

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
САМАРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

На правах рукописи

Подгорний Александр Сергеевич

**СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СИСТЕМЫ КОНТРОЛЯ
ПОМЕХОУСТОЙЧИВОСТИ БОРТОВОГО
ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА АВТОМОБИЛЕЙ К
ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫМ ВОЗДЕЙСТВИЯМ**

Специальность 05.09.03 – «Электротехнические комплексы и системы»

Диссертация на соискание учёной степени
кандидата технических наук

Научный руководитель
доктор технических наук, профессор
Козловский В.Н.

САМАРА – 2019

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	5
ГЛАВА 1. БОРТОВОЙ ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС АВТОМОБИЛЕЙ КАК ОБЪЕКТ ЭМС	13
1.1 Содержание проблемы помехоустойчивости БЭК АТС к электромагнитным воздействиям	13
1.2 Обзор источников электромагнитных помех, формирующих внешнюю электромагнитную обстановку	19
1.3 Функциональная безопасность ЭТС и БЭК АТС	27
1.4 Обзор и анализ испытаний БЭК АТС на восприимчивость к внешним электромагнитным воздействиям	30
1.5 Анализ применяемых оценок помехоустойчивости	36
1.6 Обзор и анализ нарушений работоспособности ЭТС АТС	41
1.7 Выводы по первой главе	50
ГЛАВА 2. РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ КОНТРОЛЯ БОРТОВОГО ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА АВТОМОБИЛЯ НА УСТОЙЧИВОСТЬ К ВНЕШНИМ ТЕХНОГЕННЫМ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫМ ВОЗДЕЙСТВИЯМ	53
2.1 Разработка методики контроля БЭК АТС на помехоустойчивость при неопределенности ориентации автомобиля по отношению к источнику излучения	53
2.2 Разработка методики контроля БЭК АТС для случая широкополосного воздействия	63
2.3 Совершенствование ездового цикла для комплексной оценки	68

помехоустойчивости БЭК АТС

2.4 Разработка инструментария для испытательных тестов системы
контроля перспективных БЭК АТС 74

2.5 Алгоритм нахождения минимального уровня помехоустойчивости
БЭК АТС при контрольных испытаниях на узкополосное воздействие 83

2.6 Выводы по второй главе 91

**ГЛАВА 3. ОЦЕНКА СООТВЕТСТВИЯ БОРТОВОГО
ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА
АВТОТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ ТРЕБОВАНИЯМ
ПОМЕХОУСТОЙЧИВОСТИ** 94

3.1 Анализ разброса параметров помехоустойчивости БЭК АТС 94

3.2 Исследование влияния условий испытаний на разброс параметров
помехоустойчивости 96

3.3 Исследование влияния конструкторско-технологических
параметров АТС на помехоустойчивость БЭК 106

3.4 Разработка вероятностной математической модели и критерия
оценки соответствия БЭК партии АТС по требованиям
помехоустойчивости 117

3.5 Методика расчета оценки соответствия требованиям
помехоустойчивости БЭК для партии АТС 122

3.6 Выводы по третьей главе 126

ГЛАВА 4. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПОМЕХОУСТОЙЧИВОСТИ ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ АВТОТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ	129
4.1 Применяемая экспериментальная база для исследований помехоустойчивости электротехнических систем	129
4.2 Общие условия проведения и анализа экспериментов	137
4.3 Экспериментальные исследования помехоустойчивости гибридного автомобиля	138
4.4 Исследование помехоустойчивости электромобиля	147
4.5 Экспериментальные исследования помехоустойчивости электронной системы управления двигателем внутреннего сгорания	150
4.6 Исследование помехоустойчивости электронной системы управления автоматизированной коробкой передач	153
4.7 Исследование помехоустойчивости канала управления скоростью автомобиля	156
4.8 Исследование помехоустойчивости CAN-шины	159
4.9 Исследование помехоустойчивости системы ABS	162
4.10 Исследования помехоустойчивости электронного реле указателей поворота	163
4.11 Выводы по четвертой главе	166
РЕЗУЛЬТАТЫ И ВЫВОДЫ	169
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК	171
ПРИЛОЖЕНИЯ	183

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность.

Основные тенденции развития мирового автопрома, непосредственно связаны с ростом значимости бортового электротехнического комплекса. В полной мере, это характеризует как развитие конструкций традиционных автотранспортных средств (АТС), так и электромобилей (ЭМБ) и автомобилей с комбинированной энергоустановкой (АКЭУ). В настоящее время во всем мире эксплуатируется более одного миллиарда АТС, и их количество непрерывно растет. Автопроизводители совершенствуют свою продукцию улучшая управляемость, комфорт и экологичность. Во многом это достигается за счет применения в АТС сложных бортовых электротехнических систем (ЭТС), которые образуют комплекс. Активное насыщение бортового электротехнического комплекса (БЭК) новыми элементами порождает проблемы, связанные с необходимостью обеспечения электромагнитной совместимости (ЭМС). Статистические данные показывают, что существенную долю отказов (до 35 – 40%) в эксплуатации современных АТС составляют элементы электротехнического комплекса. При этом значительную часть отказов, в полной мере, на предмет вскрытия коренных причин, идентифицировать не удается. Причиной такого положения является недостаточный уровень исследованности вопросов взаимного влияния электрокомпонентов друг на друга в процессе эксплуатации АТС, а также влияния электромагнитных помех (ЭМП) на эффективность работы БЭК АТС.

С одной стороны, в АТС реализуется сложная архитектура электрооборудования. Схемотехника строится на базе микропроцессорной техники. Для управления процессами применяется специализированное программное обеспечение. С другой, кроме электромагнитных воздействий естественного происхождения, ухудшается внешняя техногенная электромагнитная обстановка, за счет увеличения общего количества

радиопередающих систем и источников индустриальных радиопомех. Совокупность всех этих факторов и приводит к увеличению потенциальных проблем ЭМС.

Воздействуя на БЭК автомобиля, электромагнитные помехи могут вызывать у него нарушения работоспособности различного характера, в том числе и опасные для эксплуатации. Вышеизложенное показывает, что проблема ЭМС бортового электротехнического комплекса АТС является актуальной. В данной области постоянно ведутся научные исследования. Их результаты освещаются в тематических изданиях и обсуждаются на конференциях. Большой вклад в решение проблем внесли отечественные и зарубежные ученые: А. Д. Князев, Л.Н. Кечиев, Н.В. Балюк, Н.А. Володина, В.Е. Ютт, С.И. Комягин, П.А. Николаев, Backstrom M., T. Rybak, Ott H.W., H. Rakouth, Chun-Chih Lin., Joungho Kim, C. Cammin, M. Steffka, L. Comstock, Lindl B. и др.

В условиях массового производства, когда в процессе сборки на автомобильную технику устанавливаются электротехнические компоненты, изготавливаемые, в соответствии с действующей нормативно-технической документацией (НТД), различными поставщиками, по сути, в бортовом комплексе, в некоторой степени, формируется уникальная электромагнитная среда, характеризуемая индивидуальными особенностями работы каждого электрокомпонента и БЭК в целом. В полной мере оценить взаимное влияние электрокомпонентов, посредством электромагнитных помех, на этапах проектирования бортового электротехнического комплекса не представляется возможным, как раз из-за ограниченности серий конструкторских испытаний, наличия индивидуальной картины изменчивости электротехнических параметров в установленных техническими условиями границах и их вероятностного характера.

Именно поэтому важным этапом выявления проблем помехоустойчивости БЭК АТС является испытание и контроль уже на этапе производства. В процессе контроля удается проверить правильность

заложенных конструктором ЭМС решений, а также в случае обнаружения нарушений работоспособности доработать изделия до актуализированных требований. В настоящее время на законодательном уровне разработан комплекс методов контроля и испытаний. Чтобы получить одобрение типа, любой БЭК в составе АТС как в России, так и за рубежом должен пройти сертификационные испытания. Именно поэтому, для обеспечения безопасности эксплуатации АТС, с точки зрения ЭМС, необходимо постоянно совершенствовать методологию испытаний и контроля БЭК АТС.

Диссертационная работа выполнена в рамках решения Комиссии Таможенного союза от 09.12.2011 г. №877 (ред. от 13.12.2016) «О принятии технического регламента Таможенного союза «О безопасности колесных транспортных средств».

Цель работы: повышение электромагнитной безопасности новых автомобилей на основе совершенствования системы контроля бортового электротехнического комплекса.

Решаемые задачи:

1. Комплексный научно-технический и практический анализ проблемы ЭМС бортового электротехнического комплекса АТС.
2. Разработка системы контроля помехоустойчивости БЭК АТС к внешним техногенным электромагнитным воздействиям.
3. Разработка алгоритма для нахождения предельно допустимого уровня помехоустойчивости БЭК новых АТС в заданном диапазоне частот действующих сигналов.
4. Анализ факторов, влияющих на разброс параметров помехоустойчивости БЭК АТС.
5. Разработка математической модели и критерия оценки соответствия требованиям помехоустойчивости БЭК партии новых АТС.
6. Проведение экспериментальных исследований помехоустойчивости БЭК АТС к узкополосному электромагнитному воздействию.

Объект исследования: бортовой электротехнический комплекс автотранспортных средств.

Предмет исследования: система контроля помехоустойчивости бортового электротехнического комплекса автотранспортных средств к электромагнитным воздействиям.

Методы исследования, применяемые в работе, базируются на теориях электродинамики и распространения радиоволн, электрических цепей и сигналов, электромагнитной совместимости, планирования эксперимента.

Экспериментальные исследования проводились с применением аттестованного оборудования лаборатории исследования электромагнитной совместимости Волжского автомобильного завода (г. Тольятти), а обработка данных осуществлялась с использованием прикладной программы Mathcad.

Обоснованность и достоверность результатов работы определяются корректным применением математических методов исследования, а также большим объемом обработанных экспериментальных данных, полученных в лаборатории ЭМС ПАО «АВТОВАЗ».

Научная новизна

1. Разработана система контроля БЭК АТС по параметрам ЭМС исходя из перспектив развития технологий ЭМБ и АКЭУ, отличающаяся от известных учетом неопределенности ориентации автомобиля по отношению к источнику излучения, параметров широкополосного воздействия ЭМП, а также комплексностью оценки помехоустойчивости БЭК в ездовом цикле новых АТС.

2. Предложен алгоритм системы контроля ЭМС, позволяющий определить предельно допустимый уровень помехоустойчивости БЭК АТС в заданном диапазоне частот электромагнитных воздействий.

3. Разработана вероятностная математическая модель и критерий оценки соответствия БЭК партии новых АТС, по требованиям помехоустойчивости, в условиях массового автомобильного производства.

Практическая ценность работы:

1. Рекомендованы новые режимы, условия и параметры контрольных испытательных тестов БЭК АТС с внешним электромагнитными воздействием, позволяющие более полно и достоверно оценить их помехоустойчивость.
2. Предложена методика расчета оценки соответствия требованиям помехоустойчивости БЭК для партии АТС, позволяющая проводить анализ конструкторских решений по помехозащищенности, а также принимать решения о приемке автомобилей в условиях действующего производства по показателям ЭМС.
3. Уточнен диапазон частот воздействующих сигналов, в котором наиболее ожидаемы нарушения работоспособности БЭК АТС, что позволяет сформулировать более полные технические требования к обеспечению помехозащищенности БЭК на этапе проектирования.

Положения, выносимые на защиту:

1. Система контроля БЭК АТС на помехоустойчивость к внешним техногенным электромагнитным воздействиям.
2. Алгоритм системы контроля ЭМС позволяющий определить предельно допустимый уровень помехоустойчивости БЭК новых АТС в заданном диапазоне частот.
3. Вероятностная математическая модель и критерий оценки соответствия требованиям помехоустойчивости БЭК для партий новых АТС одинаковых моделей и комплектаций.
4. Результаты экспериментальных исследований помехоустойчивости БЭК АТС к электромагнитному воздействию в широком диапазоне частот.

Область исследования соответствует п. 2. «Обоснование совокупности технических, технологических, экономических, экологических и социальных критериев оценки принимаемых решений в области проектирования, создания и эксплуатации электротехнических комплексов и систем», п. 4. «Исследование работоспособности и качества

функционирования электротехнических комплексов и систем в различных режимах, при разнообразных внешних воздействиях», п. 5. «Разработка безопасной и эффективной эксплуатации, утилизации и ликвидации электротехнических комплексов и систем после выработки ими положенного ресурса», паспорта специальности 05.09.03 Электротехнические комплексы и системы.

Апробация работы. Результаты работы обсуждались на профильных совещаниях научно-технического центра ПАО «АВТОВАЗ».

Основные положения диссертационной работы доложены и обсуждены на: III Всероссийской научно-технической конференции «Технологии, измерения и испытания в области электромагнитной совместимости» (Москва, ВШЭ, 2016); XVII Международной научно-технической конференции «Проблемы техники и технологий телекоммуникаций» (Самара, ПГУТИ, 2016); IX Международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых специалистов «Наука и творчество: взгляд молодых профессионалов» (Тольятти, ПВГУС, 2016); XX аспирантско-магистерском научном семинаре, посвященного дню энергетика (Казань, КГЭУ, 2016); IV Всероссийской научно-технической конференции «Технологии, измерения и испытания в области электромагнитной совместимости» (Москва, ВШЭ, 2017); XII международной молодежной научной конференции «Тинчуринские чтения» (Казань, КГЭУ, 2017); VIII Международной молодёжной научно-технической конференции (Самара, СамГТУ, 2017); V Всероссийской научно-технической конференции «Технологии, измерения и испытания в области электромагнитной совместимости» (Москва, ВШЭ, 2018).

Реализация результатов работы. Разработанный в диссертации научно-практический инструментарий прошел апробацию и внедрен в практику оценки БЭК АТС в лаборатории электромагнитной совместимости ПАО «АВТОВАЗ».

Публикации. По тематике исследований опубликовано 16 работ, общим объемом 3,4 п.л., в том числе 5 статей в журналах, входящих в перечень рекомендованных ВАК РФ, а также 2 патента на изобретение.

Личный вклад автора. В работах, выполненных в соавторстве, соискателю принадлежит: в работе [47] – участие в проведении экспериментальных исследований, получена формула частоты следования импульсов для критического воздействия на канал синхронизации двигателя; в работах [56, 59] – участие в проведении экспериментальных исследований и их анализ; в работе [55] – исследование устойчивости канала контроля работоспособности катушек зажигания; в работах [54; 46] – разработка математической модели соответствия автомобилей требованиям помехоустойчивости и участие в проведении экспериментальных исследований; в работах [45; 49] – разработка метода азимутального позиционирования, получение выражения минимального расстояния от АТС до излучающей антенны; в работах [58; 60] – анализ проблем испытаний АТС на ЭМС и проведение экспериментальных исследований; в работе [52] – разработка цикла испытаний на помехоустойчивость системы «Эра ГЛОНАСС»; в работе [57] – разработка требований на помехозащищенное устройство сбора данных; в работе [51] – разработка ездового цикла гибридного автомобиля и участие в экспериментальных исследованиях; в работе [50] – разработка комплексного ездового цикла для испытаний автомобиля; в работе [53] – решения по обеспечению соответствия требованиям ЭМС гибридного автомобиля; в работе [48] – вывод формулы шага перестройки по частоте при испытаниях на ЭМС.

Структура и объем диссертации. Диссертация включает в себя введение, четыре главы, заключение, библиографический список и приложение. Основной текст изложен на 170 страницах, содержит 107 рисунков, 8 таблиц. Библиографический список состоит из 92 наименований и приложений на 3 страницах.

Содержание работы

Во введении показана актуальность темы исследования, сформулированы цель и решаемые задачи, изложены научная новизна и практическая ценность диссертационной работы.

Первая глава раскрывает содержание проблемы помехоустойчивости БЭК АТС к электромагнитным воздействиям. Произведен обзор и анализ источников электромагнитных помех, формирующих внешнюю электромагнитную обстановку. Дан обзор существующих систем контроля и испытания на восприимчивость к внешним электромагнитным воздействиям и критериев оценок помехоустойчивости. Проанализированы известные нарушения работоспособности БЭК автомобилей.

Во второй главе Разработана система контроля БЭК АТС на помехоустойчивость к электромагнитным помехам. Разработаны ездовые циклы для проведения комплексной оценки помехоустойчивости бортового электротехнического комплекса АТС. Предложен подход по выбору шага перестройки частоты внешнего узкополосного электромагнитного воздействия при испытаниях АТС.

В третьей главе получена вероятностная математическая модель и критерий, а также предложена методика оценки соответствия требованиям помехоустойчивости БЭК для партий автотранспортных средств одинаковых моделей и комплектаций.

Четвертая глава посвящена экспериментальным исследованиям помехоустойчивости БЭК АТС отечественного и зарубежного производства. Определены диапазоны частот и уровни электромагнитного воздействия при которых происходят нарушения работоспособности БЭК автомобилей.

Приложение содержит сертификаты поверки оборудования лаборатории ЭМС ПАО «АВТОВАЗ» и акт внедрения результатов диссертационной работы.

ГЛАВА 1. БОРТОВОЙ ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС АВТОМОБИЛЕЙ КАК ОБЪЕКТ ЭМС

1.1 Содержание проблемы помехоустойчивости БЭК АТС к электромагнитным воздействиям

Определение набора статистики о нарушениях работоспособности бортового электротехнического комплекса (БЭК) АТС, в процессе эксплуатации, из-за электромагнитного воздействия, представляет собой очень сложную задачу. Основная причина сложности, заключается в необходимости интерпретации и определения соответствия отказа с проблемой ЭМС. Если в процессе эксплуатации АТС произошел сбой электротехнического комплекса, то из-за неосведомленности большинства эксплуатантов о проблеме ЭМС, единицы однозначно сопоставят его с электромагнитным воздействием. Даже если произошел сбой, то сложно его проанализировать. Источник воздействия может быть мобильным, или параметры излучения не детерминированы, или водитель, проезжая мимо источника электромагнитных помех (ЭМП) не знает о его нахождении. Зачастую возникающие проблемы ЭМС автомобилисты относят к другим причинам: плохому бензину, ненадежной или отработавшей ресурс технике, погодным условиям и т.п.

Опыт показывает, что даже на станциях технического обслуживания в подавляющем большинстве, проблемы возникшие из-за электромагнитного воздействия, такие как, например, «зависание» электронных блоков, не могут классифицировать как проблемы ЭМС.

Более однозначно определить причину нарушения работоспособности БЭК удается при систематическом нахождении АТС возле источника электромагнитных помех (ЭМП). В этих случаях сопоставляя проблему с местом ее проявления с высокой степенью вероятности выявляется мешающий фактор. Наглядными примерами таких воздействий могут

служить нарушение радиоприема автомобильной магнитолы около тела и радиоцентров, а также несрабатывание охранной сигнализации около зданий оснащенных радиопередающими охранными и противопожарными системами. В ряде случаев нарушение работоспособности можно однозначно сопоставить кратковременному электромагнитному воздействию.

Специалисты анализируя текущую статистику по различным эксплуатационным сбоям и отказам, получаемую из различных источников в некоторых случаях по косвенным признакам и опыту однозначно сопоставляют нарушения работоспособности БЭК электромагнитному воздействию. В ряде случаев делается лишь предположение о влиянии внешних электромагнитных помех.

Все вышеизложенное объясняет сложность получения точных статистических данных о проблемах ЭМС эксплуатируемых АТС. Какой их процент однозначно удается выявить – точная цифра не известна, но то что проблема устойчивости электротехнических систем АТС к электромагнитным воздействиям есть, и ее актуальность возрастает, являясь несомненным фактом. Специалисты склоняются к уровню в 10% отказов электрооборудования по проблемам ЭМС от общего объема отказов БЭК АТС в эксплуатации. В понимании проблемы и ее решении важную роль играют испытания АТС в специализированных ЭМС центрах. Результаты тестирования позволяют выявить потенциальные проблемы, набрать статистику и уже на основании имеющихся результатов производить доработку БЭК по заданным требованиям к помехоустойчивости и внешним электромагнитным воздействиям.

Электромагнитные помехи (ЭМП), воздействуя на электротехнические системы АТС, ухудшают качество их работы. Электрокомпоненты теряют свою работоспособность. Происходит снижение надежности электротехнических систем и комплекса (рис. 1.1) [6].

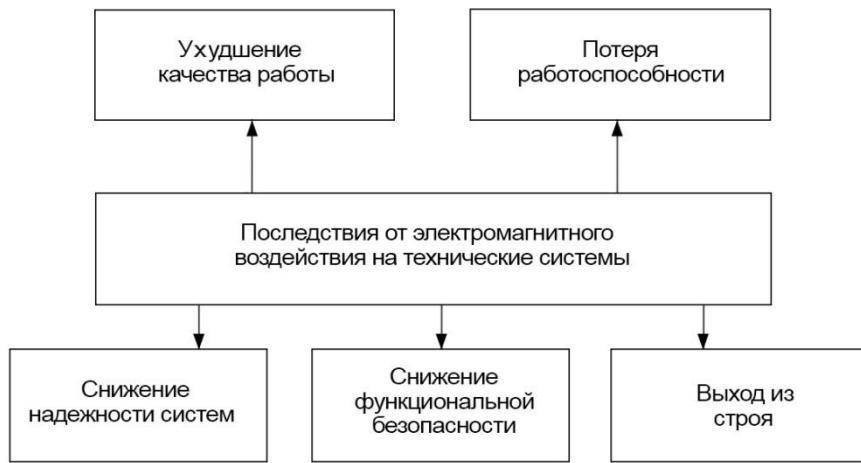


Рисунок 1.1 – Последствия воздействия ЭМП на
электротехнические системы АТС

Нарушение работоспособности БЭК АТС происходит из-за: прямого воздействия ЭМП, искажения ими полезной информации, неправильным функционированием программ, алгоритмов и электроники. Последствия классифицируются как: опасные и неопасные, допустимые и недопустимые. Как правило, оценкой здесь является степень риска в отношении масштаба последствий. Пределы по классификации определяются компетентными органами для каждого случая на основании приемлемого риска (рис. 1.2) в зависимости от обстоятельств поражения при эксплуатации АТС. В контексте ЭМС понятие риска включает в себя вероятность наступления негативного последствия с определенным ущербом от ЭМП [31, 68]. В качестве примера можно рассмотреть нарушение работоспособности генератора напряжения. При электромагнитном воздействии его выходное напряжение может превысить или быть ниже допустимых значений. Это зависит от схемотехнических особенностей встроенного регулятора. Если напряжение оказалось ниже допустимых значений или генератор перестал работать, то в данном случае это не будет рассматриваться как опасное последствие, т.к. имеется аккумуляторная батарея, являющаяся резервным источником электроэнергии. Какое-то время она обеспечит приемлемое функционирование БЭК. Несмотря на то, что некоторые параметры будут

выходить за допуски, например, световой поток фар, но в общем АТС будет работоспособно и не представлять опасности. Но если напряжение с генератора превысит предельное значение, то увеличится вероятность выхода из строя БЭК. Это уже является опасным фактором, при котором последствия могут быть катастрофическими.

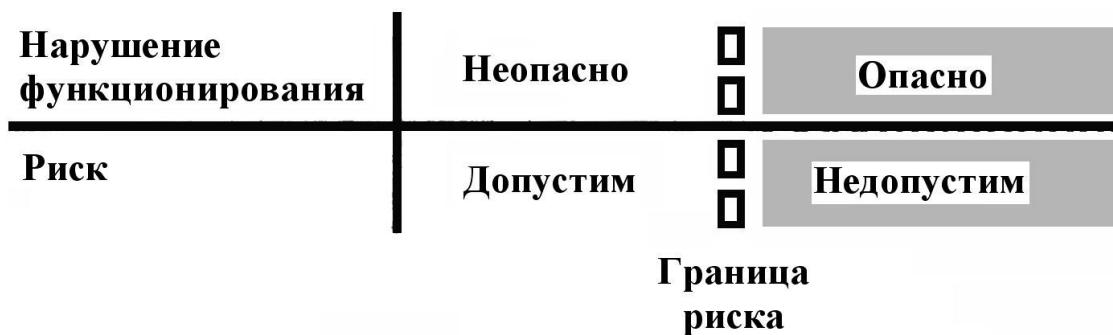


Рисунок 1.2 – Соотношение нарушений функционирования и степени риска

Обеспечение требованиям ЭМС БЭК АТС, в частности их помехоустойчивости к внешним электромагнитным воздействиям базируется на принципе экономического подхода (рис.1.3) [25, 88], который учитывает степень технической сложности требований к ЭМС.

При малых затратах на обеспечение помехоустойчивости электротехнических систем возрастают экономические потери на этапе эксплуатации АТС (область I). Если затраты на обеспечение ЭМС при разработке и производстве электротехнических систем и АТС значительны, то экономические потери на этапе эксплуатации сводятся к минимуму (область II). В область II входят также затраты на испытания.

Диапазон 1 при заданной сложности зависит от уровня квалификации разработчиков и применяемых решений. Диапазон 2 определяется условиями эксплуатации: маршрут, сезонность, интенсивность, периодичность прохождения технических осмотров и т.п.

Затраты по показателям их ЭМС при производстве электротехнических

систем (ЭТС) и БЭК должны быть экономически целесообразны. Должно быть найдено компромиссное решение, учитывающее совокупность технических и экономических мероприятий по обеспечению помехоустойчивости электротехнических систем АТС. Всегда имеется некий оптимум затрат, выделенный областью Y на рисунке 1.3.

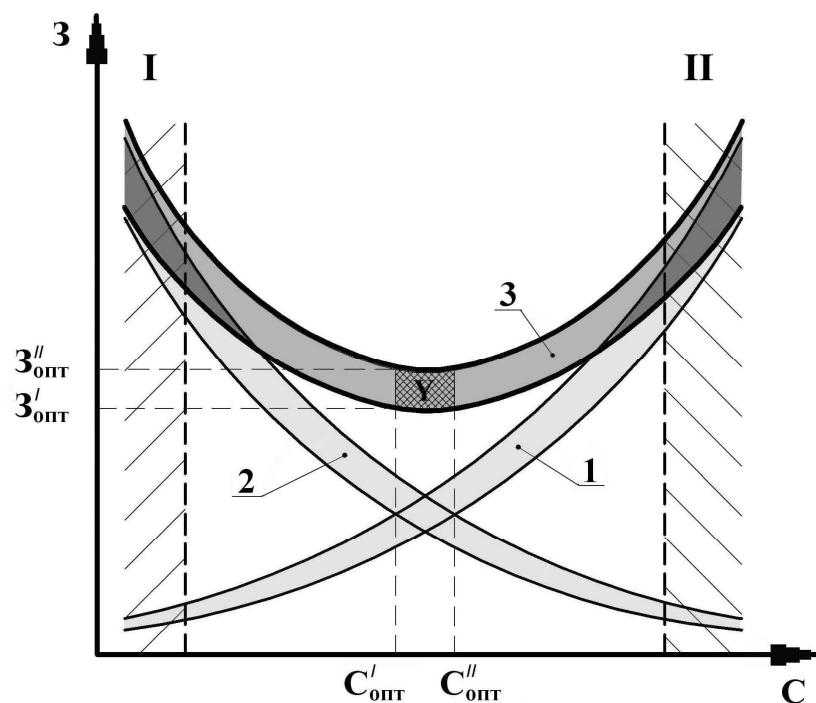


Рисунок 1.3 – Затраты 3 , связанные с требованиями к помехоустойчивости электротехнических систем АТС в зависимости от сложности C требований:

1 – затраты на обеспечение помехоустойчивости при разработке и производстве; 2 – затраты (экономические потери) при эксплуатации АТС из-за недостаточного удовлетворения требований к их помехоустойчивости; 3 – общие затраты, связанные с обеспечением помехоустойчивости АТС в зависимости от сложности требований

Приведенные на рисунках качественные графики наглядно иллюстрируют экономический аспект задачи обеспечения помехоустойчивости ЭТС и БЭК АТС. При отсутствие необходимого внимания к проблеме ЭМС приводит к тому, что риск нарушения работоспособности АТС в процессе эксплуатации возрастает. В ряде случаев после проблем в эксплуатации ЭТС дорабатываются, но на это затрачиваются дополнительные материальные ресурсы, а также затягивается

ввод АТС в эксплуатацию. Помимо этого, у автопроизводителя увеличиваются экономические потери из-за рекламаций, материальных судебных выплат и издержек, неустоек по договорам и из-за упущенной выгоды. Несоответствие требованиям ЭМС приводит к наложению запрета на продажу на внутренний рынок и экспорт вследствие отсутствия сертификации. Перечисленные факторы определяют границу области Y слева. Правая граница оптимума затрат определяется целью автопроизводителя удовлетворить спрос покупателей в приобретении соответствующего критерию цена/качество АТС. Это условие не подразумевает обеспечение высоких показателей ЭМС. Увеличение сложности требований к ЭМС характерно для АТС дорогостоящего сегмента, а затраты для зоны «II» целесообразны для автомобильного транспорта специального назначения.

Для обеспечения качества АТС по параметрам ЭМС, необходимо всесторонне подходить к данной проблеме. На этом делают акцент все ведущие ученые [74, 75, 82, 89, 92]. Большое значение необходимо уделять вопросам испытаний ЭТС и БЭК. Они позволяют решать вопросы ЭМС продукции (рис.1.4) на этапах разработки, при сертификации продукции и контроле действующего производства.



Рисунок 1.4 – Области испытаний на ЭМС автомобильной продукции

На испытаниях выявляются потенциальные проблемы совместимости. Это позволяет своевременно доработать изделия по параметрам ЭМС, повысив тем самым электромагнитную безопасность АТС.

1.2 Обзор источников электромагнитных помех, формирующих внешнюю электромагнитную обстановку

В процессе эксплуатации АТС работает в постоянно меняющейся электромагнитной обстановке. На его БЭК постоянно воздействуют внешние электромагнитные помехи различной физической природы. Классификация источников ЭМП подразделяет их на естественные и техногенные (рис.1.5) [7, 42].



Рисунок 1.5 – Источники электромагнитных помех, формирующие внешнюю электромагнитную обстановку

Определение естественных источников ЭМП вытекает из их названия. Они делятся на внеземные и земные. До 30 МГц преобладают атмосферные электромагнитные помехи (АЭМП) (рис.1.6) [7, 42]. Самым мощным источником ЭМП естественного происхождения являются молнии. В среднем на планете происходит приблизительно 100 ударов в секунду [2]. Молнии классифицируются на непосредственные, близкие, и удаленные разряды. Применительно к гражданскому автотранспорту рассматриваются только удаленные разряды, а для АТС специального назначения - все. Область действия электромагнитного излучения грозового разряда достигает нескольких километров.

Вторыми по мощности после молний естественными источниками ЭМП являются статические разряды, которые образуются вследствие пробоя на проводящие поверхности накопленных на диэлектриках электрических зарядов с потенциалами до 100 кВ [2]. Ток разряда может достигать 70 А. Он генерирует ЭМП с параметрами, приведенными в таблице 1.1. Область действия электромагнитного излучения статического разряда достигает нескольких сантиметров.

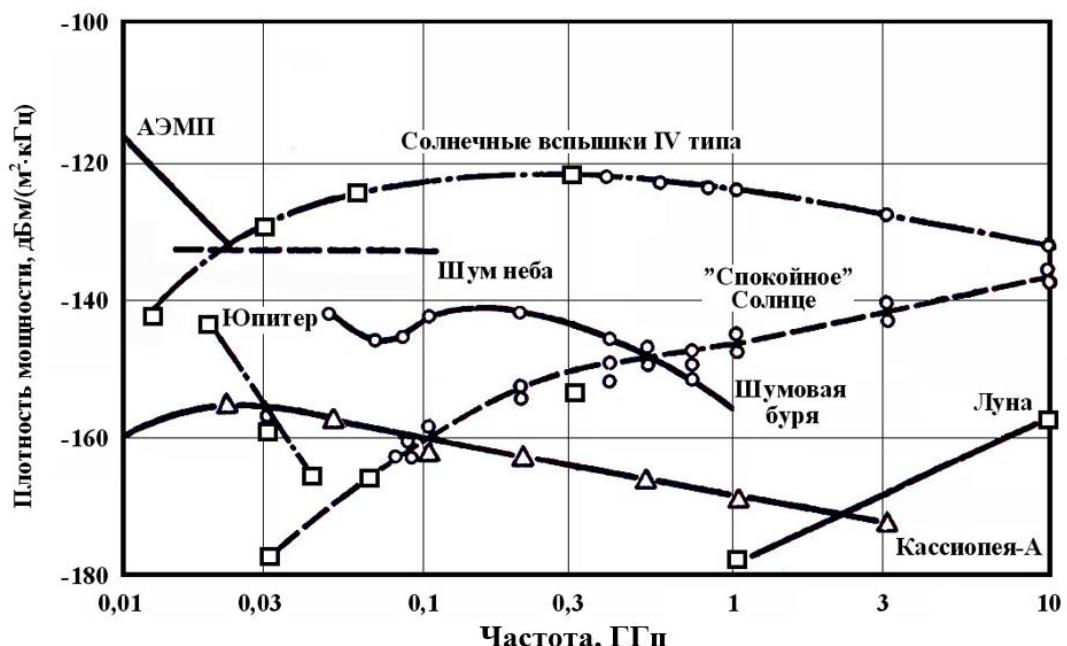


Рисунок 1.6 – ЭМП естественных источников

Таблица 1.1
Параметры ЭМП молний и статического электричества

Параметр	Источник			
	Молния на расстоянии от места удара, м		Разряд статического электричества, см	
	10	100	10	20
Напряженность E , кВ/м	200 - 400	40	4	1
Напряженность H , А/м	1000- 3000	160	15	4
Спектр	1 кГц – 5 МГц		До 1 ГГц	

Внеземными источниками излучения являются космические тела. К ним относятся: галактики, радиозвезды, солнце и планеты (рис. 1.6). Наиболее мощную составляющую в общий электромагнитный фон вносят вспышки на Солнце. Созданное вспышками четвертого типа ЭМП хотя и не является максимальными, но по параметрам оно стабильно и лежит в широкой полосе частот, а также длиться несколько суток [66]. Проблемы, вызванные этими вспышками, связаны с перебоями в навигации АТС.

Техногенными (искусственным) источниками ЭМП являются технические средства, созданные человеком. К ним относятся радиоэлектронные системы непреднамеренного и преднамеренного излучения, различные виды транспорта и источников электроэнергии, а также аппаратура промышленного применения и ядерный взрыв.

Ядерный взрыв является самым мощным источником техногенного воздействия. Созданное гамма- и рентгеновское излучение взаимодействует с молекулами окружающей среды. Вследствие чего электромагнитные помехи генерируются переносом заряда вторичными электронами, а также взаимодействием заряженных частиц с геомагнитным полем Земли, и процессами в зоне высоких градиентов термодинамических характеристик газа в тепловой и ударной волнах [28, 29, 64, 71]. Импульсы ЭМП наземного и высотного ядерных взрывов приведены на рисунке 1.7.

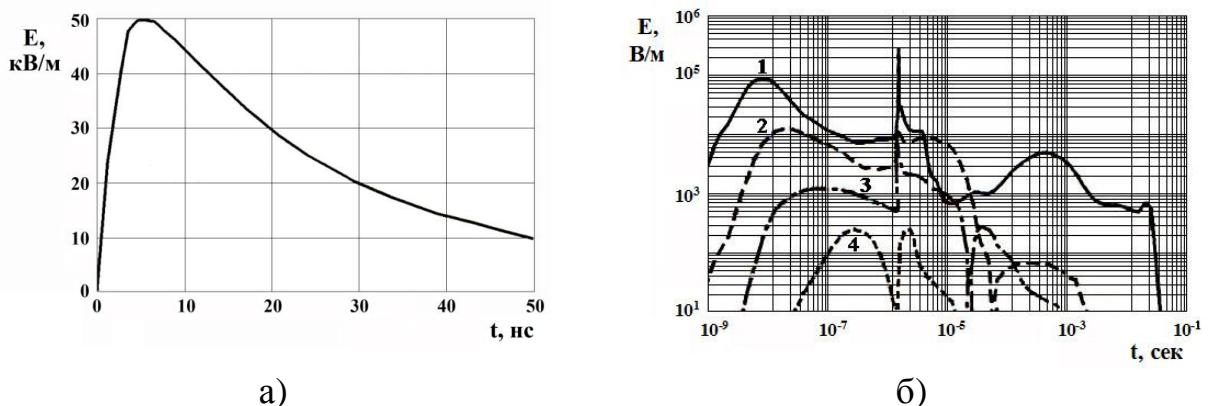


Рисунок 1.7 – ЭМП ядерного взрыва: а) ЭМП наземного ядерного взрыва; б) ЭМП высотного ядерного взрыва; 1 – 215 м; 2 – 745 м; 3 – 1520 м; 4 – 3000 м

ЭМП высотного ядерного взрыва характеризуется следующими параметрами [2]: максимальная пиковая напряженность электрического поля 50 кВ/м; максимальная пиковая напряженность магнитного поля 133 А/м.

ЭМП наземного ядерного взрыва характеризуется следующими параметрами: максимальное значение вертикального электрического поля 100 кВ/м; максимальное значение радиального электрического поля 200 кВ/м; максимальное значение азимутального магнитного поля 5 кА/м.

Для гражданского автомобильного транспорта испытания к электромагнитному воздействию ядерного взрыва не целесообразны по экономическим соображениям. Они актуальны для АТС специального назначения.

Электромагнитные поля, созданные линиями электропередач (ЛЭП) и высоковольтным оборудованием, достигают значений 10^3 – 10^4 В/м и 10^2 – 10^4 А/м [2] (рис. 1.8). Их уровень максимален при высокой влажности, тумане и дожде, а также снегопаде. Вследствие старения или из-за возникающих неисправностей на частотах выше 50 Гц увеличивается уровень импульсных ЭМП, длительность которых лежит в диапазоне от 0,1 с до 10 нс. ЛЭП обладают свойствами двухпроводных линий с малым вносимым затуханием.

Вдоль них на большое расстояние распространяются помехи.

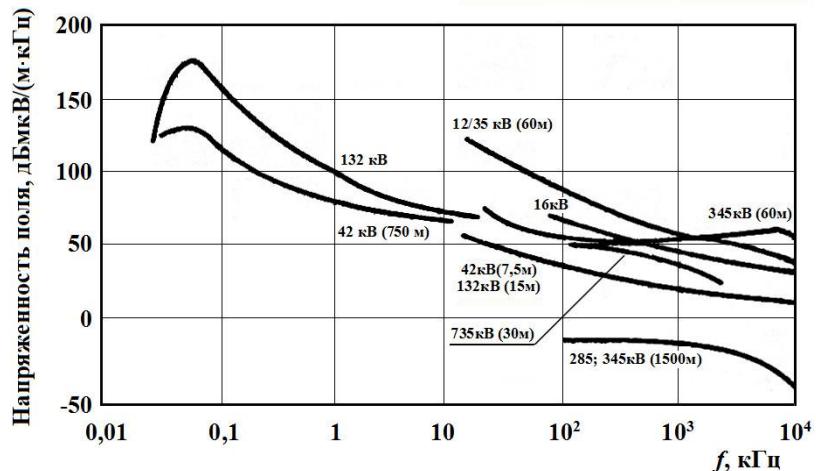


Рисунок 1.8 – ЭМП от линий электропередач

Излучение от сварочных аппаратов дуговой сварки сосредоточено в диапазонах средних и коротких волн (рис. 1.9) [66]. ЭМП от промышленной аппаратуры в основном лежат до частот 100 МГц, но излучение на их гармонических составляющих достигает 1 ГГц.

В низкочастотной области мощным источником ЭМП является контактная сеть железных дорог. Электрическое воздействие создается потенциалом контактного провода по отношению к земле. Магнитное воздействие обусловлено возникновением в электрической сети тяговых токов или короткого замыкания. Параметры ЭМП от контактной сети железных дорог имеют следующие значения [2]: максимальная напряженность электрического поля 10^4 В/м; максимальная напряженность магнитного поля 10^3 А/м.

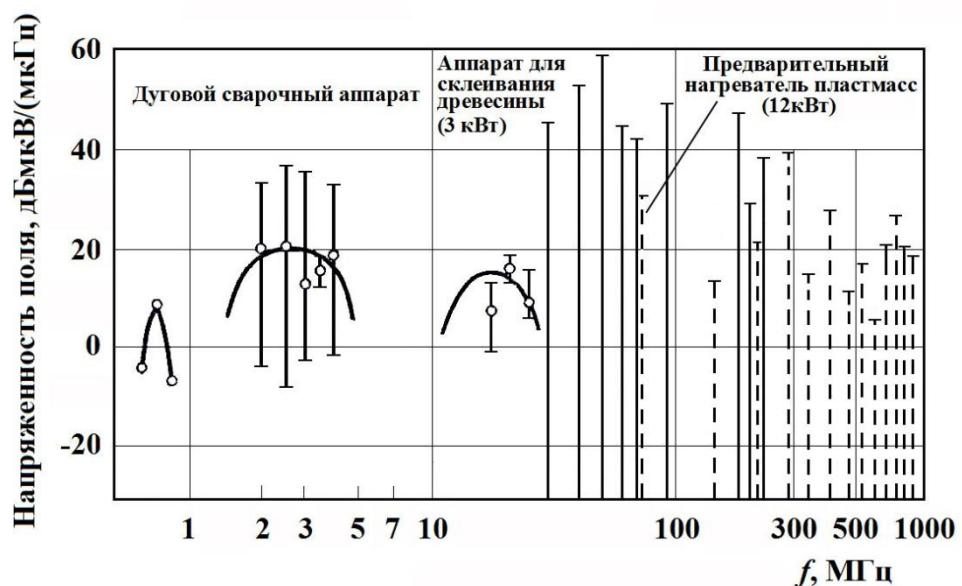


Рисунок 1.9 – ЭМП от промышленной аппаратуры
Помехи от автотранспортных средств имеют импульсный характер. Основным их источником является система зажигания. Амплитуда импульсов имеет случайный характер. Спектр электромагнитных помех лежит в диапазоне до 1 ГГц [30, 39, 43] (рис. 1.10).

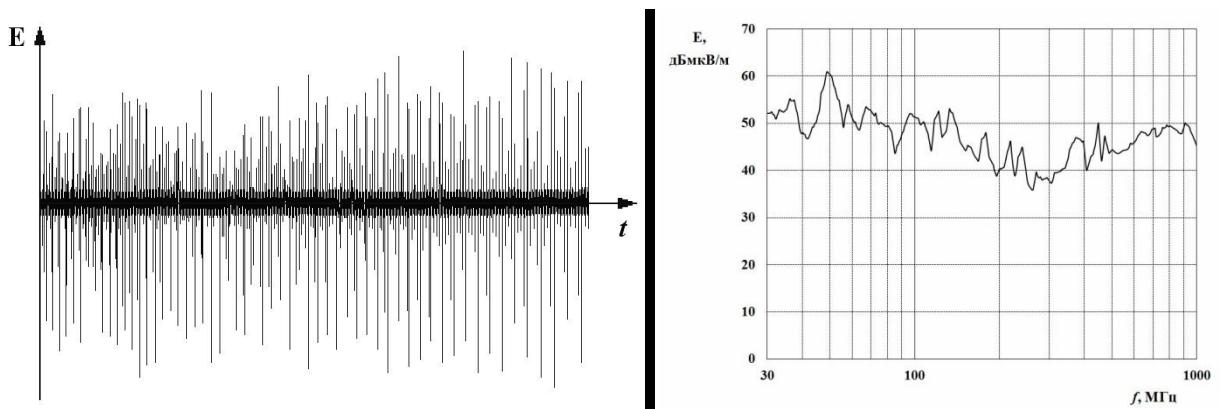


Рисунок 1.10 – ЭМП от потока автомобильного транспорта с расстояния 10 м от автомобильной дороги: а) временная последовательность импульсов; б) спектральная характеристика

Средний уровень ЭМП напрямую зависит от количества автомобильного транспорта. Максимальная же амплитуда потока в преобладающих случаях определяется только одним, наиболее интенсивно излучающим автомобилем, т.к. очень мала вероятность сложения в фазе сигналов от разных источников на одинаковых частотах. Но если сложение происходит, то в уровень на конкретной частоте вырастает не более, чем на 6 дБ [42].

ЭМП от радиоэлектронных технических систем классифицируются как непреднамеренного и преднамеренного воздействия. К источникам непреднамеренного излучения относятся телевидение, связь и радиовещание, различные радиолокационные станции, а также навигационные системы. Их параметры приведены в табл. 1.2 [44].

Значительную составляющую в электромагнитный фон вносят различные летательные аппараты. Он в зависимости от условий, создают помехи напряженностью до 2000 В/м и сосредоточены в диапазоне частот от 10 кГц до 300 ГГц.

Как видно из таблицы и анализа электромагнитной обстановки наиболее интенсивными по суммарному времени воздействия являются системы

радиосвязи и вещания диапазона 20 МГц - 2 ГГц. Интенсивность их воздействия в зависимости от различных факторов может достигать уровней 100 В/м и более.

Таблица 1.2
Параметры излучаемых электромагнитных помех от технических
радиосистем непреднамеренного воздействия

Источник электромагнитных помех	Частота	Расстояние до излучателя	Уровень помех
Радиостанции НЧ	130–285 кГц	300 м	90 В/м
Радиостанции СВ	415–1606,5 кГц	50 м	450 В/м
Радиостанции КВ	3,95–26,1 МГц	50 м	120 В/м
Ручные радиостанции	27 МГц	5 см	≥ 1000 В/м
Радиостанции FM	87,5–108 МГц	1,5 км	50 мВт/м ²
Телевизионные передатчики	47–68 МГц 174–230 МГц 470–890 МГц	1,5 км	5–20 мВт/м ²
Радиотелефоны (сотовая связь)	20 МГц – 2 ГГц	10 см	300 В/м
Системы охраны	0,9–10 ГГц	В зоне действия системы	≥ 2 мВт/м ²
Радиолокационные станции	1–300 МГц	В зоне действия системы	20–2000 В/м
	0,3–3 ГГц	В зоне действия системы	0,2–200 Вт/м ²
	3–40 ГГц	В зоне действия системы	до 4500 Вт/м ²

В настоящее время становятся актуальными вопросы защиты автомобильного транспорта от преднамеренного электромагнитного

воздействия. К источникам такого рода помех относят: средства радиоэлектронной борьбы, радиочастотное оружие и микроволновые источники высокой мощности. Первые создают ЭМП поле напряженностью до 100 В/м на расстоянии нескольких километров [65]. Вторые формируют поля на расстоянии до 1 км напряженностью 30 В/м [2]. Третьи создают ЭМП в узкой полосе частот напряженностью до 100 кВ/м [7, 24, 65]. Как правило микроволновые источники высокой мощности работают в диапазоне от 1 до 15 ГГц.

Как правило на автотранспорт оказывается групповое влияние от источников ЭМП, действующих с разных направлений, на разных частотах и мощностях. АТС работает в некоторой постоянно меняющейся случайнym образом электромагнитной обстановке. Как правило ее принято оценивать некоторыми усредненными параметрами. Однако, согласно результатам исследований [31, 32] при определенных условиях поля от независимых источников могут складываться, кратковременно усиливаясь по амплитуде в несколько раз. При таких ситуациях возрастают риски, связанные с нарушением работоспособности АТС, особенно в зонах массового сосредоточения людей и технических средств.

Как показывает анализ наиболее мощным естественным источником ЭМП является грозовой разряд, а из техногенный: ЛЭП, контактная сеть железных дорог, радиотехнические системы и ядерный взрыв. Спектр электромагнитных излучений сосредоточен в области частот 50 Гц – 300 МГц.

В радиодиапазоне наиболее интенсивными по суммарному времени воздействия являются техногенные источники, работающие на частотах от 20 МГц до 2 ГГц. В зависимости от совокупности факторов их уровень может достигать значений 100 В/м.

1.3 Функциональная безопасность ЭТС и БЭК АТС

Автотранспортные средства, вследствие своей массовой эксплуатации, представляют собой источник повышенной опасности. Не смотря на принимаемые меры в автокатастрофах постоянно гибнут и получают травмы различной степени тяжести большое количество людей. Из-за аварий значителен технический ущерб. В эту статистику несомненно вносит свой вклад и нарушения работоспособности БЭК АТС вследствие электромагнитных воздействий.

В контексте проблемы помехоустойчивости автомобильного транспорта к электромагнитным помехам исходят из понятия его функциональной безопасности, опираясь на стандарты [14-20].

Функциональная безопасность БЭК, как рецепторов, связана их реакцией на действующие ЭМП. Сбои происходят, когда в электрических цепях наводятся мешающие сигналы, превышающие пороги восприимчивости. Обобщая практический опыт можно сделать следующую классификацию.

Нарушение функций, связанных: с управлением автотранспортных средств; с защитой водителя, пассажиров и/или других участников дорожного движения; с дезориентацией водителя и/или участников дорожного движения; с функционированием шин данных, которые могут, в случае нарушения функционирования, негативно воздействовать на показания устройств, отображающих информацию.

По первому пункту, например, это может быть в результате ухудшения или изменения показателей работы системы управления двигателя, тормозов, активного управления, трансмиссии, подвески и т.п. По второму пункту примерами являются нарушение работоспособности систему надувных подушек безопасности, а также детскихдерживающих устройств. Для третьего наглядны случаи создания оптических и акустических помех, таких

как неправильная работа указателей поворота, габаритных огней, стоп-сигналов, светосигнальных устройств аварийной системы, неправильная работа противоугонного устройства и звукового сигнала. По четвертому пункту это может быть нарушение функционирования одометра, спидометра или навигационного устройства.

Самые критические последствия случаются из-за сбоев и отказов ЭТС, определяющих безопасность АТС. Функциональная безопасность важна не только отдельно взятого устройства, но и всего бортового комплекса в целом, т.к. в рамках современной архитектуры почти все электрооборудование взаимосвязано между собой. Сбой из-за ЭМП в работе одного блока, может привести к нарушению работоспособности другого.

Функциональная безопасность АТС косвенно связана и с человеческим фактором. Поведение автотранспорта на дороге, особенно находящегося в частном пользовании, при нарушении работоспособности ЭТС из-за ЭМП зависит от надлежащей эксплуатации АТС и поведенческих особенностей водителя.

Управление автотранспортным средством, ввиду его массовой доступности осуществляется широким контингентом различных людей. Поэтому есть вероятность того, что реакция водителя на сбой БЭК вследствие его специфических особенностей будет неадекватна. Степень поведения во время движения определяется психофизическим состоянием, профессиональными качествами: медицинскими показаниями, возрастным фактором и темпераментом.

Статистика имеет ряд примеров: водители, которые привыкли ориентироваться на звуковой сигнал безопасной парковки допускают наезд на препятствием при езде задним ходом при сбое системы под ЭМП или потеря водителем контроля над дорогой, вследствие его отвлечения от управления на отключившуюся по действием ЭМП магнитолу.

Определенная категория водителей не уделяет необходимого внимания техническому обслуживанию автотранспортных средств, эксплуатируя их в неисправном состоянии. Такое обращение приводит к снижению помехоустойчивости ЭТС и БЭК в целом (рис. 1.11, 1.12) [34].

Для обеспечения функциональной безопасности БЭК должен обладать некоторым запасом помехоустойчивости, который должен гарантированно подтверждаться с учетом заданной вероятности в процессе испытаний.

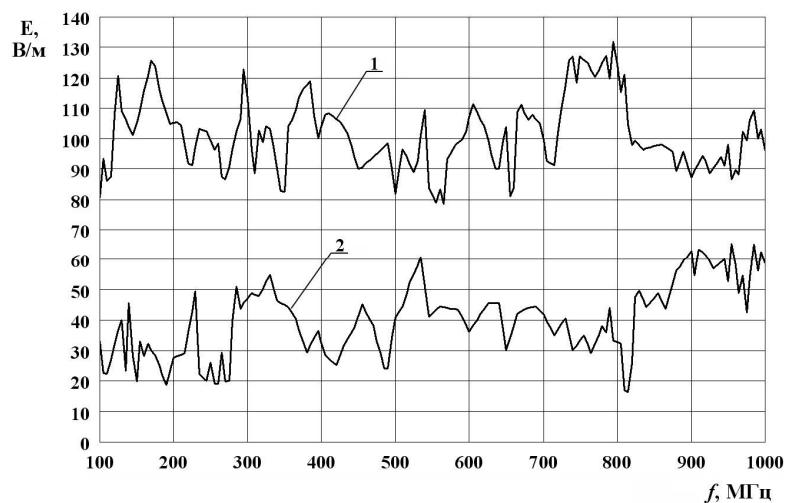


Рисунок 1.11 – Характеристики помехоустойчивости комбинации приборов АТС семейства «Калина»: 1 – штатная; 2 – неизвестного производителя

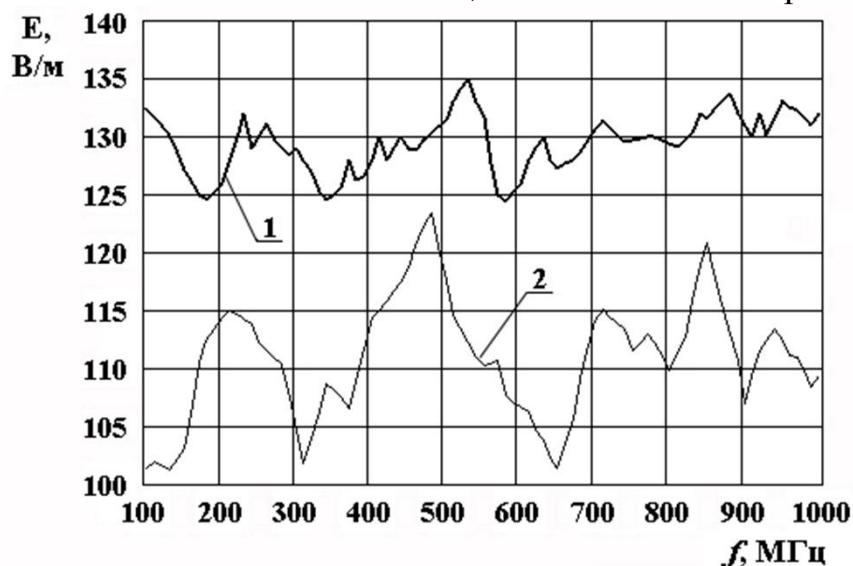


Рисунок 1.12 – Характеристики помехоустойчивости автомобильной противоугонной системы АТС семейства «Калина»: 1 – 10 км пробега; 2 – 140 тыс.км пробега

1.4 Обзор и анализ испытаний БЭК АТС на восприимчивость к внешним электромагнитным воздействиям

Применительно к автомобильной промышленности гражданского назначения существуют ряд методов испытаний, прописанных в национальных и международных стандартах, позволяющих прямо или косвенно оценить помехоустойчивость электротехнических систем АТС к внешним электромагнитным воздействиям.

К косвенному относится метод инжекции объемного тока. Он основан на бесконтактном индицировании электромагнитных помех в электрических цепях при помощи трансформатора тока [61, 62, 63, 81]. Метод в основном применяется при тестировании отдельных блоков и систем. Диапазон частот его применимости ограничивается 400 МГц.

Другие методы основаны на прямом воздействии электромагнитного излучения. Обобщая их можно выделить испытания с применением излучающих антенн и в полосковых системах. Тесты в полосковых системах [79, 81] основаны на электромагнитном воздействии плоско-поперечной волны, распространяющейся между двух параллельных металлических пластин. Распространение получили неэкранированные полосковые системы и экранированные ТЕМ-камеры [76, 83, 87] (рис.1.13). Частотный диапазон полеобразующих систем зависит от их размеров. Верхний диапазон ограничивается частотой, на которой появляются высшие типы электромагнитных волн. Нижняя граница начинается с 0 Гц. Типична зависимость – чем больше размеры системы, тем меньше верхняя рабочая частота. В общем полеобразующие системы, предназначенные для АТС, работают в диапазоне до 20 МГц, а для изделий – до 300 МГц. Основным недостатком здесь является невозможность проведения испытаний на более высоких частотах.

Испытания с применением излучающих антенн проводятся в частотном

диапазоне выше 20 МГц в безэховых экранированных камерах (БЭК) [26, 33]. Альтернативой БЭК являются открытые площадки, но их использование сведено к минимуму вследствие зависимости результатов из-за погодных условий. Универсальность БЭК позволяет из использовать как для тестирования изделий, так и АТС (рис.1.14).

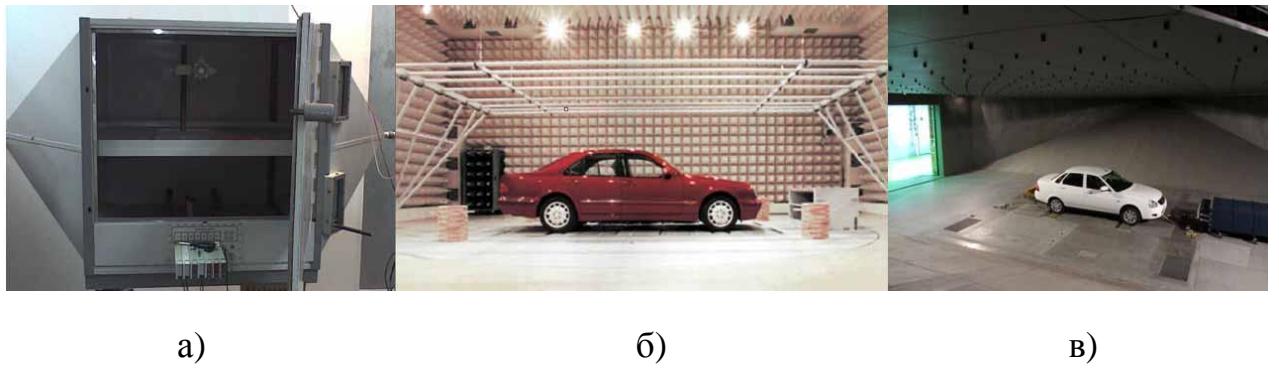


Рисунок 1.13 – Типовые полосковые полеобразующие системы: а) ТЕМ-камера для испытания изделий; б) неэкранированная несимметричная полосковая линия; в) ТЕМ-камера для испытания АТС

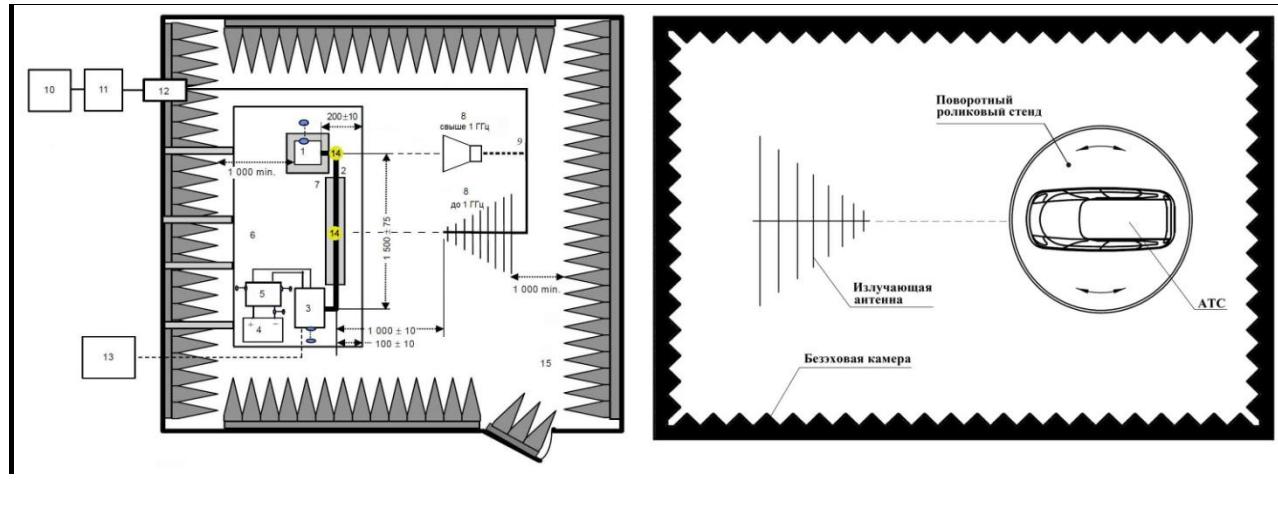


Рисунок 1.14 – Испытания в БЭК с применением излучающих антенн:
а) изделий; б) АТС; 1 – тестируемое изделие; 2 – жгут проводов;
3 – распределительный блок; 4 – источник питания; 5 – эквивалент бортовой
сети; 6 – металлическая пластина; 7 – диэлектрическая подставка; 8 –
приемная широкополосная антенна; 9 – коаксиальный кабель; 10 – генератор
сигналов; 11 – усилитель; 12 – соединительный разъем; 11 – измерительный
приемник; 13 – система визуального наблюдения; 14 – датчик ЭМП; 15 –
безэховая камера

Согласно требованиям, для гражданских АТС воздействие производится

антеннами с вертикальной поляризацией. При испытании изделий до 1 ГГц фазовый центр антенны должен располагаться напротив середины жгута проводов, а антенна, работающая свыше 1 ГГц, устанавливается напротив изделия. При сертификации АТС [61-63] тесты проводятся в диапазоне от 20 МГц до 2 ГГц. Шаг перестройки по частоте электромагнитного излучения выбирается линейным или логарифмическим (табл. 1.3) [78]. Анализ показывает, чем больше шаг, тем шире область частот, которая не захватывается при испытаниях. Вследствие чего во время испытаний можно пропустить частоты на которых низкая помехоустойчивость.

Таблица 1.3
Шаг перестройки по частоте

Частотный диапазон, МГц	0,01–0,1	0,1–1	1–10	10–200	200–400	400–1000	1000–2000
Линейный шаг, МГц	0,01	0,1	1	5	10	20	40
Логарифмический шаг, %	10	10	10	5	5	2	2

В работе [27] для ускорения проведения испытаний рекомендуется воздействовать на объект только на нескольких резонансных частотах.

Регламентируемые воздействия имеют следующие параметры (рис.1.15): амплитудная модуляция 1 кГц с коэффициентом 0,8 модуляции в диапазоне частот 20–800 МГц; импульсная модуляция с длительность 577 мкс и периодом 4600 мкс в диапазоне от 0,8 до 2 ГГц МГц.

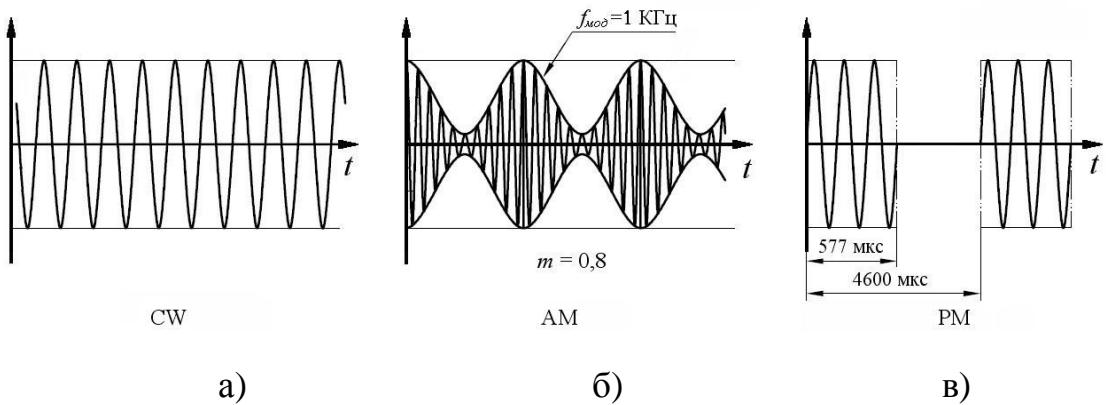


Рисунок 1.15 – Стандартные испытательные сигналы: а) немодулированный гармонический сигнал; б) амплитудно-модулированный сигнал; в) импульсно-модулированный сигнал

Минимальное время воздействие на заданной частоте составляет 2 с. В процессе испытаний АТС на стенде движется с постоянной скорость 50 км/ч, а если оно тихоходно, то задается скорость 25 км/час.

Расстояние от автомобиля до излучающей антенны выбирается таким образом, чтобы вся фронтальная часть АТС попадала в основной лепесток диаграммы направленности излучающей антенны [79].

Перед испытаниями АТС устанавливается передней частью к стационарной антенне таким образом, чтобы его осевая линия находилась в контрольной точке (линии) [79]. Если электротехнические системы в основном находятся в задней части или на какой-нибудь боковой стороне АТС, то АТС ориентируют соответствующей частью к излучающей антенне [61-63].

В испытаниях (рис.1.16) легковой автомобиль тестировался на устойчивость к СВЧ полям облучался спереди и косо сзади по направлению к левой стороне, т.к. в последнем случае электротехнические системы управления двигателем были расположены в салоне перед металлическим щитком, разделяющим салон и моторный отсек [84].

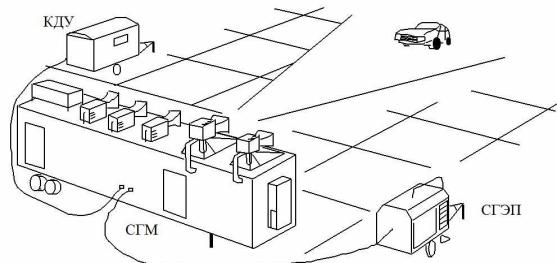


Рисунок 1.16 – СВЧ установка для испытаний АТС: СГМ – система генерации микроволн; СГЭП – система генерации электропитания; КДУ – кабина дистанционного управления

Для повышения качества своей продукции ведущие автопроизводители дополнительно проводят испытания горизонтальной поляризацией с 1 МГц, а также применяют немодулированное гармоническое воздействие (рис.1.15). Для проверки специальных функций электротехнических систем разрабатываются специальные тесты, учитывающие особенности работы этих систем [42].

Альтернативными испытаниями на восприимчивость является тестиирование АТС к полям, создаваемых бортовыми передатчиками [80, 90]. Существуют два типа испытаний, характеризующихся расположением антенны по отношению к кузову. В одном teste антenna устанавливается снаружи на кузове автотранспортного средства, а мощность подается от внешнего источника или от бортовой радиостанции. Испытания производятся в нескольких точках расположениях антены. В другом teste портативный приемо-передатчик со встроенной антенной располагается во внутреннем пространстве автотранспортного средства. Программа включает в себя испытания в нескольких местах расположения бортового приемо-передатчика при расположении в трех взаимно перпендикулярных плоскостях. Рекомендуемые модуляции: Telegraphy, AM, SSB, FM, TDMA/FDMA, Tetra: $\pi/4$ DQPSK и GMSK с параметрами модуляции AM 1 КГц с глубиной 80%; CW и PM 18 Гц со скважностью 50%.

Испытания на устойчивость к полям промышленной частоты разделяются на два вида: воздействие электрической и магнитной

составляющей. В первом случае тестирование проводится с использованием полосковой линии. Во втором применяются катушки Гельмгольца [42].

Большинство испытаний на внешние ЭМП, спектр которых не превышает 20 МГц, такие как воздействия удаленного грозового разряда, полями контактной сети железных дорог и ЛЭП проводятся в полосковых системах [22].

Технические средства специального назначения дополнительно тестируются на прямой и близкий удар молнии (рис.1.17) [1, 86].

Все рассмотренные испытания подразумевают одно или несколько фиксированных положений относительно полеобразующей системы, что в случае рассмотрения АТС как сложной антенной системы является недостаточным. Подобный подход не позволяет оценить помехоустойчивость автотранспортных средств с тех направлений, где на конкретной частоте щели и отверстия формируют эффективную antennу. Всестороннее одинаковое воздействие достигается в реверберационной камере [85]. Однако они применяются в основном для испытаний изделий. Для тестирования полноразмерных АТС имеются ограничения по габаритам. Чем больше камера, тем выше ее нижняя граница частотного диапазона. Типовое значение частоты с которой проводят испытания составляет 200 МГц.

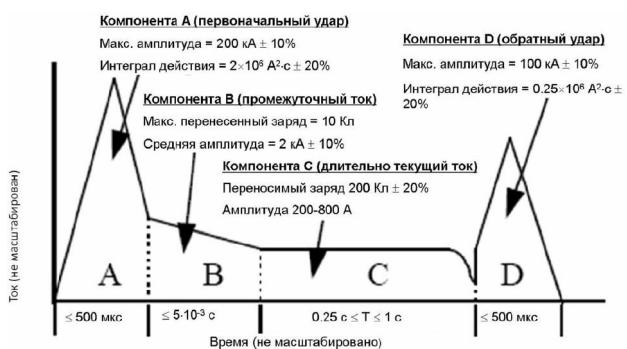


Рисунок 1.17 – Испытательный импульс прямого удара молнии

Анализ рассмотренных методов показывает, что существующие требования шага перестройки по частоте, позиционирования относительно полеобразующей системы, к параметрам импульсных воздействий, а также к режимам работы во время тестирования, являются не достаточными для полной оценки помехоустойчивости АТС. Это накладывает определённые риски в процессе их эксплуатации. Обозначенные проблемы являются предметом детального исследования.

1.5 Анализ применяемых оценок помехоустойчивости

Общепринятая оценка помехоустойчивости объектов, проходящих испытания на ЭМС осуществляется по их функциональному состоянию в процессе тестирования [9]. Всего определено пять классов: класс А: у объекта во время испытаний не нарушается работоспособность, все функции работают нормально, а параметры не выходят за допуски; класс В: у объекта во время испытаний не нарушается работоспособность, но допускается выход за пределы допусков одного или нескольких параметров, например, незначительное изменение яркости свечения фар; класс С: во время воздействия одна или несколько функций объекта не выполняются, но по окончанию воздействия их функциональность в восстанавливается, например, мультимедийная система после отключения начинает заново воспроизводить аудиофайлы; класс D: во время теста одна или несколько функций не выполняются, а после воздействия работоспособность объекта восстанавливается некой управляющей операцией, например, выключением и включением зажигания или кнопки; класс Е: во время теста одна или несколько функций не выполняются, а по окончанию электромагнитного воздействия работоспособность объекта можно восстановить только проведя ремонт.

В международных стандартах [61-63], требования класса А определяют устойчивость АТС гражданского назначения к среднеквадратичному

значению 30 В/м в диапазоне радиочастот 20 – 2000 МГц. Крупные автомобильные компании для обеспечения качества своей продукции вводят внутренние требования ЭМС, достигающие значений 100 В/м в диапазоне от 1 МГц до 2 ГГц [42]. В этом случае функциональное состояние может задаваться в соответствии предъявляемыми требованиями к электротехническим системам.

В [23] для жесткой электромагнитной обстановки к подвижным объектам специального назначения задаются требования по помехоустойчивости, приведенные в таблице 1.4.

Таблица 1.4

Испытательные уровни электромагнитного воздействия

Частота, ГГц	SW/CW, В/м	PM, кВ/м
0,1-0,2	200	–
0,2-0,4	200	–
0,4-0,7	200	0,73
0,7-1	240	1,4
1-2	250	5
2-4	490	6
4-6	400	7,2
6-8	170	1,1
8-12	330	5

SW – прямоугольная модуляция, CW – синус-косинусная модуляция,
PM – импульсная модуляция

Изделия также должны согласно [61-63] соответствовать минимальным требованиям помехоустойчивости класса А в пределах полосы от 20 МГц до 2 ГГц. Уровни для различных полеобразующих систем задаются следующие: 150-миллиметровая полосковая система – 50 В/м; 800-миллиметровая полосковая система – 12,5 В/м; ТЕМ-камера – 62,5 В/м; инжекция объемного тока – 50 мА и 25 В/м для условий свободного поля.

При испытании изделий можно задавать другие уровни: 150-миллиметровая полосковая система – 60 В/м; 800-миллиметровая полосковая система – 15 В/м; ТЕМ-камера – 75 В/м; инжекция объемного тока – 60 мА и 30 В/м для условий свободного поля. Для них допускается нарушение работоспособности на 10 % частот диапазона от 20 МГц до 2000 ГГц.

При испытаниях на устойчивость к электромагнитным полям промышленной частоты АТС подвергается воздействии в течение 10 минут с напряженностью 25 кВ/м. Этот уровень соответствует классу А. При воздействии 30 кВ/м в течении 5 минут, допускается у АТС класс В [8, 42]. Если АТС подвергается облучению магнитного поля промышленной частоты, то его работоспособность не должна нарушаться в течении 5 минут при воздействии напряженностью 30 А/м [10, 42].

В настоящее время для гражданского транспорта не существует обязательных нормативных документов, регламентирующих испытания на грозовой разряд. Но для повышения конкурентоспособности своей продукции ведущие автопроизводители прописывают внутренние требования подобного рода тестов. Здесь можно ориентироваться на рекомендации, изложенные в SAE 831011 [91]. Согласно им воздействие, имитирующее удаленный грозовой разряд, рекомендуется осуществлять с пиковым значением 5 кВ/м.

Для автотранспортных средств специального назначения имеются требования по устойчивости к прямому и близкому удару молнии [21].

Заданные в стандарте амплитуды первого и второго импульсов тока составляют 200 и 100 кА соответственно.

Кроме прямого и близкого удара молнии АТС специального назначения тестируются на устойчивость к ЭМП контактной сети железных дорог. В [27] приводятся рекомендованные значения воздействий. Для нормального режима напряженность электрического поля составляет 10 кВ/м, а магнитного – 500 А/м. Для режима короткого замыкания пиковое значение $E=10$ кВ/м, а $H=1$ кВ/м.

К ЭТС и БЭК могут быть предъявлены до пяти требований устойчивости, соответствующих функциональному состоянию при воздействии заданного уровня электромагнитного воздействия.

В общем случае ЭТС ранжируются по двум группам. В первую группу включаются изделия. Которые определяют безопасность АТС. Во вторую включаются ЭТС, у которых нарушения работоспособности не влияет на безопасность АТС.

Соответственно системы первой группы должны быть более помехоустойчивы, чем системы второй. Поэтому к ним предъявляются соответствующие требования функционального состояния, например, как в таблице 1.5.

Таблица 1.5

Пример требований устойчивости электротехнических систем

Тестовый уровень	Функциональный класс	
	Первая группа помехоустойчивости	Вторая группа помехоустойчивости
I	A	A
II	A	A–B
III	A	A–C
IV	A–B	A–C
V	A–B	A–D

Отбор образцов для проверки соответствия требованиям помехоустойчивости носит вероятностный характер. Поэтому если в партии из K образцов M не удовлетворяет требованиям, а из этой партии выбирается для тестирования k образцов, то вероятность того, что попадется m не соответствующих требованиям будет равна

$$P(A) = C_M^m \times C_{K-M}^{k-m} / C_K^k. \quad (1.1)$$

Видно, что при большой выборке, набирается достаточное количество статистических данных, по которым можно произвести достоверный анализ. Как правило, на практике сложно провести очень большой объем испытаний. Поэтому выборку производят согласно ГОСТ Р 51320-99 [11]. На сертификационные испытания предоставляется не менее 5 образцов ЭТС или БЭК. В особых случаях, орган сертификации может допустить к испытаниям 3 образца. На практике если ЭТС или БЭК сертифицируется в составе АТС, то на испытания предоставляется только одно транспортное средство.

Если испытывается опытная партия, то отбирается 2%, но не менее 3^x образцов, при условии изготовления более 3^x . Если изготовлено три образца

или менее, то испытываются все. На приемочные периодические или типовые испытания можно предоставлять один образец ЭТС или БЭК. Оценка результатов тестирования периодических и типовых испытаний проводится по биномиальному распределению. В этом случае должно тестироваться не менее 7 образцов. Критерии соответствия нормам приведены в таблице 1.6.

Таблица 1.6
Критерии соответствия нормам тестируемых образцов

k	7	14	20	26	32
m	0	1	2	3	4

Все рассмотренные оценки сводятся к одному подходу. Если результаты испытаний прошли успешно, то образцы признаются соответствующими требованиям. Критериальная оценка ««соответствует/не соответствует»» достаточна только для случая единичного или штучного производства. При мелкосерийном, а особенно при массовом производстве требуются оценки соответствия, основанные на вероятностном подходе.

1.6 Обзор и анализ нарушений работоспособности ЭТС АТС

Как было показано в п.1.1, достаточно сложно получить полную статистику по сбоям и отказам электротехнических систем АТС, возникающих из-за внешних электромагнитных воздействиях. В то же время во всем мире хорошо понимают проблему ЭМС. Не только ведущие автопроизводители, но и производители комплектующих имеют свои испытательные центры. Намного проще выявить и заранее решить проблемы до их проявления в эксплуатации, чем потом нести экономические и имиджевые убытки.

Большой опыт в наборе статистических данных о нарушениях

работоспособности и понимании физики взаимодействия электротехнических систем АТС с электромагнитными воздействиями получают в процессе испытаний. Во-первых, это позволяет доработать изделия до соответствия требованиям. Во-вторых, наложить имеющийся опыт на проблему, проявившуюся в эксплуатации и с определенной вероятностью дать компетентный ответ о влиянии ЭМП.

Для того чтобы изделие вышло из строя из-за ЭМП требуется высокоэнергетическое воздействие (рис.1.18) [2, 67]. При меньших уровнях помех раньше нарушится функционирование систем. Конечно отказы при низкоэнергетическом воздействии возможны, но они происходят не в следствии прямого воздействия. В основном это случается из-за перехода в открытое состояние транзисторов и последующего термического разрушения элементов.

Анализ литературы позволил выявить наиболее часто встречающиеся проблемы ЭМС электротехнических систем.



Рисунок 1.18 – Энергия повреждения элементов электротехнических систем АТС

1. Электронная система управления двигателем (ЭСУД).

Типичны случаи искажения данных с различных вспомогательных датчиков, которые критическим образом не влияют на процесс управления двигателем. Это, например, датчики температуры, фаз и детонации. Они относятся к функциональному классу В [42].

Сбои связанные с изменением скорости или остановкой АТС характеризуются классами С, D и Е. Они в основном происходят по каналам датчиков: положения коленчатого вала, расхода воздуха, положения дроссельной заслонки, педали акселератора, а также измерения тока в первичной цепи катушки зажигания [7, 38, 41, 42, 55, 70]. Менее часто проявляются проблемы класса Е, где ЭМП воздействуя по цепям питания контроллера системы управления двигателем, вывит из строя драйвера управления форсунками, а также приводит к «зависанию» микропроцессора, так что его работу можно возобновить после операции отключения/включения питания с аккумуляторной батареи [41, 42]. Характеристики помехоустойчивости электронной системы управления двигателем, полученные при проведении теста по Правилам 10-03 приведены на рисунке 1.19а.

2. Электромеханический усилитель рулевого управления (ЭМУРУ).

ЭМС проблемы, характерные для ЭМУРУ сводятся к следующим: самопроизвольное вращение за счет появления паразитного компенсирующего момента и невозможность ЭМУРУ создать требуемый компенсирующий момент. В эксплуатации АТС либо самопроизвольно поворачивает в сторону, либо им очень сложно управлять при движении [36, 40, 42]. В общем нарушения работоспособности класса С наступают при искажении информации с датчика момента, а класса D – при ошибочной текущей диагностики состояния ЭМУРУ (рис.19.б).

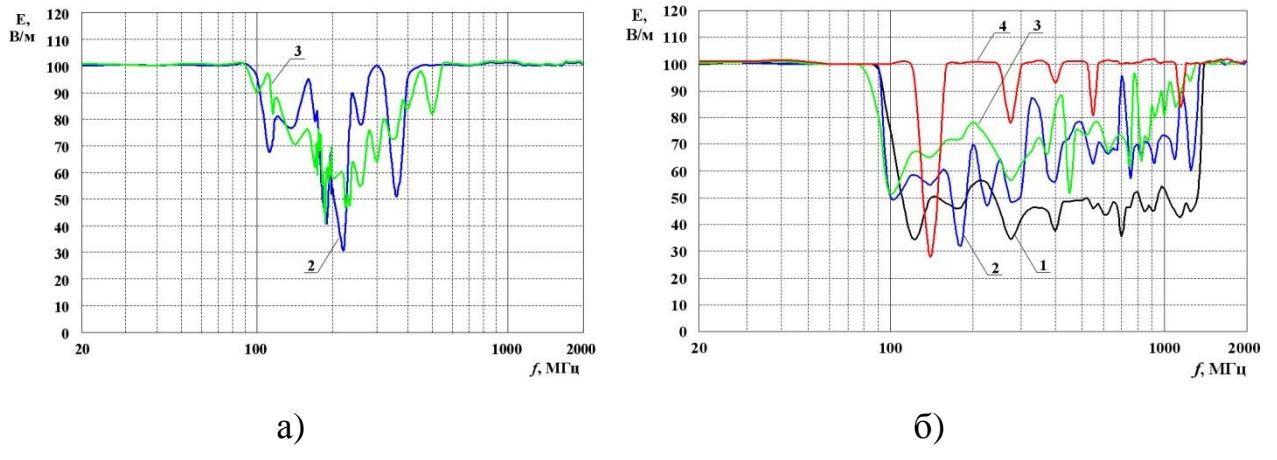


Рисунок 1.19 – Характеристики помехоустойчивости: а) ЭСУД; б) ЭМУРУ;
1 – класс В; 2 – класс С; 3 – класс D; 4 – класс Е

3. Системы кондиционирования и отопления [42].

Характерны нарушения работоспособности связанные с изменением скорости и температуры поступающего в салон воздуха по отношению к заданной величин (класс В) и прекращением работы системы - класс С (рис.1.20а).

4. Система электропитания.

Характерны сбои генератора напряжения. В зависимости от конструкции регулятора наблюдались случаи уменьшения и повышения до 21 В напряжения [36, 37, 42]. Если отклонение от номинальных пределов напряжения составляет не более чем 5%, то это считается классом В, а более – классом С (рис.1.20б).

Повышение напряжения более критично, чем уменьшение, т.к. могут выйти из строя электротехнические системы.

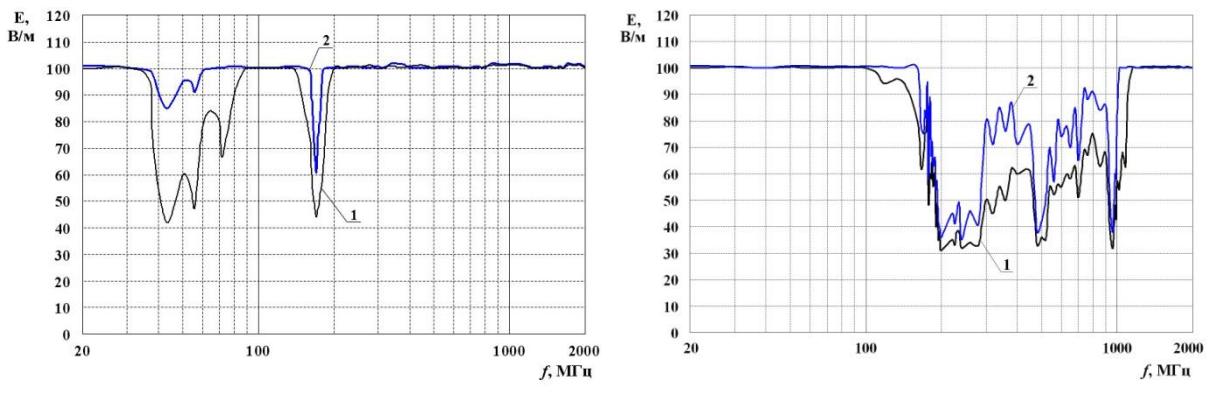


Рисунок 1.20 – Характеристики помехоустойчивости: а) система кондиционирования и отопления; б) генератор напряжения;
1 – класс В; 2 – класс С

5. Системы безопасной парковки [42].

Нарушения работоспособности системы проявлялись в виде: изменения тональности звука, искажения видеоизображения на дисплее, а также уменьшения дальности определения препятствия (класс В); пропадание/появление акустического сигнала в режиме «наличие препятствия»/«отсутствие препятствия» и искажение видеоизображения с камеры заднего вида (класс С); полное прекращение выполнения функций (класс D) (рис.1.21а).

6. Системы светотехники [42].

Система светотехники является примером, когда влияние ЭМП на одну систему приводит к нарушениям работоспособности другой. Так при увеличении напряжения с генератора под воздействием помех увеличивался световой поток, и перегорали лампы фар и фонарей. Непосредственное влияние ЭМП наблюдалось в виде выключения противотуманных фонарей и прекращения работы указателей поворота (рис.1.21б).

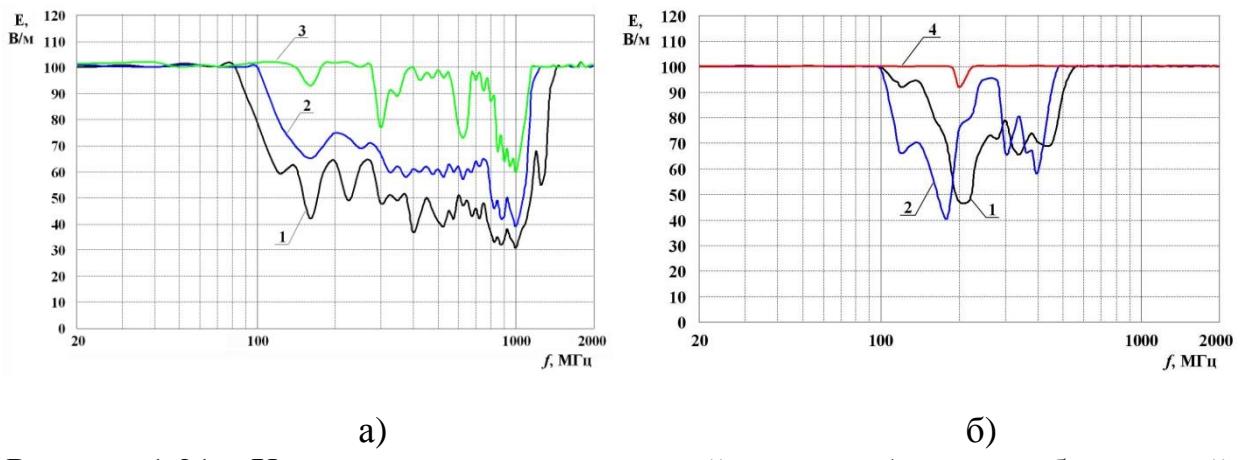


Рисунок 1.21 – Характеристики помехоустойчивости: а) система безопасной парковки; б) системы светотехники; 1 – класс В; 2 – класс С; 3 – класс D; 4 – класс Е

7. Системы отображения информации [42].

Проявляются нарушения работоспособности следующего характера: незначительные искажения изображения на экране и яркости символьных сигнализаторов, а также отклонения показаний приборов (класс В); сильные искажения изображения на дисплее, изменения яркости символьных сигнализаторов, существенные отклонения показаний приборов, самопроизвольная перезагрузка системы (класс С); «зависание» отдельных элементов или всей системы, и сброс установленных настроек, например, времени (класс D); выход из строя элементов, и стирание информации из EEPROM (класс Е) (рис.1.22а).

8. Мультимедийные системы [42].

Проявляются нарушения работоспособности следующего характера: незначительное искажение звука (класс В); сильное искажение звука, нельзя во время ЭМП выбрать мультимедийный файл (класс С); « зависание » мультимедийной системы (класс D) и выход из строя радиоэлементов (класс Е) (рис.1.22б).

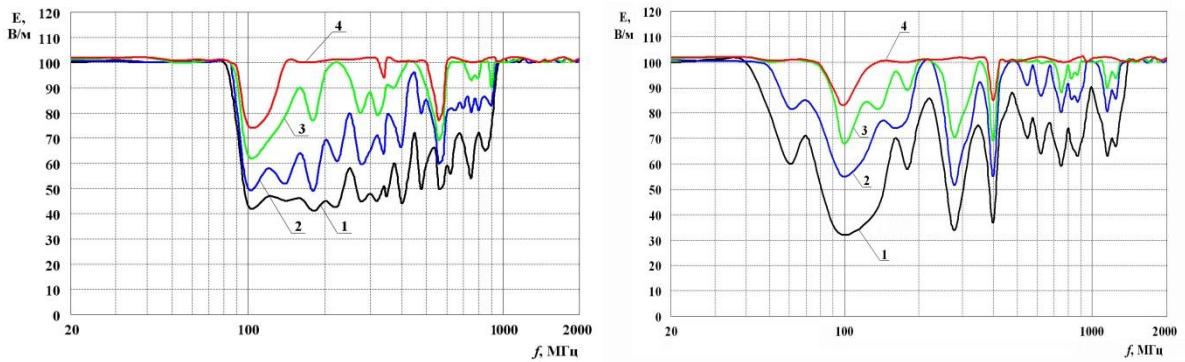


Рисунок 1.22 – Характеристики помехоустойчивости систем: а) отображения информации; б) мультимедийной; 1 – класс В; 2 – класс С; 3 – класс D; 4 – класс Е

9. Охранные системы [36, 41, 42].

Сбои автомобильной противоугонной системы (АПС) выражаются в виде запрета пуска двигателя в период времени действия ЭМП (рис.1.23а).

10. Функция «Круиз-контроль» [42].

Нарушения работоспособности проявляются в виде самопроизвольного изменения установленной скорости без возврата в исходное значение, а также невозможности активировать саму функцию (рис.1.23б).

11. Системы стеклоочистки [42].

Проявляются нарушения работоспособности следующего характера (рис.1.24а): небольшое, менее 10%, уменьшение скорости работы стеклоочистителей (класс В) и уменьшение скорости стеклоочистителей более чем 10 % от номинальной, а также их полная остановка (класс С).

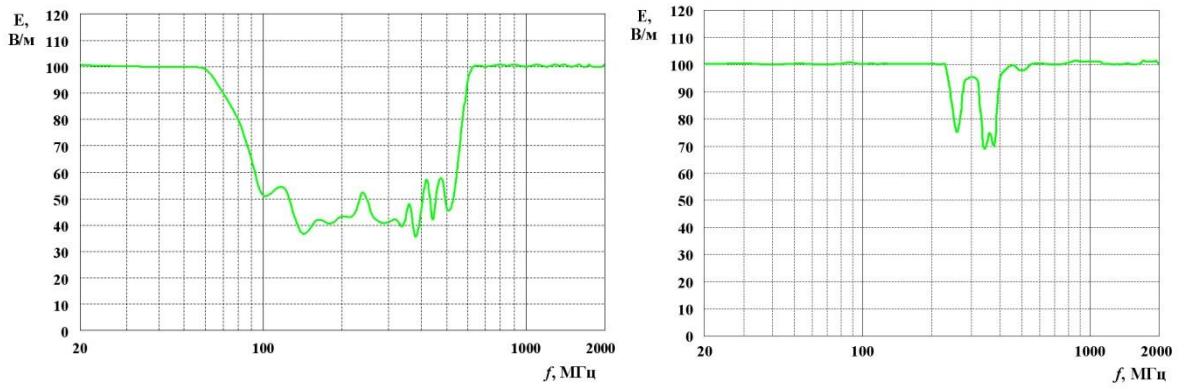


Рисунок 1.23 – Характеристики помехоустойчивости класса D:
а) АПС; б) функция «круиз-контроль»

12. Навигационная система [42].

Наименее помехоустойчивыми являются радиоканалы. Во время действия ЭМП напряженностью 1 В/м в диапазоне частот от 800 МГц до 2 ГГц система не видит спутники (рис.1.24б).

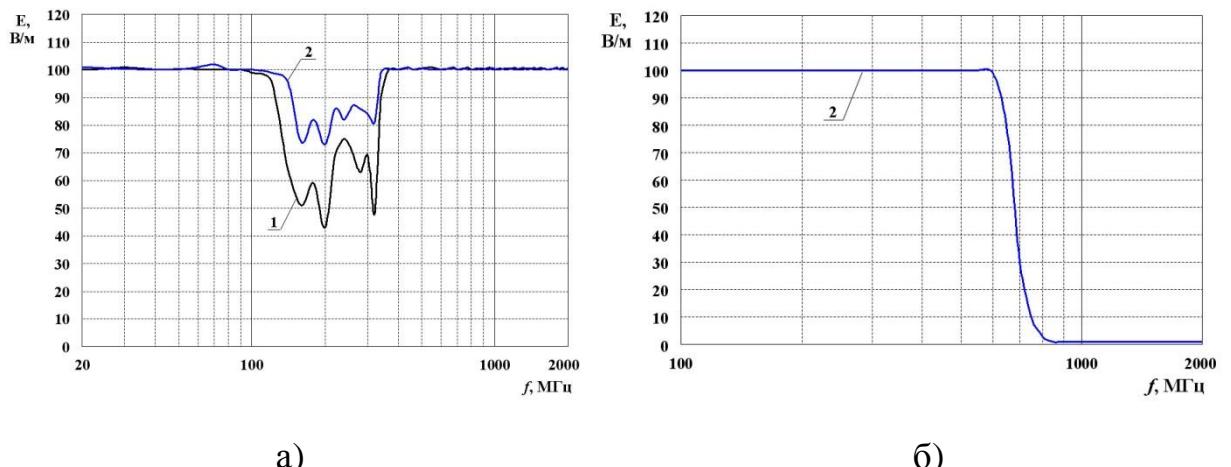


Рисунок 1.24 – Характеристики помехоустойчивости: а) системы стеклоочистки; б) навигационной системы; 1 – класс В; 2 – класс С

13. Система управления трансмиссией [41, 59].

Под воздействием ЭМП проявляются нарушения работоспособности следующего характера: снижение скорости автомобиля за счет самопроизвольного переключения на низшую передачу и сбой по цепи

датчика положения привода выбора передач. В последнем случае движение АТС будет возможно только на той передаче, которая была включена до момента нарушения работоспособности.

Нарушения работоспособности системы управления трансмиссией проявляются при частотах от 22 до 60 МГц и уровнях ЭМП 34 В/м.

14. Электромобили [41, 42].

Наблюдались следующие ЭМС проблемы (рис.1.25): на комбинации приборов отображалось уменьшение заряда тяговой батареи и повышение потребляемого тока тяговым асинхронным электродвигателем (класс C); «зависание» электронной системы управления двигателем, которое устранялось операцией отключение/подача питания с АКБ (класс E).

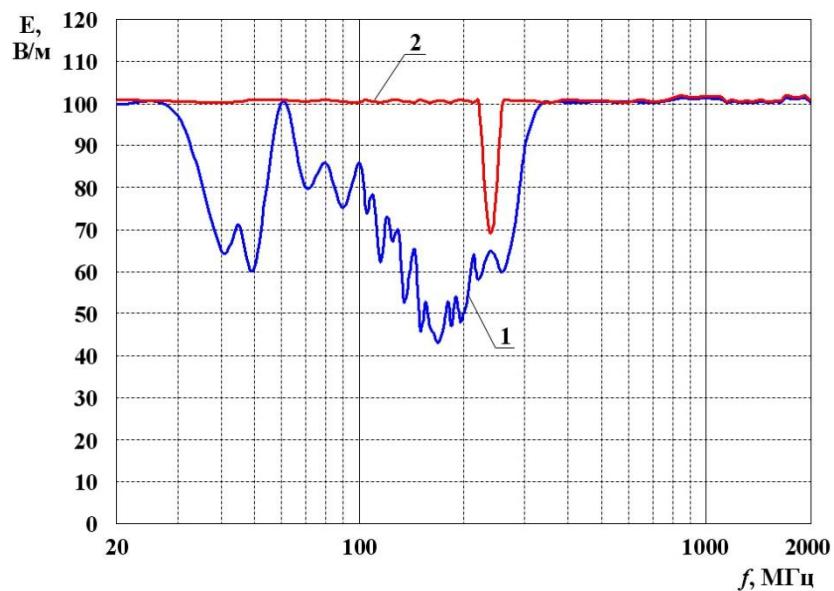


Рисунок 1.25 – Характеристики помехоустойчивости
электромобиля: 1 – класс С; 2 – класс Е

15. CAN-шина [41, 42].

Под воздействием ЭМП CAN-контроллеры могут посыпать некорректные данные «Error frame», или сами полезные сигналы искажаются

в шине. Это вызывает отключение от шины электротехнических систем с развитой диагностикой. Например, система ABS при переполнении счетчикабитых фреймов отключаются от CAN-шины, вследствие чего в ЭСУД не поступают сигналы с датчиков скорости колес. Из-за чего ЭСУД переходит в аварийный режим управления. Подобного рода нарушения работоспособности проявлялись на частотах выше 110 МГц и напряженностях 60 В/м.

В зарубежной литературе также имеются сведения о помехоустойчивости АТС. Согласно [72, 73] при частотах выше 1,5 ГГц и уровне 500 В/м наблюдались нарушения работы автомобиля, выражавшиеся в остановке двигателя, а отказы электротехнических систем происходили при 15 кВ/м на 1,5 ГГц и 24 кВ/м на 2,86 ГГц. Повреждались контроллер управления двигателем, реле, комбинация приборов, автомобильная противоугонная система и видеокамера внешнего обзора. Автор показал, что у автотранспортного средства можно нарушить траекторию движения с расстояния 500 м и остановить, выведя из строя на расстоянии 15 м.

Проведенный анализ, что ЭТС АТС наиболее уязвимы к электромагнитному излучению на частотах выше 20 МГц. Нарушение работоспособности при воздействии ЭМП малых энергий наиболее вероятно в диапазоне от 100 МГц до 1,5 ГГц. Эти данные в определенной степени коррелируются с результатами помехоустойчивости для информационных структур [3]. Исходя из этого одной из наиболее важных задач является совершенствование существующих, и разработка новых методов испытаний электротехнических систем АТС на устойчивость к внешнему электромагнитному излучению.

1.7 Выводы по первой главе

1. Рассмотрены электротехнические системы АТС с позиции рецепторов электромагнитных помех. Показано, что для обеспечения качества

автомобильного транспорта необходимо уделять большое внимание вопросам испытаний, т.к. это позволяет выявить потенциальные проблемы совместимости, и доработать изделия с учетом ЭМС, повысив тем самым электромагнитную безопасность АТС.

2. Проанализированы источники помех, формирующих внешнюю электромагнитную обстановку. Как показывает анализ наиболее мощным естественным источником ЭМП является грозовой разряд, а из техногенных: ЛЭП, контактная сеть железных дорог, радиотехнические системы и ядерный взрыв. Спектр электромагнитных излучений сосредоточен в области частот 50 Гц – 300 МГц.

3. В радиодиапазоне наиболее интенсивными по суммарному времени воздействия являются техногенные источники, работающие на частотах от 20 МГц до 2 ГГц. В зависимости от совокупности факторов их уровень может достигать значений 100 В/м.

4. Анализ нарушений работоспособности, возникающих под воздействием внешнего электромагнитного поля показал, что ЭТС и в целом БЭК АТС наиболее уязвимы к электромагнитному излучению на частотах выше 20 МГц. Нарушение работоспособности при воздействии ЭМП малых энергий наиболее вероятно в диапазоне от 100 МГц до 1,5 ГГц.

5. Показано, что для обеспечения функциональной безопасности как ЭТС так и БЭК должны обладать запасом помехоустойчивости, который должен гарантированно подтверждаться с учетом заданной вероятности в процессе испытаний.

6. Проведен обзор существующих методов испытаний на помехоустойчивость ЭТС. Их анализ показал, что существующие требования шага перестройки по частоте, позиционирования относительно полеобразующей системы, к параметрам импульсных воздействий, а также к режимам работы во время тестирования, являются не достаточными для

полней оценки помехоустойчивости ЭТС и БЭК АТС. Это накладывает определённые риски в процессе их эксплуатации. Обозначенные проблемы являются предметом детального исследования.

7. Существующие методы оценки результатов испытаний на помехоустойчивость сводятся к одному подходу по критерию «соответствует/не соответствует», который достаточен только для случая единичного или штучного производства. При мелкосерийном, а особенно при массовом производстве требуются оценки соответствия, основанные на вероятностном подходе.

8. Исходя проведенного анализа одной из наиболее важных задач является разработка нового инструментария испытаний, а также критериев оценки ЭТС и БЭК АТС на устойчивость к внешнему электромагнитному излучению, способных повысить электромагнитную АТС в условиях современной электромагнитной обстановки.

ГЛАВА 2. РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ КОНТРОЛЯ БОРТОВОГО ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА АВТОМОБИЛЯ НА УСТОЙЧИВОСТЬ К ВНЕШНИМ ТЕХНОГЕННЫМ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫМ ВОЗДЕЙСТВИЯМ

2.1 Разработка методики контроля БЭК АТС на помехоустойчивость при неопределенности ориентации автомобиля по отношению к источнику излучения

Существующая методология контроля и испытаний [62, 79] регламентируют только три положения АТС относительно полеизлучающих систем: фронтальное, боковое и задней частью. При эксплуатации автотранспортного средства они являются частными и не доминирующими. Как правило, АТС произвольно ориентируется по отношению к источникам (рис.2.1). Также направление электромагнитного воздействия зачастую изменяется во времени.

АТС является сложной приемной антенной. Уровень наводимых помех в электрических цепях БЭК зависит от многих факторов, влияние которых более подробно будет рассмотрено ниже. Здесь можно выделить геометрические размеры, форму щелей и отверстий кузова, а также их взаимное расположение; конфигурацию и объем внутреннего пространства; компоновку и взаимное расположение различных агрегатов и ЭТС; длины и трассы жгутов проводов; электрические и схемотехнические особенности электротехнических систем. Отсюда следует, что АТС, как антенна обладает сложной апертурой, которая может быть позиционирована в конкретный момент в направлениях эффективного или не эффективного радиоприема. Поэтому не очевидно, что три вышеуказанных направления являются достаточными для полной проверки помехоустойчивости электротехнических систем.

Возникает вопрос и соответственно вытекает постановка задачи: при

каких положениях АТС относительно полеобразующих систем будет достаточно полно оценена помехоустойчивость БЭК. Визуальный анализ и математическая модель внутреннего пространства у автотранспортного средства показывает его несимметричность относительно продольной оси (рис.2.2). Это уже говорит, что тестирование на помехоустойчивость должно быть в диапазоне азимутальных углов от 0 до 360 град.

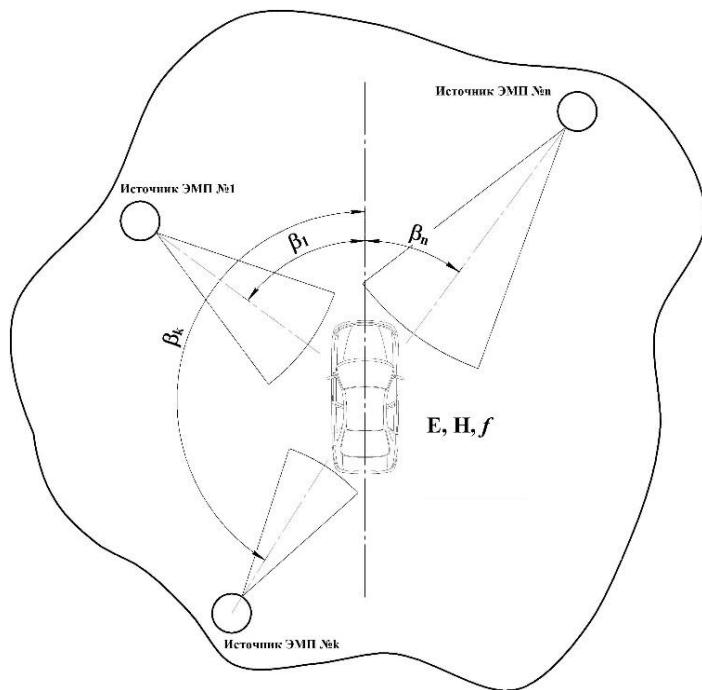


Рисунок 2.1 – Случайная ориентация автотранспортного средства по отношению к источникам электромагнитного излучения

Доказательство несимметричности АТС как приемной антенны подтверждаются исследованиями напряженности электромагнитного поля во внутреннем пространстве АТС. Их результаты представлены на рис.2.3 и 2.4 [47]. Исследования проводились при следующих условиях. Автомобиль LADA Kalina располагался в безховой камере на поворотном динамометрическом стенде. Расстояние от его центра до излучающей антенны составляло 14 м. Датчик электромагнитного поля располагался в подкапотном пространстве автомобиля на продольной симметрии. Характеристики подстилающей поверхности: металлический пол поворотного стенда и пол, покрытый радиопоглощающим материалом. Шаг

угла поворота стенда составлял 10 град, а шаг перестройки по частоте составлял 50 МГц (рис.2.5).

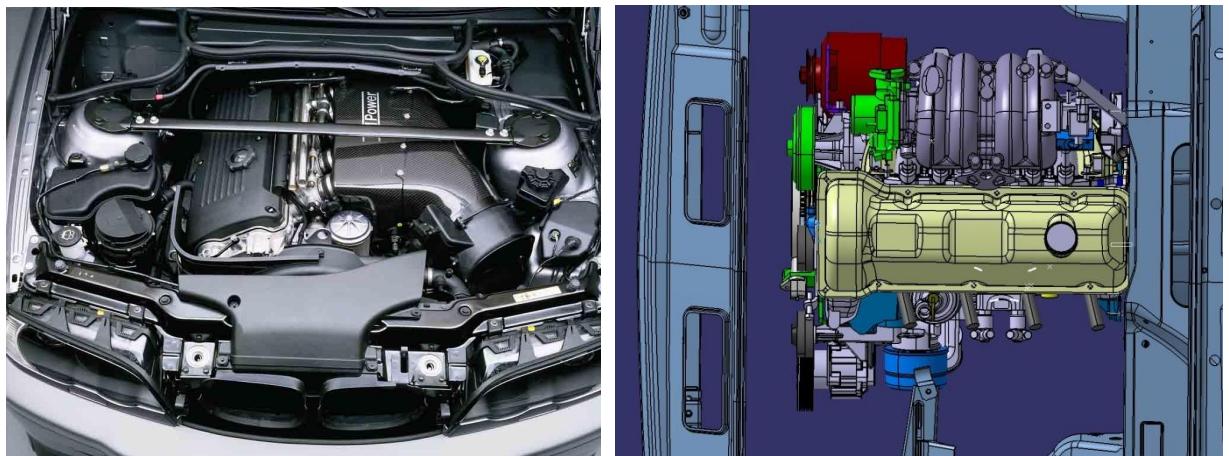


Рисунок 2.2 – Доказательство несимметричности внутреннего пространства АТС относительно продольной оси

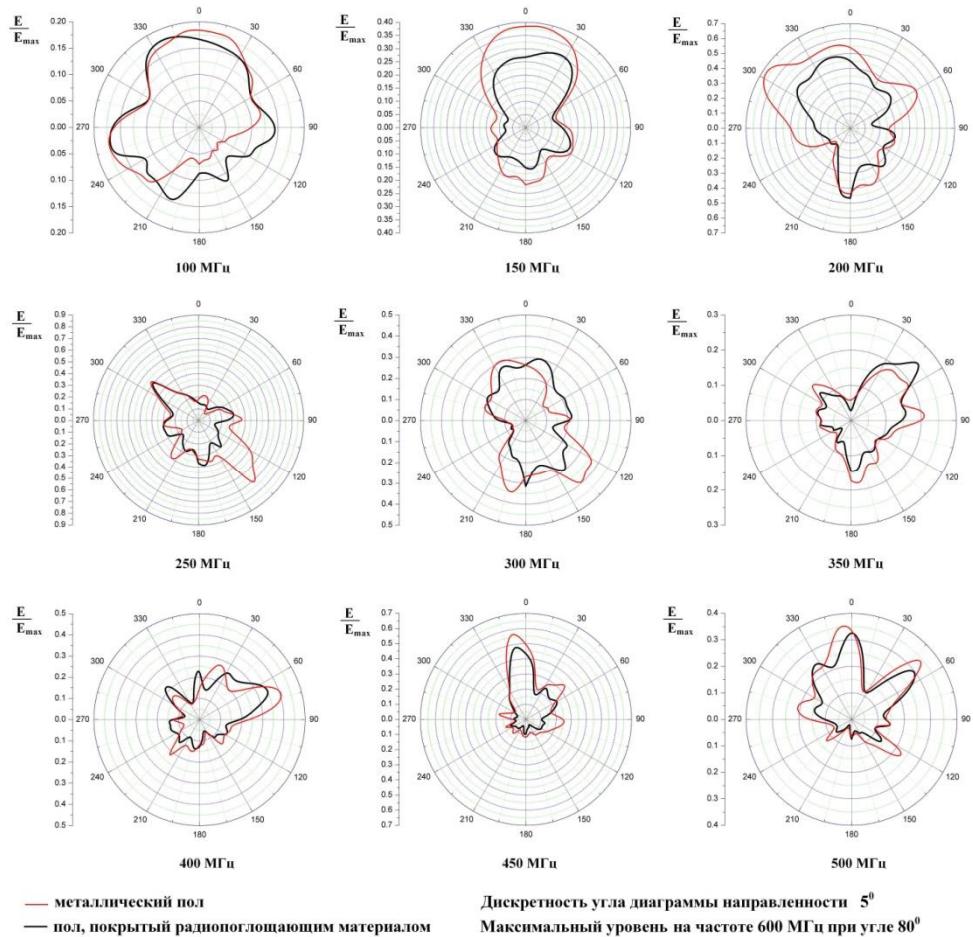


Рисунок 2.3 – Диаграммы направленности автомобиля LADA Kalina

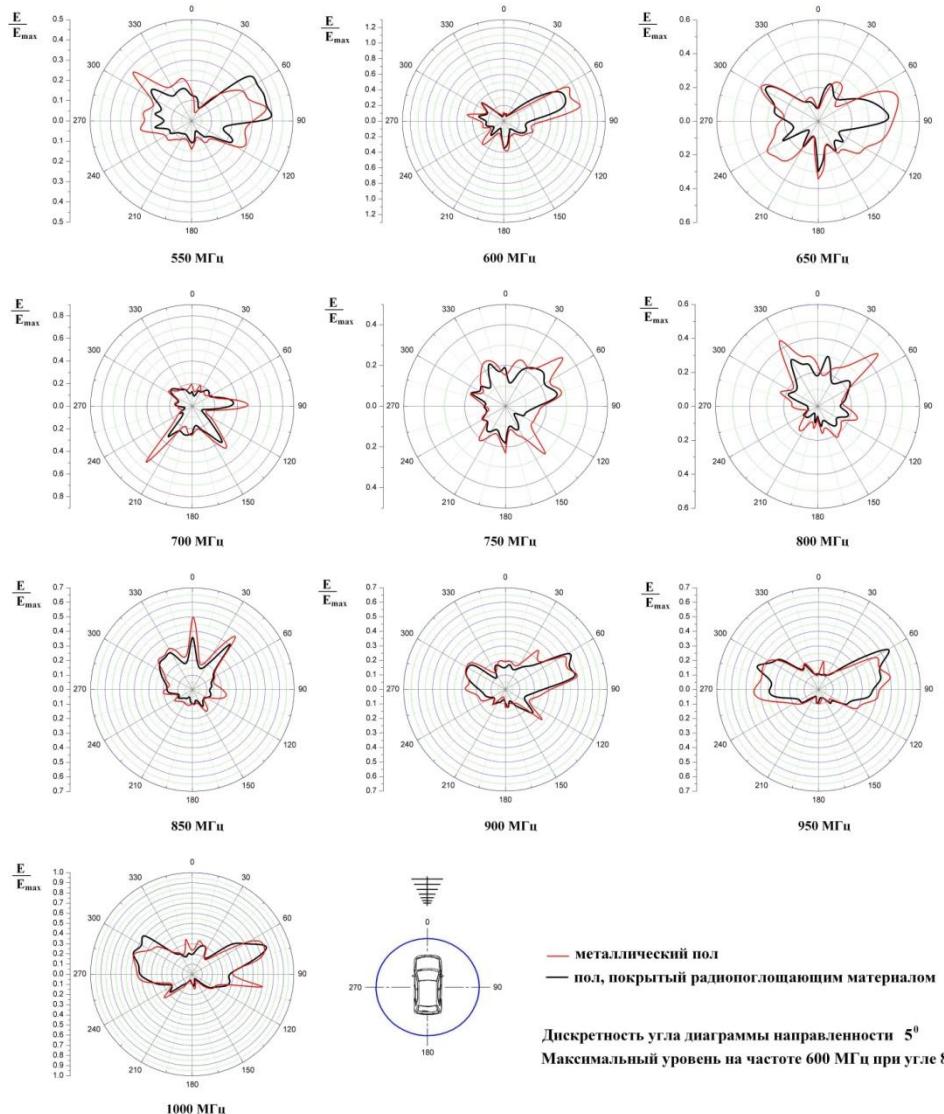


Рисунок 2.4 – Диаграммы направленности автомобиля LADA Kalina

Как видно из рисунков 2.3 и 2.4 все диаграммы направленности не симметричны, и они имеют многолепестковую структуру. Учитывая индивидуальные особенности конкретной конструкции и компоновки, каждая модель автотранспортного средства имеет собственную диаграмму направленности. Ее несимметричность влияет на уровень наводимых электромагнитных помех в зависимости от направления воздействия (рис.2.6). Проведенные исследования (рис.2.6, б) доказывают, что уровень наводимых помех, а соответственно и помехоустойчивость электротехнических систем зависит от ориентации АТС к излучателю помех.

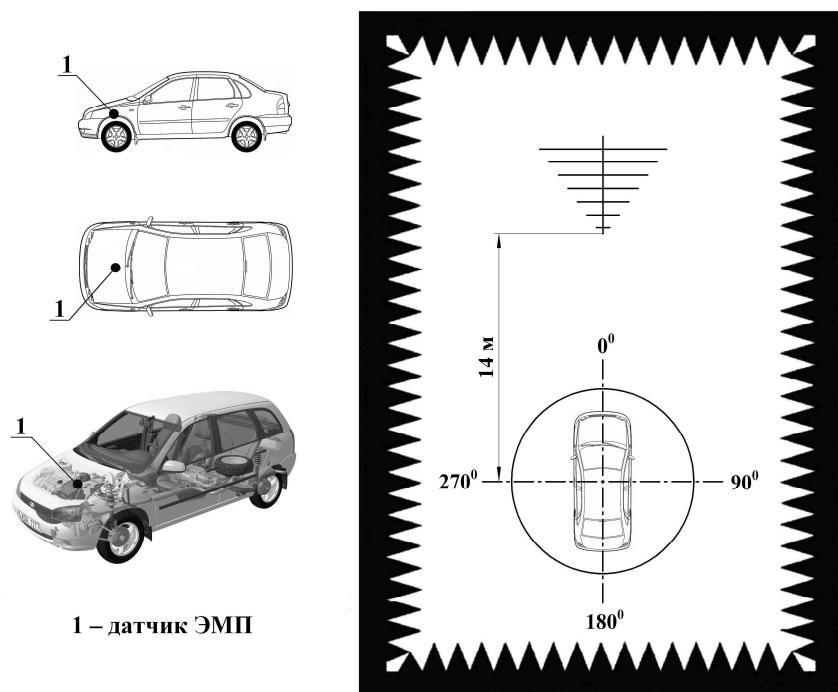


Рисунок 2.5 – Условия проведения испытаний

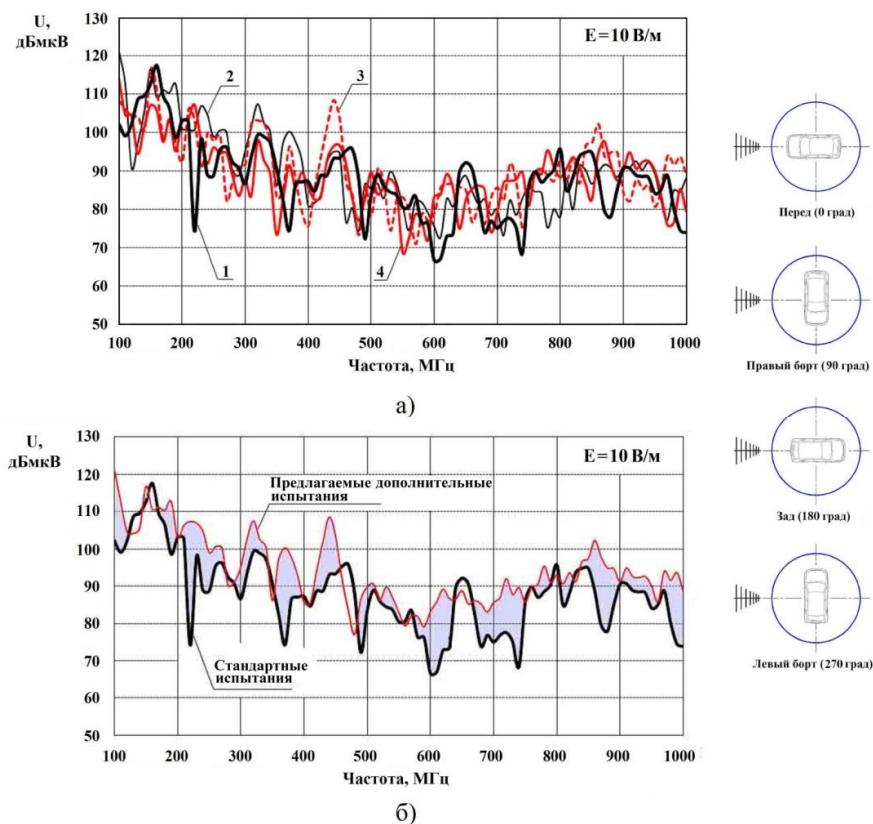


Рисунок 2.6 – Параметры наведенных помех: а) уровень помех в бортовой сети по входу контроллера системы управления двигателя; б) сравнение стандартных испытаний и предлагаемых дополнительных испытаний;

1 – перед (0°); 2 – правый борт (90°); 3 – зад (180°); 4 – левый борт (270°)

Другой вывод, который следует из анализа рисунков 2.3, 2.4 и 2.6, то что стандартные испытания на помехоустойчивость не являются достаточными, т.к. уровни наводимых помех с направлений воздействий, отличных от фронтального позиционирования АТС к источнику, могут превышать уровни помех, наводимых с фронтального позиционирования АТС.

В соответствии с ранее выдвинутым предположением, а также проведенными экспериментальными исследованиями тестирование БЭК необходимо проводить, позиционируя АТС к полеобразующей системе во всем диапазоне азимутальных углов [45, 49]. Здесь появляется другая задача – определение оптимальных параметров углового позиционирования. Потому что если будут выбраны неправильно угловой дискретный шаг поворота или скорость вращения стенда, то испытания будут проведены либо неполно, либо будут длиться необоснованно долго. Критерием здесь является совмещение на минимальное требуемое время всех основных лепестков диаграмм направленности автотранспортного средства с направлением максимума излучения антенны.

Возможно дискретное и непрерывное позиционирование. При первом реализуется последовательное вращение автотранспортного средства на конкретный заданный угол. Оно применяется при тестах, реализующих динамические ездовые циклы. Например, испытания систем ABS с разгоном и торможением. Во втором реализуется непрерывное вращение автотранспортного средства с заданной угловой скоростью. Однако его недостатком является то, что если в процессе теста произошел сбой БЭК, то по завершению полного оборота АТС относительно полеобразующей системы необходим его возврат на тот угол, где проявились проблемы ЭМС. И уже при дискретном позиционировании находить уровень помехоустойчивости.

Отсюда следует, что непрерывное позиционирование адекватно

применять только если требуется подтвердить соответствие требованиям БЭК в составе АТС.

Для поиска проблем ЭМС и их детальных исследований более адекватно применять дискретное позиционирование АТС.

На практике позиционирование автотранспортного средства относительно полеобразующей систем (излучающей антенны) осуществляется поворотный динамометрический роликовый стенд. Им оснащены все ведущие мировые испытательные ЭМС центры.

Параметры дискретного азимутального углового позиционирования определяются из экспериментально полученных диаграмм направленности автотранспортного средства. Обработка данных показывает, что ширина основных лепестков по уровню $1/\sqrt{2}$ от максимального значения составляет как минимум 10 град для различных характеристик подстилающих поверхностей. Отсюда оптимальный дискретный угол поворота по азимуту выбирается

$$\beta_{\text{опт.д}}=10 \text{ град.}$$

В этом случае всегда лепестки диаграмм направленности будут совмещаться с максимальным направлением тестового электромагнитного излучения.

Следующей задачей является выбор расстояния от АТС до полеобразующей системы. Здесь критерием является попадание максимального линейного размера АТС в главный (основной) лепесток диаграммы направленности полеобразующей системы. Задача решается тригонометрическими функциями и наглядно графически показана на рис. 2.7. Минимальное расстояние определяется выражением:

$$S_{\min} \leq \frac{l}{2 \operatorname{tg}(\Theta/2)}, \quad (2.1)$$

где l – максимальный линейный размер автотранспортного средства; Θ – угол главного лепестка диаграммы направленности полеобразующей системы в горизонтальной плоскости.

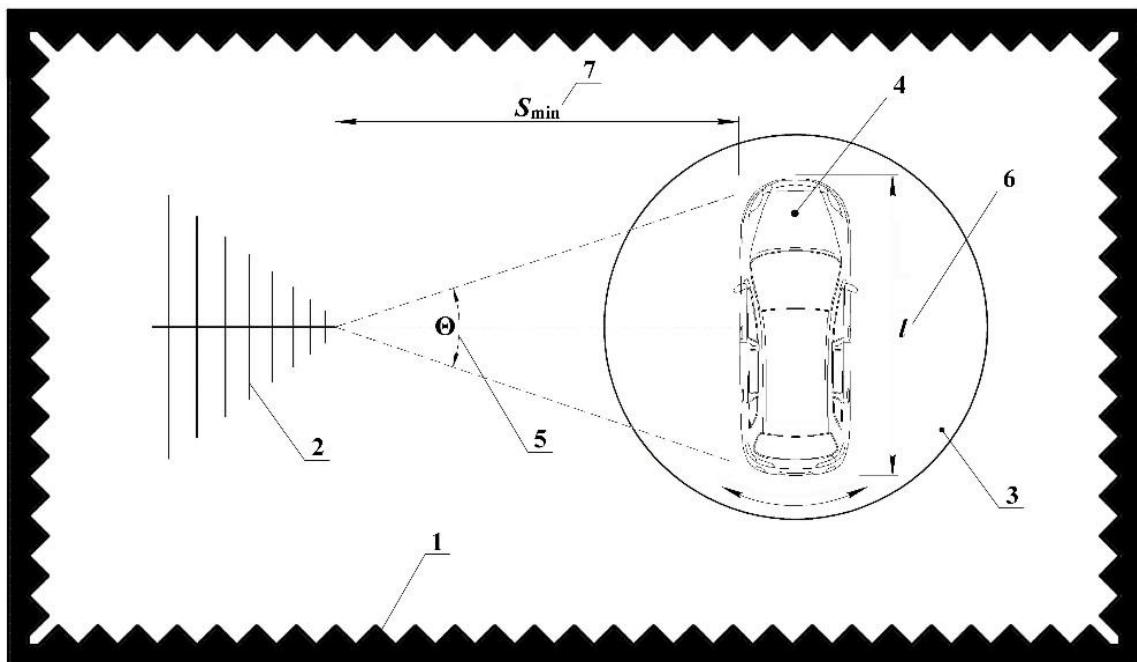


Рисунок 2.7 – Выбор расстояния между полеобразующей системой и АТС:

- 1 – безэховая камера; 2 – полеобразующая система; 3 – поворотный испытательный стенд; 4 – АТС; 5 – угол главного лепестка диаграммы направленности полеобразующей системы; 6 – линейный размер АТС;
- 7 – минимальное расстояние между полеобразующей системой и АТС

При дискретном позиционировании алгоритм испытаний сводится к следующей последовательности.

1. Задаются оговоренные программой испытаний режимы работы БЭК, АТС.
2. Задаются тестовые параметры воздействующего сигнала: форма и амплитуда.
3. Устанавливается начальная несущая частота f_{min} воздействия.
4. На заданной несущей частоте f_{min} осуществляется электромагнитное

воздействие на АТС, которое с дискретным шагом скоростью не более 5 град/сек осуществляет вращение на 360 град относительно полеобразующей системы. В каждой позиции в течении не менее 2 сек контролируется помехоустойчивость электротехнических систем.

5. Если происходит нарушение работоспособности ЭТС (БЭК), то ищется минимальный уровень воздействия.

6. После прохождения этапов п.4 и п.5 для заданной несущей частоты, производится перестройка частоты воздействия на заданный шаг и тестирование продолжается в соответствии с этими же пунктами.

7. Процесс испытаний проводится на всех указанных в программе частотах диапазона.

По результатам испытаний характеристика помехоустойчивости выражается в виде матричного массива

$$E_n(f, \beta) = \begin{vmatrix} E_{f_{\min}, \beta_{\min}} & E_{f_{\min}, \beta_{\min} + \Delta\beta m} & \dots & E_{f_{\min}, \beta_{\max}} \\ E_{f_{\min} + \Delta f n, \beta_{\min}} & E_{f_{\min} + \Delta f n, \beta_{\min} + \Delta\beta m} & \dots & E_{f_{\min} + \Delta f n, \beta_{\max}} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ E_{f_{\max}, \beta_{\min}} & E_{f_{\max} + \Delta f n, \beta_{\min} + \Delta\beta m} & \dots & E_{f_{\max}, \beta_{\max}} \end{vmatrix}, \quad (2.2)$$

где E – напряженность электромагнитного излучения, при котором наблюдалось нарушение работоспособности электротехнических систем автотранспортного средства;

$f \in [f_{\min}; f_{\max}]$ – диапазон частот электромагнитного воздействия;

$\beta \in [\beta_{\min}; \beta_{\max}] = [0; 360]$ град – диапазон углов поворота автотранспортного средства в азимутальной плоскости относительно излучающей антенны;

$\Delta\beta = \beta_{\text{опт.д}} = 10$ град;

$n = 1, 2, 3 \dots$;

$m = 1, 2, 3 \dots$

Пример характеристики помехоустойчивости приведен на рисунке 2.8 и отображает результаты испытаний опытного контроллера системы управления двигателем автомобиля LADA GRANTA. На графике отображена поверхность внешних полей, при которых контроллер начинал неустойчиво работать.

По результатам проведенных тестов определяется минимальный уровень помехоустойчивости $E_{n.min}$ ЭТС (БЭК).

Предложенный подход позволяет, воссоздав наиболее реальные особенности эксплуатации БЭК АТС в электромагнитной обстановке, более полно изучить помехоустойчивость и при ее несоответствии требованиям - доработать, обеспечив тем самым электромагнитную безопасность автомобильного транспорта.

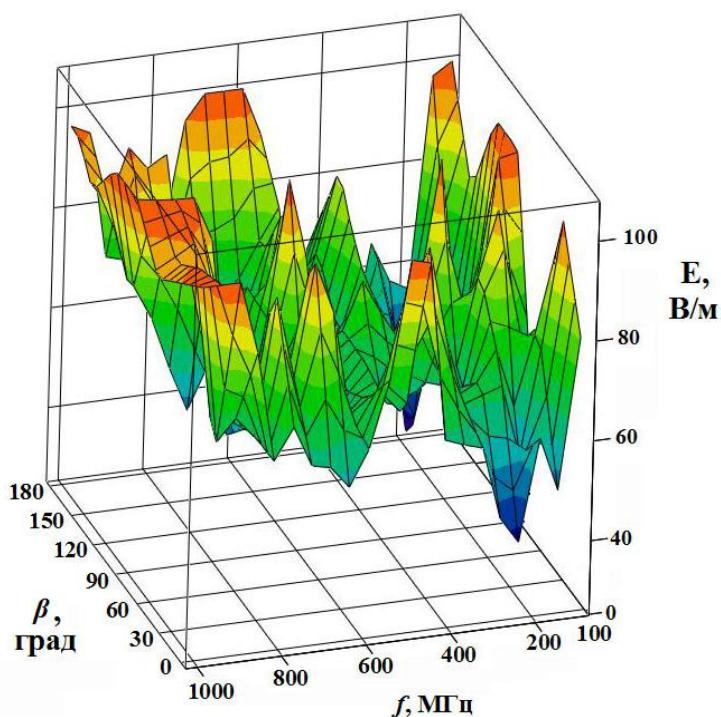


Рисунок 2.8 – Трехмерная характеристика помехоустойчивости опытного контроллера системы управления двигателем автомобиля LADA GRANTA

2.2 Разработка методики контроля БЭК АТС для случая широкополосного воздействия

Проблемы ЭМС в области взаимодействия технических средств воздействии с широкополосным электромагнитным воздействием в настоящее время являются очень актуальными. Содержание стандарта МЭК 61000-2-13 [35] не совсем полно отражает специфику испытаний АТС. Необходимо решить следующие задачи: определить диапазон действующих частот; выбрать форму тестового воздействия; определить временные параметры воздействия; обосновать тестовые уровни.

При решении первой задачи диапазон действующих частот определяется из определения широкополосной сигнала и диапазона в котором наиболее вероятно ожидаются нарушения работоспособности ЭТС или БЭК в целом.

По определению [35] широкополосное воздействие характеризуется относительной полосой частот:

$$\eta = \frac{f_{\text{в}} - f_{\text{н}}}{f_{\text{в}} + f_{\text{н}}} > 0,25, \quad (2.3)$$

где $f_{\text{в}}$ и $f_{\text{н}}$ – верхняя и нижняя границы частот спектральной полосы.

Из анализа первой главы и [35] при уровне внешнего воздействия 100 В/м на диапазон 100 - 800 МГц приходится до 70% всех фактов нарушений работоспособности БЭК АТС гражданского назначения. До 25% проблем ЭМС проявляются в области частот от 800 до 1500 МГц. Остальные 5 % приходятся на диапазон от 20 до 100 МГц. Отсюда для БЭК наиболее критичная область, заключенная в полосе от 100 МГц до 1,5 ГГц. Подставив эти данные в формулу (2.3) получим

$$\eta = \frac{f_{\text{в}} - f_{\text{н}}}{f_{\text{в}} + f_{\text{н}}} = \frac{1500 \text{ МГц} - 100 \text{ МГц}}{1500 \text{ МГц} + 100 \text{ МГц}} = 0,875 > 0,25,$$

что удовлетворяет условиям широкополосности.

При выборе оптимальной формы испытательного импульса следует исходить из условия перекрытия воздействием требуемого частотного диапазона. В стандарте МЭК 61000-2-13 приведены рекомендуемые примеры типовых форм ЭМИ: гауссовский и двухэкспоненциальный импульсы, период и положительный полупериод синусоиды. Анализируя данные сигналы адекватно применять последний, т.к. его спектр перекрывает не только требуемый диапазон частот от 100 МГц до 1,5, но и от 20 МГц до 1,5 ГГц (рис.2.9).

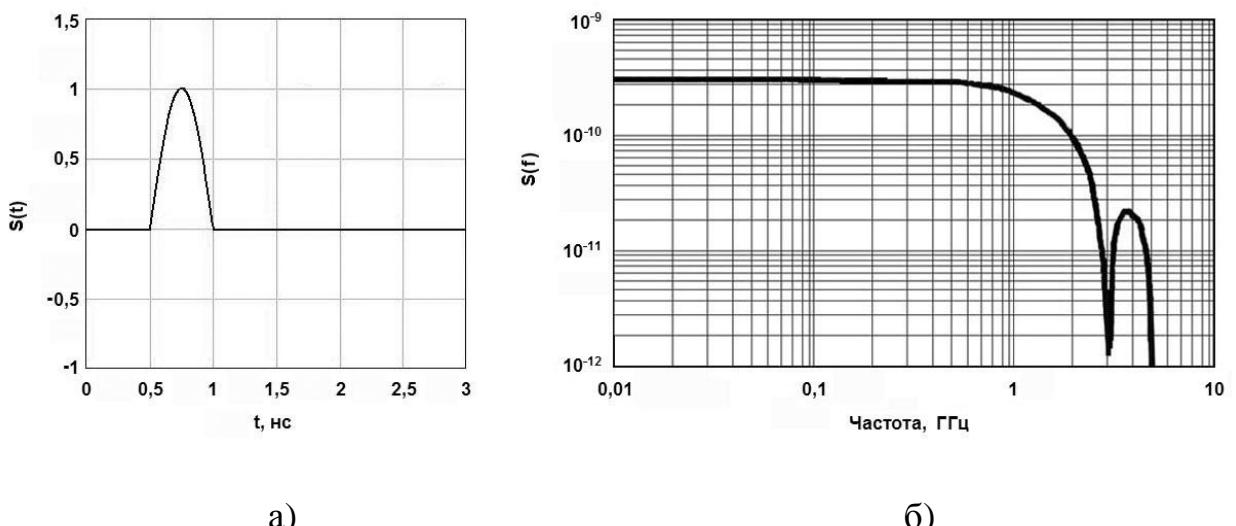


Рисунок 2.9 – Сверширокополосный нормированный испытательный сигнал:
а) временная форма одиночного импульса в виде положительного полупериода синусоиды; б) спектр

Воздействуя на АТС однократным импульсом, не обладающим энергией, позволяющей вывести из строя элементы схем, маловероятно создать нарушение работоспособности ЭТС (БЭК), влияющее на безопасность. Потому что современный подход к обеспечению помехоустойчивости уже основан на применении алгоритмов пересинхронизации при непродолжительных сбоях. При «зависаниях» микропроцессоров применяются решения, основанные на сторожевых таймерах, а однократные грубые ошибки исключаются цифровой

фильтрацией. БЭК АТС будут наиболее уязвимы к серии импульсов, потому что периодическое искажение информации приводит к неоднозначной ее интерпретации. В этом случае системы управления переходят в аварийные режимы или самопроизвольно реализуют непрогнозируемые функции, например, остановку двигателя или самопроизвольное компенсирование момента электромеханического усилителя, что приводит к его неконтролируемому вращению.

Испытательный сигнал, подаваемый на вход сверширокополосной полеобразующей системы можно записать в следующем виде

$$S(t) = \begin{cases} S_{\max} \sin(2\pi f_0 t); & t \in [(k-1)T; \tau + (k-1)T] \\ 0 & ; t \in (k\tau; kT) \end{cases}, \quad (2.4)$$

где $k = 1, 2, 3, \dots$ – количество импульсов; $f_0 = 1$ ГГц – несущая частота импульса; $\tau = 0,5 \times 10^{-9}$ с – длительность импульса; Т – период следования импульсов.

Нахождение периода следования импульсов вытекает из следующих рассуждений. Нарушения работоспособности ЭТС (БЭК) может вызвать последовательность импульсов, период следования которой соизмерим с временными параметрами передаваемых информационных данных. За основы взят подход, базирующийся на воздействии поля на систему управления двигателем [47].

Основным элементом управления в системе обратной связи является датчик положения коленчатого вала индукционного типа. Он же отвечает за синхронизацию всей работы системы. Сигналы с него формируются вращающимся задающим диском с зубьями с типовой схемой (60–2) зуба (рис.2.10). По отсутствующим двум зубьям синхронизируется каждый цикл системы управления двигателем. По остальным зубьям происходит более точное определение параметров синхронизации. Датчик положения

коленчатого вала формирует аналоговый переменный сигнала, который поступает на вход формирователя импульсов, где преобразуется в импульсный сигнал (рис.2.11).

Как правило, проблемы, возникающие из-за воздействия помех по цепи датчика положения коленчатого вала, связаны нарушением синхронизации или появлением ложных дополнительных зубьев. Рассуждая, понятно, что система управления двигателем будет наименее помехоустойчива, если на каждый период следования синхроимпульсов приходится два и более импульсов электромагнитной помехи. Физически это означает, что как минимум один импульс помехи попадет во временной промежуток между импульсами синхронизации. Он и может сформировать ложный сигнал, интерпретируемый как зуб задающего диска. В этом случае регистрируемое количество синхроимпульсов будет больше 58. Поэтому для проверки на помехоустойчивость частота следования импульсов по критерию наиболее критического воздействия на канал синхронизации будет равна

$$F_{\text{ЭМП}} \geq 2kn_{\text{ДВС}}, \quad (2.5)$$

где $n_{\text{ДВС}}$ – частота вращения коленчатого вала (об/мин); k – количество зубьев на задающем диске (наиболее часто используется 60 зубьев, из них два для синхронизации цикла вырезаются, но программно дополняются и учитываются).

В формуле (2.5) коэффициент 2 показывает то, что один импульс помехи приходится на каждый зуб задающего диска, а второй – на впадину.

Соответственно период следования импульсов составляет

$$T \leq \frac{1}{2kn_{\text{ДВС}}}. \quad (2.6)$$

При типовых оборотах двигателя 6000 мин^{-1} минимальный период следования импульсов сверширокополосного импульсного воздействия составит 83 мс.

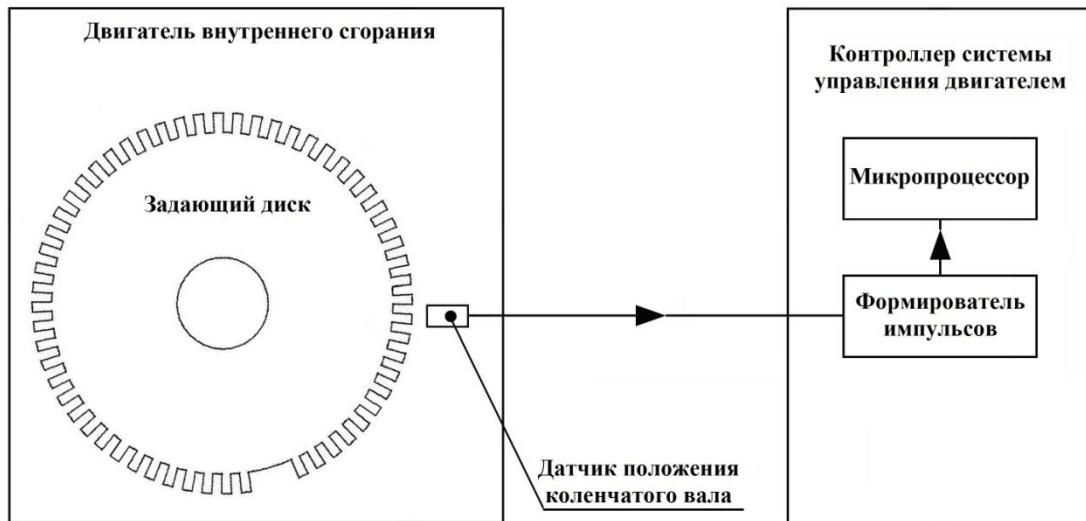


Рисунок 2.10 – Схема синхронизации двигателя

Базируясь на условиях позиционирования, рассмотренных в п. 2.1 время воздействия на АТС сверширокополосного импульса составляет не менее 2 секунд на каждом фиксированном азимутальном угле.

Для АТС гражданского назначения уровни тестовых воздействий адекватно распространить из МЭК 61000-2-13. При уровне пикового воздействия 50 В/м система управления двигателем должна соответствовать функциональному классу «А», а при пиковом воздействии широкополосного импульса 100 В/м – функциональному классу «В».

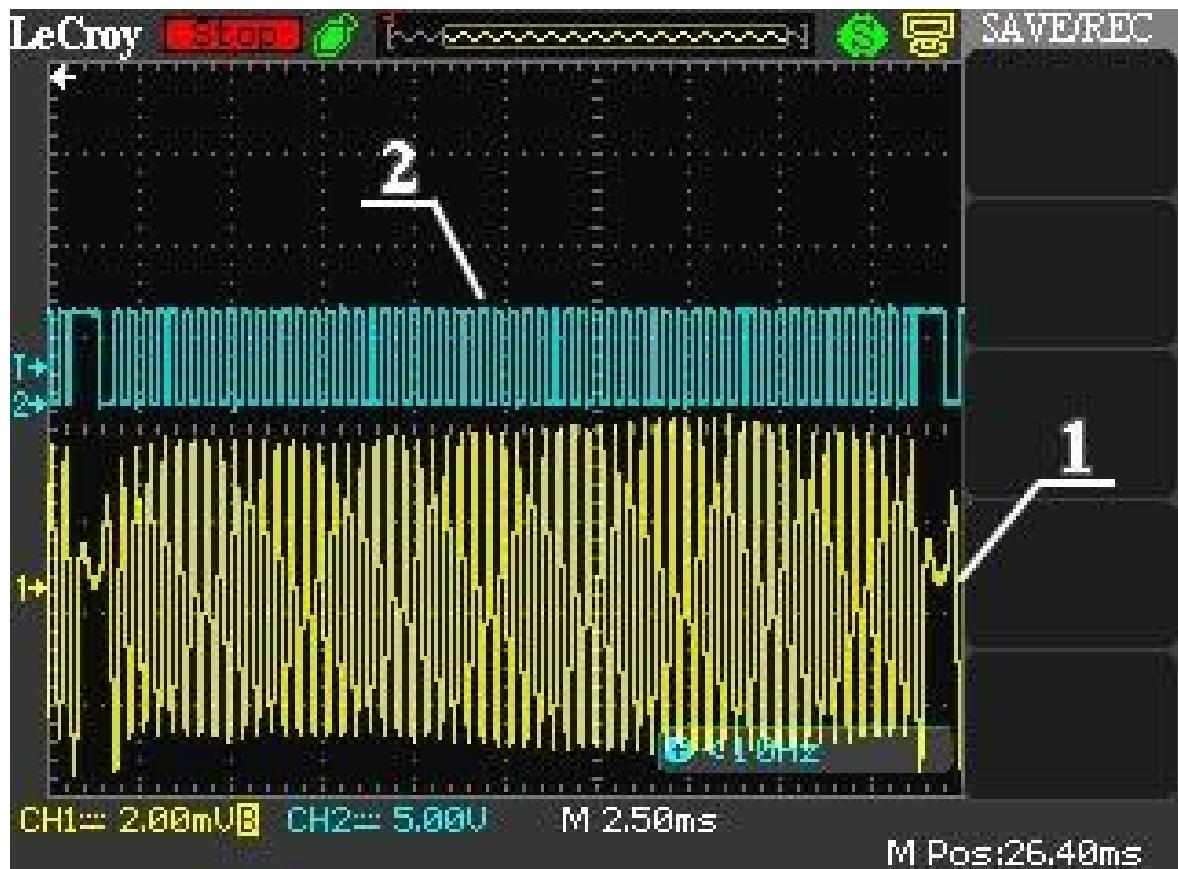


Рисунок 2.11 – Сигнал с датчика положения коленчатого вала:

1 – с аналогового датчика; 2 – после формирователя импульсов

2.3 Совершенствование ездового цикла для комплексной оценки помехоустойчивости БЭК АТС

Современные АТС оснащаются большим количеством ЭТС. Применение некоторых из них регламентировано законодательно. К ним, например, относятся системы ABS. Ко всему этому растет выпуск АТС оснащаемых электромеханическими коробками переключения передач, системами курсовой устойчивости (ESP), антипробуксовочными системами (ASR), электромеханическими усилителями рулевого управления, интеллектуальными системами помощи на дорогах и т.п. Отсюда видно, что достаточно много электротехнических систем, способных при их нарушении работоспособности повлиять на траекторию движения автотранспортного средства. Чтобы минимизировать вероятность появления при эксплуатации нештатных ситуаций системы тестируются на восприимчивость к

электромагнитному воздействию. Существует достаточно большое количество специализированных контрольных испытательных тестов, учитывающих особенности конкретной ЭТС [42, 62]. Каждый ЭМС центр разрабатывает их с учетом возможностей оснащения оборудованием своей лаборатории. Однако тестируя по отдельности все бортовые системы тратится значительное время. Поэтому необходима, и это было уже показано в выводах первой главы, разработка ездового цикла, в ходе которого проверялось максимальное количество функций ЭТС (БЭК). Разработанный данный цикл представлен на рис.2.12 [50]. Он реализует в себе условия, при которых кроме систем электроснабжения, вентиляции, обогрева, обеспечения обзорности, освещения, отображения информации и мультимедиа, для контроля которых достаточно их включения и заведенного двигателя, также расширенно проверяются системы управления двигателем, автоматической трансмиссии, ABS, ASR и ESP.

Суть контрольного теста заключается в том, что в интервале времени t_1-t_{11} на АТС действует электромагнитное поле с заданным уровнем, частотой и модуляцией. В промежутке t_1-t_2 двигатель автотранспортного средства работает на холостом ходу. Здесь проверяется помехоустойчивость системы управления двигателем в наиболее критическом для нее ЭМС режиме. Потому что на этом режиме она больше всего восприимчива к помехам вследствие наименьшего уровня сигнала с датчика положения коленчатого вала.

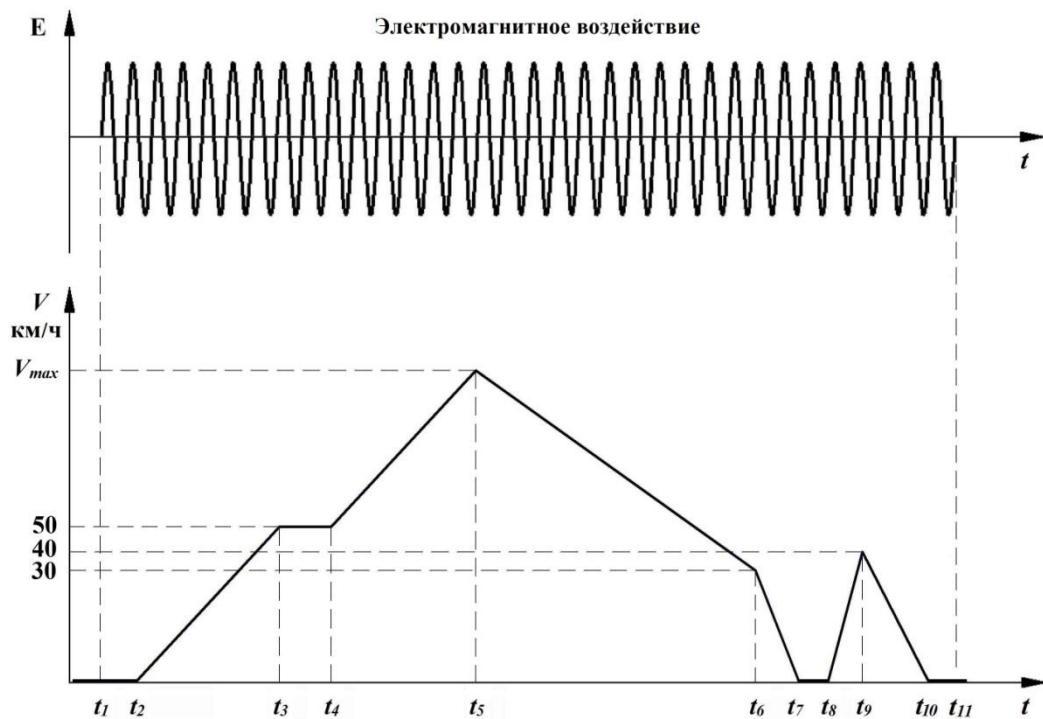


Рисунок 2.12 – Ездовой цикл для комплексных контрольных испытаний БЭК АТС на восприимчивость к электромагнитному воздействию

В промежутке t_2-t_5 контролируется помехоустойчивость автоматической трансмиссии, а также систем ASR и ESP. Критериями положительного результата этой части теста является отсутствие срабатывания ASR и ESP, т.к. ATC разгон ATC осуществляется плавно и последовательное переключение всех передач. Во вложенном интервале t_3-t_4 проверяется работа автотранспортного средства на установленной скорости 50 км/ч. Этот участок введен для выполнения требований международных Правил R10-05 ЕЭК ООН. Во промежутке времени t_5-t_7 , в котором имеются два вложенных временных интервала, проводится проверка помехоустойчивости ABS. В первом (t_5-t_6) ABS не должен срабатывать, т.к. торможение ATC производится медленно. Во втором интервале (t_6-t_7) торможение производится резко, что приводит к блокировке колес. Поэтому критерием прохождения данной части теста является нормальная работа ABS, сопровождающаяся циклическим сбросом давления тормозной жидкости и как следствие разблокировкой колес.

В интервале t_7-t_8 происходит полная остановка автотранспортного средства для начала следующего теста (t_8-t_9) для проверки систем ASR и ESP. В отличие от t_1-t_5 , на участке t_8-t_9 системы ASR и ESP должны срабатывать, т.к. производится быстрый разгон АТС. Далее на участке t_9-t_{10} осуществляется полное торможение для последующего аналогичного езового цикла, где на АТС будет воздействовать электромагнитное поле с другими параметрами.

Реализация разработанного езового цикла осуществляется на динамометрическом роликовом стенде с применением программируемого робота-автопилота. Для его выполнения необходимо математическое представление функций. График езового цикла описывается стандартными уравнениями прямой [69]

$$V_i(t) = \alpha_i t + V_{0i}, \quad (2.7)$$

где

$$\alpha_i = (V_{i+1} - V_i) / (t_{i+1} - t_i) \text{ м/с}^2, \quad (2.8)$$

$i = 1, 2, \dots, 10,$

а

$$V_{0i} = (V_i t_{i+1} - V_{i+1} t_i) / (t_{i+1} - t_i). \quad (2.9)$$

Коэффициенты V_{0i} и α_i находятся из начальных условий цикла и экспериментально.

К начальным условиям относится следующее:

- 1) Во временных интервалах t_1-t_2 , t_7-t_8 и $t_{10}-t_{11}$ скорость равна 0 км/ч.
- 2) На участке t_3-t_4 $V=50$ км/ч, т.к. это значение регламентируется [62].
- 3) Максимальная скорость цикла равна

$$V_{max} = 1,05 V_n, \quad (2.10)$$

где n – наивысшая передача;

V_n – скорость на которой происходит автоматическое переключение на наивысшую передачу.

Значение V_n определяется экспериментально, или берется из технической документации. Например, для пятиступенчатой автоматической коробки передач автомобиля LADA Vesta максимальная скорость цикла равна 80 км/ч, или для существующих шестиступенчатых коробок передач $V_n = 110$ км/ч;

- 4) Для плавного разгона, АТС в промежутке времени t_2-t_5 должен на каждой передаче двигаться не менее 3,5 сек;
- 5) Скорость в момент t_6 равна 30 км/ч.
- 6) Скорость в момент t_9 должна быть 40 км/ч.

Условия №5 и №6 введены для минимизации времени динамической нагрузки на роликовый стенд при резком торможении и ускорении.

Из графика рисунка 2.12 вытекает, что

$$\alpha_1 = \alpha_3 = \alpha_7 = 0.$$

Для предельного случая при $V_{max} = 115,5$ км/ч и исходя из обозначенных начальных условий значения угловых коэффициентов прямых лежат в следующих областях:

$$0 < \alpha_2 \leq 1,7;$$

$$0 < \alpha_4 \leq 1,7;$$

$$-2 \leq \alpha_5 < 0;$$

$$\alpha_6 \leq -15;$$

$$\alpha_8 \geq 16.$$

В интервале времени t_9-t_{10} АТС возвращается в начальное состояние цикла. Определение коэффициента α_9 обусловлено условием плавного торможения для минимизации динамической нагрузки на стенд. В данном случае его значение лежит в диапазоне:

$$-2 \leq \alpha_9 < 0.$$

Для практики можно применить краевые значения коэффициентов:

$$\alpha_2 = \alpha_4 = 1,7; \alpha_5 = \alpha_9 = -2; \alpha_6 = -15; \alpha_8 = 16.$$

При данных значениях вышесказанных коэффициентов точное время электромагнитного воздействия на заданной частоте ($t_{11}-t_1$) рассчитывается исходя из известного V_{max} , т.к. он определяет длительность t_6-t_2 и определения t_2-t_1 , t_4-t_3 , t_8-t_7 и $t_{11}-t_{10}$.

Длительность промежутков времени t_2-t_1 и t_4-t_3 выбирается из условия реакции ЭТС на электромагнитное воздействие и составляет две и более секунд. Для практики адекватно

$$t_2-t_1 = t_4-t_3 = 2 \text{ сек.}$$

Длительность промежутка t_8-t_7 определяется временем готовности устройства или системы автоматического управления АТС начать его динамический разгон. Для современных систем оно не превышает 1 сек. Адекватно задать

$$t_8-t_7 = 1 \text{ сек.}$$

Интервал $t_{11}-t_{10}$ выбирается с учетом запаса по вероятному запаздыванию времени реализации цикла, которое зависит от характеристик динамометрического стенда, а также устройств и систем автоматического управления АТС.

По завершению езового цикла параметры воздействующего электромагнитного поля перестраиваются в соответствии с заданной программой испытаний, и цикл реализуется повторно.

Разработанный езовой цикл позволяет комплексно проводить проверку работоспособности электротехнических АТС на помехоустойчивость, что позволяет сократить общее время тестирования.

2.4 Разработка инструментария для испытательных тестов системы контроля перспективных БЭК АТС

Обоснование разработки инструментария испытательных контрольных тестов перспективных ЭТС (БЭК) АТС. Современные тенденции развития ЭТС АТС направлены на повышение топливной эффективности, улучшение экологии за счет уменьшения вредных выхлопов и на обеспечение безопасности транспортных средств. В их рамках развиваются направления альтернативных топлив, где перспективным направлением является электродвигатель и систем экстренной помощи на дорогах.

На базе электродвигателя сформировались два класса АТС: электромобили (ЭМБ) и автомобили с комбинированной энергоустановкой (АКЭУ, гибридные автомобили), использующие в комбинированный силовой агрегат, состоящий из двигателя внутреннего сгорания и электродвигателя. Многие автопроизводители уже серийно выпускают автотранспортные средства таких классов. Например, на рынке присутствуют следующие электромобили: Mitsubishi i-MiEV, Volkswagen E-Golf, Volvo C30 Electric, Nissan Leaf EV и др. Также среди гибридных АТС представлено много различных серийных моделей: Toyota Prius, Honda NSX, Porsche Panamera Hybrid, Kia Niro и т.п. В России также ведутся разработки автомобилей подобных классов. Так на Волжском автомобильном заводе была выпущена мелкосерийная партия электромобилей «Эллада», а также ведутся разработки гибридного автомобиля на базе LADA Granta (рис.2.13).

Системы управления электродвигателями и комбинированными силовыми агрегатами сильно отличаются от двигателей внутреннего сгорания. Поэтому для проверки их на соответствие требованиям ЭМС по помехоустойчивости необходимо разработка инструментария специализированных ездовых контрольных тестов, во время которых контролируется работоспособность основных режимов работы АТС.



Рисунок 2.13 – Прототип гибридного автомобиля на базе LADA Granta

В рамках развития направления оказания экстренной помощи на дорогах сейчас в России на законодательном уровне внедрена система «Эра ГЛОНАСС». Задачей «Эра ГЛОНАСС» является передача в момент аварии автотранспортного средства минимального набора данных по радиоканалу GSM в контактный центр. На основании данного сообщения к месту аварии направляются службы спасения. По прогнозам данная система должна уменьшить количество летальных исходов приблизительно на 30%.

Осенью 2015 года в России был выпущен первый автомобиль LADA Vesta, оснащенный «Эра ГЛОНАСС» (рис.2.14). Сейчас данной системой должны оснащаться не только вновь выпускаемые отечественные АТС, но и экспортируемые из-за рубежа.

Назначение данной системы определяет высокие требования к ее работоспособности в том числе и при воздействии внешних электромагнитных помех. В ГОСТ Р 54618-2011 [13] регламентированы

соответствующие методы тестирования на ЭМС. Однако они применимы для испытаний отдельной системы, т.е. вне состава АТС. Это не позволяет понять, как будет работать система, интегрированная в АТС. Из-за собственных резонансов внутри объема кузова электромагнитное поле может усиливаться в несколько раз и воздействовать на блок «Эра ГЛОНАСС». Поэтому для проверки его функционирования необходимо разрабатывать и проводить испытания в составе АТС.



Рисунок 2.14 – Блок системы «Эра ГЛОНАСС» автомобиля LADA Vesta

Тестирование автотранспортных средств с комбинированным силовым агрегатом (АКЭУ). Для испытаний автотранспортных средств с комбинированным силовым агрегатом разработан инструментарий теста, включающий в себя ездовой цикл, содержащий в себе восемь фаз (рис.2.15) [51]: старт АТС на электротяге; разгон на электротяге; равномерное движение на электротяге; разгон в режиме «гибридная тяга»; равномерное движение в режиме «гибридная тяга»; разгон на двигателе внутреннего сгорания; равномерное движение на двигателе внутреннего сгорания; полное торможение с рекуперацией энергии.

Суть инструментария теста заключается в том, что в интервале времени t_1-t_{10} на АТС действует электромагнитное поле с заданным уровнем, частотой и модуляцией. В момент времени t_2 АТС начинает движение на

электротяге. Здесь контролируется реализация подпрограммы электронной системы управления пуска двигателя. В промежутке времени t_2-t_3 проверяется работоспособность динамических тяговых характеристик на электротяге. На интервале t_3-t_4 контролируется помехоустойчивость АТС на установившемся режиме. В промежутке времени t_4-t_5 проверяется работоспособность динамических тяговых характеристик двигателя на смешанном режиме. Точка «А» на графике характеризует момент перехода на него с электротяги. На интервале t_3-t_4 контролируется помехоустойчивость АТС на установившемся смешанном режиме. В промежутке времени t_6-t_7 проверяется работоспособность динамических тяговых характеристик только при работе двигателя внутреннего сгорания. Точка «В» на графике характеризует момент перехода на него со смешанного режима. На интервале t_7-t_8 контролируется помехоустойчивость АТС на установившемся режиме двигателя внутреннего сгорания. В промежутке времени t_8-t_9 осуществляется полное торможение. Здесь контролируется процесс рекуперации электрической энергии.

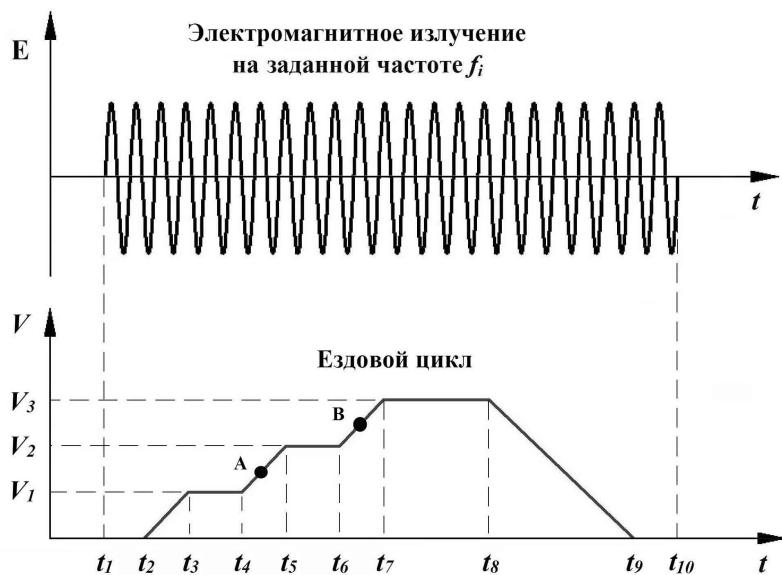


Рисунок 2.15 – Ездовой цикл при испытаниях на восприимчивость к внешнему электромагнитному излучению АТС, оснащенного комбинированным силовым агрегатом

Реализация разработанного ездового цикла осуществляется на динамометрическом роликовом стенде с применением программируемого робота-автопилота. Для определения коэффициентов прямых применяется формула (2.7).

Из графика рисунка 2.15 вытекает, что

$$\alpha_1 = \alpha_3 = \alpha_5 = \alpha_7 = \alpha_9 = 0.$$

Для каждого конкретного случая точные начальные условия для вычислений коэффициентов α_2 , α_4 , α_6 и α_8 определяются из технической документации на АТС, т.к. каждый автопроизводитель для своей модели задает собственные скорости перехода из одного режима в другой. При отсутствии информации о режимах определение коэффициентов вытекает из следующего. Анализ режимов АТС с гибридным силовым агрегатом, а также экспериментальные данные прототипа гибридного автомобиля LADA показывают, что при заряженной тяговой аккумуляторной батарее скорость, при которой будет реализован режим электротяги составляет

$$V_1 = 15 \text{ км/ч.}$$

При вычислении коэффициентов прямых необходимо учитывать, что любой из вложенных временных интервалов цикла должен быть не менее 2 сек, т.к. это является достаточным временем для проявления реакции электротехнических систем на внешнее электромагнитное воздействие. Из перечисленных выше условий по формуле (2.7)

$$0 < \alpha_2 \leq 2,1.$$

Предложенный ездовой цикл разработан для проверки работоспособности силового агрегата, то адекватно задать одинаковые коэффициенты

$$\alpha_2 = \alpha_4 = \alpha_6 = -\alpha_8.$$

Поэтому

$$0 < \alpha_2 = \alpha_4 = \alpha_6 \leq 2,1.$$

$$-2,1 \leq \alpha_8 < 0.$$

Интервал $t_{10}-t_9$ выбирается с учетом запаса по вероятному запаздыванию времени реализации цикла, которое зависит от характеристик динамометрического стенда, а также устройств и систем автоматического управления АТС.

По завершению цикла параметры воздействующего электромагнитного поля перестраиваются в соответствии с заданной программой испытаний и цикл реализуется повторно.

Разработка езового цикла для испытаний электромобилей. Для испытаний электромобилей разработан инструментарий теста, включающий в себя езовой цикл, состоящий из четырех фаз (рис.2.16): старт, разгон, равномерное движение и полное торможение с рекуперацией энергии. Он является упрощенной аналогией предыдущего.

В интервале времени t_1-t_6 на электромобиль воздействует электромагнитное поле с заданным уровнем, частотой и модуляцией. В момент времени t_2 АТС начинает движение. Здесь контролируется реализация подпрограммы электронной системы управления пуска двигателя. В промежутке времени t_2-t_3 проверяется работоспособность динамических тяговых характеристик электродвигателя. На интервале t_3-t_4 контролируется помехоустойчивость АТС на установившемся режиме. В промежутке времени t_4-t_5 осуществляется полное торможение и проверяется процесс рекуперации электрической энергии.

Реализация езового цикла осуществляется с применением программируемого робота-автопилота. Поэтому для его выполнения

необходимо математическое представление функций. График ездового цикла описывается формулой (2.7).

Коэффициенты V_{0i} и α_i находятся из начальных условий цикла или экспериментально.

К начальным условиям относится следующее: во временных интервалах t_1-t_2 , t_3-t_4 и t_5-t_6 скорость равна 0 км/ч; на участке t_3-t_4 $V=50$ км/ч, т.к. это значение регламентируется [62].

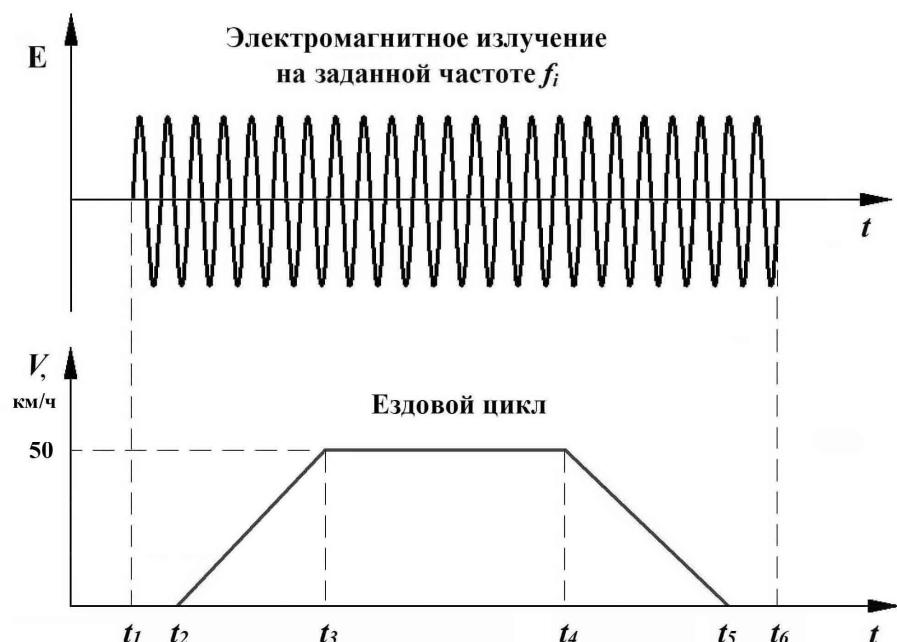


Рисунок 2.16 – Ездовой цикл при испытаниях на восприимчивость к

внешнему электромагнитному излучению электромобиля

Из графика рисунка 2.16 следует, что

$$\alpha_1 = \alpha_3 = \alpha_5 = 0.$$

Для упрощения задачи можно положить

$$\alpha_2 = -\alpha_4.$$

При их определении существует только одно критическое условие – отрезки времени t_2-t_3 и t_4-t_5 должны быть не менее 2 секунд, т.к. это является

достаточным временем для проявления реакции электротехнических систем на внешнее электромагнитное воздействие. Основываясь на экспериментальных данных отечественных и зарубежных автомобилей коэффициенты адекватно выбирать из диапазона:

$$0 < \alpha_2 \leq 3,5;$$

$$-3,5 \leq \alpha_4 < 0.$$

Интервал t_6-t_5 выбирается с учетом запаса по вероятному запаздыванию времени реализации цикла, которое зависит от характеристик динамометрического стенда, а также устройств и систем автоматического управления АТС.

По завершению цикла параметры действующего электромагнитного поля перестраиваются в соответствии с заданной программой испытаний и цикл реализуется повторно.

Тестирование системы «ЭРА-ГЛОНАСС» в составе автотранспортного средства. В литературе [52] были рассмотрены методы испытаний на ЭМС системы «Эра ГЛОНАСС» для режима передачи минимального набора данных. В тоже время их не достаточно для полной оценки помехоустойчивости в составе автотранспортного средства. «Эра ГЛОНАСС» реализована на базе сложных алгоритмов. Немаловажна проверка системы в период ее инициализации при электромагнитном воздействии. Такие испытания необходимы для контроля приведения системы в готовность. Если у бортового оборудования «Эра ГЛОНАСС» произойдет сбой, и оно «зависнет» во время инициализации, то в момент дорожно-транспортного происшествия оно не сможет обеспечить связь по радиоканалу с оператором диспетчерской службы.

Для проверки системы предложен алгоритм тестирования при инициализации бортового оборудования в момент его включения. График

теста представлен на рисунке 2.17 и описывается следующим выражением

$$\begin{aligned} E(t) \Big|_{f=f_i} &= \begin{cases} E(t); & t \in [t_1; t_4] \\ 0; & t \notin [t_1; t_4] \end{cases} \\ S(t) \Big|_{f=f_i} &= \begin{cases} 1; & t \in [t_2; t_3] \\ 0; & t \notin [t_2; t_3] \end{cases} \\ [t_2; t_3] &\subseteq [t_1; t_4] \end{aligned} \quad (2.11)$$

где f_i – несущая частота внешнего электромагнитного излучения; $E(t)$ – электромагнитное воздействие; $S(t) = 1$ – единичная функция инициализации.

Физический смысл функции $S(t)$ заключается в наличии факта самого процесса.

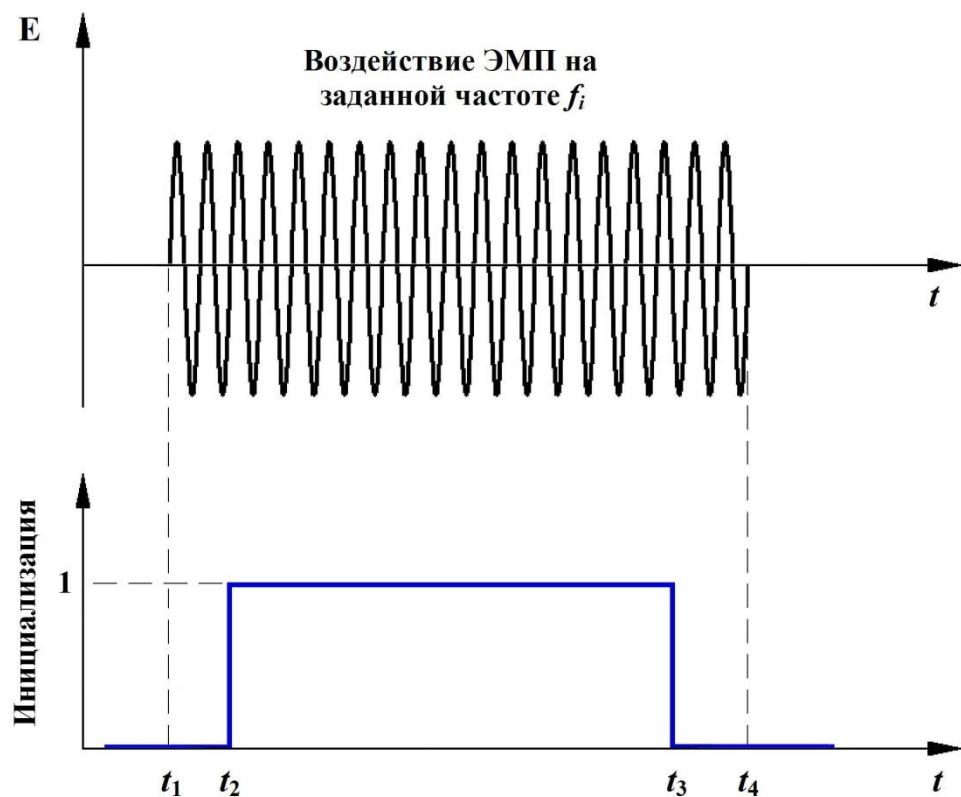


Рисунок 2.17 – Тестирование на помехоустойчивость системы

«Эра ГЛОНАСС» при ее инициализации

В интервале времени t_1-t_4 на автотранспортное средство воздействует внешнее электромагнитное излучение с заданными параметрами. В момент t_2

производится включение бортового оборудования системы «Эра ГЛОНАСС» и до момента t_3 происходит его инициализация.

Критерием прохождения испытаний является инициализация бортового оборудования системы на всех частотах воздействующего излучения:

$$K = \sum_{i=1}^N S_i(t) = N \quad (2.12)$$

где N – количество несущих частот, на которых производятся тесты оценки работоспособности системы.

2.5 Алгоритм нахождения минимального уровня помехоустойчивости БЭК

АТС при контрольных испытаниях на узкополосное воздействие

По результатам анализа первой главы было показано, что существующие требования шага перестройки по частоте, являются не достаточными для полной оценки ЭТС (БЭК) АТС по параметрам ЭМС, т.к. в этом случае можно пропустить диапазоны с низкой помехоустойчивостью, а значит и неточно определить минимумы характеристики помехоустойчивости. Это означает, что существуют определённые риски, связанные с их безопасной эксплуатацией. Другой проблемой является длительное время нахождения самого минимума помехоустойчивости ЭТС (БЭК). Потому что, даже если диапазон частот, в котором наблюдаются нарушения работоспособности и определен, то приходится искать уровни помехоустойчивости на каждой частоте.

Из литературы [7] известно, что проблемы ЭМС происходят из-за паразитных резонансных свойств электрических цепей. Отсюда задача более точного и быстрого нахождения минимального уровня помехоустойчивости электротехнической системы решается с применением раздела резонансных контуров общей теории электрических цепей. Следует рассмотреть наиболее сложный случай, когда необходимо выявить частотный диапазон с низкой

помехоустойчивостью, сформированной одним резонансным контуром, потому что его найти сложнее, чем диапазон, образованный несколькими контурами.

Примем условие: полосы пропускания паразитных резонансных контуров не перекрываются. Очевидно, что полоса пропускания резонансного контура должна быть больше, чем шаг перестройки по частоте узкополосного воздействия.

Резонансная частота контура и его полоса пропускания связаны выражением [4]:

$$Q = \frac{f_p}{\Delta f}; \quad (2.13)$$

где Q – добротность; f_p – резонансная частота колебательного контура; Δf – полоса пропускания, равная

$$\Delta f = f_e - f_h, \quad (2.14)$$

где f_h и f_e – нижняя и верхняя частоты полосы пропускания контура.

Так как

$$f_e - f_p = f_p - f_h, \quad (2.15)$$

то выражение (2.13) можно записать в виде [48]:

$$f_p = \frac{2Qf_h}{2Q-1}. \quad (2.16)$$

Электромагнитное воздействие начинается с частоты f_1 . Если положить что она совпадает с нижней частотой первого резонансного контура f_{h1} , т.е.

$$f_1 = f_{h1}, \quad (2.17)$$

то оптимальный шаг перестройки по частоте должен быть таким, чтобы вторая частота воздействия попала в резонанс. По введенному условию полосы пропускания паразитных резонансных контуров не перекрываются. Характеристика помехоустойчивости является сложной и зависит от многих параметров АТС. Если при воздействии обнаружились проблемы ЭМС, то этот диапазон можно детально исследовать с любым заданным шагом. Но если нарушений работоспособности не наблюдается, то полагаем, что вторая частота воздействия попадает на нижнюю частоту полосы пропускания второго резонанса

$$f_2 = f_{\mu 2} = f_{p1}. \quad (2.18)$$

Отсюда, с учетом (2.16), первый шаг равен

$$h_1 = f_{p1} - f_{\mu 1} = f_{\mu 2} - f_{\mu 1} = \left(\frac{2Qf_1}{2Q-1} - f_1 \right) = f_1 \left(\frac{1}{2Q-1} \right). \quad (2.19)$$

С учетом вышеизложенных рассуждений запишем

$$f_2 = f_1 + f_1 \left(\frac{1}{2Q-1} \right) = f_1 \left(\frac{2Q-1+1}{2Q-1} \right) = f_1 \left(\frac{2Q}{2Q-1} \right). \quad (2.20)$$

Второй шаг перестройки воздействия будет равен

$$h_2 = \frac{f_2}{2Q-1} = f_1 \left(\frac{2Q}{(2Q-1)^2} \right). \quad (2.21)$$

По аналогии

$$f_3 = f_2 + f_1 \left(\frac{2Q}{(2Q-1)^2} \right) = f_1 \left(\frac{2Q}{2Q-1} + \frac{2Q}{(2Q-1)^2} \right). \quad (2.22)$$

Соответственно третий шаг будет равен

$$\begin{aligned}
h_3 &= \frac{f_3}{(2Q-1)} = f_1 \left(\frac{2Q}{2Q-1} + \frac{2Q}{(2Q-1)^2} \right) \times \frac{1}{(2Q-1)} = \\
&= f_1 \left(\frac{2Q}{(2Q-1)^2} + \frac{2Q}{(2Q-1)^3} \right)
\end{aligned} \quad (2.23)$$

Четвертая частота воздействия

$$\begin{aligned}
f_4 &= f_3 + h_3 = f_1 \left(\frac{2Q}{(2Q-1)^2} \right) = \\
&= f_1 \left(\frac{2Q}{2Q-1} + \frac{2Q}{(2Q-1)^2} \right) + f_1 \left(\frac{2Q}{(2Q-1)^2} + \frac{2Q}{(2Q-1)^3} \right) = \\
&= f_1 \left(\frac{2Q}{2Q-1} + \frac{4Q}{(2Q-1)^2} + \frac{2Q}{(2Q-1)^3} \right)
\end{aligned} \quad (2.24)$$

Из формул (2.18) - (2.24) видно, что перестройка по частоте есть геометрическая прогрессия с параметром $\left(\frac{2Q}{2Q-1}\right)$. Отсюда

$$f_n = f_1 \left(\frac{2Q}{2Q-1} \right)^{n-1}, \quad (2.25)$$

где $n=1, 2, 3\dots$

Соответственно $f_n \in [f_{\min}; f_{\max}]$, где f_{\min} и f_{\max} минимальная и максимальная частоты диапазона, в котором производится испытания ЭТС (БЭК).

Из экспериментальных данных, приведенных ниже в четвертой главе найдено максимальное значение добротности, которое составляет 33,8. Тогда выражение (2.25) примет вид

$$f_n = 1,015^{n-1} f_1. \quad (2.26)$$

Выражения (2.25) и (2.26) выведено для случая, когда частота

воздействия совпадает с резонансом.

Параметр добротности определяется либо по результатам расчета математической модели тестируемой ЭТС (БЭК) или выбирается из статистического анализа ранее полученных экспериментальных данных аналогичных систем.

На практике диапазон частот, в котором наблюдается нарушение работоспособности ЭТС (БЭК), образован несколькими резонансными контурами и более шире, чем шаг перестройки по частоте воздействующего электромагнитного поля.

Нахождение минимального уровня помехоустойчивости электротехнической системы производится по следующему алгоритму. На первой итерации производится тестирование на электромагнитное воздействие электротехнической системы, установленной в АТС с заданным уровнем $E_{возд.1}$. Перестройка по частоте осуществляется в соответствии с (2.26). Найдется диапазон частот ΔF_1 , в котором происходит нарушение работоспособности электротехнической системы. Если

$$\Delta F_1 > f_{n+2} - f_n, \quad (2.27)$$

где

$$\Delta F_1 = \{f_n; f_{n+1}; f_{n+2}\}$$

то на второй итерации производится снижение уровня до значения $E_{возд.2}$. С этим уровнем воздействия $E_{возд.2}$ осуществляются испытания в диапазоне ΔF_1 . По их результатам находится диапазон частот ΔF_2 . Он, по аналогии с (2.27), сравнивается с шагом перестройки узкополосного электромагнитного воздействия.

Итерации по уменьшению уровня воздействия продолжаются до тех пор, пока не будет выполняться условие

$$\Delta F_j = f_{n+2,j} - f_{n,j}, \quad (2.28)$$

где ΔF_j – диапазон частот, в котором происходит нарушение работоспособности электротехнической системы при уровне воздействия $E_{возд.j}$;

$j = 1, 2, 3 \dots$ – номер уровня электромагнитного воздействия;

а

$$\Delta F_j = \{f_{n,j}; f_{n+1,j}; f_{n+2,j}\},$$

$$\Delta F_j \subset \Delta F_1.$$

Случай $j = 1$ является частным, где итерации по снижению уровня воздействия не производятся. Изменение уровней последующих воздействий производится из условия

$$E_{возд.j+1} = kE_{возд.j}, \quad (2.29)$$

где k – коэффициент, выбираемый из условия

$$0,71 \leq k < 1.$$

Коэффициент k имеет следующий физический смысл: задаваемое уменьшение уровня электромагнитного воздействия не должно быть больше чем отношение наведенной помехи на частоте резонанса к наведенной помехе на крайних частотах полосы пропускания данного резонансного контура.

Если выполняется условие (2.28), то минимальный уровень помехоустойчивости находится на частоте

$$f_{\min} = \frac{f_{n+2,j} + f_{n,j}}{2}, \quad (2.30)$$

и равен

$$E_{\min} = E(f_{\min}). \quad (2.31)$$

Предложенный подход поясняется рисунком 2.18, а алгоритм нахождения минимального уровня помехоустойчивости электротехнической системы при

испытаниях на узкополосное воздействие представлен на рисунке 2.19

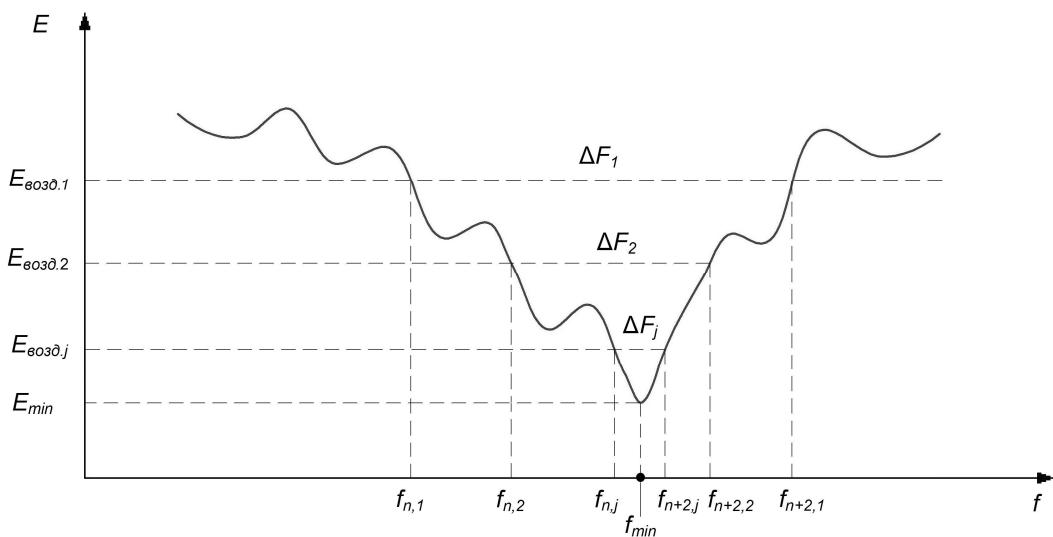


Рисунок 2.18 – Графическое представление нахождения минимального уровня помехоустойчивости электротехнической системы

Экспериментальные исследования электромеханического усилителя рулевого управления автомобиля LADA GRANTA с применением предлагаемого алгоритма показали, что в сравнении со стандартным алгоритмом повышается точность нахождения минимального уровня помехоустойчивости (рис.2.20). При стандартных испытаниях минимальный уровень помехоустойчивости составил 71 В/м, тогда как с применением предлагаемого подхода найденный уровень равен 63 В/м. Точность можно рассчитать с применением известной формулы относительной погрешности

$$\delta = \frac{|E_{ucm} + E_{uzm}|}{E_{ucm}} \times 100\% , \quad (2.32)$$

где $E_{иск}$ – истинный уровень помехоустойчивости, найденный с помощью предлагаемого алгоритма; $E_{изм}$ – измеренный уровень помехоустойчивости, найденный с помощью стандартного алгоритма.

Отсюда

$$\delta = \frac{|63B/m - 71B/m|}{63B/m} \times 100\% = 12,7\% .$$

Как видно из расчета, точность с применением предлагаемого алгоритма повышается более чем на 12,7 %.

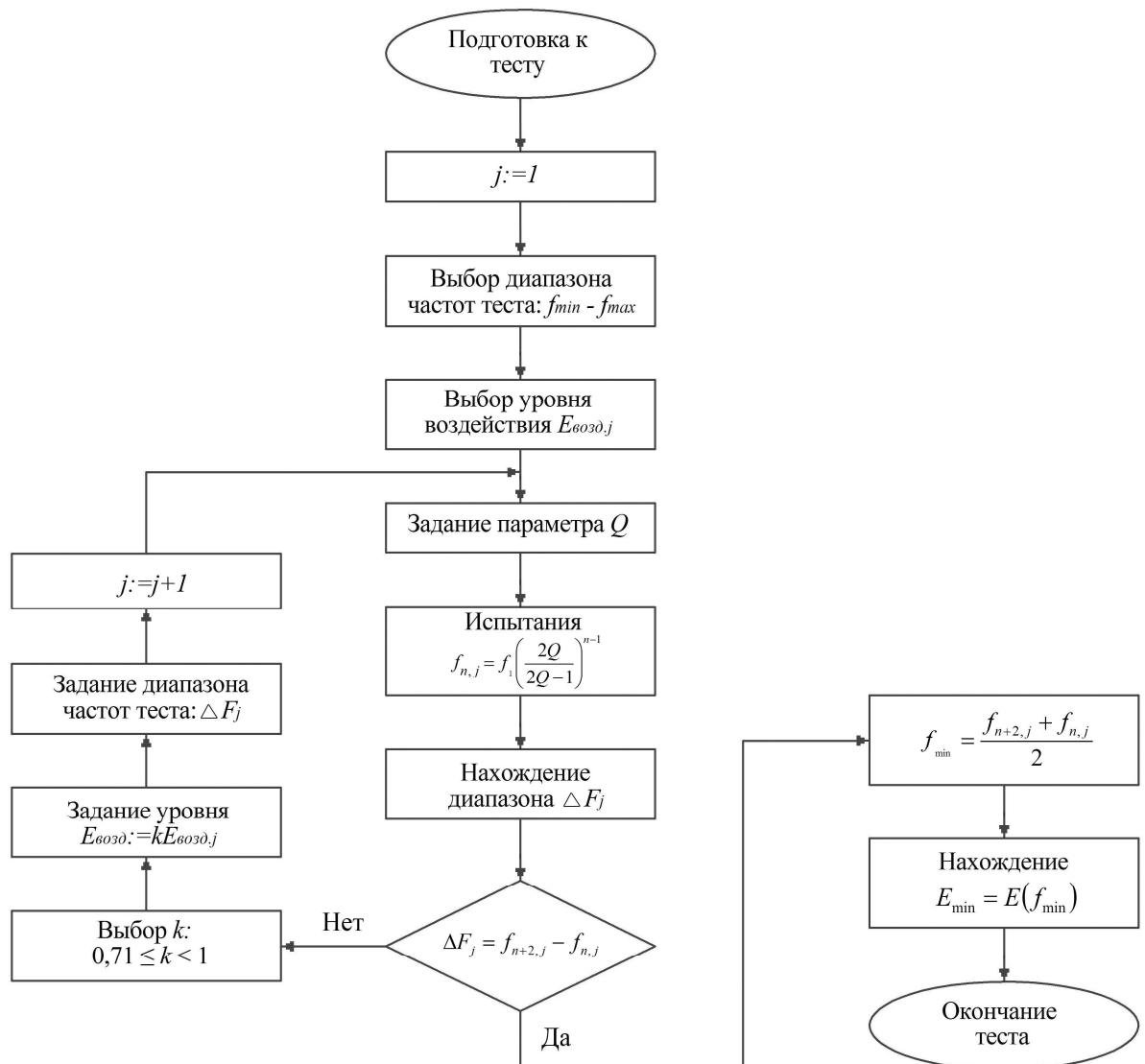


Рисунок 2.19 – Алгоритм нахождения минимального уровня помехоустойчивости БЭК АТС при испытаниях на узкополосное воздействие

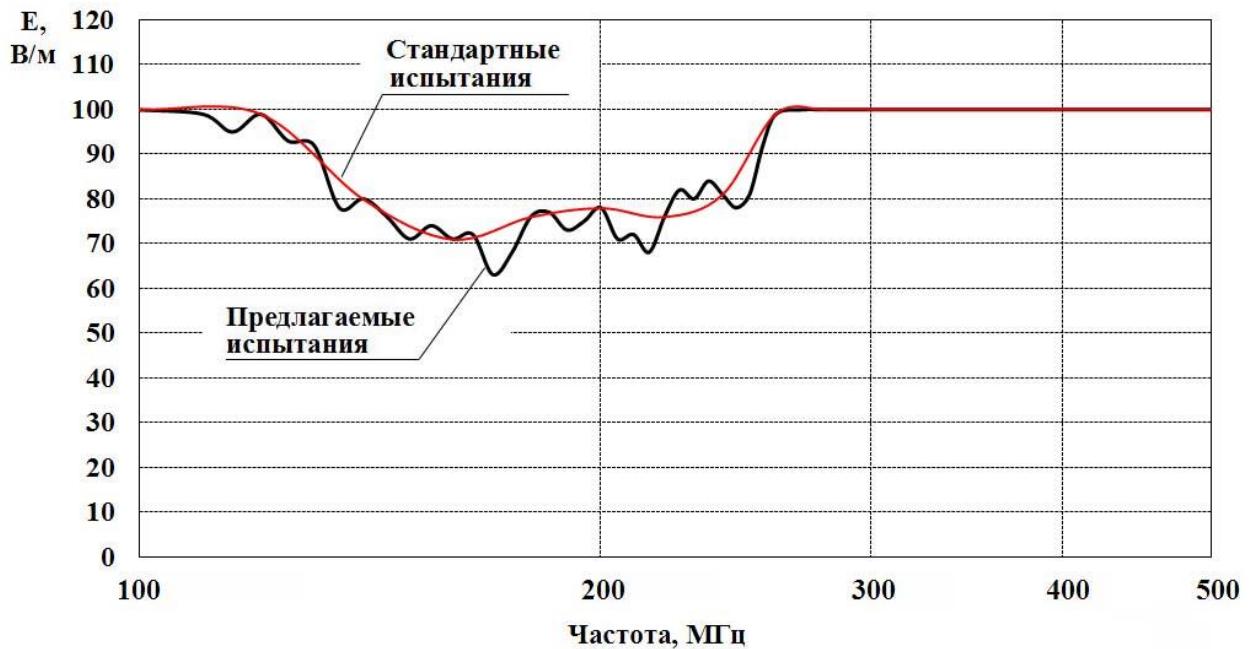


Рисунок 2.20 – Помехоустойчивость электромеханического усилителя рулевого управления автомобиля LADA GRANTA

2.6 Выводы по второй главе

1. Показано, что с позиции электродинамики АТС является сложной несимметричной приемной антенной.
2. Проведены экспериментальные исследования уровней наводимых электромагнитных помех в бортовой сети АТС в зависимости от направления воздействия. Показано что стандартные контрольные испытания на помехоустойчивость не являются достаточными, т.к. уровни наводимых помех с направлений воздействий, отличных от фронтального позиционирования АТС к источнику, могут превышать уровни помех, наводимых с фронтального позиционирования АТС.
3. Разработана система контрольных испытаний БЭК АТС на помехоустойчивость, отличающаяся от стандартной позиционированием АТС во время теста в диапазоне азимутальных углов от 0 до 360 град, что позволяет более полно с учетом условий реальной эксплуатации тестировать АТС на соответствие параметрам ЭМС.

4. На основании исследований диаграмм направленности АТС как приемной антенны показано, что оптимальный дискретный угол поворота по азимуту составляет 10 град.

5. Получено выражение, позволяющее рассчитать расстояние от АТС до полеобразующей системы при испытаниях во всем диапазоне азимутальных углов, в основе которого лежит условие попадания максимального линейного размера АТС в главный лепесток диаграммы направленности полеобразующей системы.

6. Разработана методика контрольных испытаний АТС, позволяющая в отличии от стандартной, протестировать на помехоустойчивость ЭТС к сверширокополосному электромагнитному внешнему воздействию.

7. Предложена временная форма широкополосного одиночного импульса электромагнитного воздействия в виде положительного полупериода синусоиды и перекрывающего спектр частот от 100 МГц до 1,5 ГГц, в котором при электромагнитном воздействии наиболее ожидаемы нарушения бортовых электротехнических систем.

8. Получено выражение периода следования воздействующих сверширокополосных импульсов, в основе которого лежит подход, базирующийся на воздействии поля на канал датчика положения коленчатого вала, как основного элемента управления в системе обратной связи системы управления двигателем.

9. Выбраны пиковые уровни широкополосного воздействия. При 50 В/м система управления двигателем должна соответствовать функциональному классу «А», а при напряженности поля 100 В/м – функциональному классу «В».

10. Предложен ездовой цикл для проведения комплексной оценки помехоустойчивости ЭТС (БЭК) АТС. Для данного цикла, рассчитаны

коэффициенты, позволяющие реализовать его в автоматическом режиме на динамометрическом роликовом стенде с применением программируемого робота-автопилота.

11. Разработаны ездовые циклы для контрольных испытаний на помехоустойчивость гибридных автомобилей и электромобилей, позволяющие протестировать работоспособность АТС на основных режимах работы двигателей в фазах разгона, торможения и установившихся режимах. Для данных циклов, рассчитаны коэффициенты, позволяющие реализовать их в автоматическом режиме на динамометрическом роликовом стенде с применением программируемого робота-автопилота.

12. Предложен контрольный тест, позволяющий проверить работоспособность системы «Эра ГЛОНАСС» в период ее инициализации при внешнем электромагнитном воздействии.

13. Получено выражение шага перестройки по частоте узкополосного электромагнитного воздействия и разработан алгоритм, позволяющий по сравнению со стандартным более точно найти минимальный уровень помехоустойчивости ЭТС. По результатам исследований показано, что точность нахождения уровня помехоустойчивости повышается на 12,7%.

ГЛАВА 3. ОЦЕНКА СООТВЕТСТВИЯ БОРТОВОГО ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА АВТОТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ ТРЕБОВАНИЯМ ПОМЕХОУСТОЙЧИВОСТИ

3.1 Анализ разброса параметров помехоустойчивости БЭК АТС

Как показывает практика контрольных испытаний, параметры помехоустойчивости ЭТС (БЭК) АТС одинаковых моделей и комплектаций существенно различаются. Среди 50 протестированных образцов, это отличие может достигать до 30 % (рис.3.1). При существующих методах оценки результатов испытаний на помехоустойчивость, рассмотренных в первой главе, которые сводятся к одному подходу по критерию «соответствует/не соответствует» для всего лишь нескольких образцов, при массовом производстве может сложиться ситуация, когда существенный процент БЭК АТС не будет отвечать заложенным при разработке требованиям.

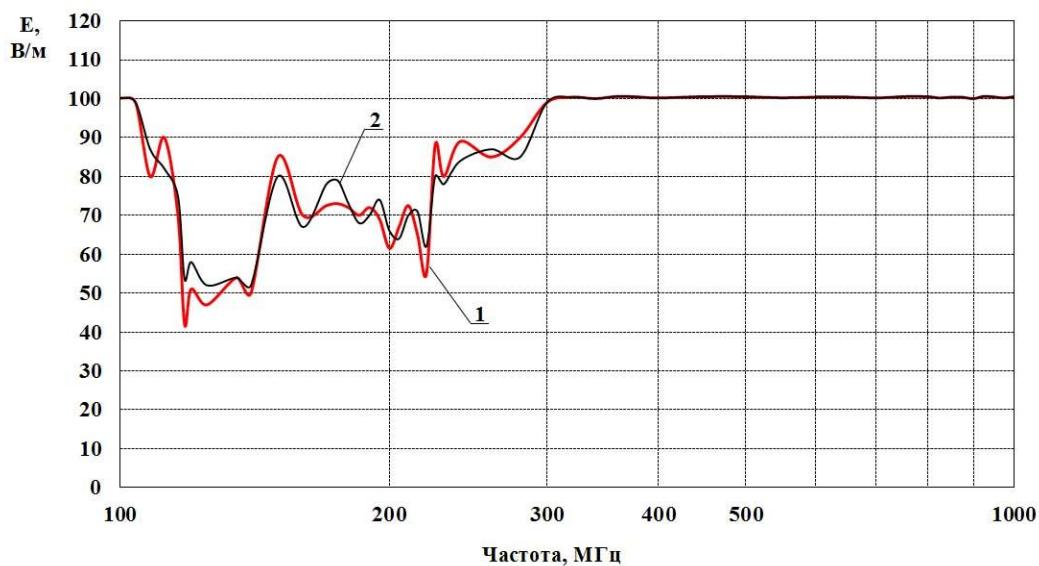


Рисунок 3.1 – Помехоустойчивость системы стеклоочистки:

1 – нижняя граница изменчивости ; 2 – верхняя граница изменчивости

Приведенная выше цифра 30% уже показывает, что существуют факторы, влияющие на помехоустойчивость. Необходимо определить, насколько они зависимы между собой. Это нужно для адекватного подхода к

статистической обработке экспериментальных данных и разработке математической модели для оценки соответствия требованиям ЭТС (БЭК) в партии автотранспортных средствах одной модели одинаковых комплектаций.

В соответствии с ISO/IEC 17025 [77], в ЭМС лаборатории должны обеспечиваться стандарты качества. Так как все современные испытательные центры отошли от тестирования на открытых площадках и применяют закрытые экранированные безэховые камеры, то там нормальные условия окружающей среды [12]: температуре окружающего воздуха: $25\pm10^{\circ}\text{C}$; относительной влажности воздуха: 45–80%; атмосферном давлении: 84,0–106,7 кПа.

Соответственно влияние нестабильности внешних условий на испытательное оборудование сведено к минимуму и ими можно пренебречь.

Дальнейший анализ позволяет выделить две группы факторов, от которых зависит помехоустойчивость. Это нестабильность параметров испытательного теста и разброс конструкторско-технологических параметров автомобильного транспорта.

К первым относятся амплитуда электромагнитного воздействия и позиционирование тестируемого АТС по отношению к полеобразующей системе. К конструкторско-технологическим параметрам, влияющим на характеристики помехоустойчивости относятся: геометрические размеры щелей и отверстий кузова; геометрические параметры внутреннего пространства кузова; конструкция жгутов проводов и их отклонение от заданной трассы; отклонения в пределах заданного допуска от номинального значения расположений блоков электротехнических систем; разброс параметров относительно номинального значения радиоэлементов ЭТС (БЭК).

3.2 Исследование влияния условий испытаний на разброс параметров помехоустойчивости

Влияние условий испытаний на разброс параметров помехоустойчивости ЭТС (БЭК) АТС одинаковых моделей и одинаковых комплектаций объясняется сложностью идентичного их воспроизведения. Особенно здесь сказывается влияние двух факторов. К первому относится сложность повторения точной амплитуды тестового электромагнитного воздействия во всем диапазоне частот. Здесь для проведения тестов применяется метод замещения. Его суть заключается в том, что при калибровке уровней электромагнитного поля в испытательной зоне в отсутствии АТС при помощи датчиков на каждой требуемой частоте устанавливается заданный уровень электромагнитного воздействия. Запоминаются значения падающих мощностей. После этого измерительные датчики убираются, а в испытательную зону помещается АТС. Затем к излучающей антенне подводится сигнал со значениями падающей мощности, равной ранее запомненной для каждой частоты и таким образом АТС подвергается требуемым электромагнитным воздействиям (рис.3.2). В этом случае погрешность установки электромагнитного поля определяется погрешностью измерительных элементов и допуском настроек тестовых уровней воздействия. Поэтому любая реализация электромагнитного излучения в заданном диапазоне частот будет отличаться от других. Соответственно ошибка в установке уровня воздействия будет вносить ошибку при определении порога помехоустойчивости. Причем эта ошибка будет равна на столько, насколько различаются по амплитуде соответствующие реализации воздействий, потому что изменение амплитуды электромагнитного воздействия ведет к аналогичному изменению наводимых помех в электрических цепях ЭТС (БЭК), т.е. в радиочастотных электромагнитных полях АТС является линейной системой (рис.3.3) [47].

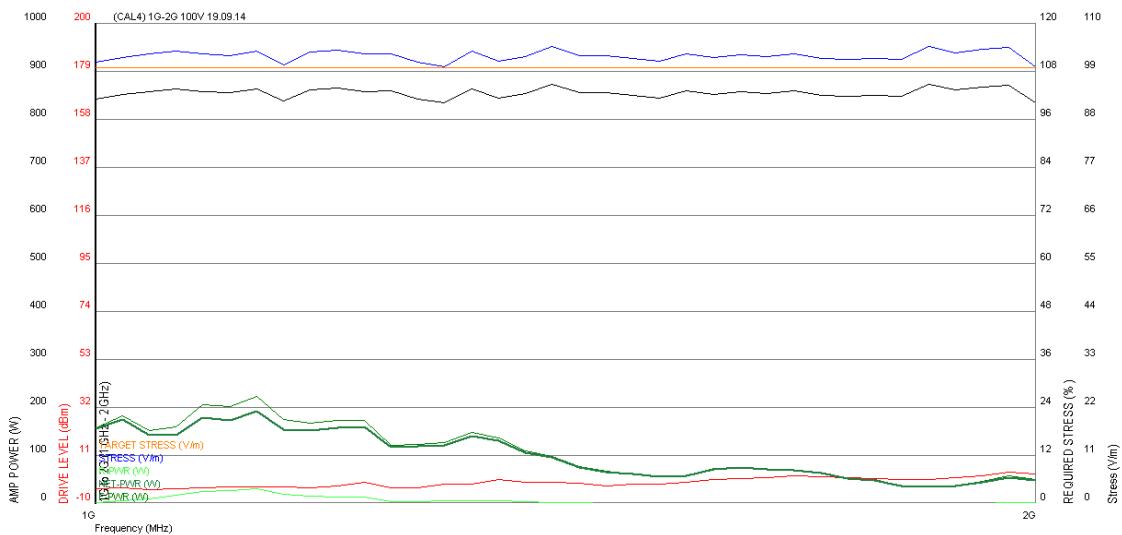


Рисунок 3.2 – Пример реализации ЭМС теста, проходящего в автоматическом режиме

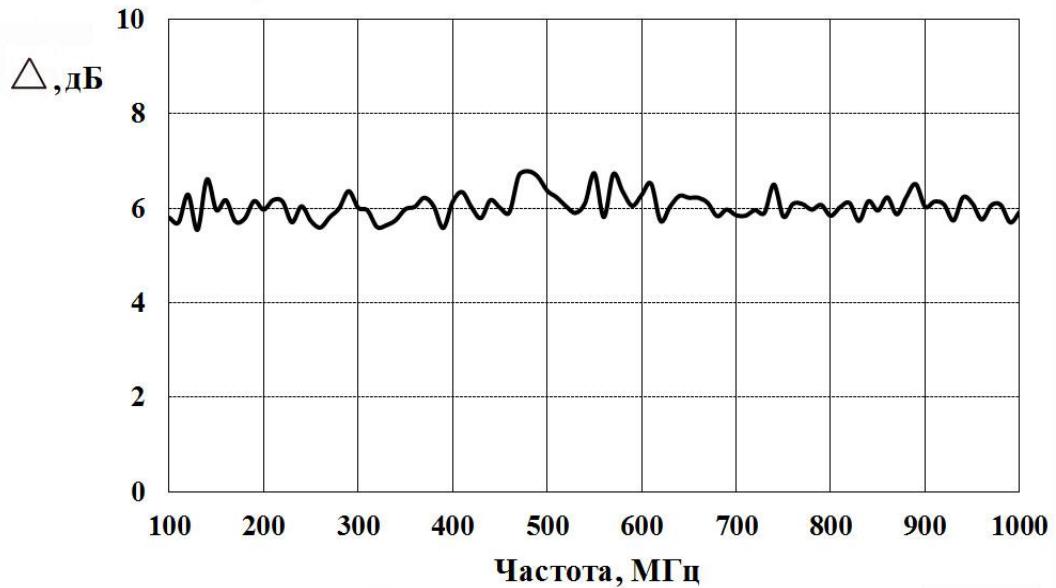


Рисунок 3.3 – Разница напряжений помех по входным цепям питания блока электронной системы управления двигателем автомобиля LADA 4x4, наведенных электромагнитными полями с амплитудами 20 и 10 В/м

Наработанные до настоящего времени теоретические положения, а также сложившаяся производственная практика показывают, что в условиях многофакторного воздействия, в массовом производстве продукции, при исследовании вероятности изменения исследуемых величин, в том числе электротехнических, следует использовать нормальный закон распределения. Также это положение подтверждает проведенный анализ статистических

данных для 50 АТС, часть данных представлена в (табл. 3.1), Здесь в пределах $\pm 3\sigma$ может наблюдаться отклонение амплитуды электромагнитного излучения до 4 В/м. Пример отклонений помехоустойчивости ЭТС при двух различных тестах приведен на рисунке 3.4.

Таблица 3.1

Статистические данные уровней электромагнитного излучения

F, МГц	Напряженность поля в контрольной точке, В/м (номер изделия)										m, В/м	σ , В/м
	№1	№2	№3	№4	№5	№6	№7	№8	№9	№10		
100	31,7	31,9	31,8	31,3	31,1	31,5	31,4	31,1	31,3	31,8	31,5	0,36
150	31,6	31,7	31,4	31,1	31,2	31,3	31,1	31,0	30,4	31,6	31,3	0,37
200	31,1	31,4	31,2	31,3	31,2	31,2	31,2	31,2	31,4	31,4	31,2	0,18
250	31,4	31,7	31,5	31,1	31,2	31,2	31,3	31,0	31,2	31,5	31,2	0,28
300	31,6	31,7	31,7	31,4	31,3	31,4	31,4	31,2	31,4	31,6	31,4	0,25
350	31,8	31,7	31,8	31,9	31,7	31,6	31,7	31,9	31,0	31,8	31,6	0,37
400	31,5	31,5	31,6	31,2	31,1	31,4	31,3	31,1	31,1	31,8	31,4	0,26
450	31,3	31,3	31,2	31,1	31,7	31,4	31,3	31,2	31,3	31,6	31,4	0,35
500	31,3	31,4	31,4	31,2	31,6	31,3	31,5	31,3	31,2	31,5	31,3	0,17
550	31,7	31,5	31,5	31,3	30,9	31,4	31,4	31,4	31,0	31,7	31,4	0,29
600	31,9	31,9	32,0	31,0	31,2	31,4	31,3	31,1	30,9	31,4	31,4	0,40
650	31,3	31,3	31,2	31,0	31,7	31,2	31,2	30,9	31,6	30,7	31,2	0,30
700	30,7	30,8	30,7	30,7	31,2	31,0	31,6	31,2	30,8	31,6	31,0	0,38
750	31,0	31,0	30,9	31,6	31,4	31,3	31,5	31,4	31,6	31,7	31,3	0,28
800	31,7	31,1	31,2	31,1	31,2	31,2	31,3	31,1	30,7	31,4	31,2	0,26
850	30,6	30,8	30,8	31,0	31,0	31,1	31,4	31,0	31,7	31,1	31,1	0,33
900	30,5	30,5	30,5	31,2	31,2	31,1	31,5	31,1	31,6	31,6	31,1	0,46
950	31,0	31,1	30,8	31,0	31,0	30,9	31,1	31,0	30,4	31,0	30,9	0,21

1000	31,8	31,8	31,7	31,1	31,3	31,6	31,3	31,4	32,1	31,7	31,6	0,30
1050	31,7	31,7	31,6	31,1	31,3	31,5	31,6	31,3	31,2	32,0	31,5	0,35
1100	31,9	32,0	31,9	30,9	31,2	31,4	31,7	30,8	31,5	31,9	31,4	0,44
1150	32,0	31,9	32,0	31,2	31,2	31,6	31,8	31,1	31,9	31,8	31,6	0,38
1200	31,9	32,1	31,9	31,0	31,1	31,4	32,0	31,1	31,3	31,7	31,4	0,44
1250	31,8	31,5	31,8	31,4	31,4	31,5	31,4	31,6	31,4	31,7	31,5	0,17
1300	32,1	32,1	31,9	31,3	30,6	31,3	31,2	30,4	30,9	31,5	31,3	0,67
1350	32,2	32,0	31,9	30,9	30,8	31,4	31,0	31,1	31,6	31,2	31,4	0,47
1400	31,8	31,8	31,8	31,6	31,6	31,6	31,2	31,8	31,0	31,9	31,6	0,30
1450	31,7	31,7	31,7	30,9	31,0	31,3	31,4	30,9	31,5	31,8	31,3	0,37
1500	32,1	32,1	32,1	31,5	31,4	31,5	31,6	31,6	30,8	31,4	31,5	0,42
1550	32,0	32,0	32,0	31,3	31,3	31,6	32,0	31,2	31,9	31,4	31,6	0,36
1600	32,0	31,8	32,0	31,3	31,3	31,5	31,7	31,3	30,9	31,3	31,5	0,34
1650	31,9	32,0	31,8	31,4	31,4	31,6	31,1	31,5	31,1	31,8	31,6	0,31
1700	31,5	31,5	31,5	31,6	31,6	31,4	31,4	31,6	30,5	31,8	31,4	0,35
1750	31,6	31,6	31,6	31,4	31,4	31,5	31,3	31,4	31,5	31,7	31,5	0,11
1800	31,4	31,5	31,5	31,5	31,4	31,5	31,4	31,4	31,2	31,3	31,5	0,23
1850	31,3	31,3	31,3	31,1	31,3	31,3	31,2	31,1	31,7	31,0	31,3	0,19
1900	31,1	31,3	31,2	30,5	30,6	31,1	31,3	30,9	31,7	31,3	31,1	0,34
1950	30,9	30,8	31,7	31,2	31,2	31,3	31,1	31,1	31,3	31,7	31,3	0,31
2000	31,9	32,0	31,8	31,3	31,3	31,5	31,5	31,4	30,7	31,5	31,5	0,43

В эксперименте, результаты которого приведены на рисунке 3.4 АТС с тестируемой климатической системой устанавливался в заданные координаты и тестировался в диапазоне частот от 100 до 500 МГц с определением уровней помехоустойчивости. Затем по завершению первого теста, АТС подвергался повторному аналогичному воздействию, где также определялись уровни помехоустойчивости. Исследования проводились на холостом ходу двигателя при работающей климатической системе. Характер

сбоя проявлялся в виде прекращения подачи воздуха в салон. После снятия воздействия работоспособность системы восстанавливалась. Экспериментально показано, что разница в уровнях помехоустойчивости может достигать более 2,3 В/м.

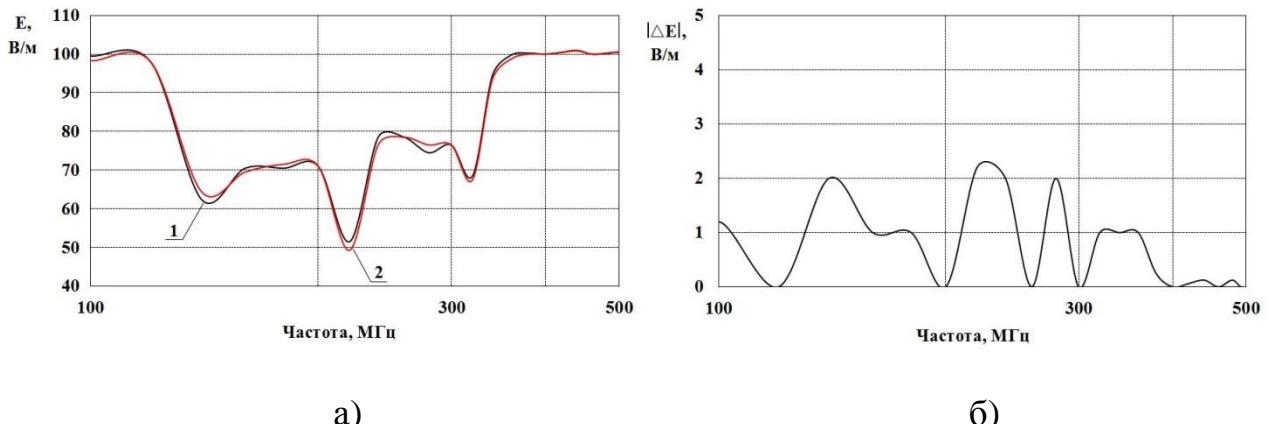


Рисунок 3.4 – Помехоустойчивость климатической системы для 50 АТС в двух тестах:

а) средний уровень помехоустойчивости; б) модуль разницы между средними уровнями помехоустойчивости; 1 – тест №1; 2 – тест №2

Ко второму фактору относится поперечное позиционирование тестируемого АТС по отношению к полеобразующей системе. Что соответственно будет определять некий разброс наводимых в электрических цепях электромагнитных помех.

В случае даже если изначально позиционировать последующий АТС точно также, как и предыдущий, то в процессе эксперимента во время ездового цикла будет происходить отклонение АТС от начальной поперечной установки за счет рыскания при движении. Особенно уход более выражен при разгоне и торможении.

Физика процесса заключается в том, что щели и отверстия кузова АТС смещаются относительно направления излучения антенны. Из-за этого и происходит изменение параметров проникающего поля во внутренне пространство кузова. Также, в точках, лежащих на линии, проходящей через

точку калибровки поля и перпендикулярной оси максимального излучения наблюдаются максимумы и минимумы по отношению к калибровочному значению электромагнитного поля, обусловленные переотражением излучаемого сигнала от пола и суммированием его с основным лучом (рис.3.5) [56]. Результаты испытаний из-за сильных поперечных смещений могут быть не достаточно точно интерпретированы, т.к. в этом случае АТС может попасть в сильно искаженное, по отношению к калиброванному значению, электромагнитное поле. Наглядным доказательством чего являются результаты эксперимента, приведенного на рисунке 3.6, на котором приведена зависимость напряжения бортовой сети автомобиля в зависимости от поперечного смещения.

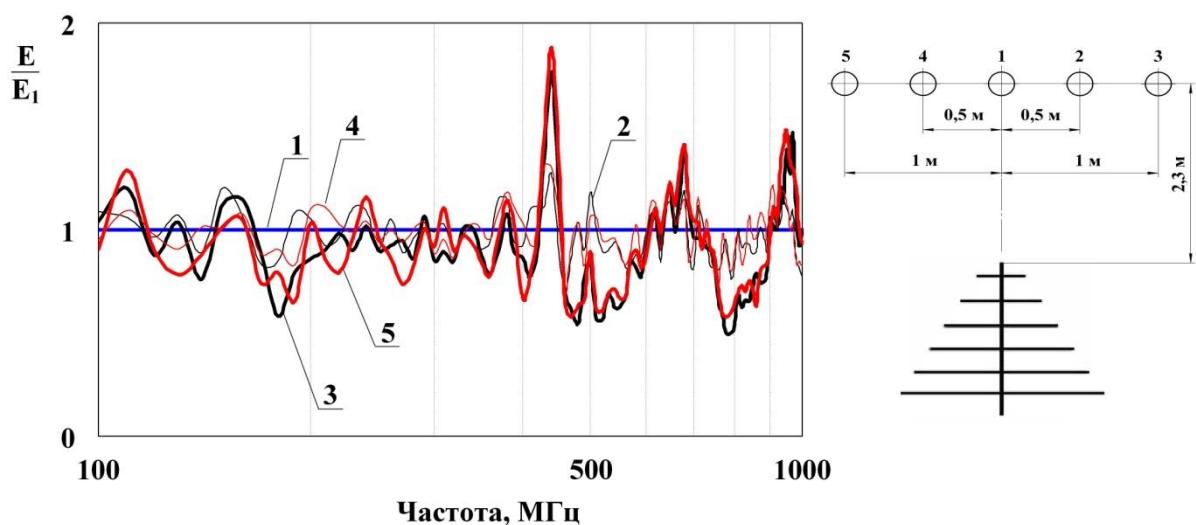


Рисунок 3.5 – Относительный уровень электромагнитного поля в различных точках, расположенных на линии, перпендикулярной направлению максимума излучения антенны: 1 – в точке №1 (калибровочное значение); 2 – в т.№2; 3 – в т.№3; 4 – в т.№4; 5 – в т.№5

При контрольных испытаниях работоспособности генератора напряжения частота электромагнитного воздействия задавалась 210 МГц, а уровень – 40 В/м. Другие общие условия согласно [61-63]. Как видно из графика, при боковых смещениях от -30 до 10 см происходит сбой генератора напряжения, и он перестает вырабатывать электроэнергию (знак минус означает смещение влево относительно основного направления

излучения). Электропитание БЭК осуществляется от аккумуляторной батареи (напряжение бортовой сети 12,3 В). В диапазоне боковых смещений от 15 до 30 см генератор восстанавливает свою работоспособность и вырабатывает напряжение требуемого уровня – 13,6 В.

Вывод из данного эксперимента вытекает следующий: при большом разбросе поперечного позиционирования двух и более АТС одинаковых моделей и комплектаций, могут получится противоположные результаты испытаний, что приведет к необъективной оценке.

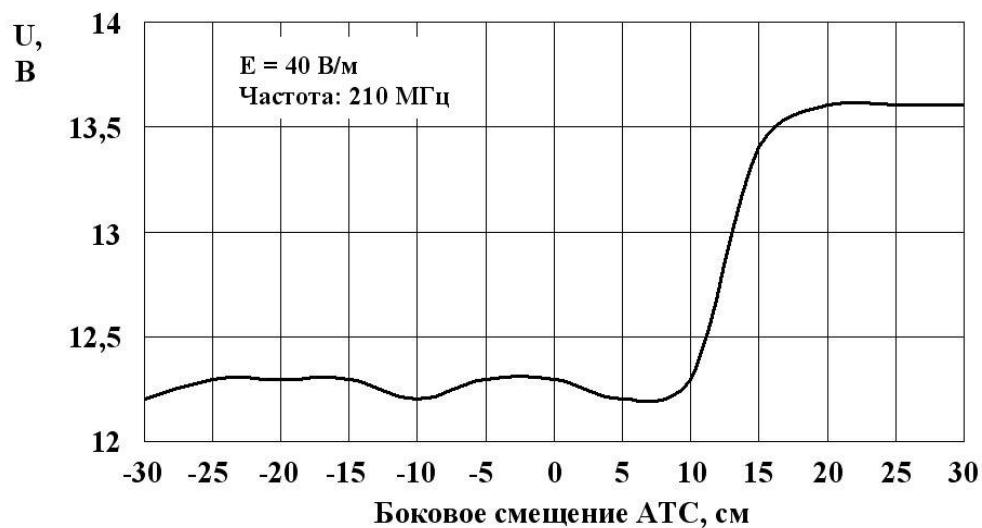


Рисунок 3.6 – Зависимость напряжения бортовой сети АТС в зависимости от бокового смещения

Возникает вопрос: какой должен быть максимальный диапазон боковых смещений для обеспечения повторяемости результатов с минимальной погрешностью. Данные проведенных экспериментальных исследований приведены в таблице 3.2. Условия эксперимента следующие: диапазон воздействующих частот 100 – 2000 МГц; шаг перестройки по частоте 50 МГц; уровень внешнего поля в контрольной точке 30 В/м; расстояние от автомобиля до излучающей антенны – 2,3 м; измерения уровня напряженности электромагнитного поля проводились в центре верхней части подкапотного пространства автомобиля LADA 2180 (LADA Vesta); диапазон боковых смещений автомобиля: 40 см, шаг смещения: 5 см.

Таблица 3.2

Уровни электромагнитного излучения в подкапотном пространства
автомобиля

Частота МГц	Смещение вправо					Смещение влево			
	20 см	15 см	10 см	5 см	0	5 см	10 см	15 см	20 см
	Уровень								
B/м	B/м	B/м	B/м	B/м	B/м	B/м	B/м	B/м	B/м
100	29,13	29,31	28,56	28,24	29,47	25,33	20,97	19,97	19,21
150	39,29	38,65	36,71	34,35	35,27	34,16	34,34	34,22	34,31
200	37,62	36,34	36,16	33,35	33,43	31,55	32,55	31,37	30,5
250	43,59	51,99	49,02	54,09	54,87	54,24	50,63	50,5	50,19
300	42,05	43,39	44,15	44,47	44,66	43,6	41,61	40,22	40,38
350	34,63	34,29	34,51	34,09	30,21	33,48	32,68	32,4	32,76
400	27	28,89	30,11	32,19	35,35	38,78	38,71	40,73	41,7
450	50,6	49,79	49,37	48,25	47,99	48,75	49,67	48,9	48,6
500	24,68	23,37	23,52	20,95	19,07	15,42	15,18	14,76	14,49
550	27,55	31,07	30,59	30,18	30,42	30,09	27,56	27,34	29
600	10,72	10	10,06	9,32	8,87	9	10,26	11,96	12,41
650	11,39	10,42	9,34	8,34	7,31	7,49	7,83	8,37	8,37
700	13,76	11,64	9,68	7,99	8,29	9,26	10,87	11,15	10,5
750	5,75	6,38	7,55	8,69	11,3	13,47	15,04	15,22	16
800	27,14	25,96	21,8	19,56	17,94	17,28	16,37	17,22	17,98
850	11,99	7,47	4,02	3,7	4,3	7,87	10,25	13,22	14,56
900	17,13	14,39	12,54	13,01	16,44	21,96	25,14	26,8	28,19
950	14,66	16,3	19,1	22,14	26,06	26,5	28,25	29,21	28,11
1000	12,68	13,31	15,09	15,81	16,5	16,12	15,87	14,75	14,64

1050	10,66	11,83	13,66	13,16	13,17	13,29	12,14	11,46	14,68
1100	16,47	17,65	20,06	22,14	22,56	25,21	25,35	24,77	25,73
1150	8,68	7,91	8,35	8,65	8,23	7,66	9,36	11,25	13,51
1200	13,54	12,28	13,27	15,65	16,29	17,76	16,52	15,97	14,11
1250	10,46	10,82	10,12	8,91	9,61	10,23	11,17	10,4	9,28
1300	11,25	11,4	10,3	8,98	7,18	7,4	7,66	8,33	8,59
1350	8,8	7,03	7,6	7,32	7,17	7,43	9,45	10,46	11,16
1400	6,47	6,4	6,04	5,09	4,97	5,84	8,17	10,06	10,99
1450	8,81	9,87	10,4	11,2	11,54	10,28	8,59	8,33	7,5
1500	10,87	11,48	11,52	11,67	11,67	12,44	13,64	14,43	14,19
1550	6,13	6,65	6,58	5,91	6,71	7,61	8,37	9,86	9,19
1600	7,31	7,49	7,05	4,84	4,22	4,48	5,72	6,53	6,06
1650	4,4	4,3	4,32	5,46	6,17	7,57	8,05	8,49	7,5
1700	1,31	2,53	4,06	6,91	8,61	10,19	11,56	11,8	11,59
1750	5,42	6,22	8,01	9,93	10,72	10,72	9,93	9,4	8,51
1800	6,93	7,43	7,37	7,57	6,75	6,53	6,03	5,23	4,24
1850	7,99	6,85	7,42	6,61	7,22	7,17	6,32	5,13	4,42
1900	7,69	8,02	7,49	7,42	7,9	6,96	6,47	6,74	6,95
1950	4,26	5,93	5,77	5,78	5,21	6,36	6,3	7,34	8,07
2000	3,88	3,19	3,05	5,28	6,53	7,02	8,05	8,01	7,87

По результатам измерений рассчитано относительное отклонение уровня электромагнитного поля по отношению к оси максимального излучения антенны:

$$\delta = \frac{|E_0 - E_x|}{E_0} \times 100\% , \quad (3.1)$$

где E_0 – напряженность электромагнитного поля в точке измерения при совпадении осей симметрии автомобиля и максимального излучения

антенны; E_x – напряженность электромагнитного поля в точке измерения при соответствующем боковом смещении относительно оси максимального излучения антенны.

Результаты расчетов отображены на рисунке 3.7.

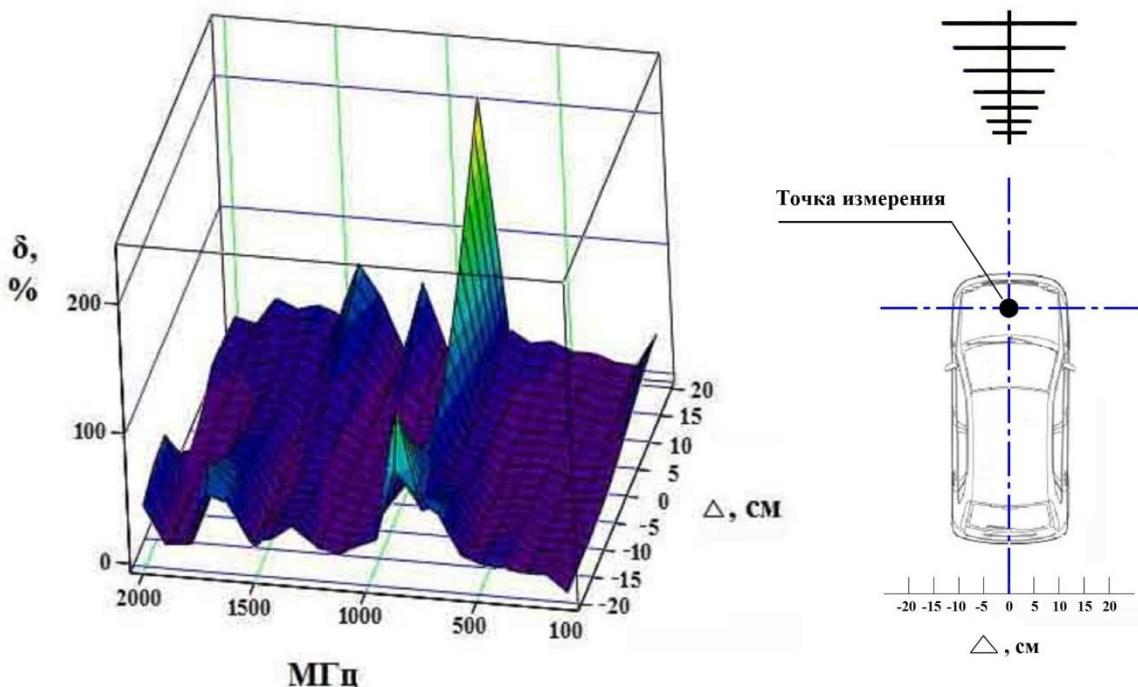


Рисунок 3.7 – Относительное отклонение уровня электромагнитного поля в зависимости от бокового смещения автомобиля

Из графика видно, что в общем случае относительное отклонение возрастает при увеличении бокового смещения. В эксперименте максимальное значение составляет 238 % на частоте 850 МГц. Анализ данных показал, для того, чтобы относительное отклонение не превышало 30 % необходимо поперечно позиционировать АТС с точностью не более ± 3 см. Данное условие является выполнимым даже при рыскании АТС во время ездового цикла.

Был поставлен эксперимент по определению уровней помехоустойчивости в диапазоне боковых смещений ± 3 см., результаты которого приведены на рисунке 3.8. Испытывался автомобиль LADA GRANTA с тестируемой климатической системой. Сначала он

устанавливался со смещением три сантиметра вправо относительно оси максимального излучения антенны и тестиировался в диапазоне частот от 100 до 500 МГц. Затем смещался в поперечном направлении относительно излучающей антенны на 6 см влево и производилось аналогичное предыдущему испытание.

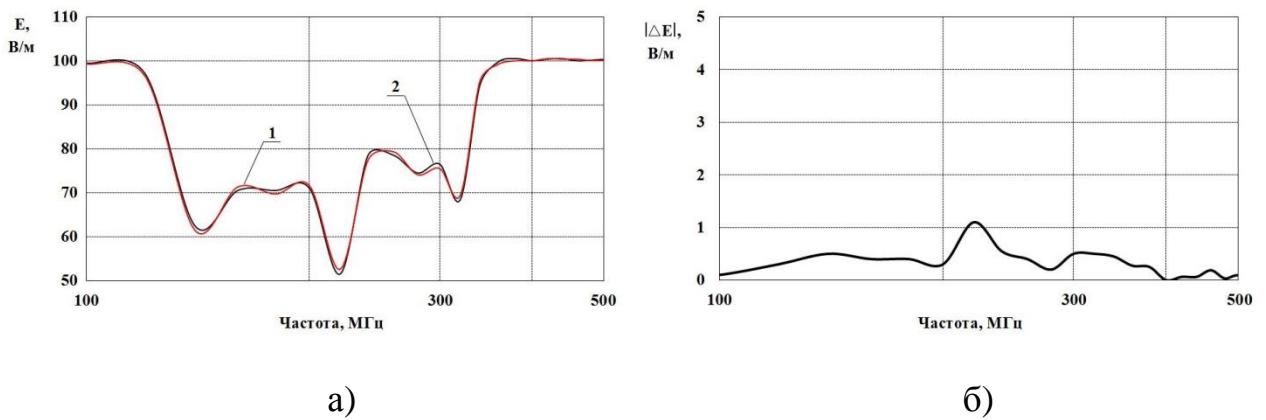


Рисунок 3.8 – Помехоустойчивость климатической системы при разнице в боковом смещении 6 см: а) уровни помехоустойчивости; б) модуль разницы между уровнями помехоустойчивости; 1 – поперечное позиционирование №1; 2 – поперечное позиционирование №2

Чтобы исключить влияние рыскания автомобиля во время движения, он испытывался на холостом ходу двигателя при работающей климатической системе. Характер сбоя проявлялся в виде прекращения подачи воздуха в салон, с последующим восстановлением работоспособности системы после прекращения электромагнитного воздействия, т.е. характеризовался как класс С. Экспериментально показано, что разница в уровнях помехоустойчивости достигает 1,2 В/м.

3.3 Исследование влияния конструкторско-технологических параметров АТС на помехоустойчивость БЭК

Автомобильное средство является сложной приемной антенной. Геометрические размеры щелей и отверстий кузова определяют уровень проникновения во внутреннее пространство электромагнитного излучения. Если длина щели кратна длине падающей волны, то она является

эффективным переизлучателем поля во внутреннее пространство АТС. Отверстия с позиции электродинамики в первом приближении также представляют собой запредельные волноводы. Их критическая частота тем ниже, чем больше отверстие. Визуальный анализ щелей и отверстий говорит о том, что кузов АТС не является эффективным экраном (рис.3.9). Здесь величина разброса по амплитуде поля внутри АТС одинаковых моделей и комплектаций будет зависеть от их идентичности геометрических параметров.

Электромагнитное излучение во внутреннем пространстве АТС взаимодействует с различными металлическими поверхностями, образованными кузовом и устройствами. С позиции электродинамики автотранспортное средство представляет собой набор сложных резонаторов, которые и возбуждаются полем через имеющиеся отверстия и щели. Можно выделить три основных резонатора: салон, моторный отсек и багажник. Согласно расчетам у легковых АТС резонансы появляются на частоте 90 МГц. Эти данные подтверждаются экспериментальными исследованиями [47] (рис.3.10 и 3.11). Уровень электромагнитного поля внутри АТС на резонансных частотах в несколько раз превышает амплитуду внешнего воздействия. Экспериментально показано, что может наблюдаться семикратное превышение.

Не идентичность размеров и форм отверстий, щелей и внутреннего пространства АТС определяет различия в уровнях полей в заданных точках транспортных средств (50 АТС) одинаковых моделей и комплектаций (рис.3.12). Также смещаются и резонансные частоты.



Рисунок 3.9 – Щели и отверстия кузова как места проникновения излучения во внутреннее пространство автотранспортного средства

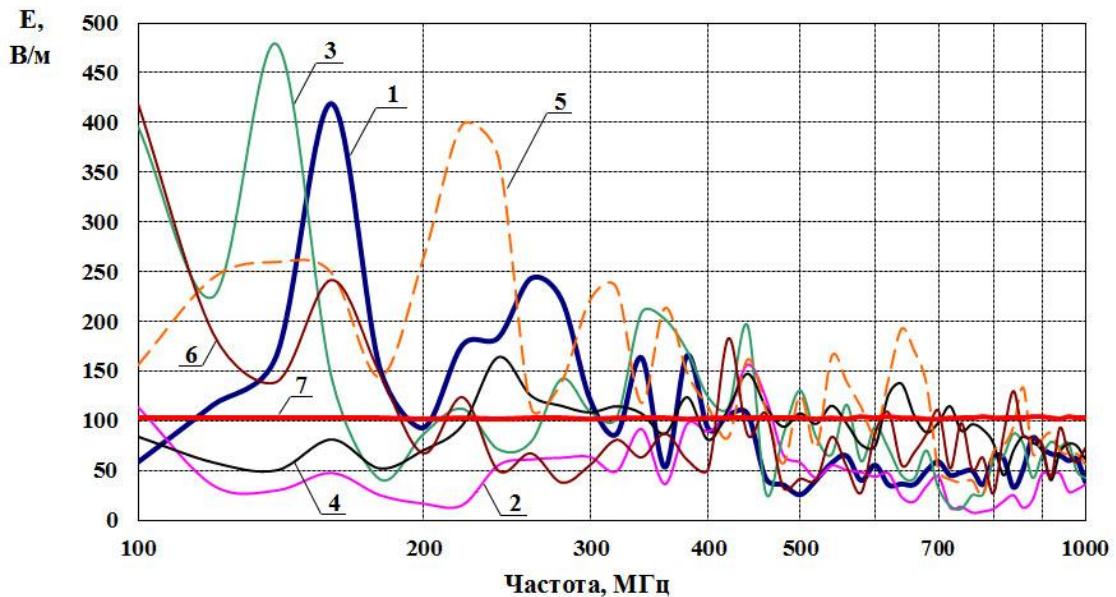


Рисунок 3.10 – Уровни электромагнитного излучения внутри автомобиля LADA VESTA: 1 – магнитола; 2 – антиблокировочная система; 3 – электромеханическая дроссельная заслонка; 4 – комбинация приборов; 5 – генератор; 6 – блок управления системы надувных подушек безопасности; 7 – уровень излучения внешнего излучения

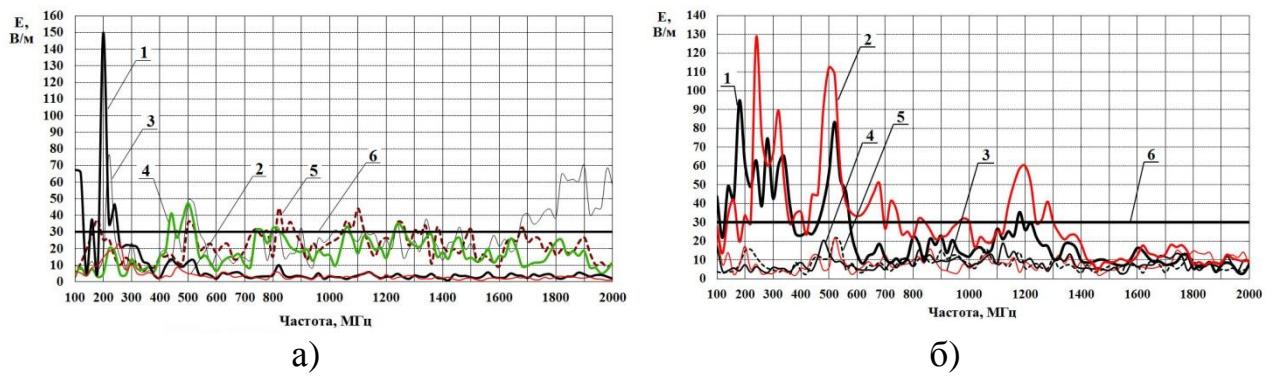


Рисунок 3.11 – Уровни электромагнитного излучения внутри автомобиля LADA X-RAY:

а) излучающая антenna спереди автомобиля; б) излучающая антenna сзади автомобиля; 1 – блок электронной системы управления двигателем; 2 – генератор; 3 – магнитола; 4 – комбинация приборов; 5 – блок управления системы надувных подушек безопасности; 6 – воздействующий уровень излучения

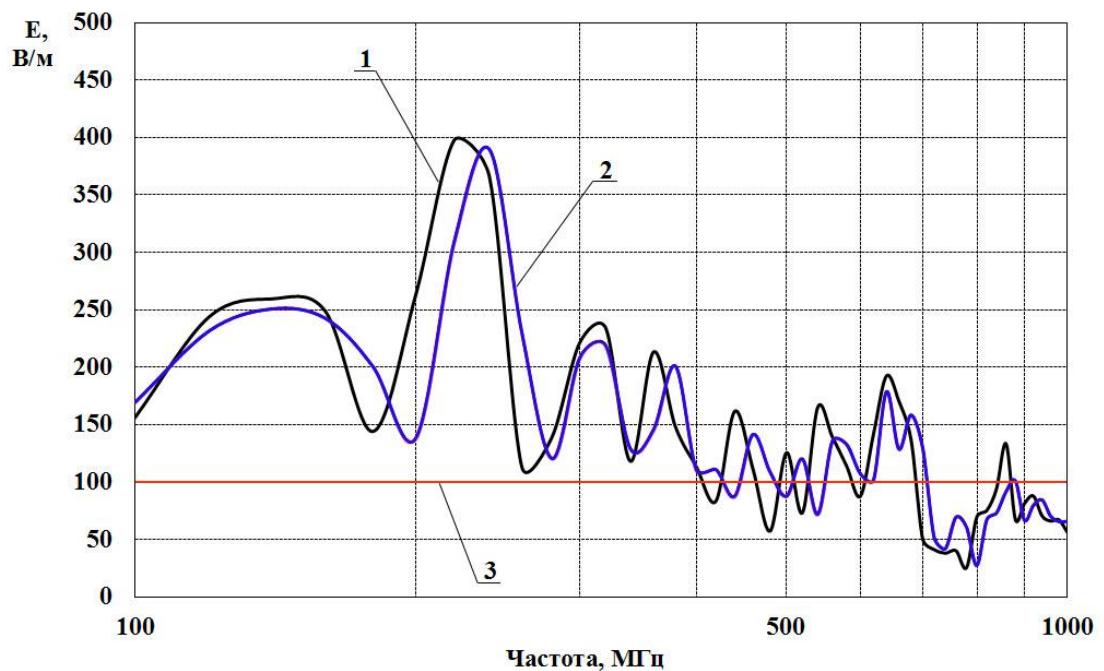


Рисунок 3.12 – Границы уровня электромагнитного излучения внутри автомобилей LADA VESTA одинаковых комплектаций (рядом с генератором напряжения):

1 – верхняя граница; 2 – нижняя граница; 3 – уровень излучения внешнего излучения

Электромагнитное излучение, проникая во внутреннее пространство АТС, нарушает функции БЭК по двум каналам. Первым каналом являются

жгуты, а вторым - отверстия и щели, имеющиеся в самом устройстве.

Жгуты проводов в АТС имеют очень сложную конфигурацию (рис. 3.13). Провода являются приемными антеннами и на протяжении всей своей трассы взаимодействуют с проникшим внутрь кузова излучением. Проходя через пучность излучения на них наводится высокий уровень помех. Поэтому чем длиннее трасса жгута, тем выше вероятность попадания его в зону максимума воздействия. Протяженность конкретного провода может превышать длину АТС.

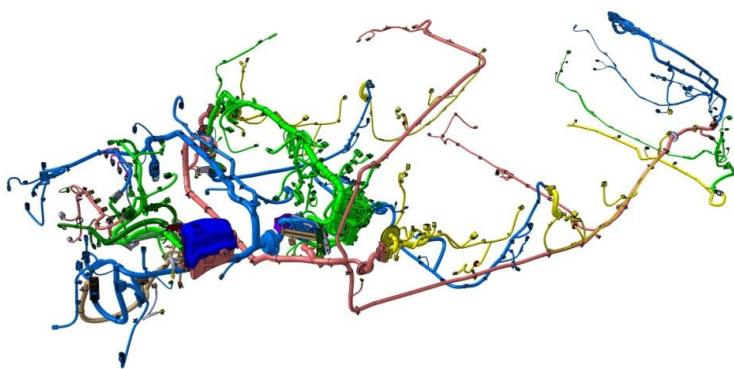


Рисунок 3.13 – Пример реализации конфигурации жгутов в легковом автомобиле

Исследования вносимого затухания жгутов проводов позволяют сделать вывод о том, что электромагнитное излучение влияет на БЭК удаленно и локально. В первом случае помехи наводятся на некотором участке жгута, который находится на значительном расстоянии от ЭТС (БЭК) и затем уже распространяются по проводам, вызывая нарушение работоспособности устройства. При локальном характере интенсивное электромагнитное излучение наводит помехи в локальной области расположения конкретного устройства. Чем выше частота наведенных помех, тем больше она затухает, распространяясь по проводам. Это видно из рисунка 3.14, где помеха на частоте свыше 1,2 ГГц, пройдя по двухпроводной линии жгута, расстояние 3 м ослабевает на 40 дБ. Схема исследования вносимого затухания приведена на рисунке 3.15. На один конец двухпроводной линии подавался сигнал с

генератора, а на другом измерялся уровень сигнала. В эксперименте шаг перестройки по частоте задавался 0,25 МГц. Отсюда следует, что нарушение работоспособности электротехнических систем на высоких частотах обусловлены в большей степени локальным характером.

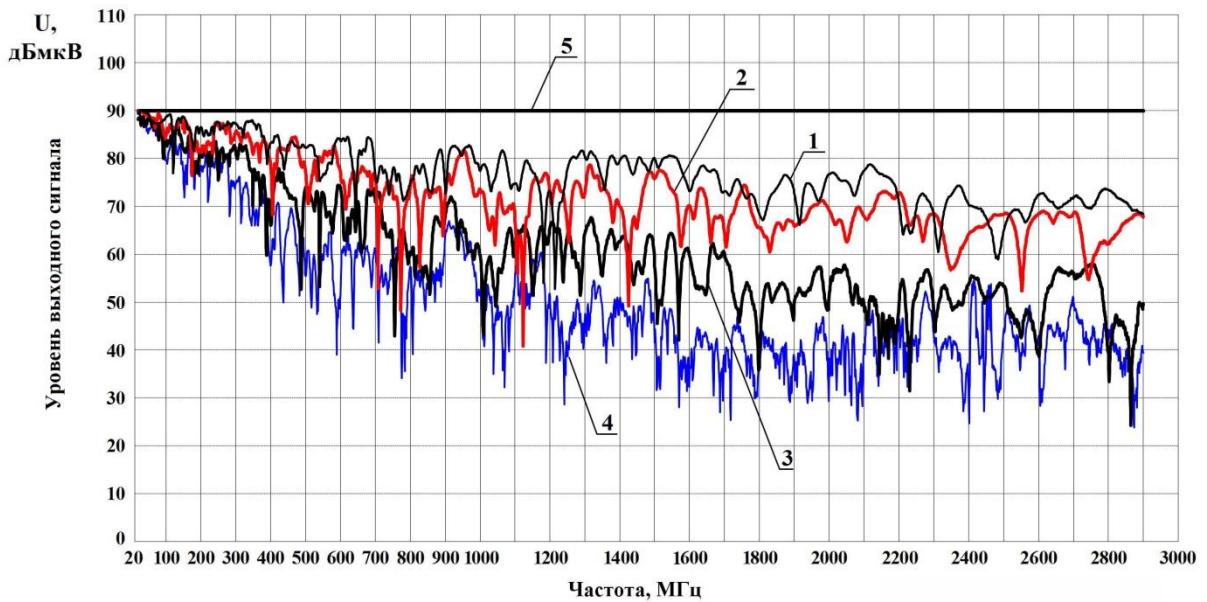


Рисунок 3.14 – Исследование вносимого затухания двухпроводной линии в составе жгутов различной длины: 1 – 0,5 м; 2 – 1 м; 3 – 2 м; 4 – 3 м;
5 – входной уровень сигнала с генератора

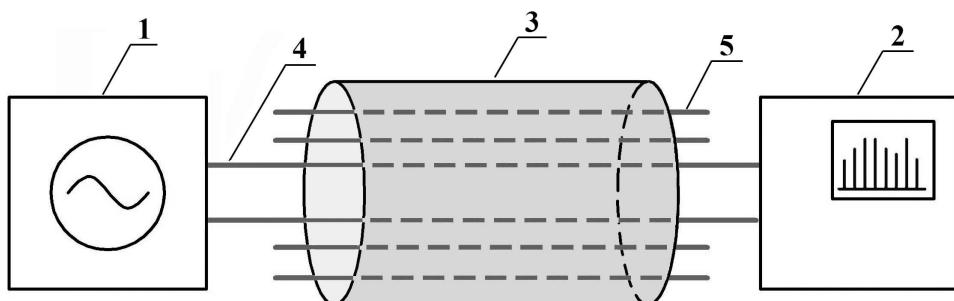


Рисунок 3.15 – Схема исследования характеристик затухания сигналов в проводах: 1 – генератор; 2 – измерительный приемник; 3 – жгут проводов; 4 – двухпроводная линия; 5 – ненагруженные провода жгута

Удаленное и локальное влияния электромагнитного излучения по жгутам проводов на работоспособность ЭТС (БЭК) подтверждается также измерениями наведенных помех (рис.3.16) [47]. Условия, при котором проводился эксперимент следующие: уровень внешнего электромагнитного поля задавался 10 В/м; шаг сканирования по исследуемому диапазону частот

составлял 10 МГц; параметры помех измерялись на входе выбранной электротехнической системы АТС; ЭТС работали в штатном режиме.

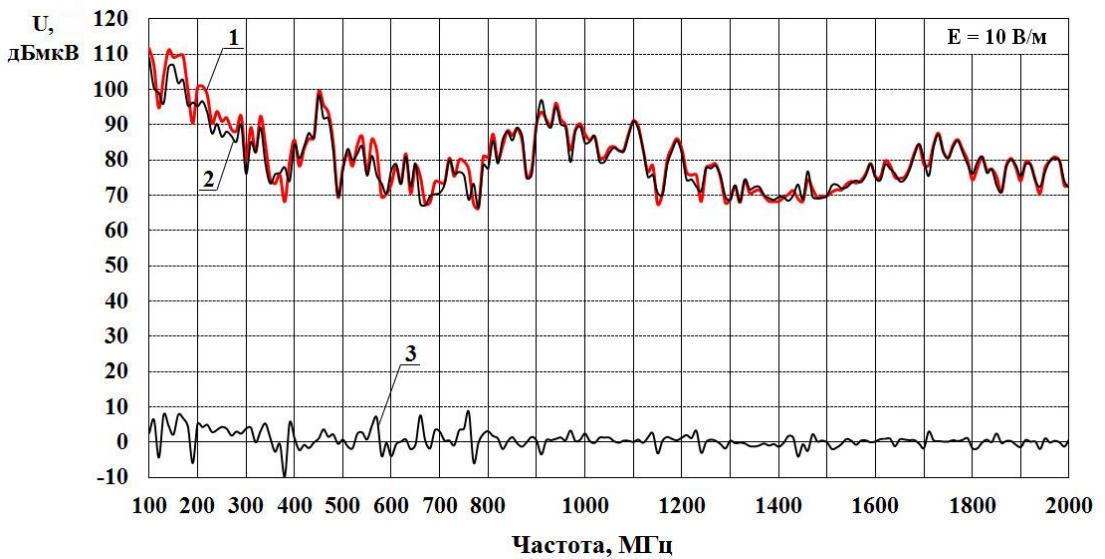


Рисунок 3.16 – Уровень наведённых помех в бортовой сети по входу КСУД (легковой автомобиль №3): 1 – штатная комплектация автомобиля; 2 – подкапотное пространство покрыто радиопоглощающим материалом; 3 – разница 1 и 2 графиков

Цель эксперимента (рис. 3.16) состояла в измерении параметров помех при двух разных электромагнитных средах внутри автомобиля. Уровень электромагнитных помех измерялся в бортовой сети на входе по цепям питания контроллера системы управления двигателем. Сам контроллер системы управления двигателем располагался в салоне. Кривая №1 была получена при воздействии на АТС штатной комплектации, а кривая №2 – при помещении радиопоглощающих материалов градиентного типа в подкапотном пространстве. Радиопоглощающий материал искажал параметры электромагнитного поля только в подкапотном пространстве. Соответственно в салоне локальное поле в области контроллера системы управления двигателем не искажалось.

Из рисунка 3.16 видно, что до частоты 800 МГц разница между кривыми №1 и №2 составляет от 6 до 10 дБ. Что свидетельствует об удаленном влиянии излучения. Свыше 800 МГц разница не превышает 4 дБ. Это говорит

о том, что уровень локальных наведенных электромагнитных помех в цепях питания на входе контроллера системы управления двигателем выше, чем уровень помех, наведенных на этих же частотах на удаленном расстоянии. Так как параметры электротехнических систем и АТС различаются, то четкую границу частоты, разделяющую локальное и удаленное влияние невозможно обозначить. Ее значение может изменяться в пределах 300 - 1000 МГц.

Проведенные эксперименты объясняют, почему нарушения работоспособности ЭТС (БЭК) при воздействии ЭМП малых энергий наиболее вероятно в диапазоне от 80 МГц до 1,4 ГГц.

Сейчас из-за несовершенства технологии изготовления жгутов проводов нельзя обеспечить полную повторяемость образцов [47]. Ни один производитель не может добиться этого. При анализе выбранного произвольным образом сечения двух однотипных жгутов координаты одного и того же провода будут отличаться (рис. 3.17) с вероятностью 0,98. Такого рода технологические особенности изготовления влияют на разброс уровней наводимых помех на одни и те же провода разных АТС. Отклонения в пределах допуска на трассы в свою очередь определяют различия в электрических распределенных параметрах каждой линии передач. На высоких частотах это влияет на характер затухания сигнала. Эксперименты показывают (рис. 3.17), что после частоты 250 МГц характеристики затуханий двух одинаковых жгутов начинают отличаться. Разница при этом может достигать 20 дБ.

Если у провода есть отвод, то он является неоднородностью и в зависимости от частоты работает как емкость или индуктивность. Поэтому на высоких частотах подобного рода неоднородности вносят затухания (рис. 3.18). Подобного рода отводы делаются у проводов электропитания. Здесь на уровень помех в конкретном проводе влияет также и координатное место

сбивки отвода, а оно от образца к образцу также изменяется в пределах заданного допуска.

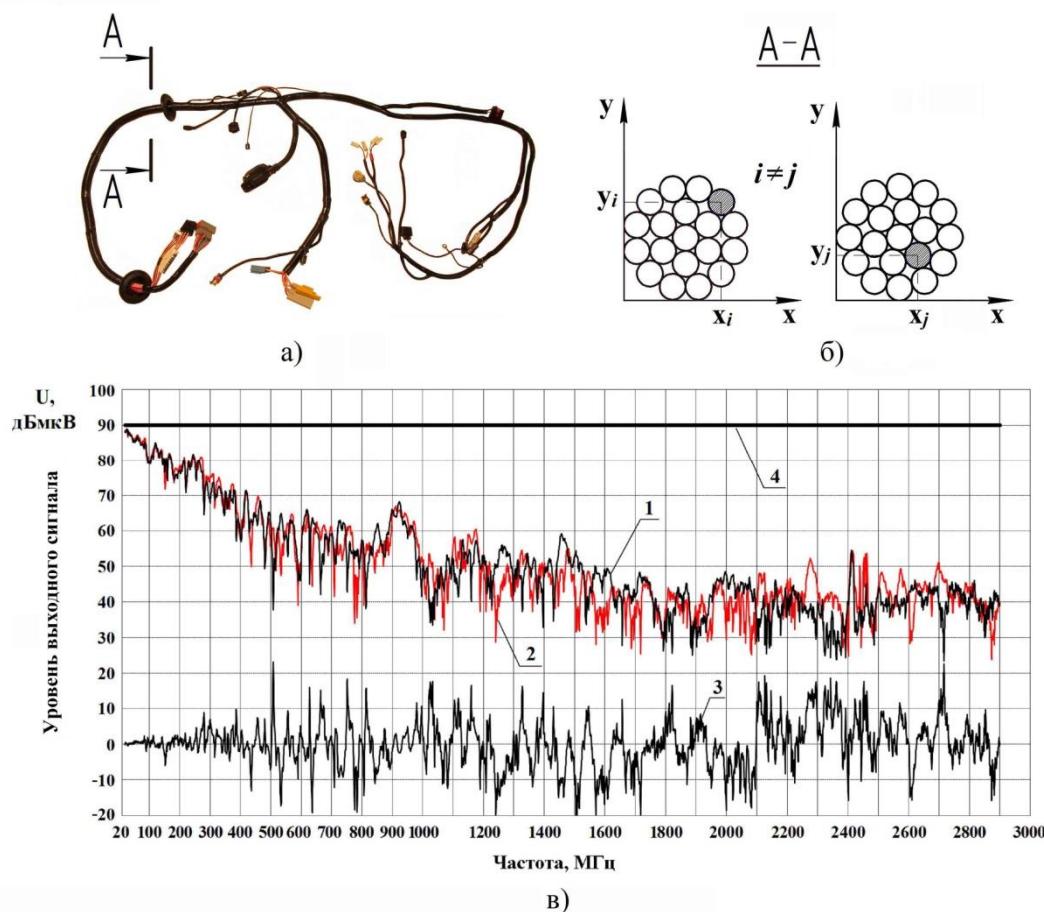


Рисунок 3.17 – Затухание двухпроводных линий жгутов из одной партии длиной 3 м: а) жгут; б) расположение проводов в разных жгутах; в) экспериментальные данные; 1 – двухпроводная линия №1; 2 – двухпроводная линия №2; 3 – разница характеристик №1 и №2; 4 – входной сигнала с генератора

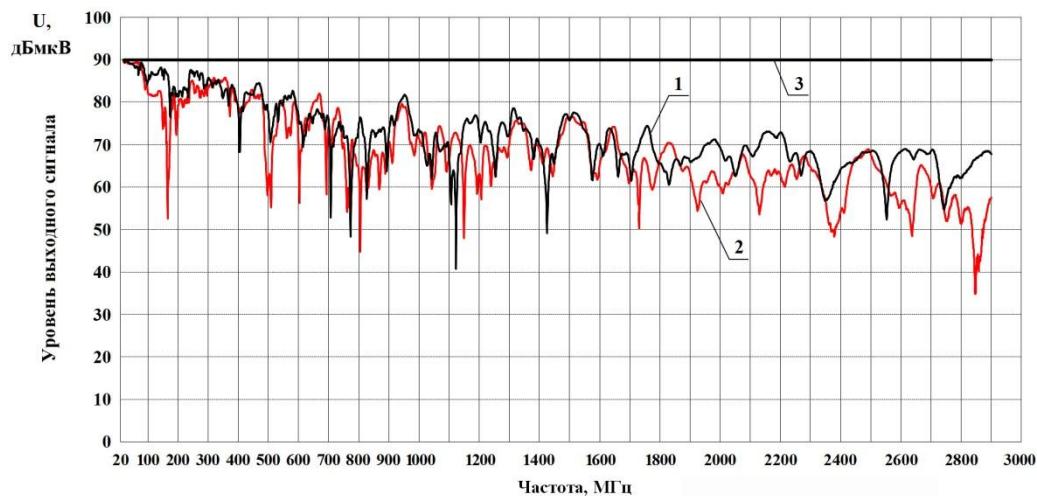


Рисунок 3.18 – Вносимое затухание двухпроводной линии длиной 1 м: 1 – без отвода; 2 – с отводом длиной 30 см, сделанном в середине линии

Проведенные исследования показывают, что из-за отличающихся характеристик затухания проводов жгутов ЭТС (БЭК) АТС одинаковых моделей и комплектаций также могут иметь разные характеристики помехоустойчивости.

Другие два фактора: отклонения в пределах заданного допуска от номинального значения расположений блоков ЭТС (БЭК) и разброс параметров относительно номинального значения радиоэлементов электротехнических систем в меньшей степени влияют на помехоустойчивость. Как показали исследования уровни помехоустойчивости изменяются в пределах 6 % (рис.3.19). Такие выводы были сделаны при испытаниях отдельно взятых изделий автомобильной электроники (рис.3.20).

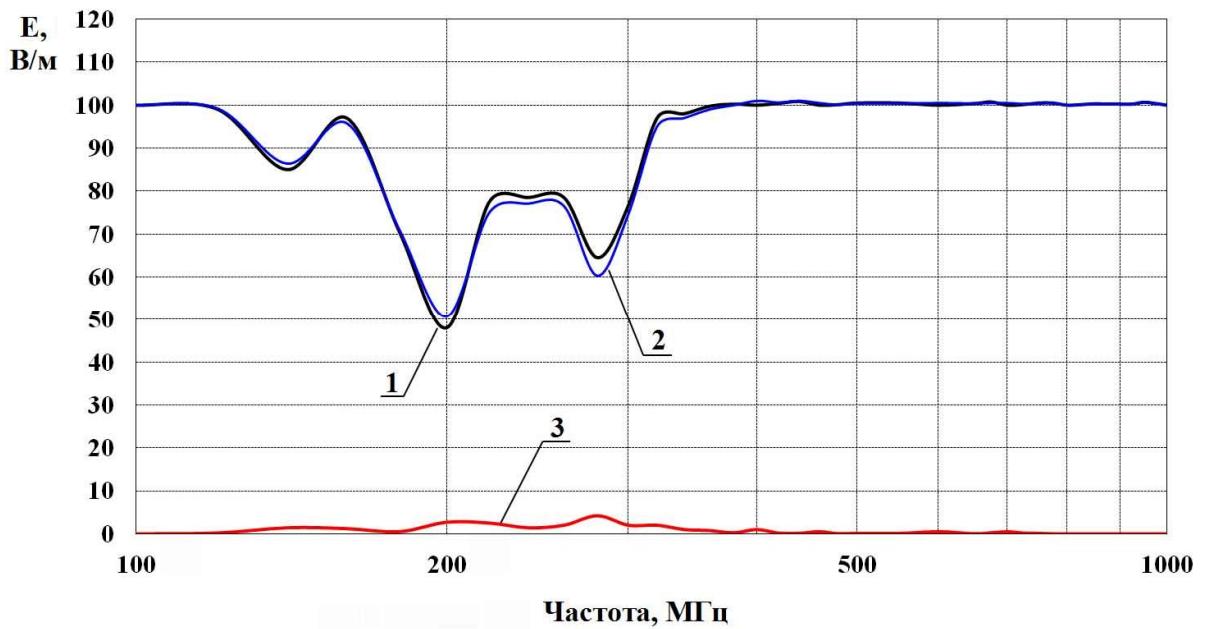


Рисунок 3.19 – Помехоустойчивость комбинации приборов как отдельного изделия: 1 – комбинация приборов установлена в заданное положение; 2 – комбинация приборов смещена относительно заданного положения на 1 см вправо и замененными фильтрующими конденсаторами по входам цепи питания; 3 – модуль разности кривых 1 и 2

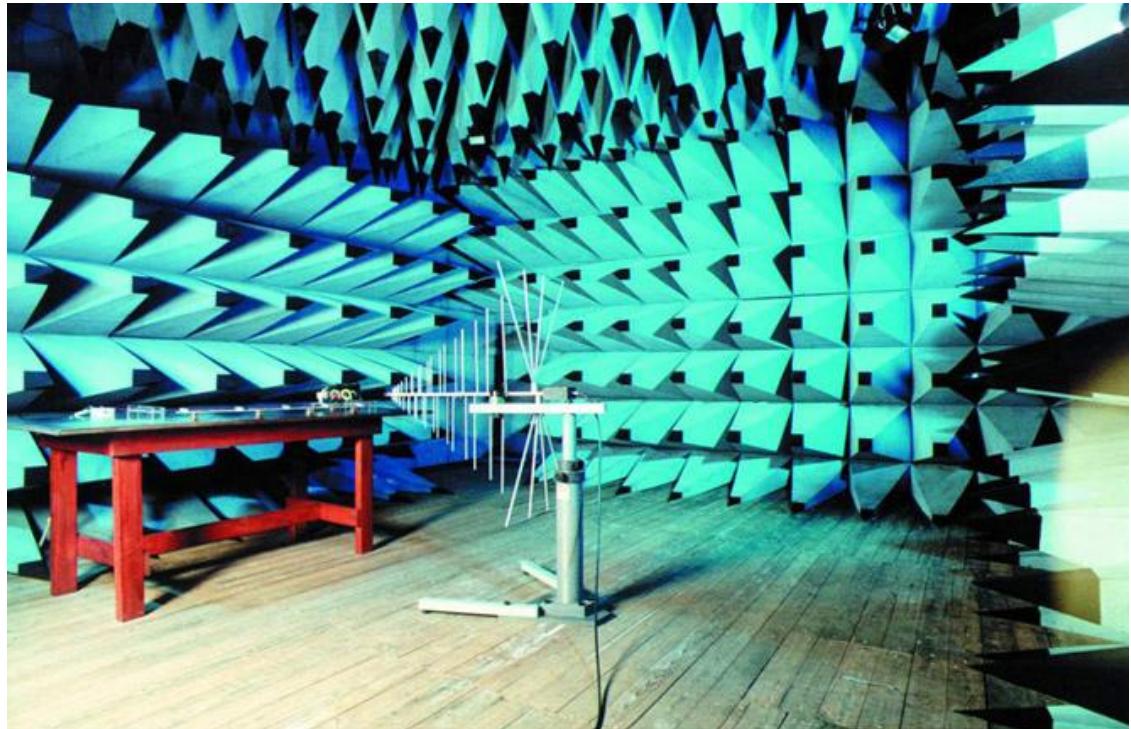


Рисунок 3.20 – Общий вид испытаний на помехоустойчивость изделий электротехнических систем АТС

3.4 Разработка вероятностной математической модели и критерия оценки соответствия БЭК партии АТС по требованиям помехоустойчивости

Тестирование на помехоустойчивость к электромагнитному воздействию выборки АТС с установленными на них ЭТС (БЭК) системами требует значительного объема временных ресурсов. Практически из-за этого проведение такого объема испытаний не представляется возможным. Поэтому при массовом и мелкосерийном производстве, как было отмечено в выводах главы №1, требуются оценки соответствия, основанные на вероятностном подходе, который базируется на статистическом анализе данных по результатам испытаний малой выборки, в которой как правило три или четыре АТС.

Анализ факторов, от которых зависит помехоустойчивость БЭК, к которым относятся: амплитуда электромагнитного воздействия, позиционирование тестируемого автомобиля по отношению к полеобразующей системе, геометрические размеры щелей и отверстий кузова, геометрические параметры внутреннего пространства кузова, конструкция жгутов проводов и их отклонение от заданной трассы, отклонения в пределах заданного допуска от номинального значения расположений блоков электротехнических систем, а также разброс параметров относительно номинального значения радиоэлементов электротехнических систем, показывает, что они определяют вид характеристики помехоустойчивости независимо друг от друга. Их совокупность влияет на конкретные параметры уровней и частот нарушений работоспособности. Это и объясняет различия помехоустойчивостей даже у АТС одной модели и одинаковой комплектации. Поэтому независимо от того на какой частоте произошёл сбой, важен уровень воздействия, при котором он появился, потому что нарушения работоспособности у разных АТС в этом случае имеют одну и туже особенность [54]. Этот вывод важен для дальнейшего построения модели оценки соответствия требованиям

помехоустойчивости. Он позволяет не учитывать особенности спектрального распределения, а использовать только наименьшие значения уровней характеристик помехоустойчивостей каждой ЭТС (БЭК) АТС.

Как было показано ранее, в процессе изготовления ЭТС (БЭК) и самого АТС, в массовом производстве, вследствие определенной вариабельности технологических процессов, конкретные технические параметры, также обладают вариабельностью в определенных границах стабильности. Рассуждая аналогично, случайный характер будут иметь и тестовые параметры. В тоже время перечисленные факторы являются независимыми друг от друга. Исходя из этого и основываясь на центральной предельной теореме А.Н. Ляпунова, минимальный уровень помехоустойчивости ЭТС (БЭК) будет подчиняться нормальному закону распределения случайной величины [5]. Тогда вероятностная модель оценки соответствия требованиям помехоустойчивости ЭТС и БЭК для партии автотранспортных средств по результатам контрольного тестирования ограниченной выборки АТС содержит в себе два первых момента Гауссовского закона распределения: математическое ожидание и дисперсию.

По результатам испытаний каждого АТС определяется минимальное значение помехоустойчивости [46]. Для двухмерного случая, где АТС с установленной ЭТС (БЭК) ориентирован передней частью к излучающей антенне, минимум находится из условия

$$E(f) \rightarrow E_{\min}. \quad (3.2)$$

Если проводятся расширенные испытания с меняющимся дискретным угловым позиционированием по отношению к излучающей антенне, то по результатам теста каждого АТС составляется матрица помехоустойчивости, из которой берется минимальное значение:

$$\left| \begin{array}{cccc} E_{f_{\min}, \alpha_{\min}} & E_{f_{\min}, \alpha_{\min} + \Delta \alpha k} & \dots & E_{f_{\min}, \alpha_{\max}} \\ E_{f_{\min} + \Delta f m, \alpha_{\min}} & E_{f_{\min} + \Delta f m, \alpha_{\min} + \Delta \alpha k} & \dots & E_{f_{\min} + \Delta f m, \alpha_{\max}} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ E_{f_{\max}, \alpha_{\min}} & E_{f_{\max} + \Delta f m, \alpha_{\min} + \Delta \alpha k} & \dots & E_{f_{\max}, \alpha_{\max}} \end{array} \right| \rightarrow E_{\min}. \quad (3.3)$$

Учитывая, то что тестовая выборка очень ограничена, то по результатам проведенных испытаний первые два момента уровня помехоустойчивости нельзя точно определить. Здесь находятся соответствующие им эффективные оценки. Эффективная оценка математического ожидания находится из выражения

$$\bar{E}_{\min} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n E_{i \min}. \quad (3.4)$$

где $E_{i \min}$ – минимальный уровень помехоустойчивости i^{th} каждой исследуемой электротехнической системы АТС; n – количество тестируемых образцов.

Эффективная оценка дисперсии определяется как

$$S^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (E_{i \min} - \bar{E}_{\min})^2. \quad (3.5)$$

Далее задача сводится к тому, чтобы с определенной долей вероятности найти значения обоих моментов. В этом случае необходимо найти их интервальные оценки. Так как закон распределения уровня помехоустойчивости известен и является нормальным, то интервальная оценка математического ожидания находится по распределению Стьюдента. Выбор этого закона распределения обоснован тем, что оно не зависит от обоих моментов. Тогда надежность или вероятность того, что математическое ожидание попадет в некоторый интервал будет равна

$$P\left(\bar{E}_{\min} - t_{\alpha} \frac{S}{\sqrt{n}} < m_{E_{\min}} < \bar{E}_{\min} + t_{\alpha} \frac{S}{\sqrt{n}}\right) = 1 - \alpha, \quad (3.6)$$

где t_{α} – коэффициент Стьюдента. Для заданной α он находится по известным таблицам.

Формула (3.6) дает для решения задачи достаточно большой диапазон значений математического ожидания. В этом случае более обоснованно следует подходить с позиции наихудшего варианта. Тогда математическое ожидание будет равно:

$$m_{E_{\min}} = \bar{E}_{\min} - t_{\alpha} \frac{S}{\sqrt{n}}. \quad (3.7)$$

При нахождении дисперсии адекватно применить распределение χ^2 , потому что изначально математическое ожидание неизвестно

Тогда надежность или вероятность того, что дисперсия попадет в некоторый интервал будет равна

$$P\left(\frac{(n-1)S^2}{\underline{\chi}_{\alpha}^2} < \sigma_{E_{\min}}^2 < \frac{(n-1)S^2}{\overline{\chi}_{\alpha}^2}\right) = 1 - \alpha, \quad (3.8)$$

где χ^2 – коэффициенты распределения. Для заданной α они находятся по известным таблицам.

Соответственно интервальная оценка среднеквадратического отклонения ($\sigma_{E_{\min}}$) при такой же вероятности будет равна

$$P\left(\sqrt{\frac{(n-1)S^2}{\underline{\chi}_{\alpha}^2}} < \sigma_{E_{\min}} < \sqrt{\frac{(n-1)S^2}{\overline{\chi}_{\alpha}^2}}\right) = 1 - \alpha. \quad (3.9)$$

Отсюда доверительный интервал, в который с заданной надежностью $1 - \alpha$ попадает $\sigma_{E_{\min}}$ равен

$$\sqrt{\frac{(n-1)S^2}{\underline{\chi}_\alpha^2}} < \sigma_{E_{\min}} < \sqrt{\frac{(n-1)S^2}{\underline{\chi}_\alpha^2}}. \quad (3.10)$$

При выборе среднеквадратического отклонения более обоснованно следует подходить с позиции наихудшего варианта. Тогда $\sigma_{E_{\min}}$ будет равно наибольшей интервальной границе:

$$\sigma_{E_{\min}} = \sqrt{\frac{(n-1)S^2}{\underline{\chi}_\alpha^2}}, \quad (3.11)$$

где $\underline{\chi}_\alpha^2$ находится по известным таблицам для $k=n-1$ и $p=1-\alpha/2$.

Физический смысл формулы (3.11) означает, что выбирается значение наибольшего рассеяния случайной величины (минимального уровня помехоустойчивости).

Найдя нужные числовые характеристики нормального закона распределения из условия худшего варианта, рассчитывается вероятность соответствия БЭК требованиям ЭМС партии АТС одной модели и одинаковой комплектации

$$P_{ATC} = \frac{1}{\sqrt{2\pi} \sqrt{\frac{(n-1)S^2}{\underline{\chi}_\alpha^2}}} \int_{E_{np}}^{\infty} e^{-\frac{\left[E - \left(E_{\min} - t_\alpha \frac{S}{\sqrt{n}} \right) \right]^2}{\left[\frac{2(n-1)S^2}{\underline{\chi}_\alpha^2} \right]}} dE, \quad (3.12)$$

где E_{np} – предельно-допустимый уровень помехоустойчивости для электротехнических систем АТС.

Эта вероятность сравнивается с предельной вероятностью P_{np} , характеризующей предельно-допустимым показателем качества. Если $P_{ATC} \geq P_{np}$, то партия считается соответствующей предельно-допустимыми нормам помехоустойчивости. Соответственно дальнейшие мероприятия по увеличению защищенности электротехнических систем к электромагнитному

воздействию не требуются. При результате $P_{ATC} < P_{np}$ необходимо проводить доработки с целью повышения помехоустойчивости.

3.5 Методика расчета оценки соответствия требованиям помехоустойчивости БЭК для партии АТС

Полученная выше математическая модель и критерий позволяют разработать методику расчета оценки соответствия требованиям помехоустойчивости ЭТС (БЭК) для партий АТС. Действующим в настоящее время критерием прохождения изделия в составе транспортного средства является его работоспособность при воздействии некоторого заданного уровня внешнего электромагнитного излучения в регламентируемом диапазоне частот. Для гражданского автотранспорта как было это уже показано в главе №1 такие контрольные параметры для его сертификации составляют 30 В/м в диапазоне от 20 МГц до 2 ГГц. Если тестировать ЭТС, воздействуя на них только заданным уровнем, то в этом случае могут возникнуть трудности в оценке большой партии. Потому что если полученные на испытания в ограниченном количестве образцы соответствуют заданным требованиям, то полученная информация для расчетов будет малоинформативная. Вследствие чего для выявления уровней помехоустойчивости необходимо проводить тестирование БЭК АТС на повышенных режимах нагружения полем. Исходя из этого в тест-плане на испытания задается коэффициент k , который определяет во сколько раз тестовое внешнее электромагнитное воздействие должно превышать предельно-допустимый уровень поля. Он выбирается из диапазона от $k = 2$ до $k = 4$.

У подготовленной выборки, состоящей из 3 – 4 АТС средств одной модели и одинаковых комплектаций подвергают экспериментально исследуют характеристики помехоустойчивости и определяют наименьший уровень E_{min} . В зависимости от того как проводятся испытания: в одной

позиции или с меняющимся угловым позиционированием по отношению к излучающей антенне, E_{\min} определяется на основании формул (3.2) и (3.3).

По полученным данным, используя формулы (3.4) и (3.5) рассчитывается эффективная оценка математического ожидания \bar{E}_{\min} и дисперсия S^2 .

Выбирается уровень надежности оценок математического ожидания и дисперсии помехоустойчивости электротехнических систем АТС. Как правило он соответствует предельно-допустимому показателю качества. Для автомобильной продукции гражданского назначения наименее допустимая $P_{np} = 0,8$, а для специального назначения $P_{np} = 0,95 \dots 0,98$.

Далее на основании заданной надежности и с учетом количества испытуемых образцов по таблицам выбираются коэффициенты Стьюдента и χ^2 , которые для надежности 80% равны: $t_\alpha = 1,886$, а $\underline{\chi}_\alpha^2 = 0,21$. Затем по формулам (3.7) и (3.11) вычисляются наиболее ожидаемые значения $m_{E_{\min}}$ и $\sigma_{E_{\min}}$.

Зная $m_{E_{\min}}$ и $\sigma_{E_{\min}}$, соответствии с (3.12) находится вероятность соответствия требованиям БЭК партии АТС одной модели и одинаковой комплектации, которое сравнивается с предельной вероятностью P_{np} , характеризующей предельно-допустимым показатель качества. На основании результатов данного сравнения принимается решение о целесообразности проведения доработок для повышения помехоустойчивости электротехнических систем в составе АТС.

Пример расчета.

1. Количество отобранных для испытаний автомобилей LADA KALINA с серийными контроллерами системы управления двигателем: 3 образца.

2. Общие условия эксперимента:

- позиционирование автомобиля: согласно общим требованиям стандарта R10-03, т.е. его ориентация передней частью к излучающей антенне;
- диапазон воздействующих частот: 100 – 1000 МГц;
- шаг перестройки по частоте: логарифмический 2%;
- тип воздействующего сигнала: гармонический немодулированный.
- уровень максимального воздействующего электромагнитного излучения в заданном диапазоне частот: 100 В/м

Характеристики помехоустойчивости, полученные по результатам экспериментов всех трех автомобилей, приведены на рисунке 3.21.

3. Предельно-допустимый уровень помехоустойчивости E_{np} : 30 В/м.

4. Заданная предельная вероятность P_{np} : 0,8.

Результаты эксперимента:

- автомобиль LADA KALINA №1: $E_{min}=54$ В/м (частота 200 МГц);
- автомобиль LADA KALINA №2: $E_{min}=60$ В/м (частота 150 МГц);
- автомобиль LADA KALINA №3: $E_{min}=63$ В/м (частота 170 МГц).

Характер нарушения работоспособности: прекращение работы двигателя из-за сбоя контроллера системы управления двигателем.

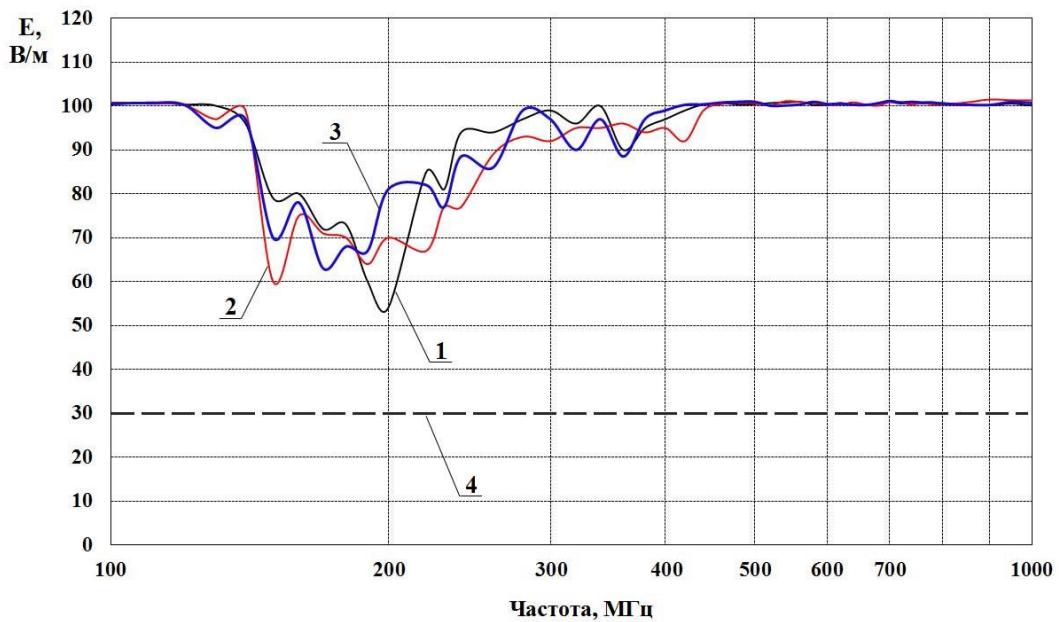


Рис.3.21 – Характеристики помехоустойчивости автомобилей LADA KALINA: 1 – №1; 2 – №2; 3 – №3; 4 – предельно-допустимый уровень помехоустойчивости

Результаты расчета:

$$\bar{E}_{\min} = \frac{1}{3} \sum_{i=1}^3 E_{i \min} = 59 \text{ B/m}$$

$$S^2 = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^3 (E_{i \min} - \bar{E}_{\min})^2 = 21$$

$$S=4,58$$

Табличное значение коэффициента Стьюдента t_α при надежности оценки $P=0,8$ равно 1,866.

$$m_{E_{\min}} = \bar{E}_{\min} - t_\alpha \frac{S}{\sqrt{2}} = 52,88 \text{ B/m}$$

Табличное значение коэффициента χ^2_α при надежности оценки $P=0,8$ равно 0,21.

$$\sigma_{E_{\min}} = \sqrt{\frac{(n-1)S^2}{\chi_{\alpha}^2}} = 14,14$$

$$P = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \sqrt{\frac{(n-1)S^2}{\chi_{\alpha}^2}} \int_{E_{np}}^{\infty} e^{-\frac{[E - (\bar{E}_{\min} - t_{\alpha} \frac{S}{\sqrt{n}})]^2}{\frac{2(n-1)S^2}{\chi_{\alpha}^2}}} dE = 0,947$$

$$P \geq P_{np}, \text{ т.к. } 0,947 \geq 0,8.$$

Вывод: автомобили модельного ряда LADA KALINA одинаковой комплектации соответствуют требованиям по помехоустойчивости к внешнему электромагнитному воздействию с уровнем 30 В/м в диапазоне частот 100 – 1000 МГц. Проведение мероприятий по увеличению защищенности контроллеров системы управления двигателем к электромагнитному воздействию не требуется.

Сделанный вывод относится к конкретной комплектации АТС и является практическим примером оценки. Положительный результат говорит о достаточности примененных мероприятий по помехозащищенности электротехнических систем. Если при проведении испытаний других комплектаций или моделей результат будет отрицательным, то необходимо повышать помехозащенность электротехнических систем АТС.

3.6 Выводы по третьей главе

- Проведен анализ, который показал, что существуют две группы факторов, определяющих разброс уровней помехоустойчивости ЭТС (БЭК) в составе АТС одинаковых моделей и комплектаций. Это нестабильность параметров испытательного теста и разброс конструкторско-технологических параметров автомобильного транспорта. Экспериментально определено, что разброс уровней помехоустойчивости у двух АТС одной модели и одинаковой комплектации составил 30%.

2. К нестабильности параметров испытательного теста относятся амплитуда электромагнитного воздействия и позиционирование тестируемого автотранспортного средства по отношению к полеобразующей системе. Наложено условие на точность поперечного позиционирования АТС относительно оси максимального излучения антенны, составляющее не более ± 3 см, которое позволяет обеспечить отклонение уровня электромагнитного поля от требуемого на величину не превышающую 30%.

3. Проведены исследования и показано, что к конструкторско-технологическим параметрам, влияющим на характеристики помехоустойчивости относятся: геометрические размеры щелей и отверстий кузова, геометрические параметры внутреннего пространства кузова, конструкция жгутов проводов и их отклонение от заданной трассы, отклонения в пределах заданного допуска от номинального значения расположений блоков ЭТС и разброс параметров относительно номинального значения радиоэлементов ЭТС.

4. Доказано, что все факторы, определяющие разброс уровней помехоустойчивости БЭК АТС, являются независимыми. Их значения по отношению к конкретному тесту имеют случайный характер. На основании этого, основываясь на центральной предельной теореме А.Н. Ляпунова, сделан вывод что минимальный уровень помехоустойчивости ЭТС (БЭК) в составе АТС подчиняется нормальному закону распределения случайной величины.

5. На основании обоснованного вероятностного подхода разработана математическая модель оценки соответствия требованиям помехоустойчивости ЭТС (БЭК) для партий АТС одинаковых моделей и одинаковых комплектаций.

6. Предложена методика расчета оценки соответствия требованиям помехоустойчивости БЭК для партий автотранспортных средств на

основании результатов которой принимается решение о целесообразности проведения доработок для повышения помехоустойчивости БЭК АТС.

7. Выбран предельно-допустимый уровень показателя качества, который для автомобильной продукции гражданского назначения составляет 0,8, а для специального назначения $P_{np} = 0,95 \dots 0,98$.

ГЛАВА 4. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПОМЕХОУСТОЙЧИВОСТИ ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ АВТОТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ

4.1 Применяемая экспериментальная база для исследований помехоустойчивости электротехнических систем

При исследованиях помехоустойчивости БЭК АТС была применена экспериментальная база комплекса исследований электромагнитной совместимости Волжского автомобильного завода. В ее состав входит безэховая камера СВЧ с габаритными размерами $30 \times 20 \times 14,5$ м. Это позволяет проводить испытания на ЭМС полноразмерных автотранспортных средств (рис.4.1). Безэховая камера покрыта радиопоглощающим материалом рассеивающего типа и имеет рабочий диапазон частот от 20 МГц до 18 ГГц. Ее эффективность экранирования составляет не менее 80 дБ.



Рисунок 4.1 – Безэховая камера СВЧ комплекса ЭМС Волжского
автомобильного завода

В рабочем объеме камеры полеобразующими системами создается электромагнитное излучение напряженностью не менее 200 В/м.

Применяемые антенны AT 1225, AT 1250, AT 1080 и AT 4510 перерывают диапазон частот от 20 МГц до 2 ГГц (рис.4.2).

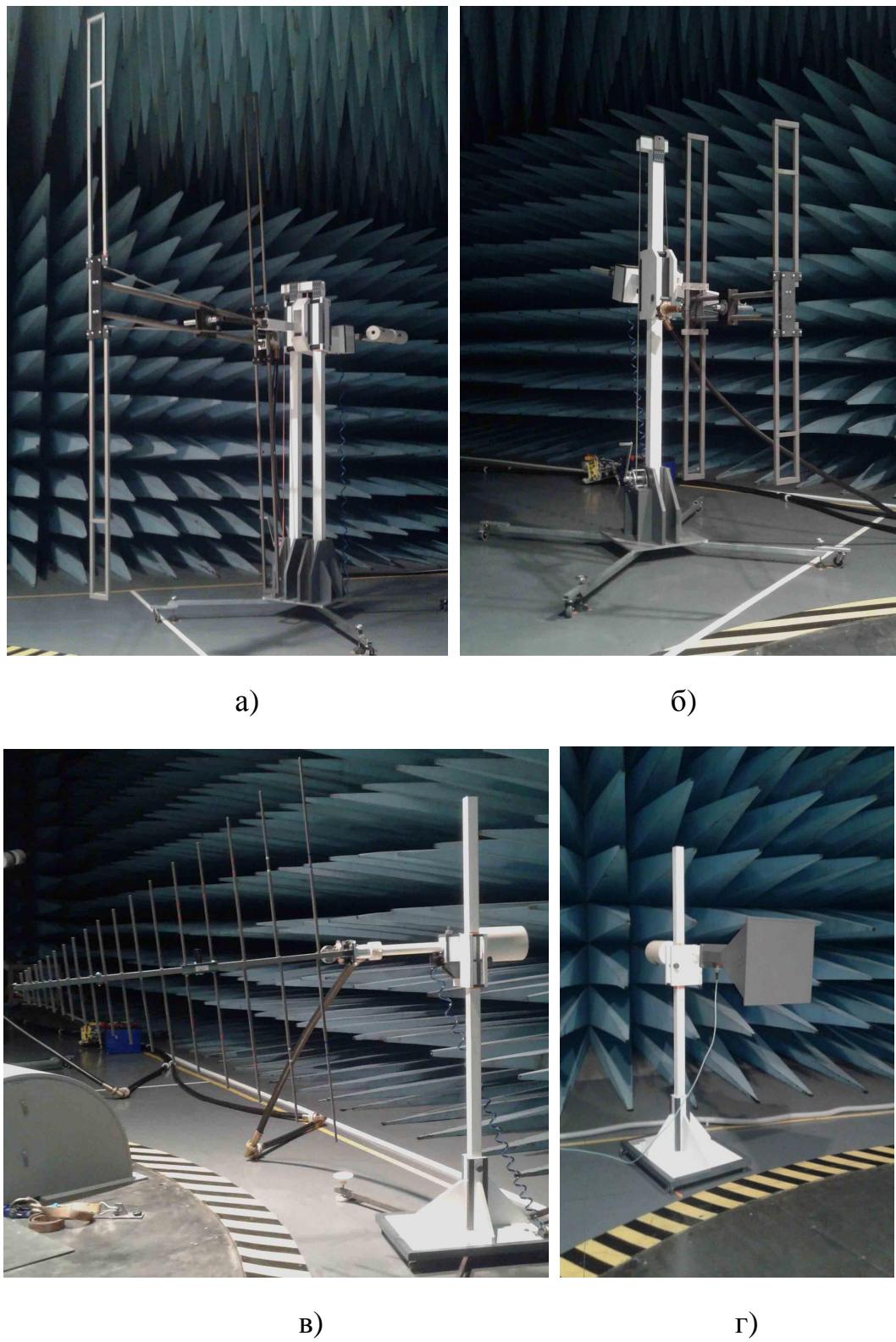


Рисунок 4.2 – Излучающие антенны: а) AT 1225;
б) AT 1250; в) AT 1080; г) AT 4510

Характеристики антенны АТ 1225: рабочий диапазон частот: 20 – 50 МГц; импеданс: 50 Ом; коэффициент стоячей волны: 2,5:1; неравномерность амплитудно-частотной характеристики: $\pm 1,5$ дБ.

Характеристики антенны АТ 1250: рабочий диапазон частот: 50 – 100 МГц; импеданс: 50 Ом; коэффициент стоячей волны: 2:1; неравномерность амплитудно-частотной характеристики: $\pm 1,5$ дБ.

Характеристики антенны АТ 1080: рабочий диапазон частот: 80 – 1000 МГц; импеданс: 50 Ом; коэффициент стоячей волны: 1,5:1; неравномерность амплитудно-частотной характеристики: ± 1 дБ.

Характеристики антенны АТ 4510: рабочий диапазон частот: 1 – 4,2 МГц; импеданс: 50 Ом; коэффициент стоячей волны: 2:1.

Питание излучающих антенн осуществляется широкополосными усилителями мощности ф. Amplifier Research: AR 10000 L, AR 3000 W и AR 500 TG 2 (рис.4.3).

Характеристики усилителя мощности AR 10000 L: номинальная мощность: 10 кВт; рабочий диапазон частот: 0,01 – 100 МГц; КСВН: 1,5:1; усиление: min 70 дБ.

Характеристики усилителя мощности AR 3000 W: номинальная мощность: 3 кВт; рабочий диапазон частот: 80 – 1000 МГц; КСВН: 2:1; усиление: min 60 дБ.

Характеристики усилителя мощности AR 500 TG 2: номинальная мощность: 500 Вт; рабочий диапазон частот: 1 – 2,05 ГГц; КСВН: 2:1; усиление: min 57 дБ.



Рисунок 4.3 – Применяемые усилители мощности: а) AR 10000 L;

б) AR 3000 W; в) AR 500 TG 2

Для калибровки уровня электромагнитного поля в рабочей зоне применяются широкополосные изотропные датчики Е-поля RadiSense 4, ф.DARE, работающие в диапазоне частот от 10 КГц до 4 ГГц и позволяющие измерять уровни от 1 В/м до 1 КВ/м (рис.4.4).

Для контроля параметров сигналов, подводимых к излучающим антеннам применяется ваттметр поглощаемой мощности BOONTON 4232 A (рис.4.5), имеющий диапазон рабочих частот от 0,05 до 8 ГГц и КСВН не более 1,3.



Рисунок 4.4 – Широкополосные изотропные датчики Е- поля RadiSense

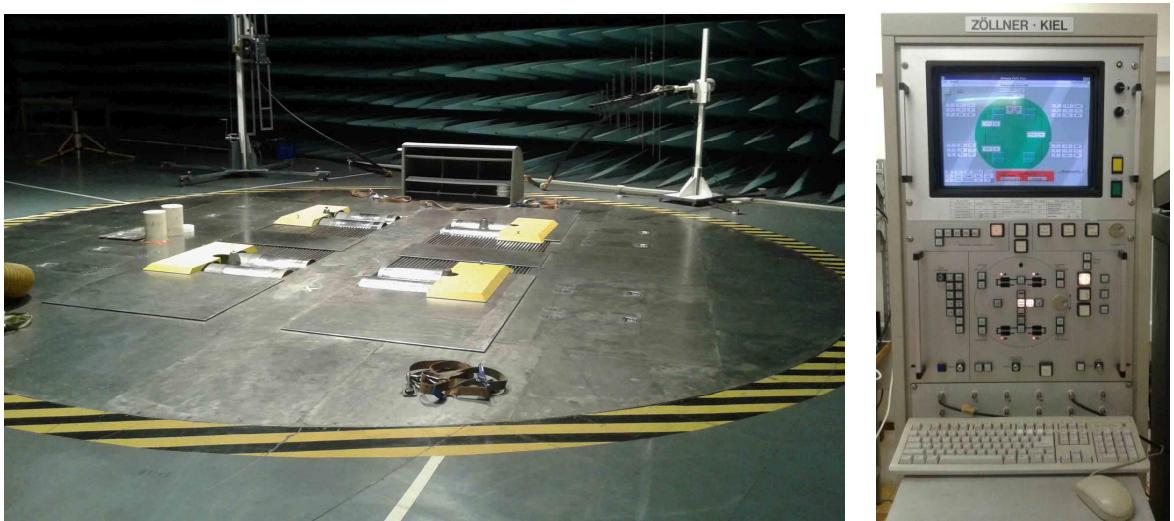


Рисунок 4.5 – Ваттметр поглощаемой мощности BOONTON 4232 A

Для тестирования различных режимов БЭК АТС применяется динамометрический поворотный роликовый стенд ф. ZOLLNER (рис.4.6). Максимальная допустимая скорость АТС на данном стенде составляет 200 км/ч. Его функционал позволяет тестировать автотранспортные средства на динамических режимах разгона и торможения. Управление стендом осуществляется дистанционно. Угол вращения в горизонтальной плоскости: 360 град.

Все применяемое в экспериментах измерительное оборудование проходит ежегодную поверку и имеет соответствующие сертификаты, копии которых приложены в приложении.

Для реализации езовых циклов АТС применяется робот-автопилот, имеющий защиту от электромагнитного излучения 200 В/м в диапазоне частот 10 КГц – 2 ГГц (рис.4.7). Его функционал позволяет осуществлять разгон и торможение за счет управления педалями автотранспортного средства.



а)

б)

Рисунок 4.6 – Динамометрический поворотный роликовый стенд ф.ZOLLNER а) стенд; б) панель управления стендом

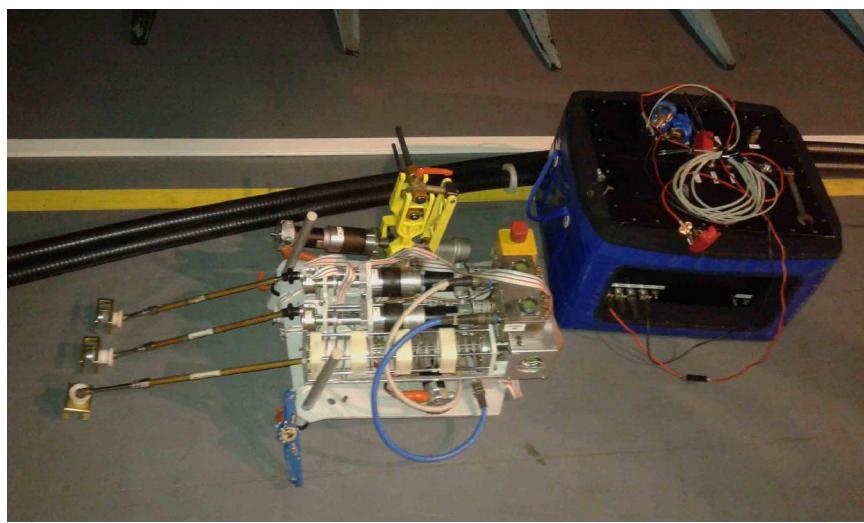


Рисунок 4.7 – Робот-автопилот для реализации езовых циклов АТС

Контроль параметров БЭК при проведении испытаний осуществляется как с помощь помехозащищённых видеокамер, способных работать при уровнях поля 200 В/м в диапазоне частот до 5 ГГц, так и с помощью

помехозащищенного устройства DDT-2000 ф.DIRELEC, подключаемого к CAN-шине через стандартный автомобильный разъем OBD2. Применение последнего позволяет при уровне внешнего электромагнитного воздействия 200 В/м в диапазоне частот 10 КГц до 3 ГГц передавать и отображать в режиме реального времени чтение текущих ошибок, параметры сигналов и диагностическую информацию. Помехозащищенность DDT-2000 обеспечивается за счет реализации в нем конструкционных, схемотехнических и структурно-функциональных решений [57]. Защита передаваемых данных достигается за счет применения оптоволоконной линии связи. Общая схема сбора данных и устройства DDT-2000 с интерфейсом показаны на рис.4.8 и рис.4.9.

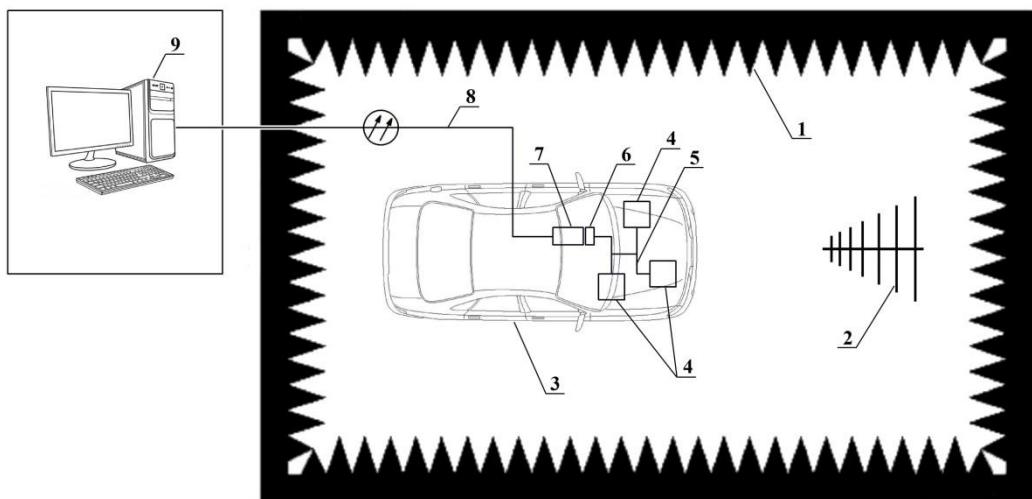


Рисунок 4.8 – Схема сбора данных при испытаниях

ЭТС (БЭК) АТС на восприимчивость к электромагнитному воздействию с применением устройства DDT-2000: 1 – безэховая камера; 2 – излучающая антенна; 3 – АТС; 4 – электротехнические системы; 5 – CAN-шина; 6 – автомобильный разъем OBD2; 7 – оптопреобразователь; 8 – волоконно-оптическая линия; 9 – персональный компьютер (ПК)

Программа исследований помехоустойчивости ЭТС (БЭК) включала в себя испытания современных и перспективных прототипов автомобилей отечественных производителей, в том числе электромобилей «Эллада» и

автомобилей с комбинированной энергетической установкой (гибриды), а также автомобилей зарубежного производства (рис.4.10)

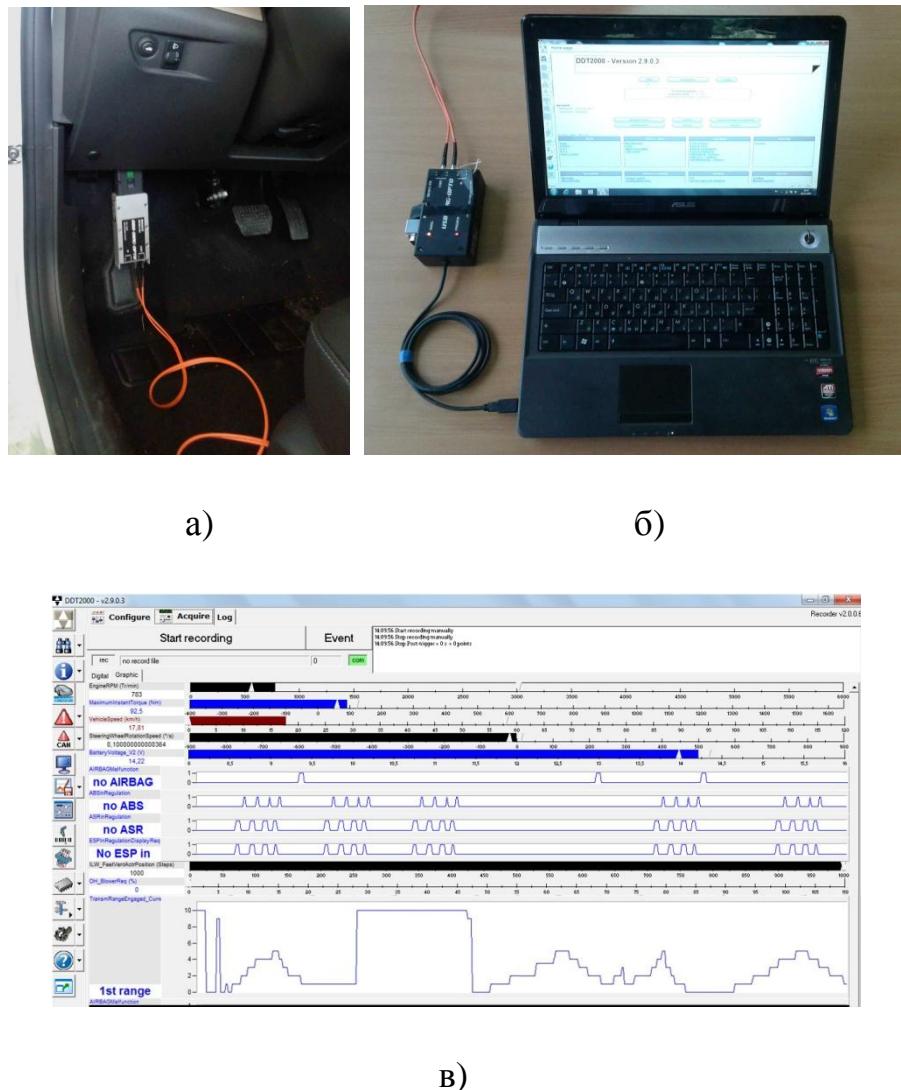
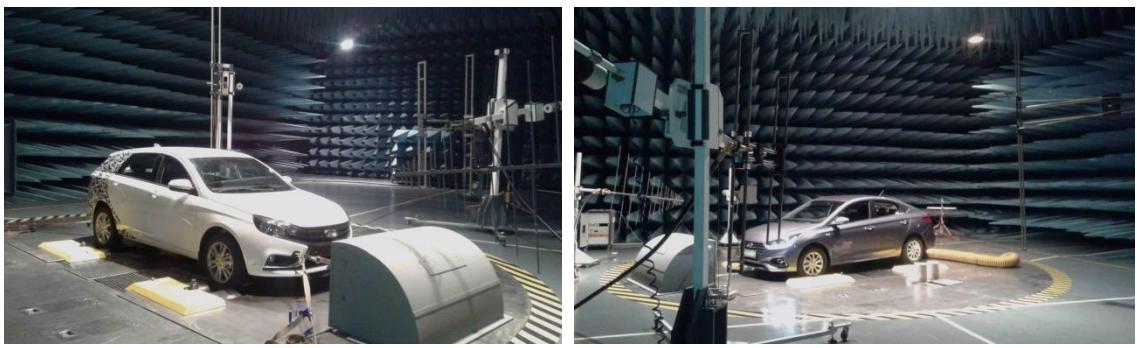


Рисунок 4.9 – Помехозащищенное устройство DDT-2000:

- оптопреобразователь, подключенный к автомобильному разъему OBD2;
- ПК с обратным оптопреобразователем для отображения диагностических данных;
- окно интерфейса с отображаемыми данными



а)

б)

Рисунок 4.10 – Примеры автомобилей, проходящих испытания на восприимчивость к внешнему электромагнитному излучению:

а) LADA Vesta SW; б) Hyundai Solaris

4.2 Общие условия проведения и анализа экспериментов

На базе испытательной лаборатории ЭМС Волжского автомобильного завода были проведены экспериментальные исследования помехоустойчивости БЭК АТС. В качестве объектов исследований выбирались прототипы автомобилей, автомобили с новыми или глубоко модернизированными ЭТС, а также анализировались зарубежные транспортные средства.

В главе не приведены названия моделей и изделий зарубежных производителей, т.к. служба безопасности Волжского автомобильного завода запретила указывать в работе данную информацию.

Тесты проводились с применением разработанных и стандартного циклов. Максимальный уровень электромагнитного воздействия задавался 100 В/м. Автомобили испытывались в диапазоне частот от 20 МГц до 2 ГГц.

Автомобили подвергались узкополосным воздействиям с амплитудной модуляцией (1 кГц , $m=80\%$) в диапазоне частот от 20 МГц до 2 ГГц и импульсной модуляцией ($\tau=577 \text{ мкс}$, $T=4600 \text{ мкс}$) в диапазоне 100 МГц до 2 ГГц, а также немодулированным гармоническим воздействием в диапазоне от 20 МГц до 2 ГГц МГц.

Параметр Q из учета двукратного запаса по предварительным испытаниям был выбран 50.

Исследования проводились при дискретном позиционировании с углом поворота стенда 30 град. Данное значение не соответствует предложенному в работе оптимальному значению. Оно было выбрано исходя предоставленного на исследования лабораторией времени.

Результаты экспериментов сводились в матричные массивы, которые анализировались и определялись параметры помехоустойчивости.

Для обработки данных был введен параметр частотности, равный

$$F_\beta = \left. \frac{K_\beta}{N_\beta} \right|_{f=const} \quad (4.1)$$

где K_β – количество угловых позиций АТС по отношению к излучающей антенне при которых наблюдается нарушение работоспособности; N_β – полное количество угловых позиций АТС по отношению к излучающей антенне.

Формула (4.1) показывает сколько раз на конкретной частоте был зафиксирован сбой при разных углах позиционирования. Данный параметр был взят как основной при определении частотных диапазонов с наименьшей помехоустойчивостью.

4.3 Экспериментальные исследования помехоустойчивости гибридного автомобиля

Объектом исследования был прототип автомобиля с комбинированным силовым агрегатом (гибридный автомобиль) на базе LADA GRANTA. Его конфигурация включала в себя систему управления электродвигателем, установленную в багажнике (рис.2.13) и штатную систему управления ДВС с

модернизированным программным обеспечением под совместную работу двух силовых агрегатов.

Эксперименты выявили три проблемы. Первая проявлялась в виде прекращения процесса заряда тяговой аккумуляторной батареи в фазе рекуперации энергии (рис.4.11) [51] при воздействии узкополосного немодулированного воздействия. Данное нарушение работоспособности характеризовалось как функциональный класс С, т.е. при снятии воздействия заряд восстанавливался.

Исследования показали, что нарушения работоспособности происходили в диапазоне частот от 80 до 1400 МГц.

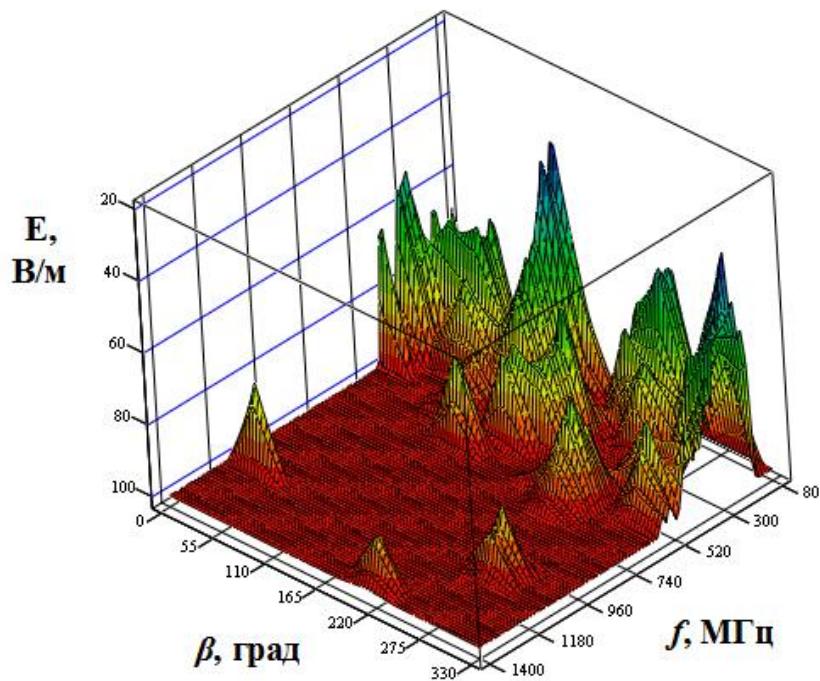


Рисунок 4.11 – Помехоустойчивость канала рекуперации энергии прототипа гибридного автомобиля LADA GRANTA (прекращение зарядки тяговой АКБ)

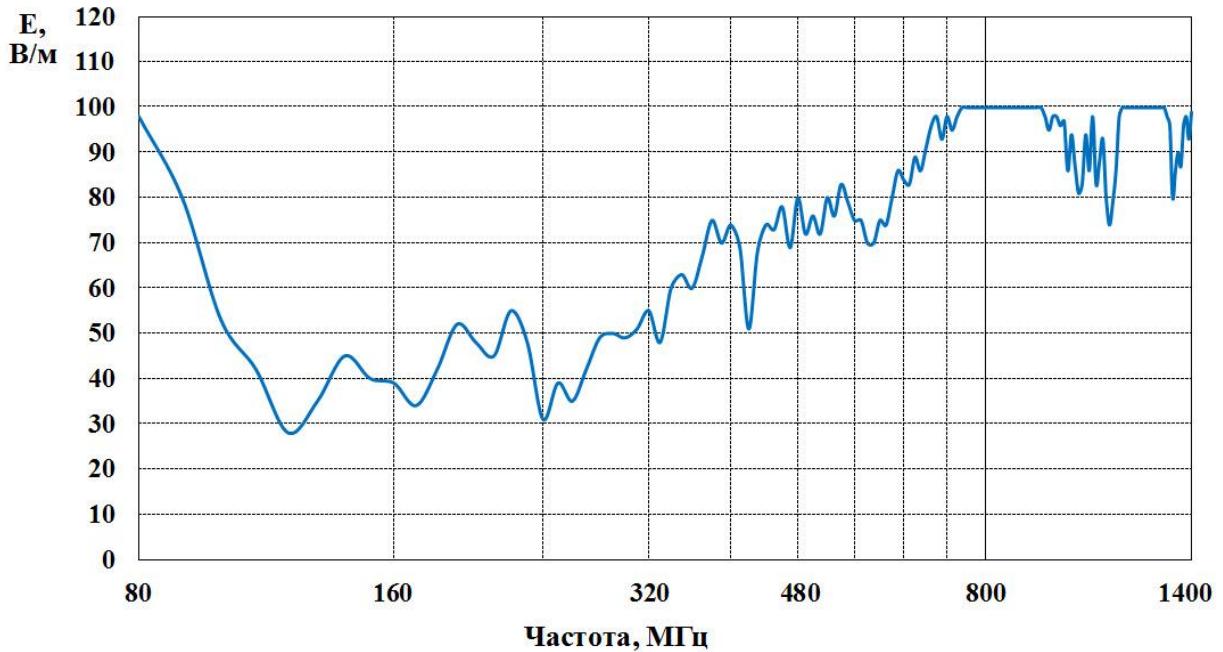


Рисунок 4.12 – Минимальные значения помехоустойчивости азимутальных проекций канала рекуперации энергии прототипа гибридного автомобиля LADA GRANTA

Для $F_\beta \geq 0,3$ диапазон частот составил 90 – 600 МГц. Здесь было зафиксировано 86,2% нарушений работоспособности по отношению к общему числу. Этому диапазону принадлежит минимальный уровень помехоустойчивости 28 В/м, зафиксированный на частоте 124 МГц (рис. 4.12).

Для $F_\beta \geq 0,2$ диапазон частот составил 90 – 640 МГц. В нем происходило 88,9 % проблем ЭМС.

Обработка данных показала, что максимальное значение параметра Q равно 28,3.

Сравнение результатов стандартных и предлагаемых дополнительных испытаний (рис. 4.13) показало, что в большей части исследуемого диапазона частот уровни помехоустойчивости электротехнической системы при стандартном фронтальном позиционировании выше, чем при других азимутальных углах позиционирования АТС к излучателю. Минимальный уровень помехоустойчивости зафиксирован при азимутальном угле 120 град.

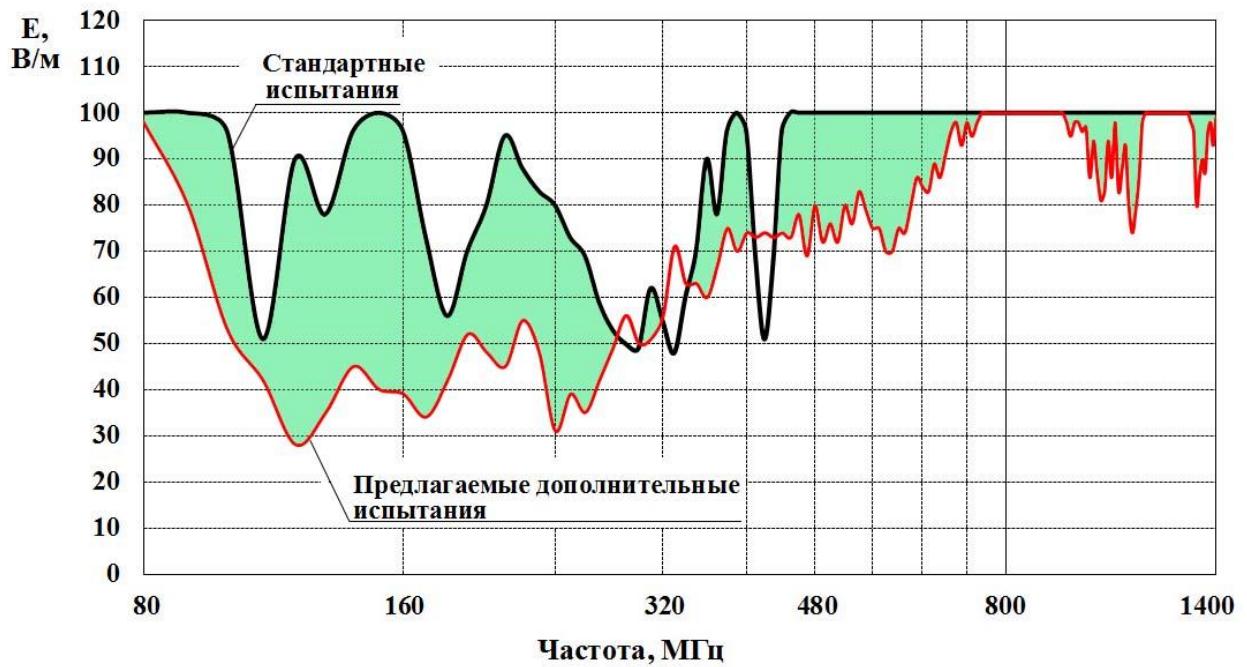


Рисунок 4.13 – Минимальные значения помехоустойчивости канала рекуперации энергии прототипа гибридного автомобиля LADA GRANTA при стандартных и предлагаемых дополнительных испытаниях

Обеспечение помехоустойчивости до уровня 100 В/м достигнуто оптимизацией контура заземления контроллера системы управления электродвигателем.

Вторая проблема проявлялась в виде прекращения работы двигателя внутреннего сгорания (рис.4.14) [51] при воздействии узкополосного амплитудно-модулированного воздействия. В случае заряженной тяговой батареи данное нарушение работоспособности характеризировалось как функциональный класс С, так как управление автоматически переводилось на электродвигатель и автомобилем продолжал движение. Переход работы на электротягу происходил без существенных изменений в процессе движения. После прекращения электромагнитного воздействия двигатель внутреннего сгорания начинал функционировать. Если тяговая АКБ была разряжена, то нарушение работоспособности характеризировалось как класс D, потому что автомобиль останавливался. Для возобновления его работы необходимо было заново завести двигатель в отсутствии электромагнитного воздействия.

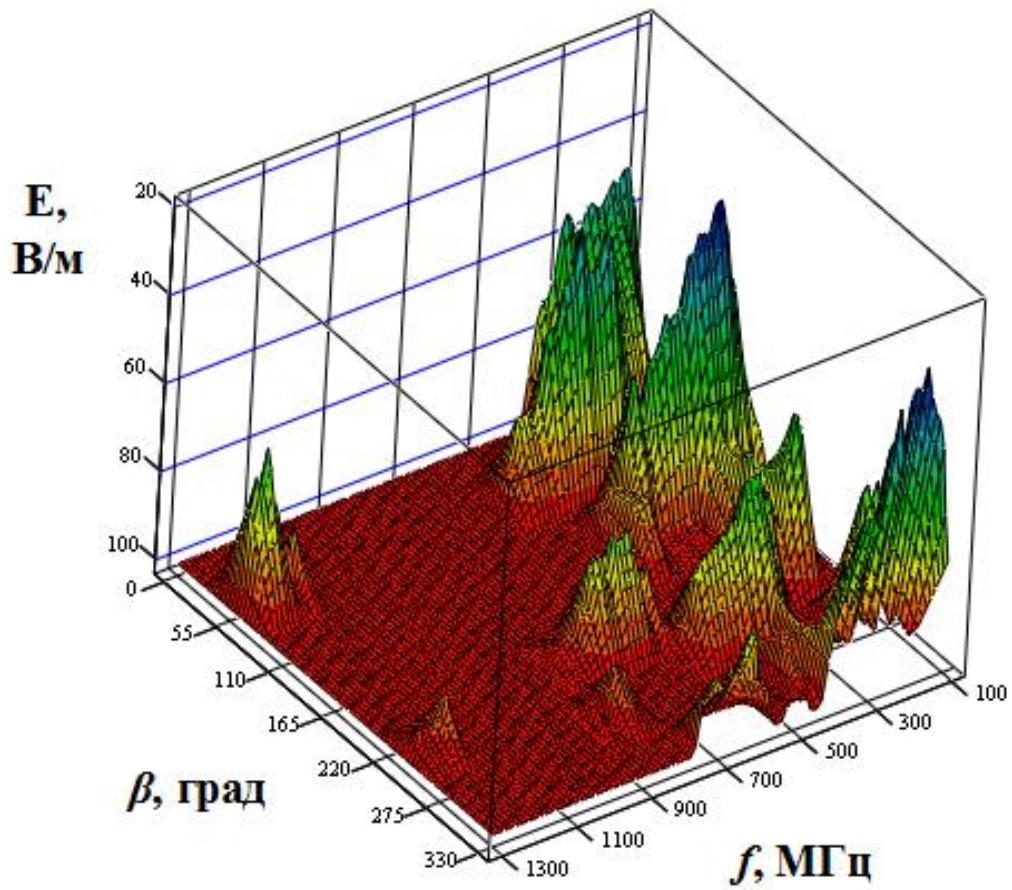


Рисунок 4.14 – Помехоустойчивость системы управления двигателем внутреннего сгорания прототипа гибридного автомобиля LADA GRANTA (прекращение работы двигателя)

Исследования показали, что нарушения работоспособности происходили в диапазоне частот от 98 до 1300 МГц.

Для $F_\beta \geq 0,3$ диапазон частот составил 100 – 490 МГц. Здесь было зафиксировано 74% нарушений работоспособности по отношению к общему числу. Этому диапазону принадлежит минимальный уровень помехоустойчивости 25 В/м, зафиксированный на частоте 201 МГц (рис. 4.15).

Для $F_\beta \geq 0,2$ диапазон частот составил 98 – 600 МГц. В нем происходило 81,4 % проблем ЭМС.

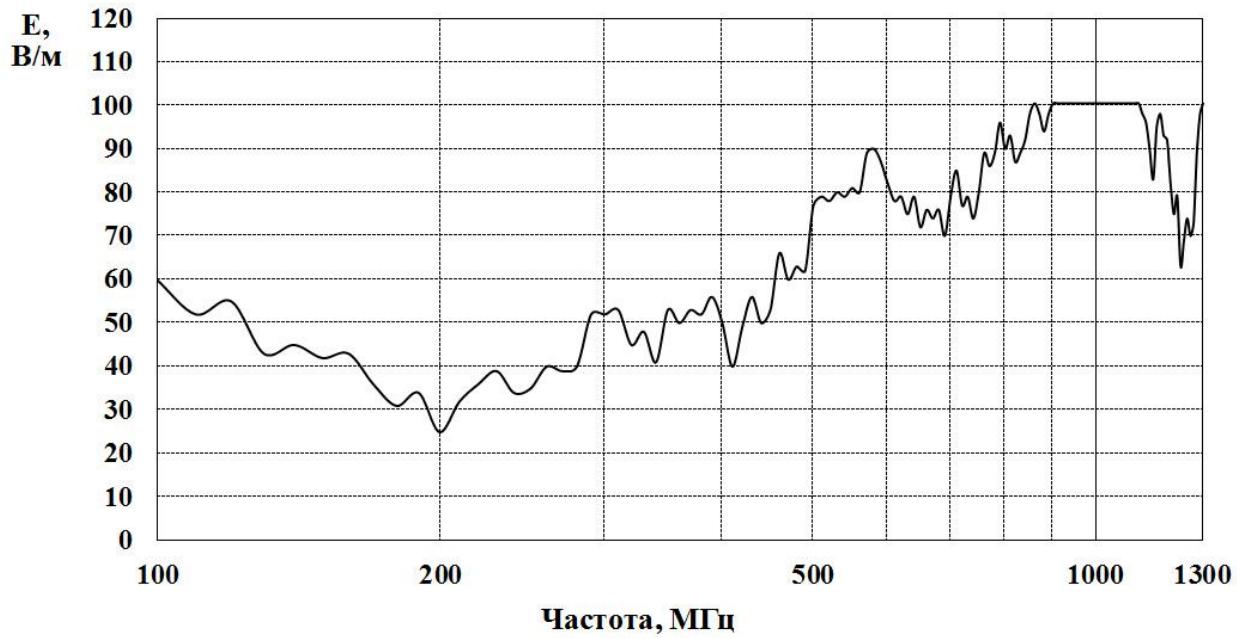


Рисунок 4.15 – Минимальные значения помехоустойчивости азимутальных проекций системы управления двигателем внутреннего сгорания прототипа гибридного автомобиля LADA GRANTA

Обработка данных показала, что максимальное значение параметра Q равно 33,8.

Сравнение результатов стандартных и предлагаемых дополнительных испытаний (рис. 4.16) показало, что в большей части исследуемого диапазона частот уровни помехоустойчивости электротехнической системы при стандартном фронтальном позиционировании выше, чем при других азимутальных углах позиционирования АТС к излучателю. Минимальный уровень помехоустойчивости зафиксирован при азимутальном угле 120 град.

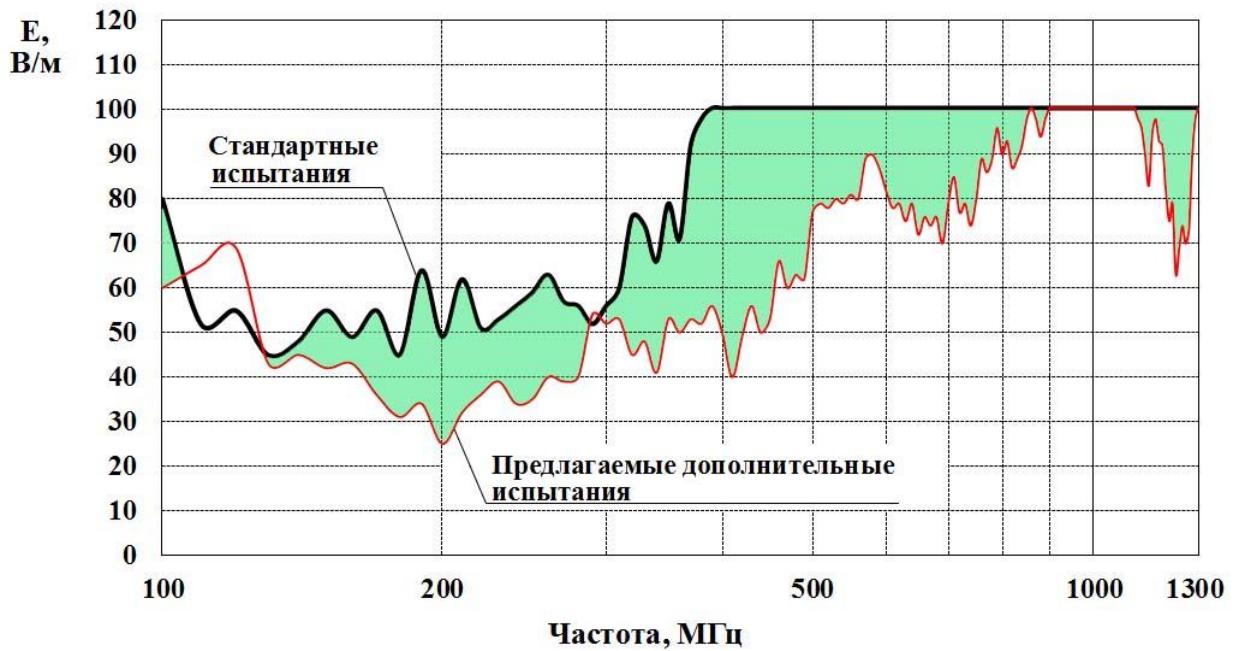


Рисунок 4.16 – Минимальные значения помехоустойчивости системы управления двигателем внутреннего сгорания прототипа гибридного автомобиля LADA GRANTA при стандартных и предлагаемых дополнительных испытаниях

Обеспечение помехоустойчивости до уровня 100 В/м достигнуто улучшением фильтрации по цепям питания контроллера системы управления двигателем внутреннего сгорания.

Третья проблема автомобиля с комбинированной энергетической установкой проявлялась в виде прекращения работы электродвигателя (рис.4.17) [53] под воздействие импульсного электромагнитного излучения. Данное нарушение работоспособности характеризировалось как функциональный класс Е, так как хотя управление автоматически переводилось на двигатель внутреннего сгорания и автомобилем продолжал движение, но сам электродвигатель после прекращения воздействия не возобновлял свою работу. Для работы автомобиля на электротяге необходимо было в отсутствии электромагнитного воздействия произвести операцию снятия и подачи электропитания от аккумуляторной батареи.

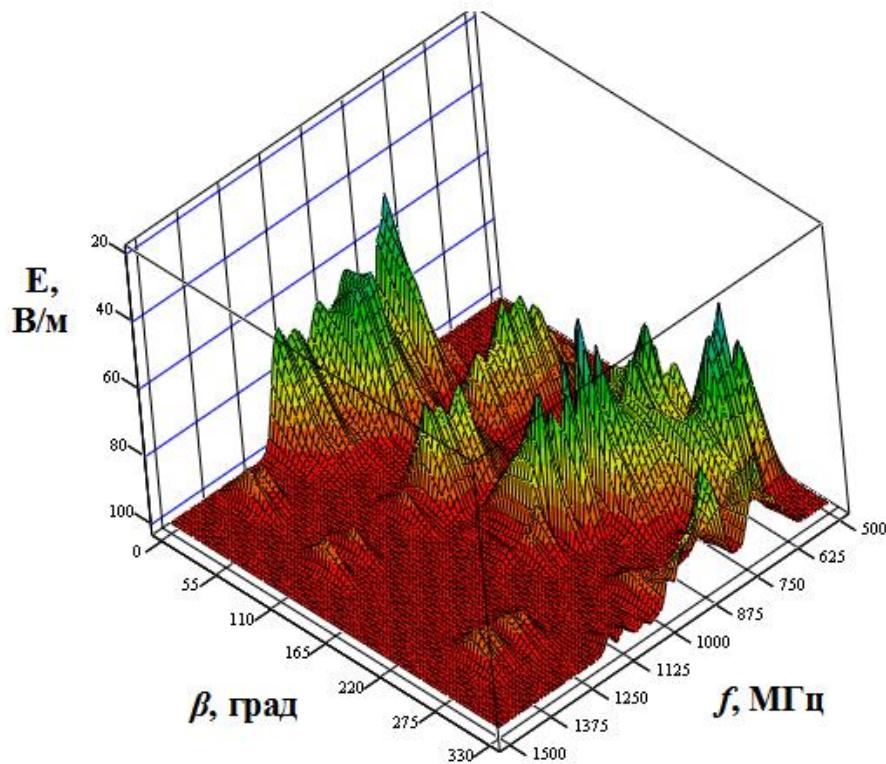


Рисунок 4.17 – Помехоустойчивость системы управления электродвигателем прототипа гибридного автомобиля LADA GRANTA (прекращение работы электродвигателя при воздействии импульсного электромагнитного излучения)

Исследования показали, что нарушения работоспособности происходили в диапазоне частот от 500 до 1400 МГц.

Для $F_\beta \geq 0,3$ диапазон частот составил 560 – 1160 МГц. Здесь было зафиксировано 86,9% нарушений работоспособности по отношению к общему числу. Этому диапазону принадлежит минимальный уровень помехоустойчивости 43 В/м, зафиксированный на частоте 597 МГц (рис. 4.18).

Для $F_\beta \geq 0,2$ диапазон частот составил 540 – 1360 МГц. В нем происходило 95,6 % проблем ЭМС.

Обработка данных показала, что максимальное значение параметра Q равно 32,4.

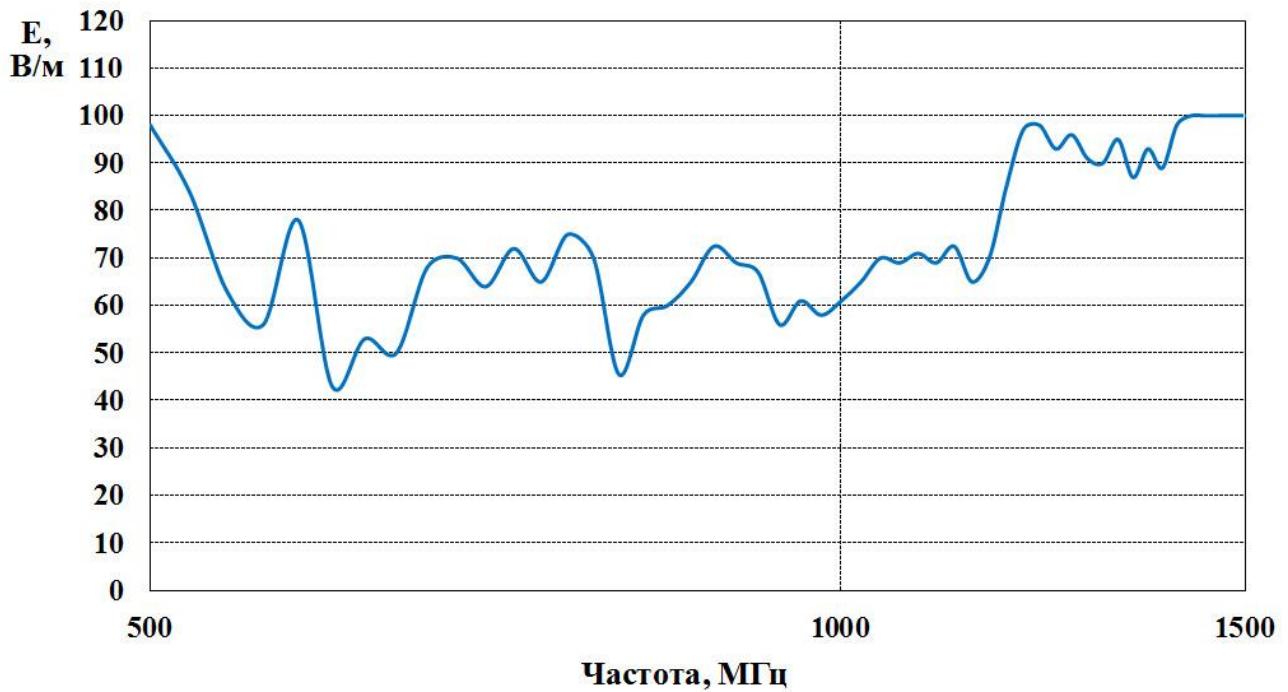


Рисунок 4.18 – Минимальные значения помехоустойчивости азимутальных проекций системы управления электродвигателем прототипа гибридного автомобиля LADA GRANTA

Сравнение результатов стандартных и предлагаемых дополнительных испытаний (рис. 4.19) показало, что в большей части исследуемого диапазона частот уровни помехоустойчивости электротехнической системы при стандартном фронтальном позиционировании выше, чем при других азимутальных углах позиционирования АТС к излучателю. Минимальный уровень помехоустойчивости зафиксирован при азимутальном угле 270 град.

Как видно из результатов исследований, нарушение работоспособности проявлялось в диапазоне частот стандарта GSM. Отсюда следует, что АТС может быть восприимчив к полям сотовой сети связи.

Изучение причины нарушения работоспособности показало, что она происходила из-за «зависания» микропроцессора системы управления электродвигателем. Обеспечение помехоустойчивости до уровня 100 В/м достигнуто применением сторожевого таймера, который в случае «зависания» микропроцессора перезагружал его через 20 мс.

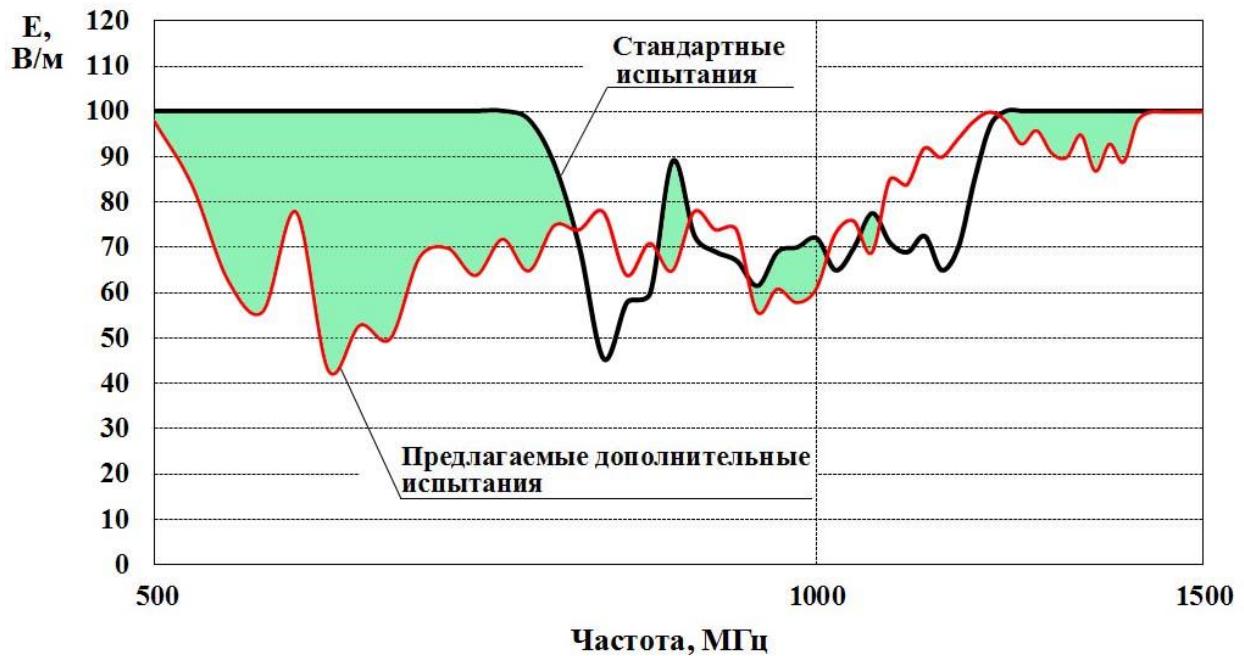


Рисунок 4.19 – Минимальные значения помехоустойчивости системы управления электродвигателем прототипа гибридного автомобиля LADA GRANTA при стандартных и предлагаемых дополнительных испытаниях

4.4 Исследование помехоустойчивости электромобиля

Объектом исследования электромобиль зарубежного производства с электродвигателем номинальной мощности 30 кВт.

Исследования на помехоустойчивость электромобиля выявили нарушение работоспособности, которое проявлялось в виде прекращения работы электродвигателя (рис.4.20) и характеризовалось как функциональный класс D. Для возобновления работы электромобиля необходимо было произвести операцию «Выкл/Вкл» ключа, коммутирующего напряжение бортовой сети.

В процессе исследования было определено, что нарушения работоспособности происходили в диапазоне частот от 110 до 490 МГц при воздействии немодулированного узкополосного электромагнитного излучения.

Анализ результатов показал, что для $F_\beta \geq 0,3$ диапазон частот составил

130 – 440 МГц. Здесь было зафиксировано 95,6% нарушений работоспособности по отношению к общему числу. Этому диапазону принадлежит минимальный уровень помехоустойчивости 49 В/м, зафиксированный на частоте 343 МГц (рис. 4.21).

Для $F_\beta \geq 0,2$ диапазон частот составил 120 – 450 МГц. В нем происходило 97,8 % проблем ЭМС.

Обработка данных показала, что максимальное значение параметра Q равно 24,6.

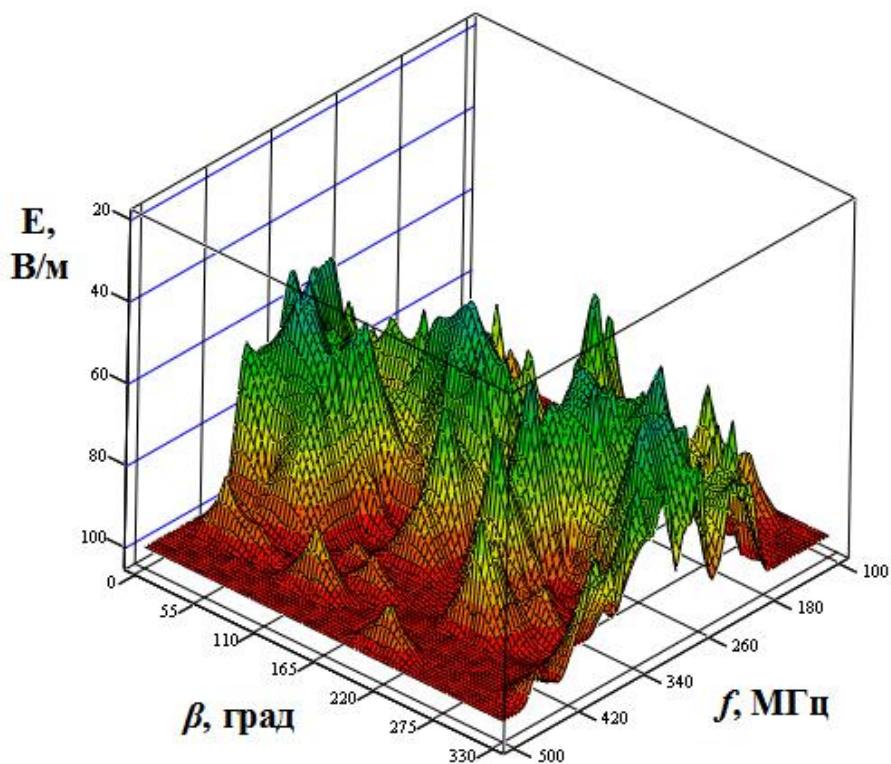


Рисунок 4.20 – Помехоустойчивость электромобиля

Сравнение результатов стандартных и предлагаемых дополнительных испытаний (рис. 4.21) показало, что в большей части исследуемого диапазона частот уровни помехоустойчивости электромобиля при стандартном фронтальном позиционировании выше, чем при других азимутальных углах позиционирования АТС к излучателю. Минимальный уровень помехоустойчивости зафиксирован при азимутальном угле 30 град.

Так как испытывался электромобиль зарубежного производства, то это осложнило детальное изучение причин нарушения работоспособности и выработка рекомендаций по повышению помехоустойчивости.

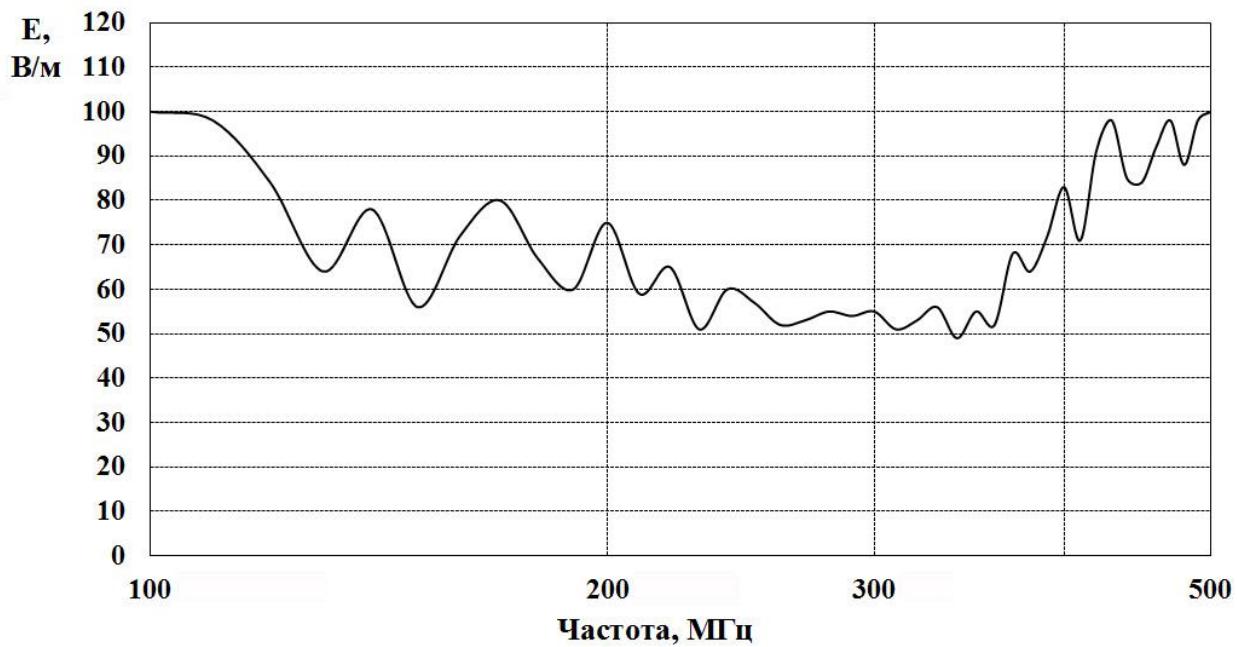


Рисунок 4.21 – Минимальные значения помехоустойчивости азимутальных проекций электромобиля

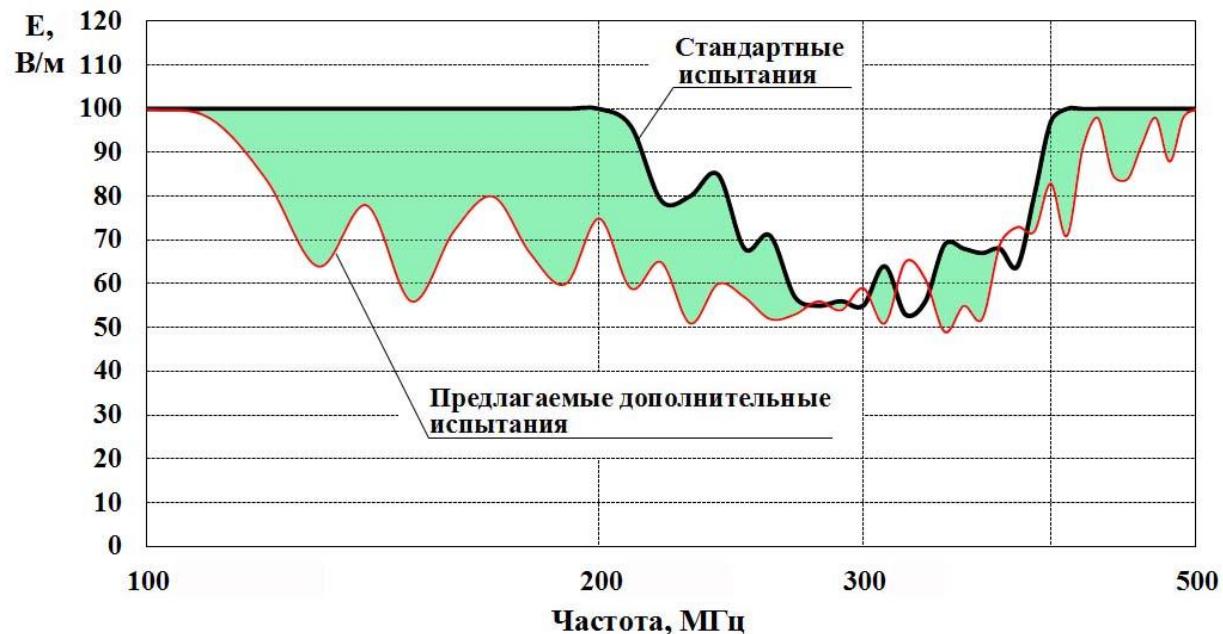


Рисунок 4.22 – Минимальные значения помехоустойчивости электромобиля при стандартных и предлагаемых дополнительных испытаниях

4.5 Экспериментальные исследования помехоустойчивости электронной системы управления двигателем внутреннего сгорания

Объектом исследования был легковой автомобиль LADA Kalina с модернизированной системой управления ДВС. Модернизация заключалась в применении датчиков контроля индивидуальных катушек зажигания и программного обеспечения обработки информации по этим каналам.

Исследования на помехоустойчивость электронной системы управления ДВС выявили проблему, приводящую к прекращению работы двигателя из-за ложной диагностики неисправности катушек зажигания (рис.4.23).

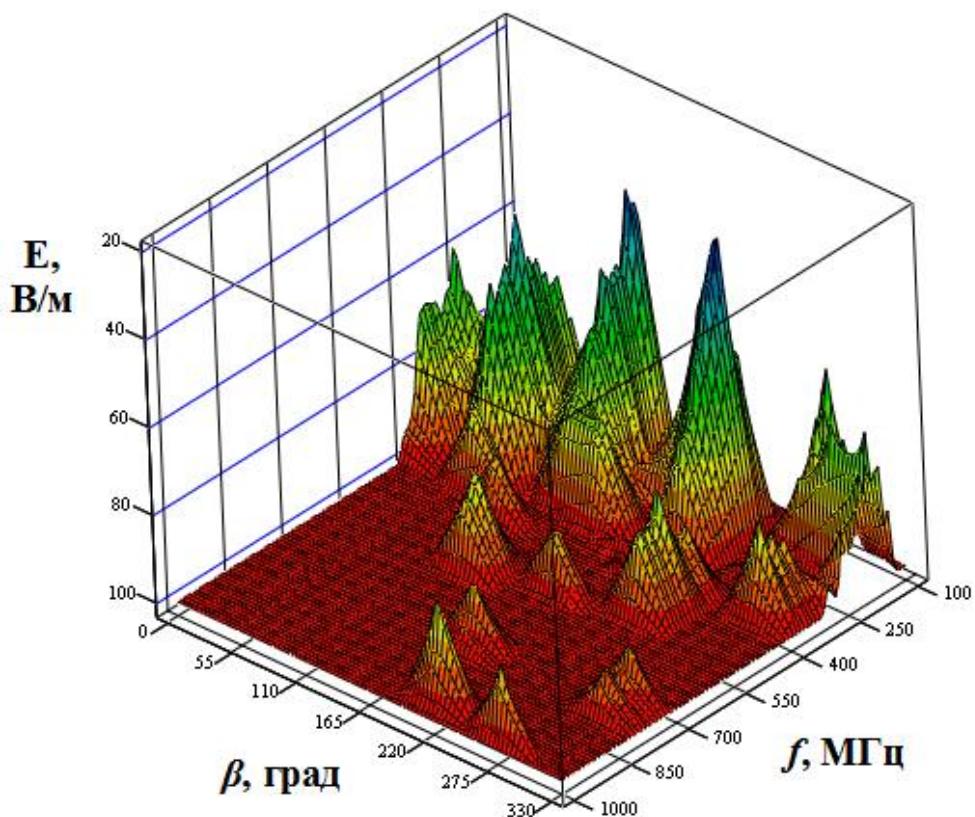


Рисунок 4.23 – Помехоустойчивость модернизированной системы управления ДВС автомобиля LADA Kalina

В процессе экспериментов было определено, что помехи, наводимые в электрических цепях, искали информацию по каналу контроля работоспособности катушек зажигания электронной системы управления

ДВС. Ложно диагностировалась неисправность катушки зажигания и запрещалось накопление энергии в катушке и топливоподача в соответствующий цилиндр двигателя. Если помехи искали информацию по нескольким каналам диагностики, то принудительно отключались соответствующие катушки и форсунки. Из-за этого ДВС прекращал работать и АТС останавливался.

Исследования показали, что нарушения работоспособности происходили в диапазоне частот от 99 до 980 МГц при воздействии немодулированного узкополосного электромагнитного излучения.

Анализ результатов показал, что для $F_\beta \geq 0,3$ диапазон частот составил 110 – 430 МГц. Здесь было зафиксировано 79,5% нарушений работоспособности по отношению к общему числу. Этому диапазону принадлежит минимальный уровень помехоустойчивости 30 В/м, зафиксированный на частоте 203 МГц (рис. 4.24).

Для $F_\beta \geq 0,2$ диапазон частот составил 99 – 440 МГц. В нем происходило 81,4 % проблем ЭМС.

Обработка данных показала, что максимальное значение параметра Q равно 28,2.

Сравнение результатов стандартных и предлагаемых дополнительных испытаний (рис. 4.25) показало, что в большей части исследуемого диапазона частот уровни помехоустойчивости электротехнической системы при стандартном фронтальном позиционировании выше, чем при других азимутальных углах позиционирования АТС к излучателю. Минимальный уровень помехоустойчивости зафиксирован при азимутальном угле 210 град.

Обеспечение помехоустойчивости до уровня 100 В/м достигнуто доработкой алгоритма работы программы. Он основывается на том, что вероятность нарушения работоспособности с интервалом менее 300 мс двух

и более катушек зажигания в процессе эксплуатации крайне мала. Поэтому при одновременном определении неисправностей катушек, информация об этих событиях игнорировалась. Соответственно накопление энергии в катушках и топливоподача в цилиндры ДВС не отключались. Повторные испытания с доработанным алгоритмом программы показали, что помехоустойчивость электронной системы управления ДВС достигает не менее 100 В/м во всем диапазоне testируемых частот [55].

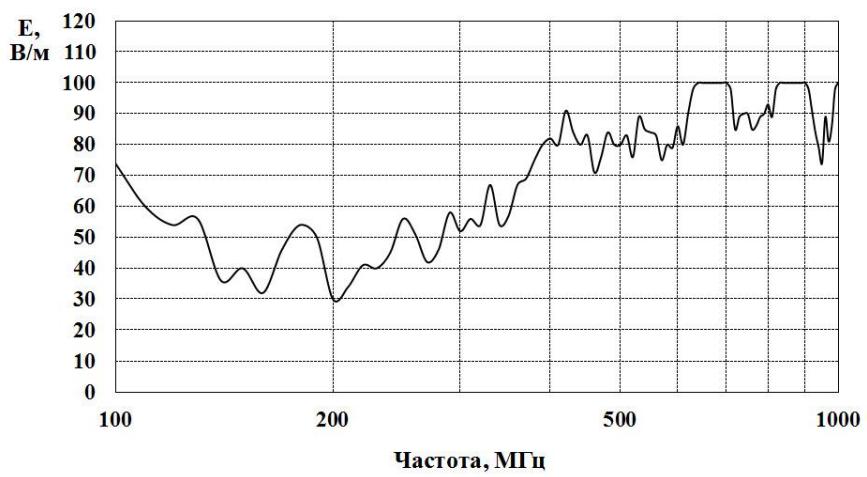


Рисунок 4.24 – Минимальные значения помехоустойчивости азимутальных проекций модернизированной системы управления ДВС автомобиля LADA Kalina

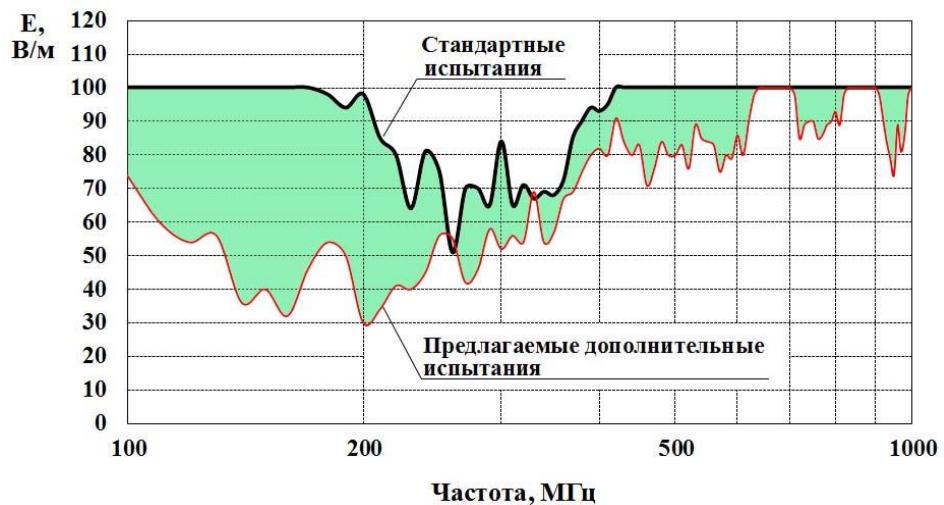


Рисунок 4.25 – Минимальные значения помехоустойчивости модернизированной системы управления ДВС автомобиля LADA Kalina при стандартных и предлагаемых дополнительных испытаниях

4.6 Исследование помехоустойчивости электронной системы управления автоматизированной коробкой передач

Объектом исследования был опытный образец автомобиля LADA GRANTA с автоматизированной коробкой передач (рис.4.26).



Рисунок 4.26 – Общий вид автоматизированной коробкой передач

Исследования на помехоустойчивость выявили сбой по цепи датчика положения привода выбора передачи, приводящий к ложной диагностике с появлением ошибки «Замыкание цепи на бортовую сеть» и самопроизвольное переключение с первой на нейтральную передачу (рис.4.27) [59].

В эксплуатации самопроизвольное переключение передач может привести к изменению скорости АТС или его остановке. При ложной диагностике ошибки переключение передач станет невозможно, т.к. система управления перейдет в аварийный режим и АТС будет двигаться на передаче включенной до момента пропадания ошибки диагностики. Первое нарушение работоспособности характеризуется функциональным классом С, потому что проблема устраняется после прекращения электромагнитного воздействия. Ложная диагностика ошибки переключение передач характеризуется функциональным классом D, т.к. для ее сброса и приведения системы

управления в штатный режим работы необходимо выполнить перезагрузку контроллера операцией «выкл/вкл» зажигания.



Рисунок 4.27 – Нарушение работоспособности электронной системы управления автоматизированной коробкой передач: а) самопроизвольное переключение с первой на нейтральную передачу; б) ложная диагностика ошибки

Исследования показали, что нарушения работоспособности происходили в диапазоне частот от 85 до 250 МГц (рис.4.28).

Для $F_\beta \geq 0,3$ диапазон частот составил 90 – 245 МГц. Здесь было зафиксировано 98,4% нарушений работоспособности по отношению к общему числу. Этому диапазону принадлежит минимальный уровень помехоустойчивости 31 В/м, зафиксированный на частоте 176 МГц (рис. 4.29).

Для $F_\beta \geq 0,2$ диапазон частот составил 85 – 245 МГц. В нем происходило 99,3 % проблем ЭМС.

Обработка данных показала, что максимальное значение параметра Q равно 19,5.

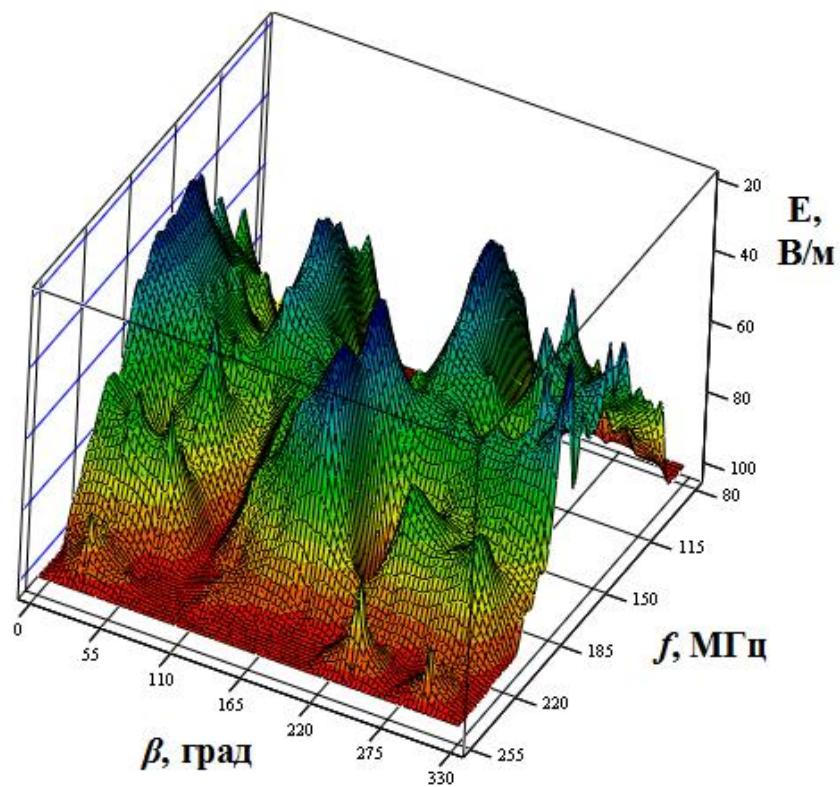


Рисунок 4.28 – Помехоустойчивость электронной системы управления автоматизированной коробкой передач опытного образца автомобиля LADA GRANTA

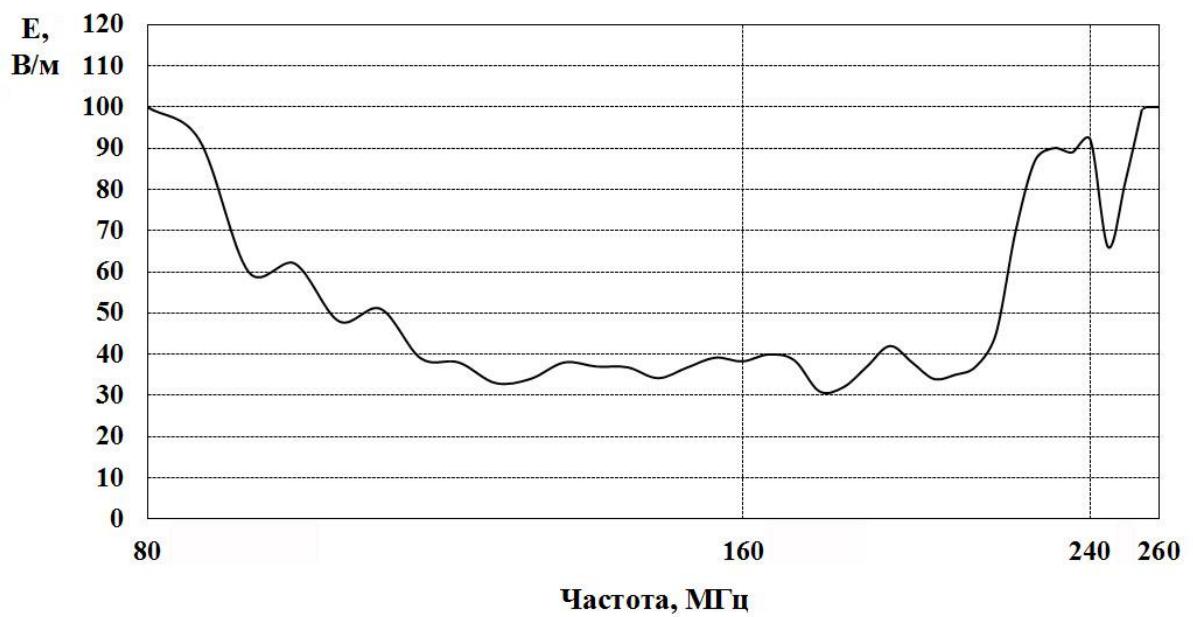


Рисунок 4.29 – Минимальные значения помехоустойчивости азимутальных проекций электронной системы управления автоматизированной коробкой передач опытного образца автомобиля LADA GRANTA

Сравнение результатов стандартных и предлагаемых дополнительных испытаний (рис. 4.30) показало, что в большей части исследуемого диапазона частот уровни помехоустойчивости электротехнической системы при стандартном фронтальном позиционировании выше, чем при других азимутальных углах позиционирования АТС к излучателю. Минимальный уровень помехоустойчивости зафиксирован при азимутальном угле 180 град.

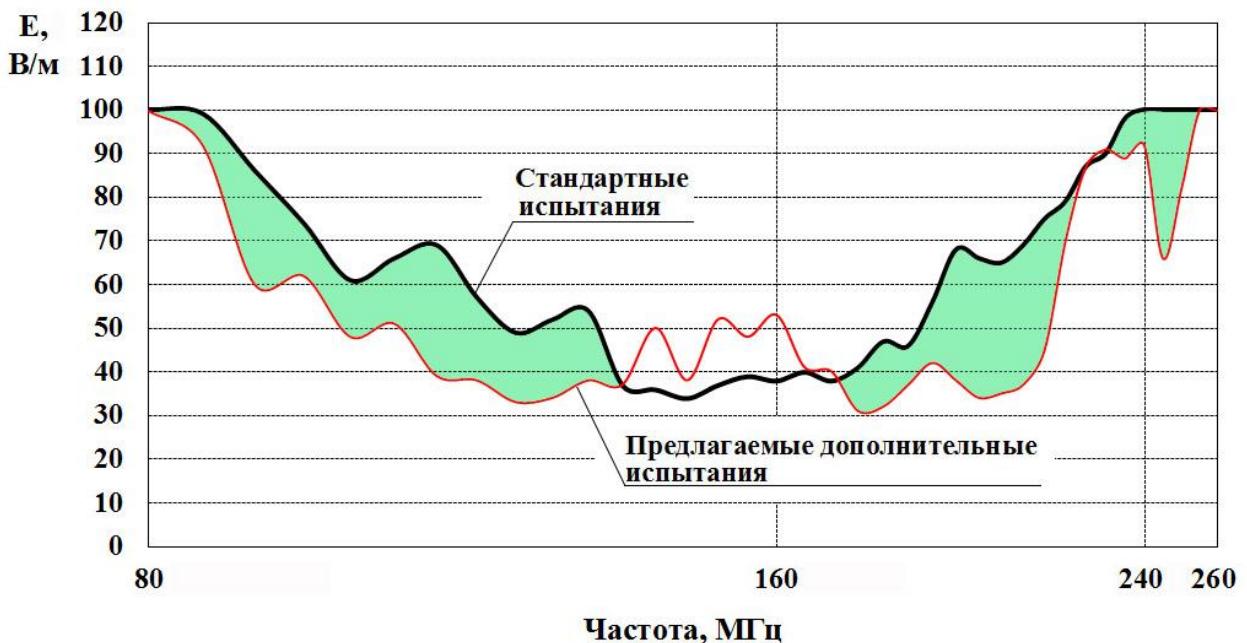


Рисунок 4.30 – Минимальные значения помехоустойчивости электронной системы управления автоматизированной коробкой передач опытного образца автомобиля LADA GRANTA при стандартных и предлагаемых дополнительных испытаниях

Исследуемый автомобиль был оснащен системой управления коробкой передач была зарубежного производителя. Это осложнило детальное изучение причин нарушения работоспособности и выработки рекомендаций по повышению помехоустойчивости.

4.7 Исследование помехоустойчивости канала управления скоростью автомобиля

Объектом исследования был опытный легковой автомобиль LADA Vesta с электронной педалью акселератора.

Конструкция электронной педали, с целью осуществления диагностики, состоит из двух переменных резисторов. Напряжение с которых является функцией изменения ускорения и соответственно скорости АТС.

Исследования показали, что данные, получаемая контроллером системы управления двигателем информация с педали акселератора может исказиться таким образом, что будет интерпретироваться как команда на увеличение или уменьшение скорости автотранспортного средства, в зависимости от того в какую сторону эти данные исказятся (рис.4.31) [59].

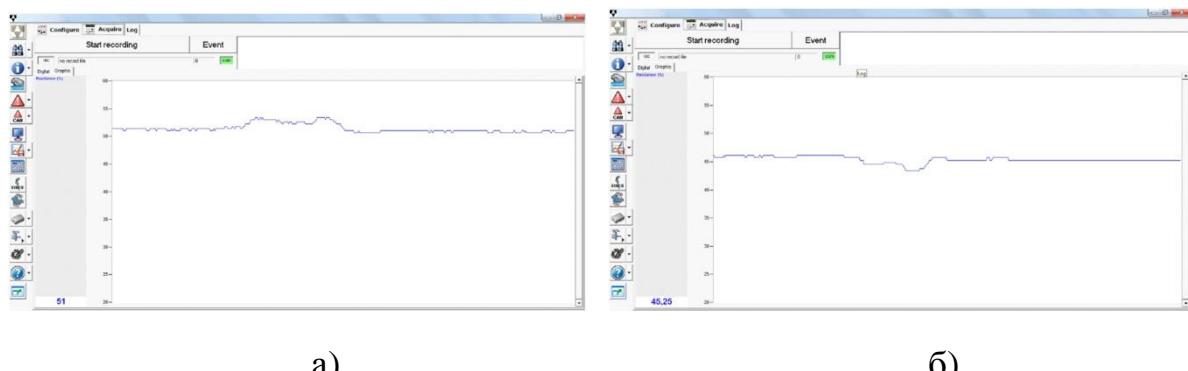


Рисунок 4.31 – Влияние электромагнитного воздействия на показания электронной педали акселератора: а) увеличение; б) уменьшение

Искажение информации с педали акселератора происходило в диапазоне частот от 100 до 775 МГц при воздействии немодулированного узкополосного электромагнитного излучения (рис.4.32). Минимальный уровень помехоустойчивости составил 49 В/м на частоте 139 МГц (рис.4.33).

Исследования показали, что для $F_\beta \geq 0,3$ диапазон частот составил 110 – 580 МГц. Здесь было зафиксировано 95,9% проблем ЭМС.

Обработка данных показала, что максимальное значение параметра Q равно 26,3.

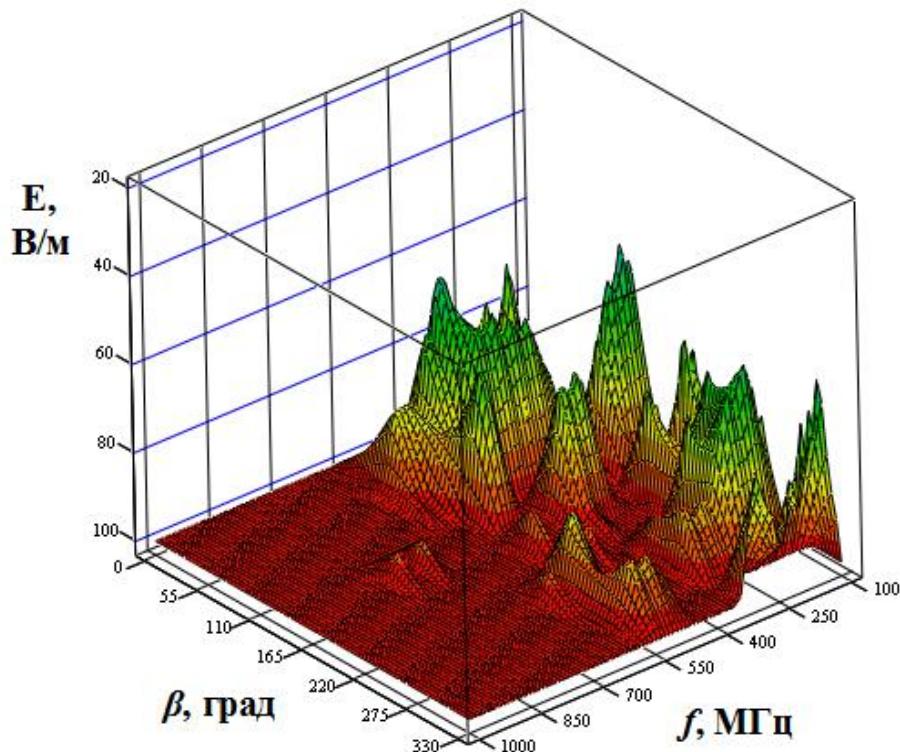


Рисунок 4.32 – Помехоустойчивость канала данных управления скоростью автомобиля LADA Vesta

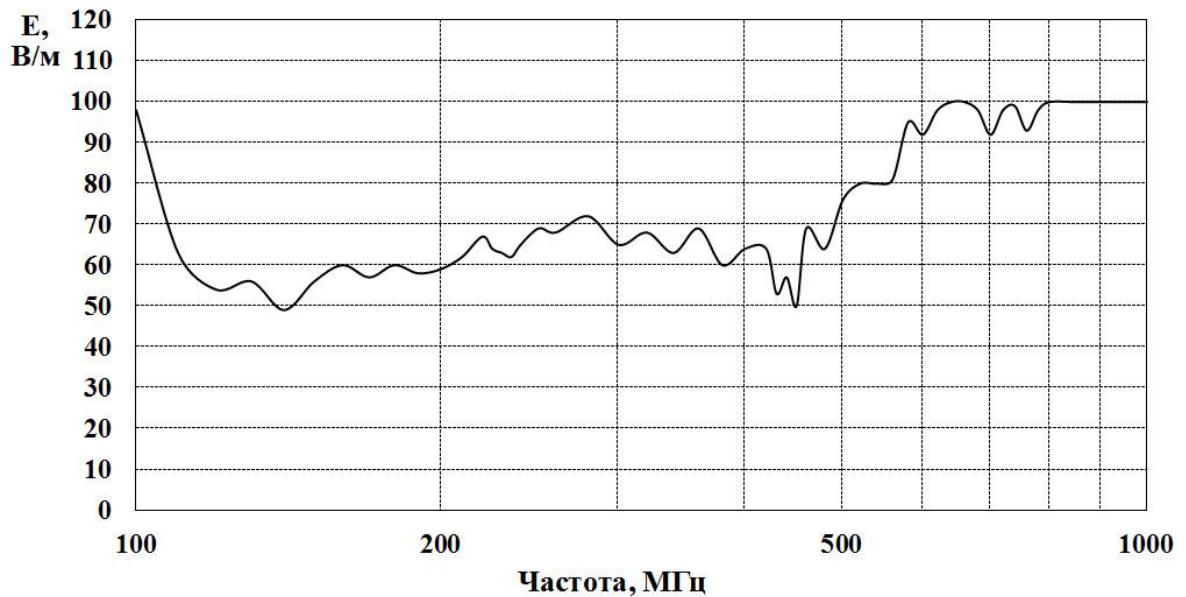


Рисунок 4.33 – Минимальные значения помехоустойчивости азимутальных проекций канала данных управления скоростью автомобиля LADA Vesta

Сравнение результатов стандартных и предлагаемых дополнительных испытаний (рис. 4.34) показало, что в большей части исследуемого диапазона частот уровни помехоустойчивости ЭТС при стандартном фронтальном

позиционировании выше, чем при других азимутальных углах позиционирования АТС к излучателю. Минимальный уровень помехоустойчивости зафиксирован при азимутальном угле 120 град.

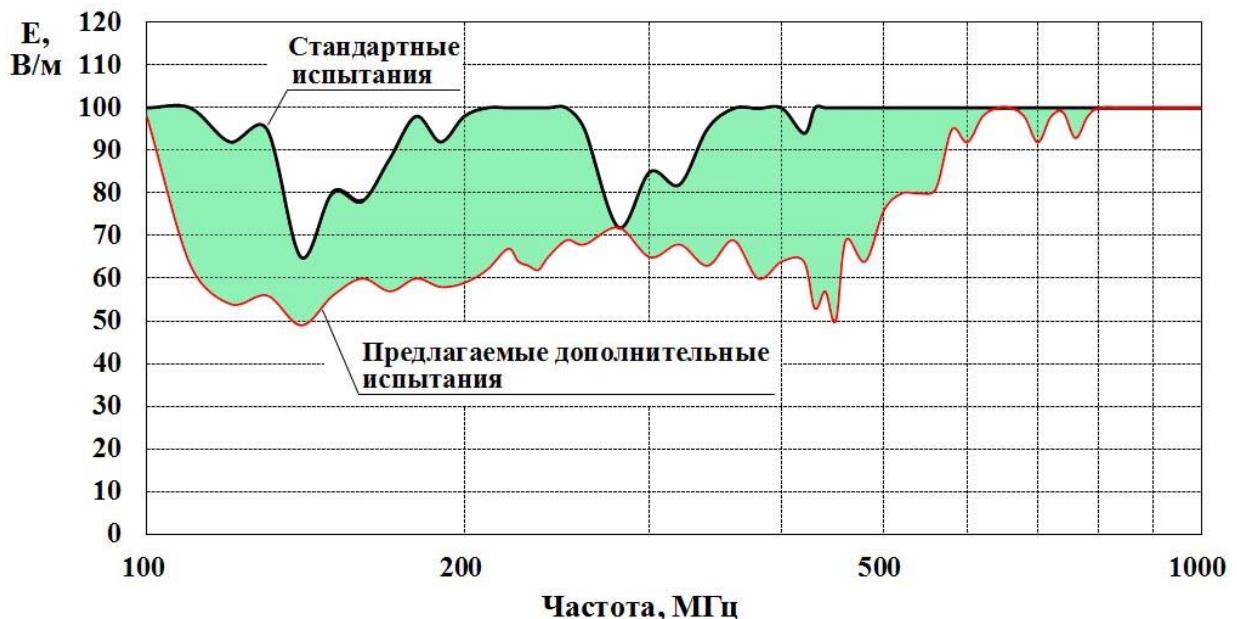


Рисунок 4.34 – Минимальные значения помехоустойчивости канала данных управления скоростью автомобиля LADA Vesta при стандартных и предлагаемых дополнительных испытаниях

Обеспечение помехоустойчивости до уровня 100 В/м в диапазоне тестируемых частот достигнуто экранированием проводов, идущих от педали акселератора до контроллера системы управления двигателем.

4.8 Исследование помехоустойчивости CAN-шины

Объектом исследования был легковой автомобиль LADA GRANTA с CAN-шиной по которой происходит обмен данными между бортовыми электротехническими системами АТС.

Исследования помехоустойчивости выявили проблему искажения передаваемой в шине информации, которая диагностировалась как отсутствие сообщений (рис.4.35) [59]. Данное нарушение работоспособности характеризовалось как функциональный класс D, т.к. система ABS, имеющая развитую диагностику отключалась от сети и не передавала

показания о скорости АТС. Данный сбой приводил к отлучению функции антиблокировки колес при торможении, а также из-за отсутствия данных скорости контроллер системы управления двигателем переходил на аварийный режим работы, что влияло на динамические характеристики АТС.

Для восстановления штатного режима работы ABS необходимо выполнить перезагрузку ее контроллера операцией «выкл/вкл» зажигания.

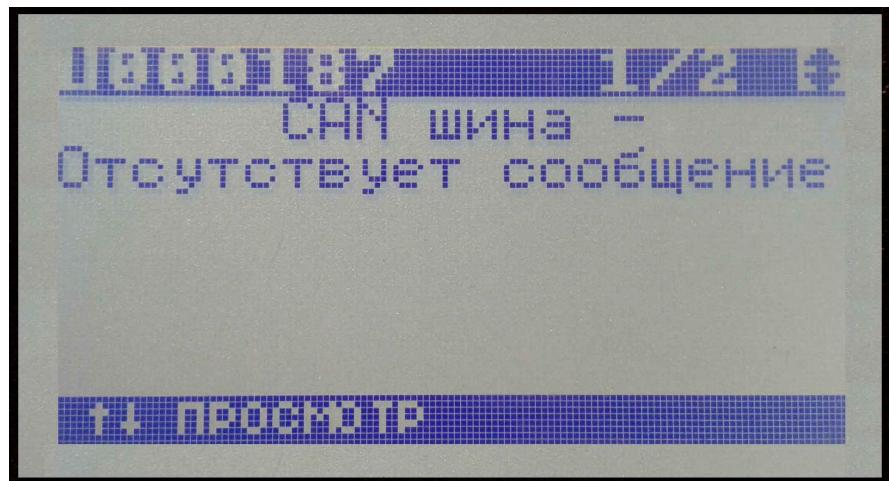


Рисунок 4.35 – Диагностическое сообщение ошибки CAN-шины

Исследования показали, что искажение информации в CAN-шине происходило в диапазоне частот 95 – 780 МГц при воздействии немодулированного узкополосного электромагнитного излучения (рис.4.36).

Для $F_\beta \geq 0,3$ диапазон частот составил 98 – 570 МГц. Здесь было зафиксировано 92,5% нарушений работоспособности по отношению к общему числу. Этому диапазону принадлежит минимальный уровень помехоустойчивости 31 В/м, зафиксированный на частоте 171 МГц (рис. 4.37).

Для $F_\beta \geq 0,2$ диапазон частот составил 95 – 630 МГц. В нем происходило 96,6 % проблем ЭМС.

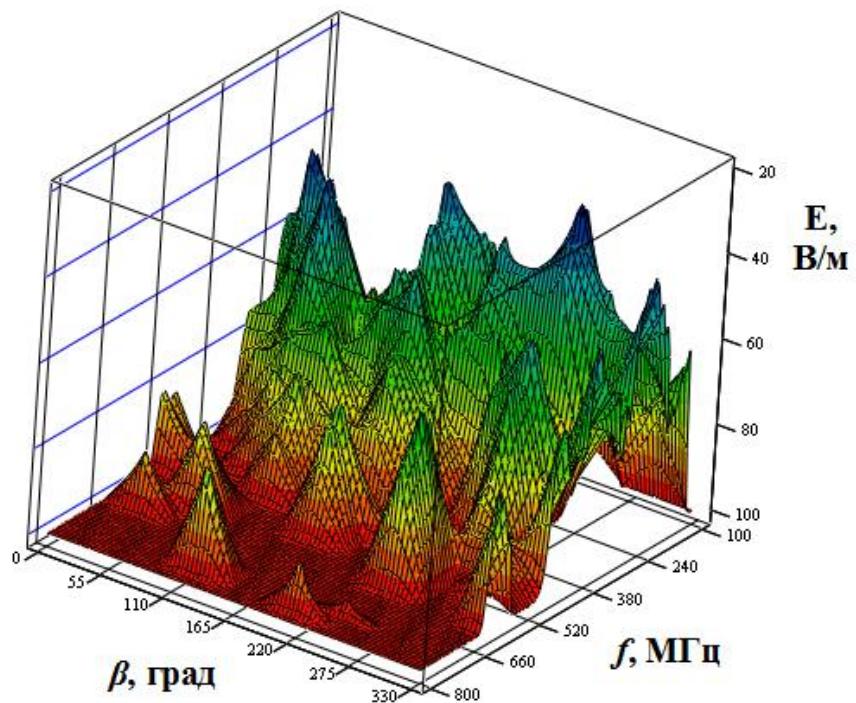


Рисунок 4.36 – Помехоустойчивость CAN-шины автомобиля LADA GRANTA

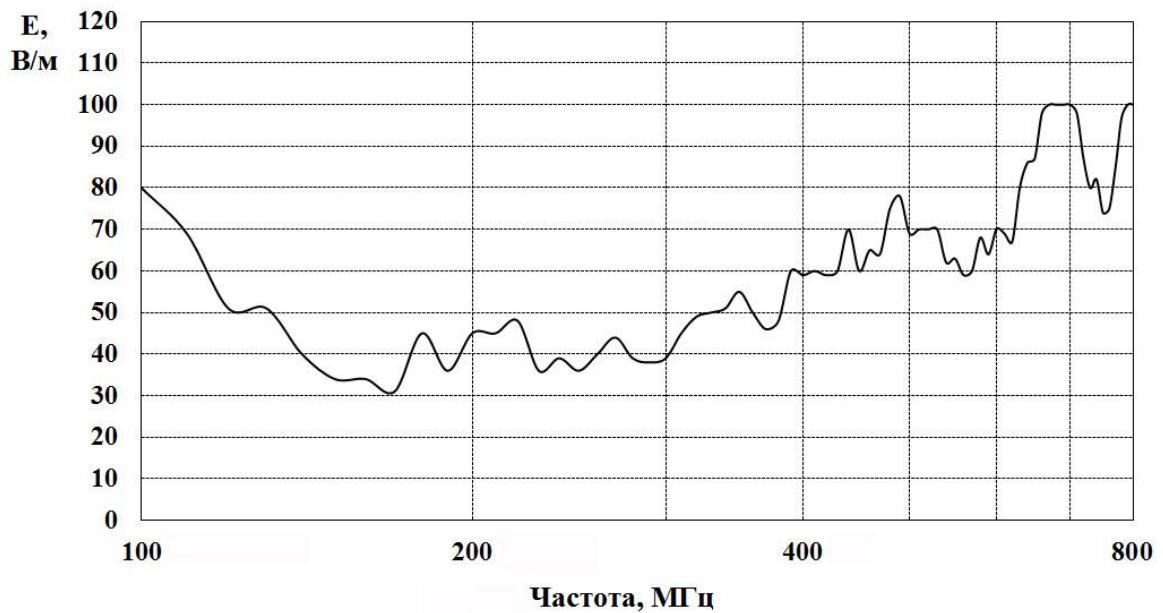


Рисунок 4.37 – Минимальные значения помехоустойчивости азимутальных проекций CAN-шины автомобиля LADA GRANTA

Обработка данных показала, что максимальное значение параметра Q равно 25,6.

Сравнение результатов стандартных и предлагаемых дополнительных

испытаний (рис. 4.38) показало, что в большей части исследуемого диапазона частот уровни помехоустойчивости CAN-шины при стандартном фронтальном позиционировании выше, чем при других азимутальных углах позиционирования АТС к излучателю. Минимальный уровень помехоустойчивости зафиксирован при азимутальном угле 240 град.

Обеспечение помехоустойчивости до уровня 100 В/м в диапазоне тестируемых частот было достигнуто экранированием CAN-шины.

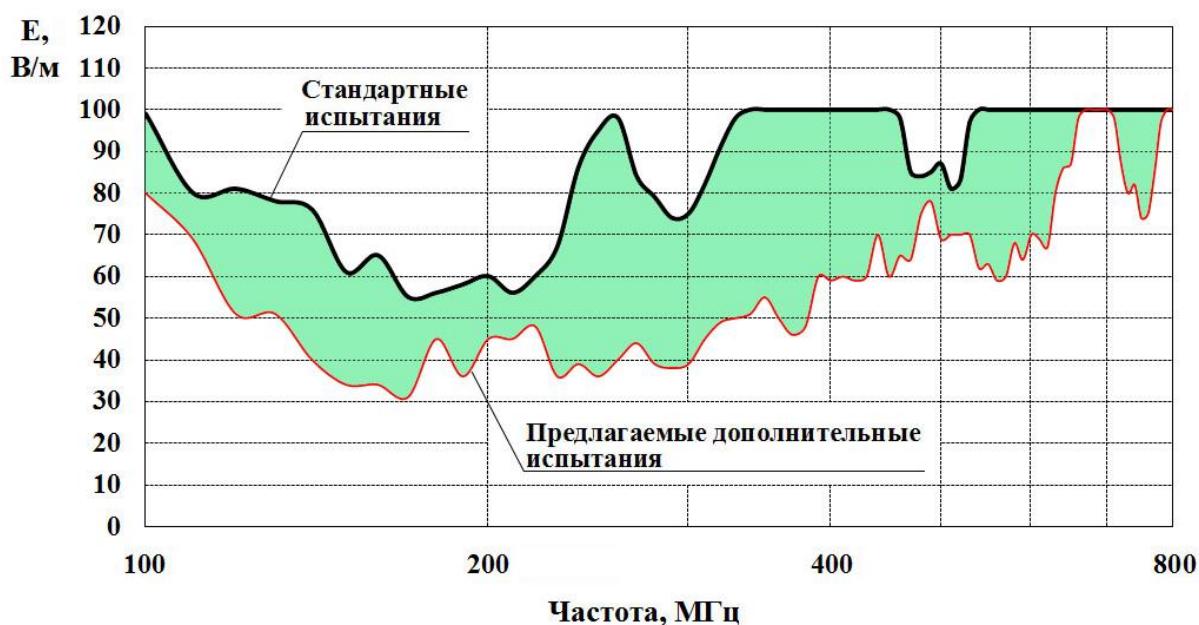


Рисунок 4.38 – Минимальные значения помехоустойчивости CAN-шины автомобиля LADA GRANTA при стандартных и предлагаемых дополнительных испытаниях

4.9 Исследование помехоустойчивости системы ABS

Объектом исследования был автомобиль зарубежного производства с системой ABS. Исследования помехоустойчивости выявили проблему выхода из строя порта датчика скорости колеса. Из-за этой неисправности ABS перестал штатно функционировать. Данное нарушение работоспособности классифицируется как класс Е, т.к. требует ремонта блока.

Отказ произошел на частоте 158 МГц при воздействии амплитудно-

модулированного электромагнитного излучения с уровнем 70 В/м (рис.4.39). Так как исследовался автомобиль зарубежного производства, то это осложнило детальное изучение причин нарушения работоспособности и выработка рекомендаций по повышению помехоустойчивости.

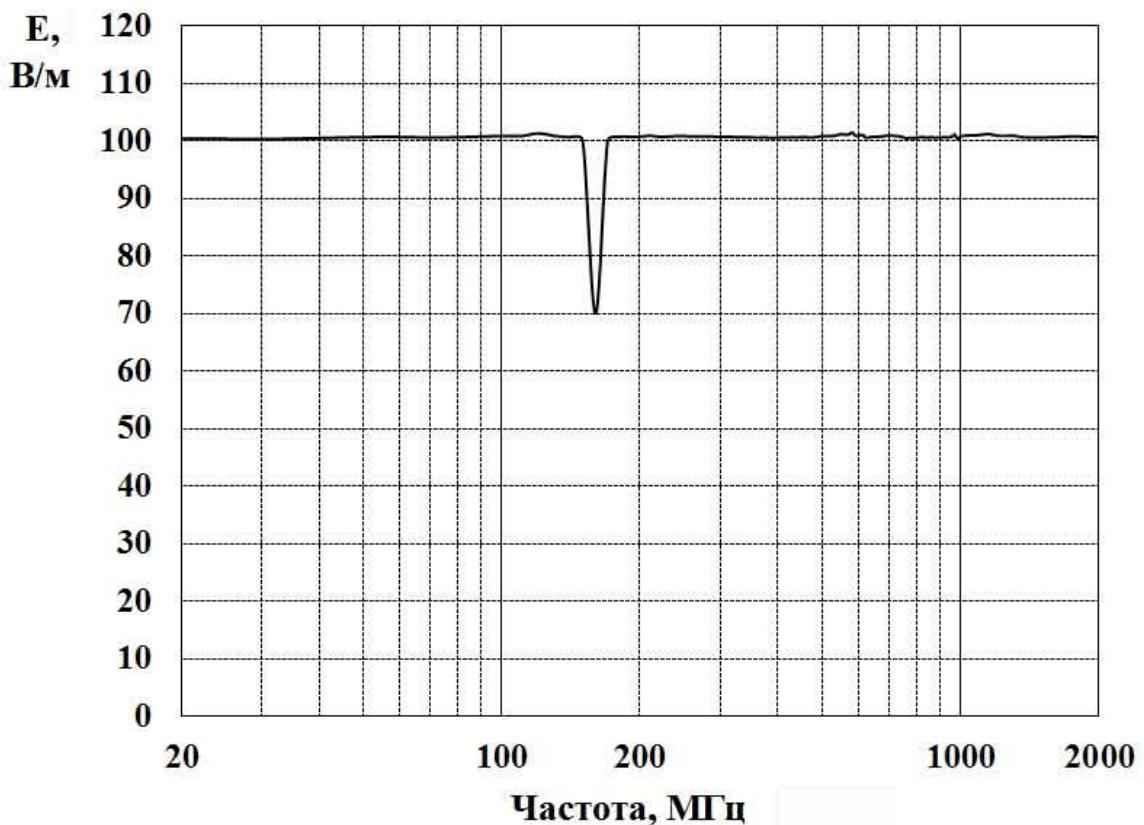


Рисунок 4.39 – Помехоустойчивость системы ABS автомобиля зарубежного производства (функциональный класс Е)

4.10 Исследования помехоустойчивости электронного реле указателей поворота

Объектом исследования был автомобиль LADA 4×4 с опытным образцом электронного реле указателя поворота.

Исследования на помехоустойчивость выявили сбой исследуемого реле. Проблемы выражались в виде прекращения световой сигнализации указателя поворота в диапазоне во время воздействия. После прекращения воздействия функция сигнализации восстанавливалась, что характеризуется как функциональный класс С. В эксплуатации подобного рода проблемы ЭМС

могут привести к неправильной интерпретации о совершаемом маневре у других водителей.

Исследования показали, что нарушения работоспособности происходили в диапазоне частот от 96 до 473 МГц (рис.4.40). Минимальный уровень помехоустойчивости 39 В/м, зафиксирован на частоте 142 МГц (рис.4.41) при угле азимутального позиционирования 60 град [60].

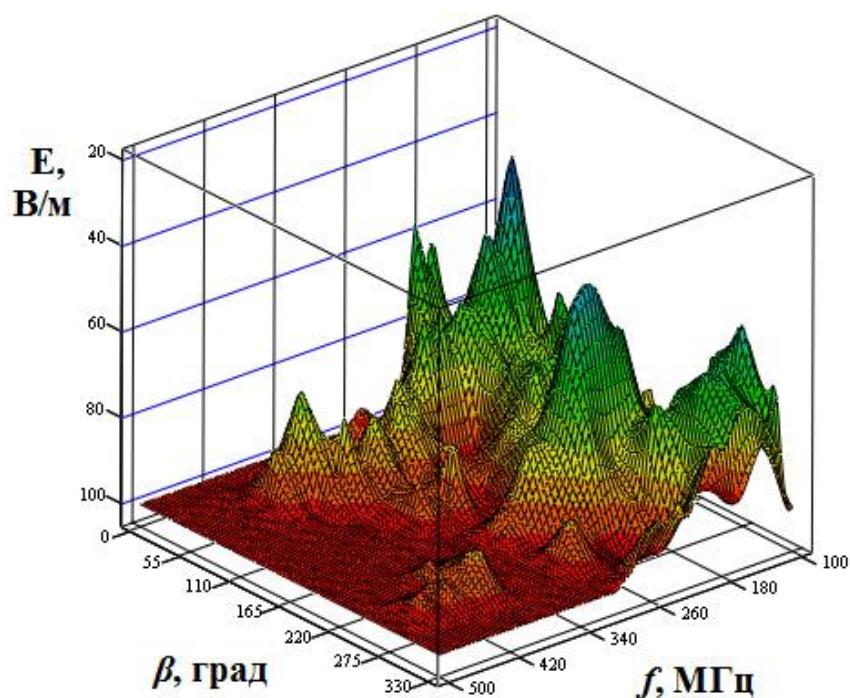


Рисунок 4.40 – Помехоустойчивость опытного образца электронного реле указателя поворота автомобиля LADA 4×4

Для $F_\beta \geq 0,3$ диапазон частот составил 97 – 410 МГц. Здесь было зафиксировано 90,9% нарушений работоспособности по отношению к общему числу. Для $F_\beta \geq 0,2$ диапазон частот составил 96 – 420 МГц. В нем происходило 97,7 % проблем ЭМС.

Обработка данных показала, что максимальное значение параметра Q равно 20,7.

Сравнение результатов стандартных и предлагаемых дополнительных испытаний (рис. 4.42) показало, что в большей части исследуемого диапазона

частот уровня помехоустойчивости электронное реле указателей поворота при стандартном фронтальном позиционировании выше, чем при других азимутальных углах позиционирования АТС к излучателю. Минимальный уровень помехоустойчивости зафиксирован при азимутальном угле 60 град.

Обеспечение помехоустойчивости до уровня 100 В/м достигнуто увеличением емкости фильтрующих конденсаторов поверхностного монтажа по цепи питания до номинала 0,1 мкФ.

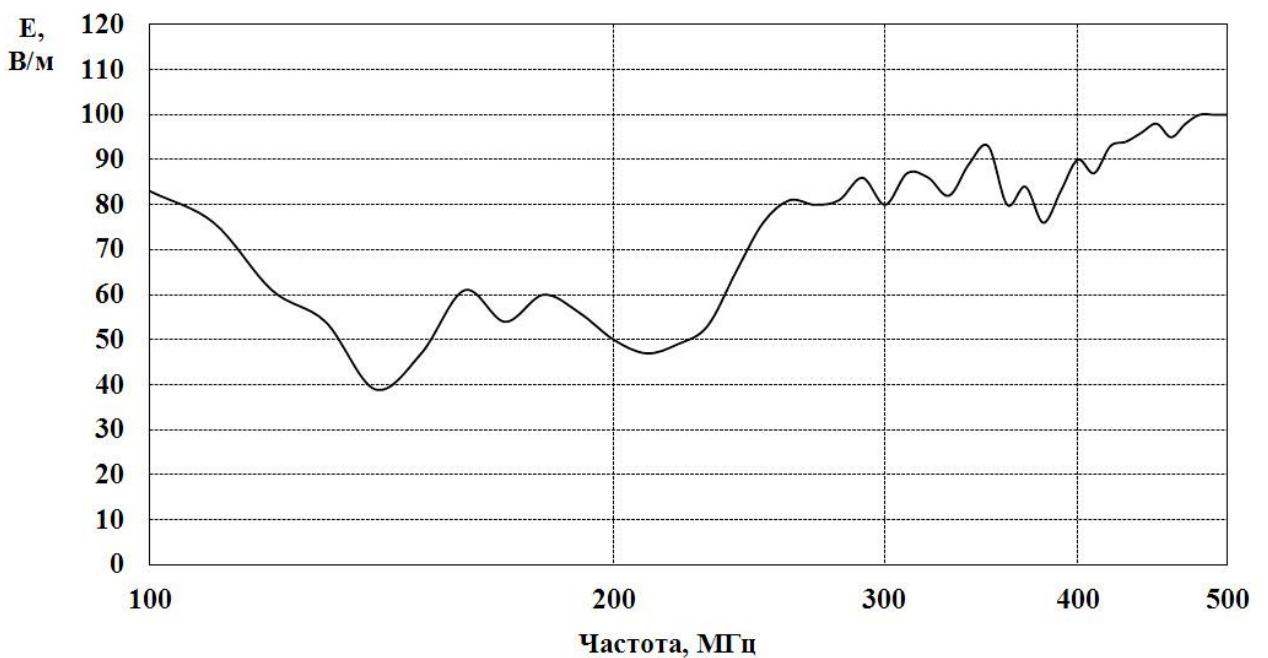


Рисунок 4.41 – Минимальные значения помехоустойчивости азимутальных проекций опытного образца электронного реле указателей поворота автомобиля LADA 4×4

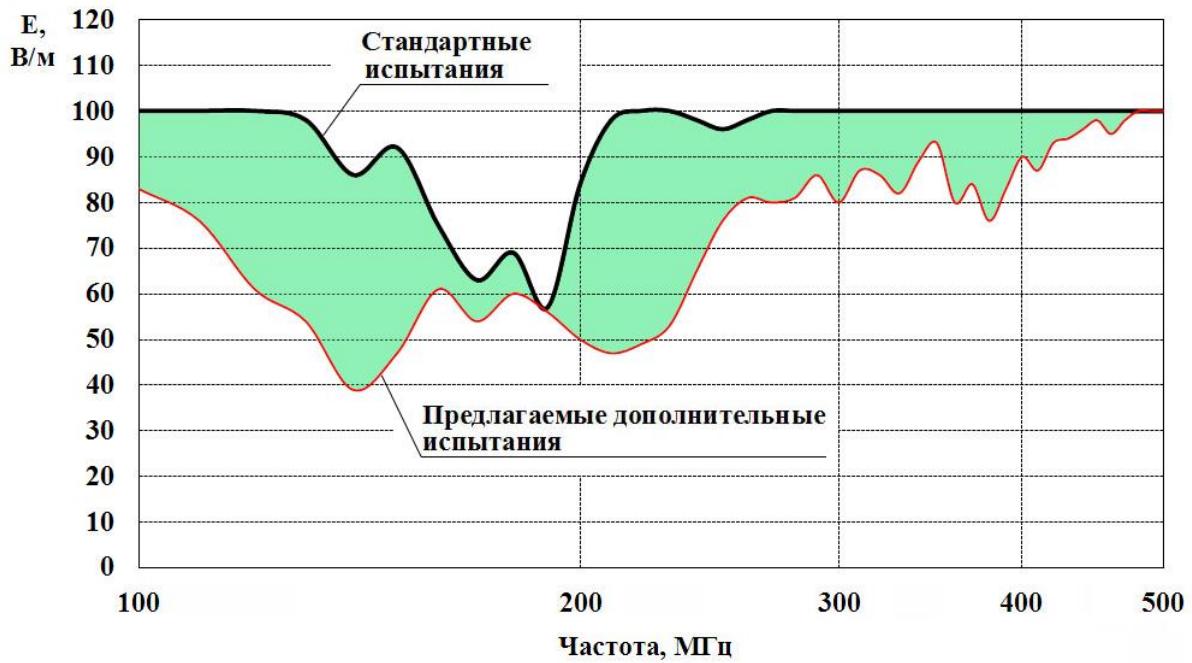


Рисунок 4.42 – Минимальные значения помехоустойчивости опытного образца электронного реле указателей поворота автомобиля LADA 4×4 при стандартных и предлагаемых дополнительных испытаниях

4.11 Выводы по четвертой главе

1. Для исследования помехоустойчивости БЭК АТС применена современная экспериментальная база, включающая в себя безэховую камеру, полеобразующие системы, способные создавать электромагнитное поле не менее 200 В/м в диапазоне частот от 20 МГц до 2 ГГц, а также помехозащищенные системы мониторинга, способные в условиях мощных воздействий контролировать работоспособность тестируемого объекта. Применяемое оборудование позволяет достоверно выявлять проблемы совместимости и с высокой точностью измерять уровни помехоустойчивости.

2. Проведены экспериментальные исследования помехоустойчивости различных ЭТС АТС отечественного и зарубежного производства. Изучены проблемы совместимости и исследованы физические процессы сбоев. Показано, что наведенные внешним электромагнитным полем помехи воздействуют по слабозащищенным каналам, искажая данные с датчиковой

аппаратуры и в линиях связи, а также воздействуют на микропроцессоры по сигнальным цепям и проводам питания, вследствие чего из-за искажения, потери полезной информации или зависания микропроцессоров происходят нарушения работоспособности электротехнических систем.

3. Определены частоты электромагнитных полей, при которых нарушалась работоспособность ЭТС АТС. Исследования выявили проблемы совместимости в диапазоне от 80 МГц до 1,4 ГГц. Частоты, на которых наиболее вероятно появление проблем ЭМС лежат в области от 97 до 580 МГц.

4. Экспериментально доказано, что помехоустойчивость зависит от азимутального позиционирования АТС относительно источника электромагнитного излучения. Определено, что минимальные уровни электромагнитных излучений, при которых происходят нарушения работоспособности ЭТС могут не соответствовать направлениям, совпадающим с продольной и перпендикулярной осями симметрии АТС.

5. Найдены уровни помехоустойчивости ЭТС. Минимумы лежат в области частот от 124 до 597 МГц и имеют значения от 25 В/м, что ниже предела регламентированных международными требований. Данные эксперименты доказывают актуальность проблемы электромагнитной безопасности автотранспортных средств, а также важность развития теории и практики направления ЭМС автотранспортных средств.

6. Сравнение результатов стандартных и предлагаемых дополнительных испытаний показало обоснованность применения тестов в азимутальной области, т.к. в большей части исследуемого диапазона частот уровни помехоустойчивости электротехнических систем при стандартном фронтальном позиционировании выше, чем при других азимутальных углах позиционирования АТС к излучателю. Проведенные эксперименты доказывают, что испытания во всем диапазоне азимутальных углов

позволяет, по сравнению со стандартными тестами, более полно оценить электротехнические системы АТС на соответствие требованиям ЭМС.

7. Предложены программные, схемотехнические и конструкционные решения по обеспечению помехоустойчивости ЭТС к уровням воздействий 100 В/м, и повышающие электромагнитную безопасность АТС в процессе эксплуатации.

8. Экспериментально определен диапазон параметра Q для задания шага перестройки позиционирования, имеющий пределы от 19,5 до 33,8.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ВЫВОДЫ

Предложено решение важной научно-технической задачи, связанной с совершенствованием системы контроля бортового электротехнического комплекса новых автомобилей на помехоустойчивость к электромагнитным воздействиям. В ходе решения поставленной задачи в диссертации получены следующие основные научные и практические результаты:

1. Разработана система контроля БЭК, обеспечивающая повышение электромагнитной безопасности новых АТС в процессе эксплуатации, которая, в отличие от известных, учитывает параметры неопределенности ориентации автомобиля по отношению к источнику излучения, что позволяет проводить контрольные тесты на восприимчивость условий электромагнитной обстановки, приближенные к реальным особенностям эксплуатации АТС. Определено, что наиболее приемлемый дискретный угол поворота по азимуту составляет $\beta_{\text{опт.д}}=10$ град. В рамках разработанной системы контроля обоснован выбор расстояния между АТС и полеобразующей системой, исходя из условия максимального линейного размера АТС. Предложена методика контрольных испытаний АТС, позволяющая тестировать на помехоустойчивость ЭТС к широкополосному электромагнитному внешнему воздействию. Выбрана однополярная форма импульса, представляющего собой полуволну синусоиды с частотой до 1,5 ГГц. Рассчитан минимальный период следования испытательных импульсов, равный 83 мс. Разработан инструментарий тестов ездовых циклов, отличающийся от известных, возможностью реализации различных динамических режимов для комплексной оценки помехоустойчивости БЭК АТС. Найдены коэффициенты циклов для автоматизированной реализации в динамометрическом роликовом стенде с применением робота-автопилота.
2. Предложен алгоритм нахождения предельно допустимого уровня помехоустойчивости ЭТС новых АТС. Использование алгоритма в исследованиях ЭМС, позволяет получать более достоверный результат

поиска предельно допустимого уровня помехоустойчивости в сравнении с применяемыми в настоящее время методиками, за счет применения экспериментально разработанной функции итерационного снижения уровня электромагнитного воздействия с целью определения частоты сигнала, при которой наблюдается минимальная помехоустойчивость и регистрируются сбои ЭТС (БЭК). Применение алгоритма обеспечивает снижение относительной погрешности поиска предельно допустимого уровня помехоустойчивости до 12,7%.

3. Разработана вероятностная математическая модель и критерий оценки соответствия требованиям помехоустойчивости БЭК новых АТС одинаковых моделей и комплектаций, позволяющие проводить анализ конструкторских решений по помехозащищенности и приемку продукции в условиях массового производства. Вероятностная математическая модель и критерий оценки соответствия требованиям помехоустойчивости БЭК АТС формируют базис для организации приемочного контроля партии новых автомобилей в условиях массового производства, по параметрам ЭМС.

4. Проведенные, на основе предложенной системы контроля и алгоритма нахождения предельно допустимого уровня помехоустойчивости БЭК АТС, экспериментальные исследования позволили определить уровни помехоустойчивости и изучить причины нарушения работоспособности БЭК. Показано, что проблемы электромагнитной совместимости БЭК АТС наблюдаются в диапазоне частот от 80 до 1400 МГц. Наиболее ожидаемы нарушения работоспособности в диапазоне частот от 97 до 580 МГц. Экспериментально подтверждено, что по сравнению с ранее известными системами контроля, предлагаемая позволяет более полно оценить БЭК АТС на соответствие требованиям ЭМС. Все предложенные технические решения прошли апробацию и внедрены в практику крупнейшего производителя легковых автомобилей ПАО «АВТОВАЗ».

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Анисимов А.В. Зарубежный опыт решения проблемы молниестойкости авиационной техники. [Текст] / А.В. Анисимов, О.А. Стржелинский. – Технологии ЭМС. – 2010. – №1 (32) – С.89-98.
2. Балюк Н.В. Мощный электромагнитный импульс: воздействие на электронные средства и методы защиты. [Текст] / Балюк Н.В., Кечиев Л.Н., Степанов П.В. – М.: ООО «Группа ИДТ», 2008. – 478 с.
3. Белоконь И.Н. Оценка защищенности информационных инфраструктур от воздействия сверхкороткоимпульсных электромагнитных излучений техногенного происхождения. [Текст] / И.Н. Белоконь, А.Н. Гончаров, С.Н. Долбня, А.С. Кудряшов, А.В. Фотеев. – Технологии ЭМС. – 2010 – №1 (32) – С. 58-65.
4. Бессонов Л.А. Теоретические основы электротехники [Текст] / Л.А. Бессонов – М.: Высшая школа, – 1996. – 638 с.
5. Вентцель Е.С. Теория вероятностей и ее инженерные приложения. [Текст] / Е.С. Вентцель, Л.А. Овчаров. – М.: Наука. – 1988. – 480 с.
6. Володина Н.А. Проблемы электромагнитной совместимости электронной аппаратуры и электрооборудования автотранспортных средств. [Текст] / Н.А. Володина, А.К. Старостин. – М.: НИИАЭ, 1996. – 260 с.
7. Газизов Т.Р. Электромагнитный терроризм на рубеже тысячелетий / Под ред. Т.Р. Газизова [Текст] – Томск: Томский государственный университет, 2002. – 206 с.
8. ГОСТ 12.1.002-84. Электрические поля промышленной частоты. Допустимые уровни напряженности и требования к проведению контроля на рабочих местах. [Текст] – М.: Изд-во стандартов, 1986. – 8 с.
9. ГОСТ 28751-90. Электромагнитная совместимость. Кондуктивные помехи по цепям питания. [Текст] – М.: Изд-во стандартов, 1991. – 20 с.

10. ГОСТ Р 50648-94. Устойчивость к магнитному полю промышленной частоты. Технические требования и методы испытаний. [Текст] – М.: Изд-во стандартов, 1994. – 16 с.
11. ГОСТ Р 51320-99. Совместимость технических средств электромагнитная. Радиопомехи индустриальные. Методы испытаний технических средств – источников индустриальных радиопомех. [Текст] – М.: Изд-во стандартов, 1999. – 39 с.
12. ГОСТ 52230-2004 Электрооборудование автотракторное. Общие технические условия. [Текст] – М.: Стандартинформ, 2004. – 27 с.
13. ГОСТ Р 54618-2011. Система экстренного реагирования при авариях. Методы испытаний автомобильной системы вызова экстренных оперативных служб на соответствие требованиям по электромагнитной совместимости, стойкости к климатическим и механическим воздействиям. [Текст] – М.: Стандартинформ, 2012. – 32 с.
14. ГОСТ Р МЭК 61508-1-2012. Функциональная безопасность систем электрических, электронных, программируемых электронных, связанных с безопасностью. Часть 1. Общие требования. [Текст] – М.: Стандартинформ, 2013. – 53 с.
15. ГОСТ Р МЭК 61508-2-2012. Функциональная безопасность систем электрических, электронных, программируемых электронных, связанных с безопасностью. Часть 2. Требования к системам. [Текст] – М.: Стандартинформ, 2013. – 87 с.
16. ГОСТ Р МЭК 61508-3-2012. Функциональная безопасность систем электрических, электронных, программируемых электронных, связанных с безопасностью. Часть 3. Требования к программному обеспечению [Текст] – М.: Стандартинформ, 2013. – 133 с.
17. ГОСТ Р МЭК 61508-4-2012. Функциональная безопасность систем электрических, электронных, программируемых электронных, связанных с безопасностью. Часть 4. Термины и определения. [Текст] – М.: Стандартинформ, 2013. – 45 с.

18. ГОСТ Р МЭК 61508-5-2012. Функциональная безопасность систем электрических, электронных, программируемых электронных, связанных с безопасностью. Часть 5. Рекомендации по применению методов определения уровней полноты безопасности. [Текст] – М.: Стандартинформ, 2013. – 62 с.
19. ГОСТ Р МЭК 61508-6-2012. Функциональная безопасность систем электрических, электронных, программируемых электронных, связанных с безопасностью. Часть 6. Руководство по применению ГОСТ Р МЭК 61508-2 и ГОСТ Р МЭК 61508-3. [Текст] – М.: Стандартинформ, 2013. – 60 с.
20. ГОСТ Р МЭК 61508-7-2012. Функциональная безопасность систем электрических, электронных, программируемых электронных, связанных с безопасностью. Часть 7. Методы и средства. [Текст] – М.: Стандартинформ, 2013. – 177 с.
21. ГОСТ РВ 20.39.301-98. [Текст] / Комплекс государственных военных стандартов «Мороз-6».
22. Давыдов А.А. Электромагнитные факторы природного и техногенного происхождения и способы их воспроизведения при испытаниях объектов вооружения и военной техники [Текст] / А.А. Давыдов, В.А. Плыгач, Ю.Ф. Чибисов. – Технологии ЭМС. – 2010. – №1 (32) – С.38-48.
23. 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).
24. Кечиев Л.Н. Предотвращение катастроф электромагнитного характера в информационных системах. [Текст] / Л.Н. Кечиев, П.В. Степанов, О.Н. Арчаков – Технологии электромагнитной совместимости. – 2005. – №4(15). – С. 7–19.
25. Князев А.Д. Конструирование радиоэлектронной и электронно-вычислительной аппаратуры с учетом электромагнитной совместимости. [Текст] / А.Д. Князев, Л.Н. Кечиев, Б.В. Петров. – М.: Радио и связь. – 1989. – 224 с.
26. Ковнеристый Ю.К. Материалы, поглощающие СВЧ-излучение. [Текст] /

- Ковнеристый Ю. К., Лазарев И. Ю., Раваев А. А. – М.: Наука, 1982. – 165 с.
27. Комягин С.И. Электромагнитная стойкость беспилотных летательных аппаратов. [Текст] / С.И. Комягин. – М.: КРАСАНДР, 2015. – 432 с.
28. Кувшинников В.М., Паньков В.И., Шведов А.А. ЭМИ наземного ЯВ. Физика ядерного взрыва, Т.1. [Текст] – М.: Физматлит, 1997. – С. 85–104.
29. Лоборев В.М. Физика ядерного взрыва, Т.1. Развитие взрыва [Текст] / Лоборев В.М. Замышляев Б.В., Маслин Е.П., Шилобреев Б.А. – М.: Физматлит, 1997. – 528 с.
30. Максимов М.В. Защита от радиопомех. [Текст] / М.В. Максимов. – М.: Советское радио, 1976. – 496 с.
31. Маслов О. Н. Экологический риск и электромагнитная безопасность. [Текст] / О.Н. Маслов. – М.: ИРИАС, 2004. – 330 с.
32. Маслов О.Н. Направленные свойства системы случайных излучателей импульсного сигнала без несущей. [Текст] / О.Н. Маслов, А.С. Раков. – Инфокоммуникационные технологии. Приложение «Методы и средства обеспечения безопасности в инфокоммуникациях». – 2006. – №6. – С. 105-119.
33. Мицмахер М.Ю. Безэховые камеры СВЧ. [Текст] / М.Ю. Мицмахер, В.А. Торгованов. – М.: Радио и связь, 1982. – 129 с.
34. Мороз С.М. Концепция повышения электромагнитной безопасности автомобилей, находящихся в эксплуатации. [Текст] / С.М. Мороз, П.А. Николаев, А.Д. Николаев. – Электроника и электрооборудование транспорта. – 2012 – № 2-3 – С.51-55.
35. МЭК 61000-2-13. Электромагнитная совместимость (ЭМС). Устойчивость с СШП-ЭМИ. 2004.
36. Николаев П.А. Анализ возможных причин отказа электроники и электрооборудования автомобиля при электромагнитном терроризме. [Текст] / П.А. Николаев, Н.Е. Конюхов, С.А. Червяков – Инфокоммуникационные

технологии. Приложение «Методы и средства обеспечения безопасности в инфокоммуникациях». – 2006. – С.234-245.

37. Николаев П.А. Влияние электромагнитного поля на генератор напряжения автомобиля. [Текст] / Николаев П.А., Николаев А.Д. – Технологии электромагнитной совместимости. – 2011 – №1 (36) – С. 39-44.

38. Николаев П.А. Влияние электромагнитных помех по каналу датчика массового расхода воздуха на работу автомобильных двигателей с принудительным зажиганием [Текст] / Николаев П.А., Николаев А.Д. – Технологии электромагнитной совместимости. – 2010 – №4 (35) – С. 18-21.

39. Николаев П.А. Измерение мощности радиопомех от системы зажигания автомобилей при работе двигателя на холостом ходу. [Текст] / П.А. Николаев, Н.Е. Конюхов. – Измерительная техника. Приложение «Метрология». – 2004. – №8. – С. 20-24.

40. Николаев П.А. Испытания электромеханического усилителя рулевого управления автомобиля к электромагнитному воздействию. [Текст] / Николаев П.А., Куклина А.В. – Технологии электромагнитной совместимости. – 2015 – №2 (53) – С. 38-41.

41. Николаев П.А. Устойчивость автомобилей к электромагнитному воздействию. [Текст] / Николаев П.А., Николаев А.Д. – Технологии электромагнитной совместимости. – 2014 – №4 (51) – С. 72-76.

42. Николаев П.А. Электромагнитная совместимость автотранспортных средств [Текст] / Николаев П.А., Кечиев Л.Н. / Под ред. Л.Н. Кечиева. – М.: Грифон, 2015. – 424 с. – (Библиотека ЭМС).

43. Николаев П.А. Электромагнитная совместимость современных автомобильных систем зажигания: монография [Текст] / П.А. Николаев. - Тольятти.: ПВГУС, 2011. – 224 с.

44. Основы электромагнитной совместимости. Учебник для вузов. [Текст] / Н.А. Володина, Р.Н. Карякин, Л.В. Куликова, О.К. Никольский, А.А. Сошников, А.Л. Андронов, В.С. Германенко, П.И. Семичевский. / под ред. Р.Н. Карякина. – Барнаул: ОАО «Алтайский полиграфический комбинат», 2007 – 480 с.
45. Пат. № 2640376 Российская Федерация. Способ испытаний электрооборудования автотранспортных средств на восприимчивость к электромагнитному полю [Текст] / А.С. Подгорний, П.А. Николаев, Б.М. Горшков, Н.С. Самохина; заявитель и патентообладатель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Поволжский государственный университет сервиса». Опубл. 28.12.17, Бюл. № 1.
46. Пат. № 2642024 Российская Федерация. Способ оценки технических средств на соответствие нормативным требованиям на помехоустойчивость [Текст] / П.А. Николаев, Т.Г. Герасимов, А.С. Подгорний; заявитель и патентообладатель Публичное акционерное общество «АВТОВАЗ». Опубл. 23.01.18, Бюл. № 3.
47. Подгорний А.С. Автотранспортное средство в условиях воздействия гармонических электромагнитных полей. [Текст] / П.А. Николаев, Л.Н. Кечиев, Н.В. Балюк, А.С. Подгорний. – Технологии электромагнитной совместимости. – 2016. – №2 (57). – С.5-14.
48. Подгорний А.С. Выбор шага перестройки по частоте при испытаниях электромобилей на внешнее электромагнитное воздействие [Текст] / А.С. Подгорний, П.А. Николаев, А.Д. Николаев // Электроэнергетика глазами молодежи – 2017: материалы VIII Международной молодёжной научно-технической конференции. – Самара: СамГТУ, 2017. – Том №1. – С. 162-163.
49. Подгорин А.С. Испытания автотранспортных средств на устойчивость к внешним электромагнитным воздействиям. [Текст] / П.А. Николаев, В.Н.

Козловский, А.С. Подгорний // Электроника и электрооборудование транспорта. – 2017. – № 5. – С. 43-46.

50. Подгорний А.С. Испытания автомобилей на восприимчивость к электромагнитному воздействию [Текст] / А.С. Подгорний, П.А. Николаев // Технологии, измерения и испытания в области электромагнитной совместимости: труды IV Всероссийской НТК «Техно-ЭМС 2017». – М.: Грифон, 2017. – С. 84-85.

51. Подгорний А.С. Испытания на восприимчивость к электромагнитному излучению гибридных автомобилей [Текст] / А.С. Подгорний, П.А. Николаев // Материалы докладов XX аспирантско-магистерского научного семинара, посвященного дню энергетика. – Казань: КГЭУ, 2016. – Том №1. – С.186-187.

52. Подгорний А.С. Испытания системы «Эра ГЛОНАСС» на помехоустойчивость [Текст] / А.С. Подгорний, П.А. Николаев // Технологии, измерения и испытания в области электромагнитной совместимости: труды III Всероссийской НТК «Техно-ЭМС 2016». – М.: Грифон, 2016. – С. 139-141.

53. Подгорний А.С. Обеспечение параметрами электромагнитной совместимости гибридных автомобилей [Текст] / А.С. Подгорний, П.А. Николаев // Тинчуринские чтения: Материалы докладов XII международной молодежной научной конференции. – Казань: КГЭУ, 2017. – Том №1. – С.317.

54. Подгорний А.С. Оценка соответствия автомобилей требованиям помехоустойчивости к внешним электромагнитным воздействиям. [Текст] / П.А. Николаев, В.Н. Козловский, А.С. Подгорний // Грузовик. – 2017. – № 10. – С. 44-48.

55. Подгорний А.С. Повышение устойчивости автотранспортных средств в условиях сложной электромагнитной обстановки. [Текст] / П.А. Николаев,

Л.Н. Кечиев, Н.В. Балюк, А.С. Подгорний. – Технологии электромагнитной совместимости. – 2017. – №1 (60). – С.3-12.

56. Подгорний А.С. Позиционирование автотранспортного средства при испытаниях на устойчивость к электромагнитному воздействию [Текст] / А.С. Подгорний, П.А. Николаев // Наука и творчество: взгляд молодых профессионалов: Сборник статей IX Международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых специалистов. – Тольятти: ПВГУС, 2016. – С.138-141.

57. Подгорний А.С. Помехозащищенное устройство сбора данных для испытаний автомобилей на устойчивость к электромагнитному воздействию [Текст] / А.С. Подгорний, П.А. Николаев // Проблемы техники и технологий телекоммуникаций: XVII Международная научно-техническая конференция. – Самара: ПГУТИ, 2016. – С. 424-435.

58. Подгорний А.С. Проблемы испытаний автотранспортных средств на восприимчивость к электромагнитному воздействию [Текст] / А.С. Подгорний, П.А. Николаев // Технологии, измерения и испытания в области электромагнитной совместимости: труды III Всероссийской НТК «Техно-ЭМС 2016». – М.: Грифон, 2016. – С. 136-138.

59. Подгорний А.С. Требования обеспечения устойчивости основных систем автотранспортных средств в условиях сложной электромагнитной обстановки. [Текст] / П.А. Николаев, Л.Н. Кечиев, Н.В. Балюк, А.С. Подгорний. – Технологии электромагнитной совместимости. – 2016. – №3 (58). – С.3-10.

60. Подгорний А.С. Проблемы оценки помехоустойчивости автомобилей [Текст] / А.С. Подгорний, П.А. Николаев // Технологии, измерения и испытания в области электромагнитной совместимости: труды V Всероссийской НТК «Техно-ЭМС 2018». – М.: Грифон, 2018. – С. 74-75.

61. Правила № 10. Единообразные предписания, касающиеся официального утверждения транспортных средств в отношении электромагнитной совместимости. [Текст] / Добавление 9. – Пересмотр 3. – ЕЭК ООН, 2008.
62. Правила № 10. Единообразные предписания, касающиеся официального утверждения транспортных средств в отношении электромагнитной совместимости. [Текст] / Добавление 9. – Пересмотр 4. – ЕЭК ООН, 2012.
63. Правила № 10. Единообразные предписания, касающиеся официального утверждения транспортных средств в отношении электромагнитной совместимости. [Текст] / Добавление 9. – Пересмотр 5. – ЕЭК ООН, 2014.
64. Рикетс Л.У., Бриджес Дж. Э., Майлетта Дж. Электромагнитный импульс и методы защиты: Пер. с англ. /Под ред. Н.А. Ухина. [Текст] – М.: Атомиздат, 1979 – 327 с.
65. Слюсар В.И. Генераторы супермощных электромагнитных импульсов в информационных войнах. Обзор. [Текст] / В.И. Слюсар – Электроника: наука, технология, бизнес. 2002. – №5. – 2002. – С. 60–67.
66. Уайт Д. Электромагнитная совместимость радиоэлектронных средств и непреднамеренные помехи. Вып. 1. Общие вопросы ЭМС. Межсистемные помехи: Сокр. пер. с англ. / Под ред. А.И. Сапгира. [Текст] – М.: Советское радио, 1977. – 352 с.
67. Уильямс Т. ЭМС для разработчиков продукции. [Текст]. – М.: ООО «Издательский дом «Технологии», 2004. – 508 с.
68. Хаббигер Э. Электромагнитная совместимость. Основы ее обеспечения в технике: Пер. с нем. / И.П. Кужекин; Под ред. Б.К. Максимова. [Текст] – М.: Энергоатомиздат, 1995.- 304 с.
69. Шипачев В.С. Высшая математика [Текст] / В.С. Шипачев / Учеб. Для вузов. – М.: Высш. шк., 2000. – 479 с.
70. Ютт В.Е. Устойчивость микропроцессорных систем управления двигателем внутреннего сгорания к электромагнитным помехам. [Текст] /

В.Е. Ютт, П.А. Николаев, Н.А. Суханов – Электроника и электрооборудование транспорта. – 2009 – №1 – С.43-47.

71. Ядерный взрыв в космосе, на земле и под землей. (ЭМИ ядерного взрыва). Сб. статей. Пер. с англ. О. Петренко под ред. С. Давыдова. [Текст] – М.: Воениздат, 1974. – 235 с.
72. Backstrom M. HPM Testing of a car: a representative example of the susceptibility of civil systems // Supplement to Proc. of the 13th Int. Zurich Symp. on EMC. Zurich, Switzerland, February 16–18, 1999. P. 189–190.
73. Backstrom M. Testing of a car's immunity against intense electromagnetic radiation // FOA Report: FOA-R-00099-3.2-SE. 1995.
74. Chi, Q.-L., H. Liu, and Y.-Y. Zhao. Technical analysis of automotive electromagnetic compatibility. Journal of Heilongjiang Institute of Technology, Vol. 20, No. 3, 38-40, Sep. 2006.
75. Chun-Chih Lin, Jason Chiang. EMC Simulation of Automotive Safety System. Asia-Pacific International Symposium on Electromagnetic Compatibility, 25-29, May. 2015.
76. Electromagnetic susceptibility measurements of vehicle components using TEM cells (14 kHz – 200 MHz). – SAE. – 1984. – June. – P. 130–136.
77. ISO/IEC 17025. General requirements for the competence of testing and calibration laboratories (ITD). 2005.
78. ISO 11451-1. Road vehicles. Vehicle test methods for electrical disturbances from narrowband radiated electromagnetic energy. Part 1: General principles and Terminology. – 2005.
79. ISO 11451-2. Road vehicles. Vehicle test methods for electrical disturbances from narrowband radiated electromagnetic energy. Part 2: Off-vehicle radiation sources. – 2005.

80. ISO 11451-3. Road vehicles. Vehicle test methods for electrical disturbances from narrowband radiated electromagnetic energy. Part 3: On-board transmitter simulation. Second edition. – 2007.
81. ISO 11452. Road vehicles - Component test methods for electrical disturbances from narrowband radiated electromagnetic energy. – 2005.
82. Joungho Kim. High-Power and High-Efficiency Wireless Power Charging System for Electric Automotive Vehicles and Electromagnetic Compatibility Design Challenges. Asia-Pacific International Symposium on Electromagnetic Compatibility, 25-29, May. 2015.
83. Ma M.T., Kanda M., Crawford M.L., Larsen E.B. A Review of Electromagnetic Compatibility // Interference Measurement Methodologies. – ТИИЭР. – 1985. – № 3. – С. 5–32.
84. Microwave test facility. / Ericsson Saab Avionics, Electromagnetic Technology Division. Linkoping, Sweden. – S.581-588.
85. MIL-STD-461F US Department of Defense Interface Standard. Requirements for the control of electromagnetic interference characteristics of subsystems and equipment. – 10.12.2007. – 255 p.
86. MIL-STD-464A US Department of Defense Interface Standard. Electromagnetic Environmental Effects for Systems, USA DoD.– 19.12.2002. – 121 p.
87. Open field whole-vehicle radiated susceptibility 10 KHz – 18 GHz, Electric field. – SAE. – 1981. – June. – P. 115–125.
88. Ott H.W. Electromagnetic Compatibility Engineering. – New Jersey.: John Wiley&Sons. – 2009. – 844 p.
89. Rakouth, H., C. Cammin, L. Comstock, and J. Ruiz, Automotive EMC: Key concepts for immunity testing, 2007 IEEE International Symposium on Electromagnetic Compatibility, 1-7, Jul. 2007.

90. SAE J 551/12:1996 Vehicle Electromagnetic Immunity-On-Board Transmitter Simulation. – 1996.
91. SAE 831011. An Indoor 60 Hz to 40 GHz Facility for Total Vehicle EMC Testing. – 1983.
92. T. Rybak and M. Steffka. Automotive Electromagnetic Compatibility (EMC). 1st ed. Kluwer Academic Publishers. 2003. – P.310.

Приложение 1



19.09.19 № 36000-41/39

На № _____ от _____

АКТ
о внедрении научно-технических
результатов диссертации
Подгорний Александра Сергеевича

В результате решения комплекса научно-технических и практических задач, диссидентом получены результаты, нашедшие практическое применение в испытательном комплексе электромагнитной совместимости АО «АВТОВАЗ».

1. Усовершенствованный метод испытаний на помехоустойчивость электротехнических систем для случая случайной ориентации автомобиля по отношению к источнику излучения, применен для детальных исследований автомобилей, разрабатываемых на новых платформах.

2. Разработанные автомобильные ездовые циклы использованы для проведения испытаний и оценки помехоустойчивости активных систем безопасности.

3. Математическая модель шага перестройки электромагнитного воздействия по частоте реализована в прикладном программном пакете «Compliance 3», предназначенном для автоматизации испытаний на ЭМС.

Главный специалист службы
исполнительного вице-президента по
инжинирингу АО «АВТОВАЗ», д.т.н.

П.А. Николаев



Приложение 2

 <p>СЕРТИФИКАТ о калибровке № 2/202-01140-16</p> <p>Средство измерений <u>Датчик поля RadiSense 4</u> (измерение плотности потока электромагнитной энергии)</p> <p>с блоком <u>RadiCentre STR1009</u> (если в скобках СИ указан несколько измерительных блоков, то приводят их перечень и заводские номера) заводской номер <u>12100078SNQ05</u></p> <p>Обозначение методики калибровки <u>МК 08-07-2005</u></p> <p>Калибровка выполнена с помощью <u>Государственный рабочий этalon единицы плотности потока электромагнитной энергии Установка для поверки измерителей плотности потока ПП-9, рег. № 3.1.ZZT/0019.2013</u> справедливость об оттестации №0019 от 30 июля 2015г., (ГЭТ 160-2006), с указанием прослеживаемости до государственных первичных эталонов излучения</p> <p>Государственного рабочего эталона единицы напряженности электрического поля 2 разряда в диапазоне частот от 0,01МГц до 300МГц РЭНПЛ 001/300М, рег. № 3.1.ZZT/0085 2013.</p> <p>Условия проведения калибровки - температура воздуха 19°C, относительная влажность воздуха 58 %, атмосферное давление 740 мм рт. ст.</p> <p>Метрологические характеристики по результатам калибровки приведены на обороте сертификата.</p> <p>Начальник НИО-2 <u>Ивахненко Н.А.</u> Поверитель <u>Ивахненко Н.А.</u> Дата калибровки « 27 » сентября 2016 г. Оттиск калибраторного клейма <u>СКН0023348</u> МАО Фирма "СЕО" Москва, 2013 г. № 197</p>	 <p>СЕРТИФИКАТ о калибровке № 2/202-01142-16</p> <p>Средство измерений <u>Датчик поля RadiSense 4</u> (измерение плотности потока)</p> <p>с блоком <u>RadiCentre STR1009</u> (если в скобках СИ указан несколько измерительных блоков, то приводят их перечень и заводские номера) заводской номер <u>12100078SNQ08</u></p> <p>Обозначение методики калибровки <u>МК 08-07-2005</u></p> <p>Калибровка выполнена с помощью <u>Государственный рабочий этalon единицы плотности потока электромагнитной энергии Установка для поверки измерителей плотности потока ПП-9, рег. № 3.1.ZZT/0019.2013</u> справедливость об оттестации №0019 от 30 июля 2015г., (ГЭТ 160-2006), с указанием прослеживаемости до государственных первичных эталонов излучения</p> <p>Государственного рабочего эталона единицы напряженности электрического поля 2 разряда в диапазоне частот от 0,01МГц до 300МГц РЭНПЛ 001/300М, рег. № 3.1.ZZT/0085 2013.</p> <p>Условия проведения калибровки - температура воздуха 19°C, относительная влажность воздуха 58 %, атмосферное давление 740 мм рт. ст.</p> <p>Метрологические характеристики по результатам калибровки приведены на обороте сертификата.</p> <p>Начальник НИО-2 <u>Ивахненко Н.А.</u> Поверитель <u>Ивахненко Н.А.</u> Дата калибровки « 27 » сентября 2016 г. Оттиск калибраторного клейма <u>СКН0023347</u> МАО Фирма "СЕО" Москва, 2013 г. № 197</p>
--	--

 <p>СЕРТИФИКАТ о калибровке № 2/202-01143-16</p> <p>Средство измерений <u>Датчик поля RadiSense 4</u> (измерение плотности потока)</p> <p>с блоком <u>RadiCentre STR1009</u> (если в скобках СИ указан несколько измерительных блоков, то приводят их перечень и заводские номера) заводской номер <u>12100078SNQ09</u></p> <p>Обозначение методики калибровки <u>МК 08-07-2005</u></p> <p>Калибровка выполнена с помощью <u>Государственный рабочий этalon единицы плотности потока электромагнитной энергии Установка для поверки измерителей плотности потока ПП-9, рег. № 3.1.ZZT/0019.2013</u> справедливость об оттестации №0019 от 30 июля 2015г., (ГЭТ 160-2006), с указанием прослеживаемости до государственных первичных эталонов излучения</p> <p>Государственного рабочего эталона единицы напряженности электрического поля 2 разряда в диапазоне частот от 0,01МГц до 300МГц РЭНПЛ 001/300М, рег. № 3.1.ZZT/0085 2013.</p> <p>Условия проведения калибровки - температура воздуха 19°C, относительная влажность воздуха 58 %, атмосферное давление 740 мм рт. ст.</p> <p>Метрологические характеристики по результатам калибровки приведены на обороте сертификата.</p> <p>Начальник НИО-2 <u>Ивахненко Н.А.</u> Поверитель <u>Ивахненко Н.А.</u> Дата калибровки « 27 » сентября 2016 г. Оттиск калибраторного клейма <u>СКН0023350</u> МАО Фирма "СЕО" Москва, 2013 г. № 197</p>	 <p>СЕРТИФИКАТ о калибровке № 2/202-01144-16</p> <p>Средство измерений <u>Датчик поля RadiSense 4</u> (измерение плотности потока)</p> <p>с блоком <u>RadiCentre STR1009</u> (если в скобках СИ указан несколько измерительных блоков, то приводят их перечень и заводские номера) заводской номер <u>12100078SNQ10</u></p> <p>Обозначение методики калибровки <u>МК 08-07-2005</u></p> <p>Калибровка выполнена с помощью <u>Государственный рабочий этalon единицы плотности потока электромагнитной энергии Установка для поверки измерителей плотности потока ПП-9, рег. № 3.1.ZZT/0019.2013</u> справедливость об оттестации №0019 от 30 июля 2015г., (ГЭТ 160-2006), с указанием прослеживаемости до государственных первичных эталонов излучения</p> <p>Государственного рабочего эталона единицы напряженности электрического поля 2 разряда в диапазоне частот от 0,01МГц до 300МГц РЭНПЛ 001/300М, рег. № 3.1.ZZT/0085 2013.</p> <p>Условия проведения калибровки - температура воздуха 19°C, относительная влажность воздуха 58 %, атмосферное давление 740 мм рт. ст.</p> <p>Метрологические характеристики по результатам калибровки приведены на обороте сертификата.</p> <p>Начальник НИО-2 <u>Ивахненко Н.А.</u> Поверитель <u>Ивахненко Н.А.</u> Дата калибровки « 27 » сентября 2016 г. Оттиск калибраторного клейма <u>СКН0023351</u> МАО Фирма "СЕО" Москва, 2013 г. № 197</p>
--	---

<p>СВИДЕТЕЛЬСТВО</p> <p>Аттестат аккредитации № RA.RU.311478 Срок действия - бесрочный</p> <p>№ 2/202-01963-17</p> <p>Действительно до 19 ноября 2018 г.</p> <p>Средство измерений <u>Измеритель уровня электромагнитных полей EMC-20</u> <u>специфичный E-FIELD 8.3 № 8N-0047</u> регистрационный номер в Федеральном информационном фонде по обеспечению единства измерений 088217603</p> <p>серий и номера знака предыдущей поверки (если такие есть) и номер измерений заводской номер <u>AL-0069</u> поверено <u>в соответствии с описанием типа</u> (наименование документа, на основании которого получено СП (если предусмотрено методикой поверки)) проверено в соответствии с <u>документом "Измеритель уровня электромагнитных полей EMC-20 (Зав № AL-0069)" Методика поверки ВН 2244/98.22 МИ</u> с применением эталонов:</p> <p><u>Гидродинамический рабочий эталон единицы плотности напряжения электромагнитной энергии. Установка для поверки измерителей мощности потока П-1-9</u> рег. № 3.1.ZZT.0019/2013, рабочий эталон по ГОСТ Р 8.574-2000 ГИСИ (далее - см. на обороте)</p> <p>при следующих значениях влияющих факторов: <u>температура 22 °C, относительная влажность 57 %, атмосферное давление 738 мм рт.ст.</u></p> <p>и на основании результатов первичной (периодической) поверки признано соответствующим установленным в описании типа метрологическим требованиям и пригодным к применению в сфере государственного регулирования обеспечения единства измерения.</p> <p>Знак поверки</p> <p>Начальник НИО-2 должность руководителя подразделения Поверитель</p> <p>В. А. Тищенко подпись Н. А. Иванченко подпись</p> <p>Дата поверки 20 ноября 2017 г. Место поверки: г. Самара, Самарская область, ул. Медведева, д. 16, каб. 101-16</p> <p>СП № 0409436</p>	<p>СВИДЕТЕЛЬСТВО</p> <p>о ПОВЕРКЕ № 2/201-08633-17</p> <p>Действительно до 19 ноября 2018 г.</p> <p>Средство измерений <u>Ваттметр поглощаемой мощности 42324-01-02</u> наименование, тип, модификация, регистрационный номер в Федеральном информационном фонде по обеспечению единства измерений (Рег. № 31947-06)</p> <p>серий и номера знака предыдущей поверки (если такие есть) и номер измерений заводской номер (номер) <u>70901</u> с преобразователями <u>51011-EMC № 32204, № 32448</u> (если в составе средства измерений входят преобразователи, то привести их перечень и заводской номер)</p> <p>поверено <u>в соответствии с описанием типа</u> (наименование документа, на основании которого средство измерения (если предусмотрено методикой поверки) поверено в соответствии с документом «Ваттметр 42324-01-01» Методика поверки 42324-01-01)</p> <p>при следующих значениях влияющих факторов: <u>класс измеряемой величины 1,0</u> при следующих значениях влияющих факторов: <u>температура окружающего воздуха 22 °C, относительная влажность 40 %, атмосферное давление 747 мм рт. ст., напряжение сети 220 В с частотой 50 Гц</u> передача измеряемых параметров, переданных в документе на методику поверки, с указанием их значений и на основании результатов первичной (периодической) поверки признано соответствующими установленным в описание типа метрологическим требованиям и пригодным к применению в сфере государственного регулирования обеспечения единства измерения.</p> <p>Знак поверки</p> <p>Начальник НИО-2 должность, фамилия Поверитель</p> <p>В. А. Тищенко подпись И. П. Чирков подпись</p> <p>Дата поверки 20 ноября 2017 г.</p> <p>Приглашать при следующей поверке</p> <p>Телефон: (495) 662-41-59, E-mail: lab201@bk.ru Тел. (495) 526-63-52</p> <p>СП № 0409470</p>
---	--

<p>Федеральное агентство по техническому регулированию и метрологии (Росстандарт)</p> <p>Федеральное бюджетное учреждение «Государственный региональный центр стандартизации, метрологии и испытаний в Самарской области» (ФБУ «Самарский ЦСМ») 443013, г. Самара, пр. Карла Маркса, д. 134</p> <p>Аттестат аккредитации регистрационный номер RA.RU.311429 от 25.11.2015 об аккредитации в области обеспечения единства измерений и официальном признании компетентности выполнения работы по поверке средств измерений в соответствии с Областью аккредитации</p> <p>СВИДЕТЕЛЬСТВО О ПОВЕРКЕ</p> <p>№ 180122 /124447-2017</p> <p>Действительно до 23 октября 2018 г.</p> <p>Средство измерений <u>Генератор сигналов SMB 100A</u> наименование, тип, модификация, регистрационный номер в Федеральном информационном фонде по обеспечению единства измерений 39230-08</p> <p>(если в составе эталона входит несколько отдельных измерительных блоков, то приводить их перечень и заводские номера) ГМС 16000541057</p> <p>серий и номер знака предыдущей поверки (если такие есть) и номер имеются) 105577</p> <p>заводской номер (номера) 105577</p> <p>поверено <u>в соответствии с описанием типа</u> (наименование величин, диапазонов, на которых поверен эталон (средство измерений) (если предусмотрено методикой поверки)</p> <p>поверено в соответствии с <u>Т 1406.6000.02 МП</u> наименование документа, на основании которого получена поверка</p> <p>Частотомер электронно-счетный вычислительный ЧЗ-85/3 №69201 с применением эталонов единиц величин: $\Pi \cdot 2 \cdot 10^{-6}$ рег. № 3.1.ЗБЯ.1129.2015 П-1-10¹¹, частотомер электронно-счетный вычислительный ЧЗ-66 №8807014 П-1-2 · 10⁻⁴ рег. № 3.1.ЗБЯ.0635.2013 П-1-10⁴, установка для измерения определения и фазового сдвига образованная ДК1-16 №629002 2-р. рег. № 3.1.ЗБЯ.0903.2013 (измеритель мощности НРР-231 (при различной разряд, класс или точность эталона, применяемого при поверке))</p> <p>при следующих значениях влияющих факторов: <u>Напряжение питания сети 220.0 В; частота 50.0 Гц;</u> <u>температура окружающей среды 20 °C, относительная влажность воздуха 50 %, атм. давление 760 мм рт. ст./101 кПа</u></p> <p>приложены первичные измерительные документы, на которых поверен эталон, с указанием их значений и на основании результатов первичной (периодической) поверки признано соответствующим установленным в описание типа метрологическим требованиям и пригодным к применению в сфере государственного регулирования обеспечения единства измерений.</p> <p>Знак поверки</p> <p>Начальник отдела должность руководителя подразделения Поверитель</p> <p>180122 подпись Н. В. Мартынов подпись Д. В. Кузьмин подпись</p> <p>Дата поверки 23 октября 2017 г.</p>	<p>СВИДЕТЕЛЬСТВО</p> <p>о ПОВЕРКЕ № 2/204-01-14</p> <p>Дата выдачи: 26 апреля 2014 г.</p> <p>Удостоверяется, что испытательное оборудование</p> <p>испытательный комплекс большой безэховой камеры в диапазоне</p> <p>частот 20 – 2000 МГц и диапазоне напряженности поля 1 – 200 В/м</p> <p>принадлежащее ОАО «АВТОВАЗ», г. Тольятти</p> <p>по результатам периодической аттестации, протокол № 2/204-01-14-A от 25.04.14,</p> <p>признано пригодным для использования при испытаниях</p> <p>технических средств по ГОСТ Р 41.10-99, ГОСТ Р 51318.12-99, ГОСТ Р 51317.4.3-99, ГОСТ Р 51318.22-99, ГОСТ Р 50839-2000</p> <p>Периодичность периодической аттестации 3 года</p> <p>Главный метролог А. С. Дойников</p> <p>тел. факс: (495) 744-81-31</p> <p>ATN 0001211</p>
--	--