным полям (ЭМП), при которых АТС, попав в жесткую электромагнитную обстановку (ЭМО), способно было самостоятельно уйти из под преднамеренного воздействия на гарантированно безопасную дистанцию [1–2].

Для разработки комплекса мероприятий, направленных на повышение помехозащищенности бортового электрооборудования автомобильного транспорта, и эффективного противодействия преднамеренным электромагнитным помехам проведены многочисленные экспериментальные исследования.

В работе опущены модели автотранспортных средств. Они заменены условными номерами. Исследования проводились как на отечественных моделях, так и зарубежных аналогах, которые отличаются конфигурацией, компоновкой, а также различными техническими решениями, обеспечивающих определенную помехозащищенность конкретного АТС.

АТС является сложной электромагнитной системой. В зависимости от конструкции его можно представить в виде некоторого количества объемных электромагнитных резонаторов, которые в общем случае образованы салоном, подкапотным пространством и багажником. Внешнее электромагнитное поле проникает в них через щели и отверстия, образованные элементами кузова (рис. 1). Конфигурация кузова, внутренняя компоновка АТС, а также позиция АТС по отношению к излучателю конкретно определяют параметры проникшего во внутренне пространство поля и уровень наводимых электромагнитных помех. Расчеты показывают, что у легковых автомобилей внутреннее пространство выступает в качестве резонатора уже на частотах выше 90 МГц. У грузовых большегрузных АТС это значение ниже 90 МГц. Эти данные подтверждаются измерениями уровней ЭМП. Уровни электромагнитных полей в различных зонах АТС показаны на рис. 2, 3 [3]. Причем амплитуда ЭМП, проникшего во внутреннее пространство АТС, по отношению к внешнему воздействию может усиливаться в несколько раз. Экспериментально зафиксированные электромагнитные поля составили семикратное превышение.

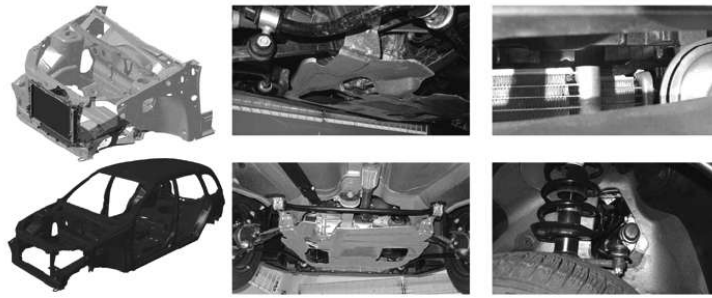


Рис. 1. Места проникновения внешнего электромагнитного излучения во внутреннее пространство АТС

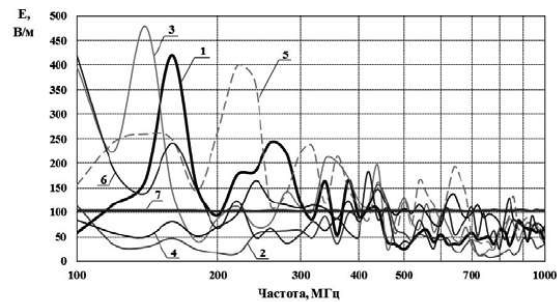


Рис. 2. Уровни напряженности электрического поля в зонах АТС (легковой автомобиль №1): 1 – мультимедийная система; 2 – ABS; 3 – электромеханическая дроссельная заслонка; 4 – комбинация приборов; 5 – генератор напряжения; 6 – блок управления системы надувных подушек безопасности; 7 – воздействующий уровень излучения

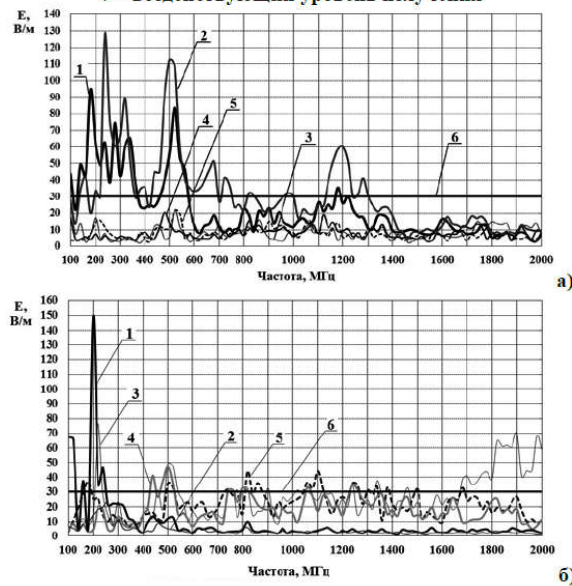


Рис. 3. Уровни напряженности электрического поля в зонах АТС (легковой автомобиль №2): а) излучающая антенна спереди; б) излучающая антенна сзади; 1 – контроллер системы управления двигателем (расположение в подкапотном пространстве); 2 – генератор напряжения; 3 – мультимедийная система; 4 – комбинация приборов; 5 – блок управления системы надувных подушек безопасности; 6 – воздействующий уровень излучения

Электромагнитное поле во внутреннем пространстве кузова влияет на работоспособность электрооборудования, нарушая его функции. Первый механизм связан с наводками в жгутах. Второй с проникновением поля через щели и отверстия в самом устройстве.

Жгуты образуют сложную конфигурацию, охватывающую АТС (рис. 4). На всем протяжении трассы, жгуты взаимодействуют с электромагнитным полем, выступая в качестве приемных антенн. Чем больше длина жгута, тем выше вероятность попадания их в зону воздействия ЭМП. На практике максимальная протяженность конкретного жгута, без учета отводов, может быть соизмерима с длиной АТС.



Рис. 4. Пример конфигурации жгутов в АТС

Анализ результатов исследований вносимого затухания жгутов (рис. 5) позволяет сделать вывод о двух особенностях влияния электромагнитного излучения на электрооборудование: удаленном и локальном. Суть первого сводится к тому, что при воздействии ЭМП на участке провода (жгута), на-

ходящегося на значительном расстоянии от устройства, возникают токи и напряжения, которые распространяются по линии передач и вызывают нарушение работоспособности аппаратуры. Во втором случае интенсивное электромагнитное излучение наводит помехи в локальной области расположения конкретного электрооборудования.

Чем выше частота ЭМП, тем сложнее по проводам нарушить работоспособность удаленного электрооборудования. Амплитуда высокочастотной помехи, наведенной на дальних концах проводов, резко уменьшается при распространении. Так, например, на частоте свыше 1,2 ГГц помеха, пройдя расстояние 3 м (график 4, рис. 5) по двухпроводной линии жгута проводов, ослабевает на 40 дБ.

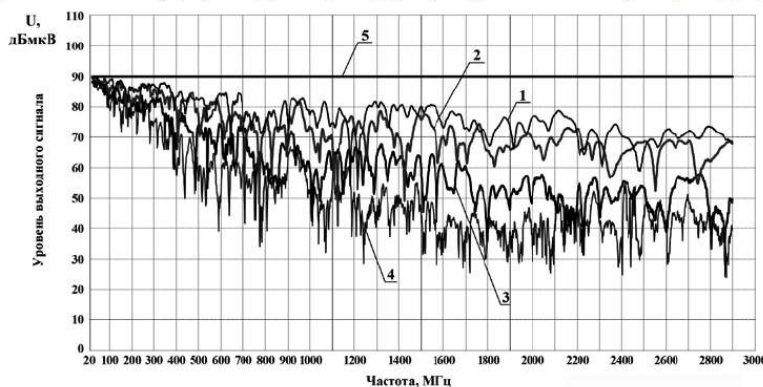


Рис. 5. Исследование вносимого затухания двухпроводной линии в составе жгутов различной длины:
1 — 0,5 м; 2 — 1 м; 3 — 2 м; 4 — 3 м; 5 — входной уровень сигнала с генератора

Схема исследования вносимого затухания двухпроводных линий в составе жгутов приведена на рис. 6. На

один конец двухпроводной линии связи на заданной частоте подавался сигнал с генератора. Шаг перестройки по частоте составлял 0,25 МГц. На другом конце двухпроводной линии измерялся измерительным приемником уровень выходного сигнала.

Для исследования особенностей взаимодействия ЭМП с устройствами АТС проводились измерения уровня наведенных помех в бортовой сети при следующих условиях:

- уровень напряженности внешнего электромагнитного поля на каждой частоте составлял 10 В/м;
- шаг перестройки частоты по диапазону составлял 10 МГц;

- уровень помех измерялся на входе устройств электрооборудования, расположенных в салоне АТС;
- на электрооборудование подавалось электропитание.

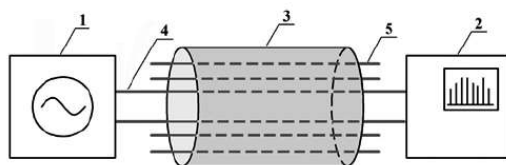


Рис. 6. Схема исследования характеристик затухания сигналов в двухпроводных линиях в составе жгутов: 1 – генератор сигналов; 2 – измерительный приемник; 3 – жгут проводов; 4 – исследуемая двухпроводная линия; 5 – ненагруженные провода исследуемого жгута

Суть эксперимента, результаты которого приведены на рис. 7, заключалась в оценке параметров ЭМП при различных электромагнитных средах внутреннего пространства АТС. Первая кривая помех была получена при воздействии излучения на автомобиль штатной комплектацией. Вторая – при размещении в подкапотном пространстве радиопоглощающего материала. Помехи измерялись в бортовой сети на входе контроллера системы управления двигателем (КСУД), расположенного в салоне АТС, а радиопоглощающий материал изменял параметры поля только в подкапотном пространстве и соответственно не влиял на локальное поле в районе КСУД.

Данный эксперимент показывает границы диапазонов, в которых нарушение работоспособности электрооборудования может быть обусловлено конкретными особенностями условий воздействия ЭМП на устройства. Из графика 3 на рис. 7 видно, что до 800 МГц разница между кривыми 1 и 2 составляет 6–10 дБ. Это говорит об удаленном влиянии. На более высоких частотах разница составляет не более 4 дБ. Это значит, что уровень локальных наведенных помех, приведенных к входу КСУД

выше, чем уровень помех, наведенных в проводах бортовой сети.

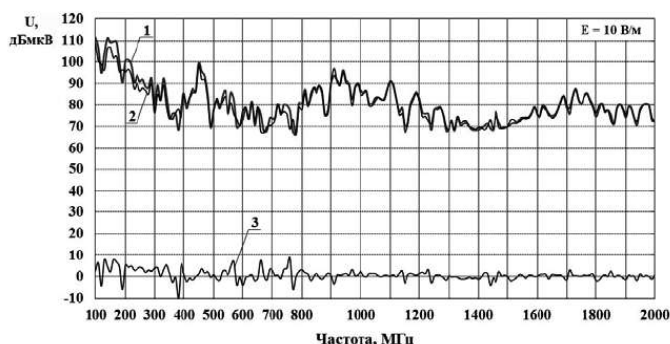


Рис. 7. Уровень наведенных помех в бортовой сети по входу КСУД (легковой автомобиль № 3): 1 – штатная комплектация автомобиля; 2 – подкапотное пространство покрыто радиопоглощающим материалом; 3 – разница 1 и 2 графиков

В зависимости от параметров конкретного АТС, нарушение работоспособности электрооборудования с одинаковой вероятностью может быть вызвано как удаленным, так и локальным влиянием ЭМП. Нет четкой границы, разделяющей удаленное и локальное влияние. В зависимости от длины проводов и места наведения на них помех значение частоты может изменяться в пределах от 300 до 1000 МГц.

Определен наиболее критичный для электрооборудования диапазон частот при одинаковом уровне на всех частотах внешнего излучения. На рис. 2 и 3 видно, что электромагнитное поле, проникшее во внутреннее пространство АТС, с ростом частоты уменьшается. Аналогичный вывод для помех, наведенных в цепях питания можно сделать на основании графиков 1 и 2, рис. 7. Статистика показывает, что при уровнях внешнего излучения 100 В/м до 70% фактов нарушений работоспособности у АТС гражданского назначения приходится на диапазон частот от 100 до 800 МГц. В диапазоне от 800 до 1100 МГц эта цифра достигает 25%. Остальной процент приходится на диапазон 1,1–1,5 ГГц. На более высоких частотах имеют место лишь единичные примеры сбоев.

Приведенные экспериментальные данные показывают, что при одинаковом уровне внешнего воздействия АТС более устойчиво к излучению свыше 1,5 ГГц. Из анализа имеющихся данных также следует, что наиболее критичным для АТС является диапазон частот в полосе от 100 МГц до 1,5 ГГц.

Нарушить траекторию движения АТС сложно, воздействуя на него одним сверхширокополосным импульсом. Если даже однократный сбой произойдет, и микропроцессор какого-нибудь зна-

чимого с позиции безопасности электрооборудования «зависнет», то это не будет критично. Система управления является достаточно помехоустойчивой и «зависший» микропроцессор перезагрузит следящая схема, реализованная на дублирующем микропроцессоре или сторожевом таймере. Если однократно исказятся какие-либо информационные данные, то в подавляющем большинстве случаев какой-либо ощутимой реакции АТС наблюдаться не будет, т.к. современные алгоритмы управления построены с учетом исключения грубых ошибок.

АТС более уязвимо к серии импульсов. Периодическое искажение данных приведет к неоднозначной интерпретации информации, что приведет переход систем либо в аварийный режим работы, например, «LIMP HOME», либо самопроизвольному выполнению не ожидаемой функции, например, самопроизвольное вращение электромеханического усилителя рулевого управления, либо остановка двигателя [2].

Для электрооборудования АТС критическими периодами следования электромагнитных импульсов являются значения соизмеримые с временными параметрами информационных данных. Оценку можно осуществить двумя подходами. В основе первого взят принцип синхронизации двигателя. Сигналы с датчика положения коленчатого вала формируются при вращении задающего диска на котором имеются синхронизирующие зубья. Наиболее распространена схема (60–2) зуба. Два зуба отсутствуют. По ним система управления двигателя синхронизируется каждый цикл. Другие 58 участвуют в определении более точных параметров синхронизации.

Ошибки, которые могут возникать по цепи датчика положения коленчатого вала при воздействии импульсной помехи, связаны со сбоем канала синхронизации и появления ложных зубьев. Применяемые алгоритмы позволяют исключить при обработке несколько ложно сформированных зубьев. Но если их число составляет более определенного процента от реальных, то система уже не может их отфильтровать, и синхронизация сбивается. В системе нарушается помехоустойчивость, если на один период следования синхронизирующих импульсов приходится более двух импульсов ЭМП. В этом случае как минимум один импульс ЭМП гарантировано попадает в промежуток между импульсами синхронизации и может сформировать ложный синхронимпульс. При этом их количество будет больше или равно числу полезных импульсов.

Частота следования импульсов для критического воздействия ЭМП на канал синхронизации двигателя определяется следующим образом:

$$f_{\text{ЭМП}} > 2kn,$$

где k – число зубьев на задающем диске (60 зубьев, 2 вырезаются); n – частота вращения коленчатого вала; коэффициент 2 показывает, что один импульс ЭМП должен приходиться на зуб, а другой на впадину между зубьями.

При максимальных оборотах двигателя 6000 мин^{-1} (100 с^{-1}) эта частота составляет более 12 кГц. Отсюда следует, что канал синхронизации должен быть защищен от импульсов с частотой следования не менее 12 кГц.

Второй подход основывается на определении времени измерения и преобразования информации с датчиков. В этих промежутках времени существует наибольшая вероятность искажения данных помехой. Наиболее критичен момент измерения, когда входы АЦП электрооборудования активно подключаются к линии передачи. В применяемой в современных АТС элементной базе время измерения составляет порядка 1 мкс. В условиях преднамеренных электромагнитных воздействий следует планировать защиту на частотах следования сверхширокополосных электромагнитных импульсов 1 МГц и более.

В сложной электромагнитной обстановке помехи, наводимые в АТС, зависят от ряда факторов:

- параметров АТС, как сложной приемной антенны;
- общей внутренней компоновки;
- компоновкой конкретного электрооборудования;
- входными характеристиками самих устройств;
- конструкции и трассы проводов (жгутов);
- позиционирования АТС по отношению к источнику излучения;
- параметров внешней обстановки.

Параметры АТС как приемной антенны зависят от габаритных размеров, формы, клиренса, координатного расположения, а также геометрии щелей и отверстий. Излучение, проникшее во внутреннее пространство, вследствие взаимодействия с различными сложными поверхностями устройств и

агрегатов будет иметь некоторое определенное пространственное распределение. Поэтому структура поля внутри АТС будет различаться не только для разных моделей (рис. 2 и 3), но также и для одинаковых моделей, имеющих различные комплектации.

Компоновка конкретного электрооборудования в АТС обуславливает влияние на него локального поля, действующего в этой области, а входные характеристики устройства определяют уровень наведенных помех. Спектральная характеристика помех, воздействующих на конкретное электрооборудование по проводам, отличается от спектральной характеристики помех, воздействующих на другое устройство (рис. 8).

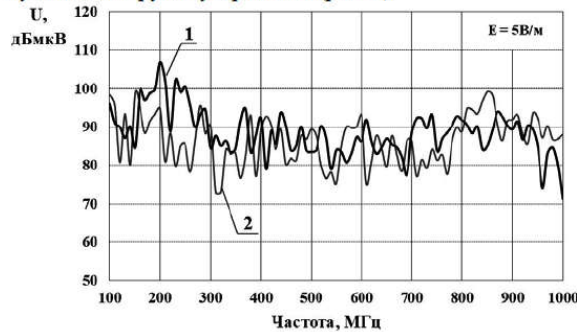


Рис. 8. Уровень наведенных помех в бортовой сети по входу электрооборудования (легковой автомобиль № 4): 1 – электромеханический усилитель рулевого управления; 2 – мультимедийная система

Конструкция и топология жгутов определяет их конкретные распределенные параметры. Как было показано ранее, чем длиннее провод (жгут), тем сильнее затухание помех на высоких частотах. Если у провода есть отвод, что характерно

для проводов электропитания, идущих от замка зажигания, то он дополнительно увеличивает затухание (рис. 9).

В настоящее время технология изготовления автомобильных жгутов такова, что невозможно обеспечить полную повторяемость образцов. Этого в мире не может добиться ни один производитель. Если сделать сечение в любом выбранном месте двух однотипных жгутов, то в них с вероятностью 0,98 координатное месторасположение одного и того же провода будет отличаться (рис. 10,б). Это, дополнительно с учетом допуска на укладку трассы по кузову АТС, определяет различающиеся электрические распределенные параметры каждой линии передач, что, в свою очередь, на высоких частотах влияет на характер затухания сигнала. Эксперименты показывают (рис. 10,в), что на частотах свыше 250 МГц из-за различающихся распределенных параметров проводов разных однотипных жгутов, характеристики затухания отличаются. Локально разница достигает 20 дБ.

Из-за различных характеристик затухания в проводах АТС одинаковой модели имеют разные характеристики помехоустойчивости. Это подтверждается многократными экспериментальными исследованиями. При сравнении нескольких АТС их помехоустойчивость на конкретных частотах может отличаться друг от друга до 20%. Поэтому применительно к АТС, выпуск которых производится штучно или мелкосерийно необходимо проводить испытания на ЭМС либо всех образцов, либо делать большую выборку из серии.

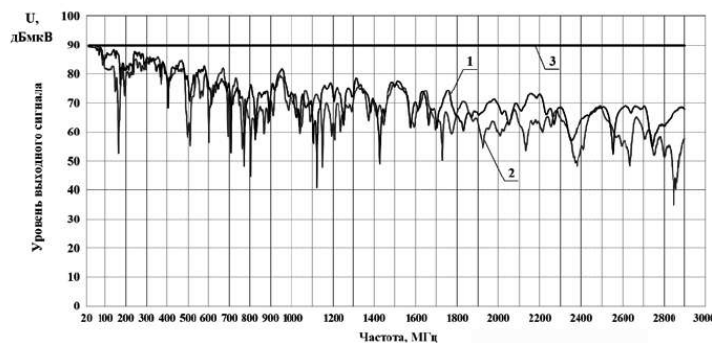


Рис. 9. Исследование вносимого затухания двухпроводной линии в составе жгута длиной 1 м: 1 – без отвода; 2 – с отводом длиной 30 см в середине линии

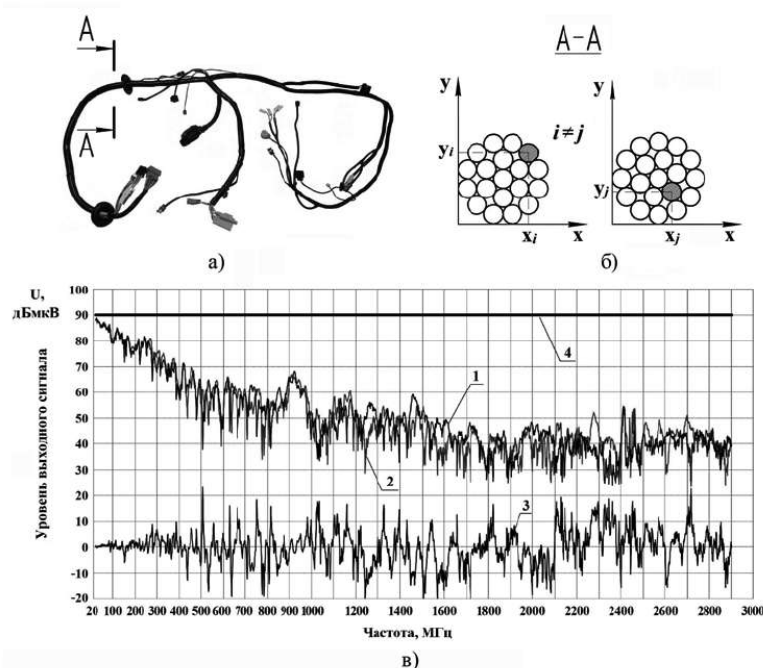


Рис. 10. Исследование вносимого затухания двухпроводной линии в составе жгута длиной 3 м (жгуты одной партии): а) жгут проводов; б) расположение одного и того же провода в разных жгутах; в) результаты измерений; 1 – двухпроводная линия № 1; 2 – двухпроводная линия № 2; 3 – разность характеристик 1 и 2; 4 – входной уровень сигнала с генератора

Из-за сложной апертуры АТС уровень наведенных помех сильно зависит также от направления воздействия. Диаграммы направленности (рис. 11 и 12) не обладают симметрией по отношению к продольной оси, имеют многолепестковую структуру, а также выраженные минимумы и в несколько раз превышающие внешнее поле максимумы. Каждой модели АТС соответствует собственная диаграмма направленности.

Разница между максимальным и минимальным уровнями наведенных помех на конкретных частотах может составлять более 30 дБ (рис. 13,б).

Параметры внешней обстановки также влияют на уровень ЭМП. Отраженный от различных поверхностей сигнал проникает во внутреннее пространство АТС через щели и отверстия, расположенные вне фронтальной плоскости воздействия. Их сумма является сложной суперпозицией, приводя к образованию в различных областях пространства максимумов и минимумов. Пример влияния внешней обстановки приведен на рис. 11 и 12, где показаны сравнительные диаграммы направленности АТС при различных проводящих характеристиках пола. Измерения уровня излучения проводилось в подкапотном пространстве.

Для АТС фактором, влияющим на ухудшение ЭМО, является дорожное покрытие с высокой проводимостью, например, сырой грунт, который лучше отражает электромагнитные волны и способствует их проникновению снизу в подкапотное пространство, где имеются достаточно большие отверстия и щели (рис. 1). Конечно, для некоторых частот, характерных для конкретной модели и компоновки, из-за интерференции происходит уменьшение амплитуд волн. Поэтому не для всех случаев суммарная амплитуда поля во внутреннем пространстве АТС для дорожного покрытия с высокой проводимостью больше, чем для дорожного покрытия с низкой проводимостью, но в общем случае амплитуда поля возрастает.

Результаты экспериментов позволяют оценить уровень помех, наведенных в электрических цепях. На частоте 100 МГц при внешнем воздействии 10 В/м было зафиксировано напряжение помехи по входу КСУД 121 дБмкВ (рис. 13,а, график 2). В пересчете это составляет 1 В.

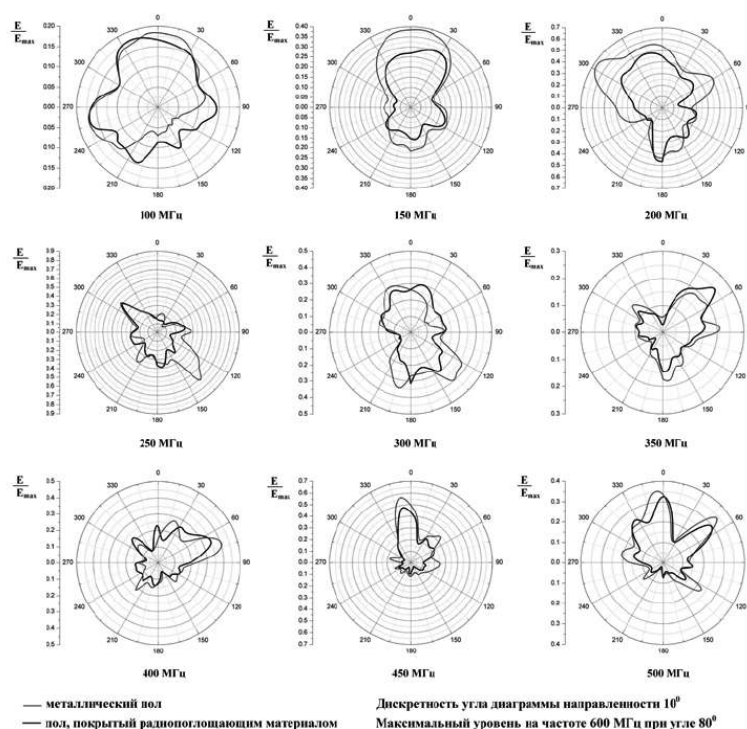


Рис.11. Диаграммы направленности автомобиля № 5

АТС можно считать линейной системой, т.е. при изменении на некоторое значение уровня излучения, на это же значение аналогичным образом изменится и уровень наведенных помех (рис. 14). Поэтому при воздействии 100 В/м амплитуда напряжения помехи составит 10 В. Данные уровни не только соизмеримы, но и в ряде случаев превышают уровни полезных сигналов, протекающих в цепях электрооборудования, что является уже критичным и может вызвать нарушение работоспособности АТС.

Для нормального функционирования гражданского автомобильного транспорта существуют международные нормы 30 В/м в диапазоне частот от 20 МГц до 2 ГГц. Ведущие мировые автопроизводители в своих внутренних стандартах закладывают требование по устойчивости 100 В/м [3]. Общие испытательные уровни для оценки восприимчивости технических средств к излучению в жесткой ЭМО приведены в табл. 1 и могут быть взяты за исходные [4–5]. Также из [6–7] известно, что существуют мобильные источники импульсного излучения, способные создавать на расстоянии нескольких сотен метров электромагнитное поле напряженностью 3–30 кВ/м. Данные цифры также можно взять за базовые при исследовании устойчивости АТС.

Результаты исследования позволяют выработать исходные требования по электромагнитным полям для организации защиты АТС от преднамеренного электромагнитного воздействия и уже на этапе проектирования закладывать решения по обеспечению помехоустойчивости автомобильного транспорта, функционирующего в условиях жесткой ЭМО.

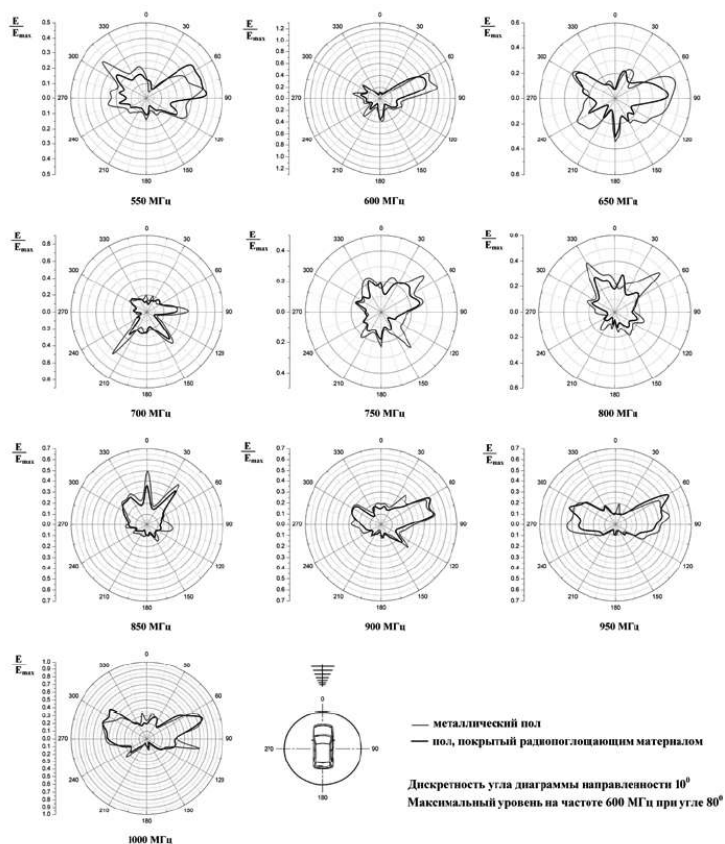


Рис. 12 – Диаграммы направленности автомобиля № 5 (продолжение рис. 11)

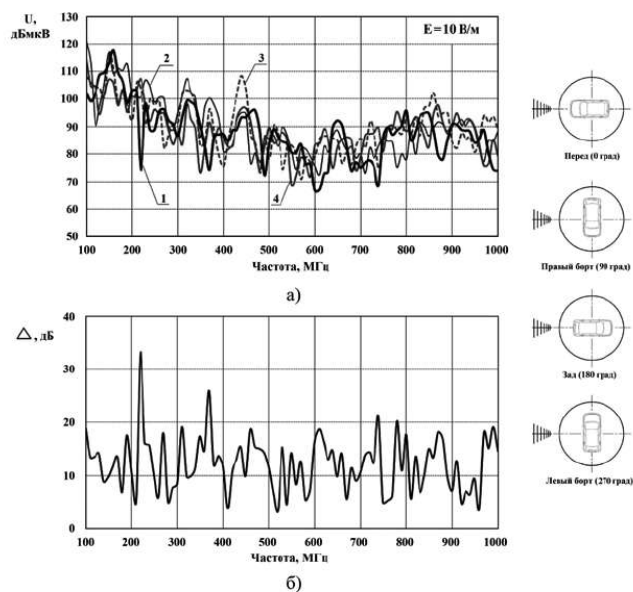


Рис. 13. Характеристики электромагнитных помех (легковой автомобиль № 6): а) уровень наведенных помех в бортовой сети по входу КСУД; б) разница между максимальным и минимальным значениями;
1 – перед (0°); 2 – правый борт (90°); 3 – зад (180°); 4 – левый борт (270°)

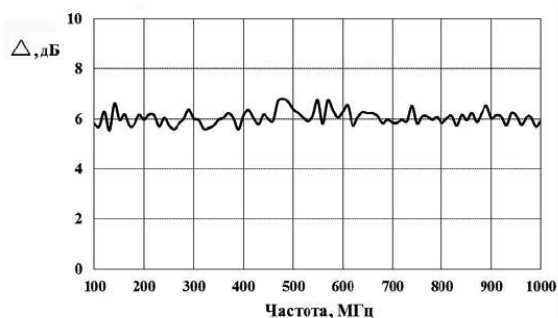


Рис. 14. Разница уровней наведенных помех в бортовой сети по входу КСУД (легковой автомобиль № 6), измеренных при воздействиях с амплитудами 20 и 10 В/м

Испытательные уровни электромагнитного воздействия

Таблица 1

Частота, МГц	Категория L	
	SW/CW, В/м	PM, В/м
100–200	200	Н/а
200–400	200	Н/а
400–700	200	730
700–1000	240	1400
1000–2000	250	5000
2000–4000	490	6000
4000–6000	400	7200
6000–8000	170	1100
8000–12000	330	5000
SW – прямоугольная модуляция CW – синус-косинусная модуляция PM – импульсная модуляция Н/а – не аттестован		

Список литературы

1. Газизов Т.Р. Электромагнитный терроризм на рубеже тысячелетий / Под ред. Т.Р. Газизова – Томск: Томский государственный университет, 2002. – 206 с.
2. Николаев П.А. Устойчивость автомобилей к электромагнитному воздействию [Текст] / П.А. Николаев. – Технологии электромагнитной совместимости. – 2014. – № 4(51). – С. 72–76.
3. Николаев П.А., Кечиев Л.Н. Электромагнитная совместимость автотранспортных средств. М.: Грифон, 2015. – 422 с. – (Библиотека ЭМС).
4. Балюк Н.В. Мощный электромагнитный импульс: воздействие на электронные средства и методы защиты. [Текст] / Н.В. Балюк, Л.Н. Кечиев, П.В. Степанов. – М.: ООО «Группа ИТД», 2007. – 478 с. – (Библиотека ЭМС).
5. Кечиев Л.Н. Зарубежные военные стандарты в области ЭМС. [Текст] / Л.Н. Кечиев, Н.В. Балюк. / Под ред. Л.Н. Кечиева – М.: Грифон, 2014. – 448 с. – (Библиотека ЭМС).
6. Белоконов И.Н., Гончаров А.Н., Долбня С.Н., Кудряшов А.С., Фотеев А.В. Оценка защищенности информационных инфраструктур от воздействия сверхкороткоимпульсных электромагнитных излучений техногенного происхождения. – Технологии ЭМС. – 2010. – № 1(32) – С. 58–65.
7. ГОСТ Р 52863-2007. Автоматизированные системы в защищенном исполнении. Испытания на устойчивость к преднамеренным силовым электромагнитным воздействиям. – М.: Стандартинформ, 2008. – 34 с.

ОАО «АВТОВАЗ»,
МИЭМ НИУ «Высшая школа экономики»,
Федеральное государственное казённое учреждение «12 Центральный научно-исследовательский институт» Министерства обороны Российской Федерации (ФГКУ «12 ЦНИИ» Минобороны России)

Статья поступила 23.09.2015.

Nikolaev P.A., Podgorny A.S., Kechiev L.N., Baljuk N.V.

The vehicle in the conditions of influence harmonious electromagnetic fields

The problem of electromagnetic stability of technical systems is now key in scientific researches and leans against the reached successes in the field of basic researches of physics of interaction of electromagnetic fields with objects and on achievements in methods of reproduction of fields.

Modern scientific researches in this area are characterised by the decision of private theoretical problems of influence of electromagnetic fields on separate elements and technical systems in three-dimensional statement. The offered complex of researches, first of all, is directed on working out of practical methods of maintenance of electromagnetic safety of vehicles (automatic telephone exchange) and estimations of stability of automatic telephone exchange from electromagnetic influences at stages of conceptual designing.

Key words: the vehicle, an electromagnetic field, influence, research, electromagnetic safety

AVTOVAZ

Moscow Institute of electronics and mathematics of the National research University «Higher school of Economics (MIEM HSE).

Federal State Establishment «12th Central Research Institute» of the Russian Defense Ministry

Николаев П.А.

Электромагнитная совместимость автотранспортных средств / Николаев П.А., Кечиев Л.Н. / Под ред. Л.Н. Кечиева – М.: Грифон, 2015. – 424 с. – (Библиотека ЭМС). ISBN 978-5-98862-262-8.



В основе книги лежит всестороннее рассмотрение проблемы ЭМС автотранспортных средств. С системных позиций излагаются вопросы их помехоустойчивости и помехоэмиссии. Дается обзор основных методов испытаний автомобильного транспорта. Приведены параметры ЭМС бортового электрооборудования. Подробно рассматриваются методы и средства многоуровневого обеспечения ЭМС.

Уделено внимание не только автотранспортным средствам с углеводородными двигателями, но и с альтернативными силовыми агрегатами. В книге делается акцент на проблемы устойчивости электрооборудования к электромагнитным воздействиям.

Материал затрагивает вопросы ЭМС не только гражданского автомобильного транспорта, но и специального назначения. Приводятся различные варианты обеспечения параметров ЭМС автотранспортных средств.

Книга будет полезна техническим специалистам, занятым в образовательных, исследовательских, производственных и других сферах автомобильной индустрии. Издание можно рекомендовать в качестве учебного пособия бакалаврам, магистрам и аспирантам соответствующих направлений.