

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации

**Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего образования
«Самарский государственный технический университет»**

На правах рукописи

ПОДГОРНИЙ АЛЕКСАНДР СЕРГЕЕВИЧ

**РАЗРАБОТКА МЕТОДОЛОГИИ УПРАВЛЕНИЯ КАЧЕСТВОМ
АВТОМОБИЛЕЙ НА ЭТАПАХ ЖИЗНЕННОГО ЦИКЛА ПО
ПАРАМЕТРАМ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ СОВМЕСТИМОСТИ**

2.5.22 – Управление качеством продукции. Стандартизация.

Организация производства

Диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук

Научный консультант:

доктор технических наук, профессор

Козловский Владимир Николаевич

Самара – 2025

ОГЛАВЛЕНИЕ

	ВВЕДЕНИЕ	6
ГЛАВА 1.	АКТУАЛИЗАЦИЯ ПРОБЛЕМЫ РАЗВИТИЯ МЕТОДОЛОГИИ УПРАВЛЕНИЯ КАЧЕСТВОМ АВТОМОБИЛЕЙ НА ЭТАПАХ ЖИЗНЕННОГО ЦИКЛА ПО ПАРАМЕТРАМ ЭЛЕКТРОМАГНИТ- НОЙ СОВМЕСТИМОСТИ	21
1.1	Обоснование выбора научной специальности	21
1.2	Актуализация проблемы управления качеством автомобилей по параметрам электромагнитной совместимости	24
1.3	Стандарты и методологический инструментарий по менеджменту качества в автомобильной промышленности	27
1.4	Методология APQR в автомобильном производстве	31
1.5	Роль методологического инструментария FMEA в рамках APQR	52
1.6	Специальные характеристики и план управления в рамках APQR	68
1.7	Стандарты по управлению качеством и надежностью в области ЭМС автомобилей на этапах жизненного цикла	75
1.8	Проблема развития методологии управления качеством автомобилей по параметрам ЭМС	84
1.9	Выводы по первой главе	93
1.10	Цели и задачи диссертационного исследования	96
ГЛАВА 2.	ПРОБЛЕМА ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ СОВМЕСТИМОСТИ КАК КЛЮЧЕВАЯ ПРОБЛЕМА КОНКУРЕНТОСПОСОБНОСТИ И КАЧЕСТВА СОВРЕМЕННЫХ АВТОМОБИЛЕЙ	99
2.1	Содержание проблемы электромагнитной совместимости, конкурентоспособности и качества автотранспортного средства	99
2.2	Обзор и анализ источников электромагнитных воздействий, создающих внешнюю электромагнитную обстановку	107

2.3	Общий подход к оценке качества автотранспортных средств с точки зрения электромагнитной совместимости	114
2.4	Обзор и анализ типовых методов испытаний автомобилей на оценку качества по параметрам восприимчивости к электромагнитным воздействиям	121
2.5	Типовые решения, применяемые для обеспечения качества автомобилей по параметрам помехоустойчивости при проектировании и в производстве	127
2.6	Анализ типовых критериев оценки качества автомобилей по параметрам помехоустойчивости	154
2.7	Выводы по второй главе	158
ГЛАВА 3.	СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДОВ ИСПЫТАНИЙ НА ОЦЕНКУ КАЧЕСТВА АВТОТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ ПО ПАРАМЕТРАМ ПОМЕХОУСТОЙЧИВОСТИ В ПРОЦЕССАХ ПРОЕКТИРОВАНИЯ И ПРОИЗВОДСТВА	161
3.1	Совершенствование организации процесса испытаний автотранспортного средства на оценку качества по параметрам помехоустойчивости в азимутальной плоскости	161
3.2	Разработка и реализация алгоритма определения минимального уровня показателя качества по параметру помехоустойчивости	169
3.3	Разработка и реализация метода анализа нарушений качества функционирования бортовых систем для обеспечения их помехозащищенности	176
3.4	Совершенствование метода испытаний по оценке качества автомобилей при импульсном электромагнитном воздействии	182
3.5	Разработка математической модели оценки качества автотранспортных средств по параметрам помехоустойчивости	194
3.6	Экспериментальное исследование показателей качества автомобилей по параметрам помехоустойчивости	211
3.7	Выводы по третьей главе	225

ГЛАВА 4.	СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ИНСТРУМЕНТАРИЯ ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА АВТОТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ ПО ПАРАМЕТРАМ ЭЛЕКТРОМАГНИТ- НОЙ СОВМЕСТИМОСТИ НА ЭТАПАХ ЖИЗНЕННОГО ЦИКЛА	228
4.1	Вероятностная модель нарушения качества функционирования бортовых систем в условиях эксплуатации	228
4.2	Развитие показателей качества автомобилей по параметрам помехоустойчивости. Матрица оценки нарушения качества функционирования автотранспортного средства	233
4.3	Развитие показателей качества автомобилей по параметрам помехоустойчивости. Мощностной показатель нарушения качества функционирования (поражаемости) автотранспортного средства, как дополнительный показатель оценки АТС по параметрам помехоустойчивости	239
4.4	Реализация предложенных показателей качества по параметрам помехоустойчивости посредством оценки влияния внешней обстановки на качество функционирования электротехнических систем автотранспортных средств	254
4.5	Основные проблемы качества автомобилей по параметрам помехоустойчивости в эксплуатации	266
4.6	Выводы по четвертой главе	278
ГЛАВА 5.	РАЗРАБОТКА НАУЧНО-ИНЖЕНЕРНЫХ МЕТОДОВ И ИНСТРУМЕНТОВ УПРАВЛЕНИЯ И УЛУЧШЕНИЯ КАЧЕСТВА АВТОМОБИЛЕЙ ПО ПАРАМЕТРАМ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ СОВМЕСТИМОСТИ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ	281
5.1	Разработка метода активной защиты качества автомобилей по параметрам помехозащищенности	281
5.2	Разработка программного метода игнорирования электромагнитных помех	287
5.3	Обеспечение качества автомобилей по параметрам ЭМС с помощью инструментов резервирования и рационализацией выбора бортовых систем	297
5.4	Решения компоновки и конструкции кузова ЭМС	

	защищенного автотранспортного средства	312
5.5	Выводы по пятой главе	322
ГЛАВА 6.	КОНЦЕПЦИЯ ПОВЫШЕНИЯ КАЧЕСТВА АВТОМОБИЛЕЙ ПО ПАРАМЕТРАМ ПОМЕХОЗАЩИЩЕННОСТИ В ПРОЦЕССЕ ЭКСПЛУАТАЦИИ	324
6.1	Модернизация архитектуры бортового электрооборудования с формированием интегрированного модуля обеспечения качества по параметрам электромагнитной совместимости	324
6.2	Модель обеспечения качества автомобилей по параметрам помехоустойчивости на основе обратной связи «АТС - автопроизводитель»	333
6.3	Комплексная система мониторинга электромагнитной обстановки и предупреждения ЭМС конфликтов	343
6.4	Обеспечение качества автомобилей по параметрам помехозащищенности на базе технического обслуживания	353
6.5	Выводы по шестой главе	360
ГЛАВА 7.	ВОПРОСЫ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ НОРМАТИВНОЙ БАЗЫ СТАНДАРТОВ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ КАЧЕСТВА АВТОТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ ПО ПАРАМЕТРАМ ЭЛЕКТРОМАГНИТ- НОЙ СОВМЕСТИМОСТИ	362
7.1	Нормативное обеспечение требованиям ЭМС автотранспортных средств	362
7.2	Направления совершенствования стандартов с точки зрения обеспечения количественных показателей качества по параметрам помехоустойчивости	367
7.3	Рекомендации по созданию новой и корректировке существующей базы стандартов в области обеспечения качества автомобилей по параметрам электромагнитной совместимости	377
7.4	Выводы по седьмой главе	383
	ЗАКЛЮЧЕНИЕ	385
	СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ И УСЛОВНЫХ ОБОЗНАЧЕНИЙ	394
	СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ	395
	ПРИЛОЖЕНИЕ	426

ВВЕДЕНИЕ

Сегодня, высококонкурентный автомобиль для конечного потребителя – это продукт, имеющий высокие базовые показатели качества (надежность, бездефектность), обладающий превосходным дизайном интерьера и экстерьера, удовлетворяющий на высоком уровне все потребительские запросы по функциональности, комфорту, экологичности, интеллектуализации, воплощению инновационных решений, с приемлемой стоимостью при покупке и владении. Продукт этот должен постоянно, в кратчайшие периоды времени обновляться в соответствии с быстро меняющимися потребительскими предпочтениями. Учитывая, что автомобиль это в основном продукт массового производства, становится понятна сложность решения задачи по его созданию для автопроизводителя.

Системное и сквозное применение передовых инструментов управления качеством высокотехнологичной наукоемкой продукции, а также гармонизация процессов на основе стандартов ISO 9001, IATF 16949, создают предпосылки и определяют ресурс улучшений для автопроизводителей, обеспечивают эффективность организации производственной деятельности. Собственно именно эта особенность развития автомобильной промышленности, в условиях жесткой конкуренции, всегда отличало ее, и притягивала к ней другие отрасли производства, в части приобретения и тиражирования лучших достижений науки и практики.

Бесспорно ключевым направлением развития мировой автомобильной промышленности, определяющим ее будущее как минимум на десятилетия вперед, является глобальная электрификация. Традиционные конструкции автотранспортных средств претерпевают изменения и активно насыщаются сложными электротехническими и электронными компонентами. Развиваются направления связанные с электромобильным транспортом и автомобилями имеющими комбинированную энергоустановку (гибриды). В последние годы

особенно значимое внимание стало уделяться автономным, беспилотным транспортным системам.

Во всех случаях коренные изменения несет всевозрастающая роль бортового электротехнического комплекса, включающего в себя электротехнические и электронные системы. Бурное развитие автомобильной электротехники и электроники, высокая скорость создания компонентов несущих новые свойства или существенно улучшающих текущие характеристики, все это предопределило центральную роль бортового электротехнического комплекса в развитии автомобильной техники. Мы идем по пути, когда качество автомобиля практически полностью будет оцениваться качеством соответствующих систем бортового электротехнического комплекса.

При этом, как раз с точки зрения качества бортового электротехнического комплекса современного автомобиля, с учетом его всевозрастающей роли, больше всего нерешенных проблем. Даже с точки зрения статистики дефектов в эксплуатации автомобилей, электротехнический комплекс стабильно занимает первые позиции как по количественному уровню и широте номенклатуры, так и по затратам на устранение дефектов. Получается, что текущий уровень научно-технического прогресса позволяет решать задачи по синтезу технических решений в области автомобильной электротехники и электроники, но при этом адекватного ответа на вызовы, с точки зрения синтеза инструментов улучшения качества такого оборудования, по прежнему – нет.

В отличие от классических автомобильных систем, где всегда доминировали чисто механические принципы функционирования или законы гидравлики или даже той же электротехники, современные автомобильные системы, как правило, в обязательном порядке интегрируют электронные блоки управления и электротехнические, механические и т.д. блоки исполнения. Понятно, что сложность таких узлов существенным образом усложняет и формирование соответствующих инструментов сквозного управления

качеством, но даже здесь есть еще более уникальные аспекты формирующие необходимость своевременного наращивания инструментов менеджмента.

Автомобиль эксплуатируется в условиях сложной электромагнитной обстановки, которая, кстати говоря, еще более усложняется в связи с глобальным ростом потребления электроэнергии. Электротехнические и электронные системы автомобиля сами являются источниками электромагнитных помех, соответственно количественное и качественное усиление роли бортового электротехнического комплекса тоже влечет риски нарушения качества функционирования автомобилей. Отсюда ключевой тезис: ранее автопром решал задачи связанные повышением качества продукции в условиях ее усложнения, текущие вызовы определяют необходимость опережающего развития инструментов улучшения продукции уже в условиях резкого усложнения внешних факторов эксплуатации и внутреннего технического содержания. Уже сейчас, процессы управления качеством требуют системного применения наукоемких подходов, современного оборудования и интеллектуальных ресурсов.

Априори теория и практика управления качеством в автомобильной промышленности должны идти «нога в ногу» с процессом совершенствования конструкций. С точки зрения бортового электротехнического комплекса такой синхронизации подходов нет, а особенно острые и не решенные вопросы научно-практического содержания проблемы качества современных автомобилей лежат в области создания методологии управления по параметрам электромагнитной совместимости.

С точки зрения ГОСТ 30372-2017, электромагнитная совместимость технических средств (ЭМС) — это способность технического средства функционировать с заданным качеством в заданной электромагнитной обстановке и не создавать недопустимых электромагнитных помех другим техническим средствам. Помехоустойчивость (технического средства): способность технического средства сохранять заданное качество

функционирования при воздействии на него внешних помех с регламентируемыми значениями параметров. Исходя из сказанного, решение научно-технической проблемы управления качеством автомобилей по параметрам электромагнитной совместимости является прямой задачей науки управления качеством.

Все вышесказанное определяет высокую значимость и актуальность представленного диссертационного исследования, направленного на решение отраслевой научно-технической проблемы совершенствования качества процессов и продукции автомобильного производства по параметрам электромагнитной совместимости, посредством создания сквозных комплексных решений по улучшению качества автомобилей на этапах жизненного цикла.

Степень разработанности темы. В основу исследования положены результаты фундаментальных работ выдающихся ученых заложивших базовые положения современной теории и практики управления качеством: Э. Деминга, Дж. Джурана, П. Друкера, К. Исикавы, Н. Кано, Р. Каплана, Ф. Котлера, Ф. Кросби, Г. Тагути, Н. Талеба, Ф. Тейлора, А. Фейгенбаума, В. Шухарта, Г.Г. Азгальдова, З. Н. Крапивенского, Т. Ф. Сейфи, А.В. Гличева, В.В. Бойцова, В.Г. Версана.

Научно-технические направления работы задаются на основе трудов отечественных ученых: Ю.П. Адлера, В.Н. Азарова, И.З. Аронова, В.А. Барвинка, В.Я. Белобрагина, Б.В. Бойцова, В.А. Васильева, Г.П. Воронина, В.А. Лapidуса, В.В. Окрепилова, И.И. Чайки и др.

Наиболее значимые научно-прикладные аспекты исследования определяются в работах Д.В. Антипова, В.Ф. Безъязычного, С.А. Васи́на, В.Е. Годлевского, Е.А. Горбашко, О.А. Горленко, С.Я. Гродзенского, А.Я. Дмитриева, В.В. Ефимова, А.В. Зажигалкина, А.Г. Ивахненко, В.А. Качалова, В.Я. Кершенбаума, Ю.С. Ключкова, В.Н. Клячкина, В.Н. Козловского, И.Н. Омельченко, Е.В. Плахотниковой, М.А. Поляковой, С.В. Пугачева, М.И. Розно,

Т.А. Салимовой, Е.Г. Семеновой, Л.Е. Скрипко, А.Г. Суслова, Х.А. Фасхиева, А.Д. Шадрина, А.П. Шалаева, В.Л. Шпера, В.В. Щипанова, Г.Л. Юнака, С.И. Клейменова и многих других российских ученых.

Значительный вклад в развитие научно-технических вопросов обеспечения электромагнитной совместимости технических систем в общем и качества автомобильной техники в частности внесли ученые А.Д. Князев, Л.Н. Кечиев, П.А. Николаев, Н.А. Володина, С.И. Комягин, В.Е. Ютт, А.К. Старостин, T. Williams, D. White, R. Fuchs, M. Backstrom, H. Nietl, H. Ott, B. Lindl, J. Zehentbauer, E. Habiger, H. Bierer, и др.

Цель исследования состоит в повышении конкурентоспособности автомобилей в условиях развития бортового электротехнического комплекса по параметрам электромагнитной совместимости.

Для достижения поставленной цели в диссертации решаются следующие **комплексные научно-прикладные задачи:**

1. Научно-технический анализ и проработка современных стандартов, научных и прикладных методологий, методов и подходов менеджмента качества в автомобильном производстве на предмет определения места позиционирования, принципов встраивания, а также формирования и наращивания связей создаваемой методологии управления качеством автомобилей по параметрам электромагнитной совместимости в автомобильном производстве. Разработка концепции управления качеством автомобилей на этапах жизненного цикла по параметрам электромагнитной совместимости.

2. Обоснование проблемы электромагнитной совместимости как ключевой проблемы конкурентоспособности и качества современных автомобилей на этапах жизненного цикла. Определение технико-экономического содержания проблемы ЭМС. Комплексный критический анализ существующих методов и подходов в процессе управления качеством современных автотранспортных средств на этапах жизненного цикла, используемых для обеспечения

электромагнитной совместимости с формированием концептуальных направлений развития научно-технических решений в рамках создаваемой методологии.

3. Развитие комплексного инструментария направленного на совершенствование методов экспериментальных исследований современных автомобилей, электромобилей, автомобилей с комбинированной энергоустановкой в области управления качеством по параметрам электромагнитной совместимости. Формирование математической модели оценки качества автотранспортных средств по параметрам помехоустойчивости с использованием экспериментальных данных.

4. Развитие и реализация базы показателей используемой для оценки качества автомобилей по параметрам электромагнитной совместимости с формированием научно-прикладных инструментов вероятностного моделирования нарушения качества функционирования бортовых электротехнических систем в условиях эксплуатации, формированием матрицы оценки нарушения качества функционирования автотранспортного средства, выделением мощностного показателя нарушения качества функционирования (поражаемости) автотранспортного средства, с применением их для анализа проблем качества автомобилей в условиях усложнения электромагнитной обстановки.

5. Развитие научно-инженерных методов и инструментов управления и улучшения качества автомобилей по параметрам электромагнитной совместимости с разработкой: метода активной защиты качества автомобилей по параметрам помехозащищенности; программного метода игнорирования электромагнитных помех; обоснование подходов по обеспечению качества автомобилей по параметрам ЭМС с помощью инструментов резервирования и рационализации выбора бортовых систем.

6. Концептуальное развитие комплексного инструментария управления качеством автомобилей по параметрам электромагнитной совместимости на

эксплуатационном этапе жизненного цикла с разработкой модернизированной архитектуры бортового электрооборудования с интегрированным модулем обеспечения качества по параметрам электромагнитной совместимости, формированием модели обеспечения качества автомобилей по параметрам помехоустойчивости на основе обратной связи «автотранспортное средство - автопроизводитель», созданием комплексной системы мониторинга электромагнитной обстановки и предупреждения ЭМС конфликтов, обеспечением качества автомобилей по параметрам помехозащищенности на базе инструментов технического обслуживания.

7. Развитие инструментов совершенствования нормативной базы стандартов в вопросах управления качеством автомобилей по параметрам электромагнитной совместимости на этапах жизненного цикла с выделением направлений: по совершенствованию стандартов с позиции обеспечения и актуализации количественных показателей качества по параметрам помехоустойчивости; формированием комплексных рекомендаций по созданию новой и корректировке существующей базы стандартов в области обеспечения качества автомобилей по параметрам электромагнитной совместимости.

8. Комплексная апробация и отраслевое внедрение полученных научно-технических решений.

Область исследования соответствует п. 3 «Научные основы и совершенствование методов стандартизации и менеджмента качества (контроль, управление, обеспечение, повышение, планирование качества) объектов и услуг на различных стадиях жизненного цикла продукции», п. 6 «Методы стандартизации и управления качеством в CALS-технологиях, автоматизированных, цифровых производственных системах», п. 8 Разработка научно-практического статистического инструментария управления качеством», п. 9 «Разработка и совершенствование научных инструментов оценки, мониторинга и прогнозирования качества продукции и процессов», п. 12 «Научно-практическое совершенствование направлений подтверждения

соответствия продукции (услуг), систем качества, производств», п. 25 «Научно-практическое развитие инженерных инструментов управления, организации производственных систем, а также баз знаний», направлений исследований паспорта научной специальности 2.5.22 – Управление качеством продукции. Стандартизация. Организация производства.

Объектом исследования являются процессы проектирования, производства и эксплуатации, жизненного цикла автомобилей, связанные с формированием технических решений, управлением качеством и его обеспечения по параметрам электромагнитной совместимости.

Предметом исследования теоретические и прикладные основы проектирования и внедрения методологии управления качеством современных автомобилей по параметрам электромагнитной совместимости, на этапах жизненного цикла.

Методы исследования. Решение задач диссертационного исследования проведено на основе принципов Всеобщего управления качеством (TQM), положений теории качества, теории вероятности, методов математической статистики, процессного и системного подходов, теоретических основ электротехники, теории электромагнитной совместимости, опережающей стандартизации, а также экспериментальных исследований с целью проверки адекватности теоретических положений.

Экспериментальные исследования проводились в условиях специализированной лаборатории электромагнитной совместимости АО «АВТОВАЗ». Разработка научно-прикладных программ поддержки предложенных решений осуществлялась в приложениях Microsoft Excel, Mathcad и Matlab.

Научная новизна работы заключается в разработке системных научно-практических инструментов и моделей, составляющих методологию управления качеством автомобилей по параметрам электромагнитной совместимости, на этапах жизненного цикла, направленную на повышение

конкурентоспособности, качества продукции автомобильного производства и включает следующее:

1. Разработана концепция методологии управления качеством автомобилей по параметрам электромагнитной совместимости, на этапах жизненного цикла, отличающаяся выработкой основных направлений улучшения, определением места встраивания разрабатываемого инструментария и выделением новых межпроцессных связей, обеспечивающих устранение проблем и пробелов в области помехозащищенности автомобилей в системе действующих инструментов менеджмента качества автомобильного производства, сформированная на основе перекрестного анализа стандартов (ISO 9001:2015, IATF 16949:2016, и т.д.), современных методологий управления качеством (APQP, PPAP, FMEA, SPC, MSA, Control Plan, QFD, QRQC и т.д.) и требований ведущих автопроизводителей (ANPQP, VDA MLA и т.д.). Пункт 3 паспорта научной специальности 2.5.22.

2. Предложен модернизированный инструментарий организации методов испытаний, в процессе проектирования и производства продукции, с развитием количественных показателей экспериментальной оценки качества автомобилей, отличающийся разработкой технических решений по дискретному угловому позиционированию, изменению азимутальной направленности автомобиля по отношению к источнику помех, импульсному электромагнитному воздействию на автомобиль во время экспериментов, обеспечивающий формирование количественной оценки минимального уровня показателя качества, математической модели оценки качества автотранспортных средств по параметрам помехоустойчивости, направленный на совершенствование методов оценки качества новых конструкций автомобилей при испытаниях в процессах проектирования и производства. Пункты 8, 12 паспорта научной специальности 2.5.22.

3. Разработаны и реализованы усовершенствованные инструменты оценки качества автомобилей по параметрам электромагнитной совместимости на

этапах жизненного цикла (Пункт 9 паспорта научной специальности 2.5.22), включающие:

- вероятностную математическую модель нарушения качества функционирования автомобилей в эксплуатации, отличающуюся учетом возможной случайной трансформации факторов внешней электромагнитной среды и техногенной обстановки, а также суперпозиции полей от различных источников или отраженных волн по отношению к конкретному автомобилю, которая нацелена на получение вероятностной оценки критерия нарушения работоспособности автомобиля;
- матрицу оценки нарушения качества функционирования автотранспортного средства, отличающуюся возможностью учета множества эффектов и взаимодействующих комбинаций электромагнитного воздействия на автомобиль, направленную на получение множества состояний помехоустойчивости для оценки качества, заложенных при проектировании и обеспеченных в производстве решений и ранжирования режимов функционирования по группам помехоустойчивости;
- предложение по введению нового количественного показателя качества продукции, отражающего предельную минимальную поглощаемую мощность при которой происходит нарушение качества функционирования автомобиля.

4. Предложены научно-инженерные методы и инструменты управления и улучшения качества автомобилей по параметрам электромагнитной совместимости, включающие метод активной защиты качества автомобилей по параметрам помехозащищенности, программный метод игнорирования электромагнитных помех, инструменты резервирования и рационализации выбора бортовых систем, решения по компоновки и конструкции кузова защищенного автотранспортного средства, отличающиеся учетом факторов усложняющейся внешней электромагнитной обстановки и развития бортового электротехнического комплекса автомобилей. Пункт 25 паспорта научной специальности 2.5.22.

5. Предложен комплекс концептуальных решений направленных на повышение качества автомобилей по параметрам электромагнитной совместимости на эксплуатационном этапе жизненного цикла (Пункт 6 паспорта научной специальности 2.5.22), включающий:

- подход по модернизации архитектуры бортового электрооборудования с формированием интегрированного модуля обеспечения качества по параметрам электромагнитной совместимости, отличающийся интеграцией в бортовой электротехнический комплекс системы имеющей назначение оценки помехоустойчивости и обеспечения соответствия параметрам качества, направленной на повышение качества адаптивности автомобилей к изменяющейся электромагнитной среде;
- модель обеспечения качества автомобилей по параметрам помехоустойчивости на основе технических инструментов построения дистанционной обратной связи «автотранспортное средство – автопроизводитель», отличающаяся формированием оценки, прогноза и возможностью управления по данным о текущем состоянии помехоустойчивости, направленная на повышение качества как единичных так и групповых объектов;
- систему мониторинга электромагнитной обстановки и предупреждения конфликтов, отличающуюся реализацией масштабного мониторинга электромагнитной обстановки посредством реализации глобальной группировки автотранспортных средств, объединенных в комплексную сетевую структуру, передающих данные в специализированный вычислительный центр для обработки информационного массива и формирования электронных карт с указанием рисков нахождения автомобилей в конкретном месте;
- подход по обеспечению качества автомобилей по параметрам помехозащищенности на базе реализации системы планового технического обслуживания автомобилей в гарантийный и постгарантийные периоды, направленный на выявление, замену неисправных компонентов и

программного обеспечения с получением документального заключения и подтверждения надлежащего технического состояния автомобилей.

6. Предложен комплексный инструментарий направленный на совершенствование нормативной базы стандартов устанавливающих требования в области качества автомобилей по параметрам электромагнитной совместимости, актуализирующий вопросы развития требований по обеспечению: электромагнитной безопасности, в условиях роста количества эксплуатируемых автомобилей; помехоустойчивости исходя из учета конкретного этапа жизненного цикла с формированием индикатора изменения показателя качества; улучшения качества исходя из решения перспективных задач по созданию беспилотных автомобильных систем. Пункт 3 паспорта научной специальности 2.5.22.

Теоретическая значимость работы заключается в развитие научно-методологической базы инструментов сквозного управления качеством автомобилей по параметрам электромагнитной совместимости, на этапах жизненного цикла, дающей адекватный ответ на текущие и перспективные вызовы несущие процессами совершенствования и развития новых типов автотранспортных средств, включая электромобили, автомобили с комбинированными энергоустановками, автономные транспортные объекты. Методологическое обеспечение процессов управления качеством комплексными научно-техническими инструментами улучшения по параметрам электромагнитной совместимости решает задачи по синхронизации процессов развития автомобильного транспорта с точки зрения создания новых технических решений, и создания соответствующего спектра инструментов управления качеством.

Практическая значимость работы состоит в создании научно-прикладной методологии направленной на сквозное управление качеством автомобилей по параметрам электромагнитной совместимости посредством разработки и реализации комплексных научно-технических решений

действующих на этапах проектирования, производства и эксплуатации и развивающих аспекты реализации: экспериментальных исследований новых конструкций автомобилей; производственных решений направленных на совершенствование бортового электротехнического комплекса автомобилей с точки зрения помехозащищенности; решений в области управления качеством в процессе эксплуатации автомобилей посредством инструментов технического обслуживания и ремонта, создания системы мониторинга и управления по параметрам электромагнитной совместимости.

Практическая значимость диссертационной работы определяется комплексным внедрением полученных результатов в практику крупнейших национальных автопроизводителей. В частности внедрены в автомобильное производство: инженерные инструменты вероятностного моделирования нарушения качества бортовых электротехнических систем при электромагнитном воздействии в условиях эксплуатации; количественные критерии мощностных показателей электромагнитной поражаемости автотранспортных средств; статистические инструменты выборочного контроля качества по параметрам электромагнитной совместимости; технические решения направленные на повышение качества автомобилей.

Полученные в диссертационной работе результаты вошли в устойчивую отраслевую практику крупных машиностроительных предприятий и организаций: ПАО «КАМАЗ», АО «АВТОВАЗ», НПК «ЗАО «УНИВЕРСАЛ».

При внедрении результатов научной работы в практику предприятий машиностроения получен экономический эффект в размере 16,5 млн. руб.

На защиту выносятся методология управления качеством автомобилей на этапах жизненного цикла по параметрам электромагнитной совместимости, включающая в себя:

1. Концепцию методологии управления качеством автомобилей по параметрам электромагнитной совместимости, на этапах жизненного цикла.

2. Модернизированный инструментарий организации методов испытаний автомобилей для оценки качества в процессах проектирования и производства продукции.

3. Усовершенствованные инструменты оценки качества автомобилей на этапах жизненного цикла.

4. Научно-инженерные методы и инструменты управления и улучшения качества автомобилей.

5. Комплекс концептуальных решений направленных на повышение качества автомобилей на эксплуатационном этапе жизненного цикла.

6. Комплексный инструментарий, направленный на совершенствование нормативной базы стандартов устанавливающих требования в области качества автомобилей.

7. Результаты комплексной апробации методологии управления качеством автомобилей по параметрам электромагнитной совместимости, на этапах жизненного цикла в практике машиностроительных предприятий.

Личный вклад автора. Постановка задач осуществлялась совместно с научным руководителем. Теоретические и практические исследования автором выполнены самостоятельно.

Работа выполнена в рамках научной школы «Обеспечение конкурентоспособности, качества и эффективности продукции автомобилестроения» (основатель и руководитель научной школы: д.т.н., профессор В.Н. Козловский).

Автор работы является победителем Всероссийского конкурса «Инженер года-2024».

Апробация работы. Результаты работы обсуждались на профильных совещаниях в производственных подразделениях ПАО «КАМАЗ», АО «АВТОВАЗ», а также на научных семинарах ФГБОУ ВО «СамГТУ».

Основные положения и результаты работы докладывались на конференциях: Национальная научно-техническая конференция с

международным участием Автоматизация: проблемы, идеи, решения (Тула, 2024г.); Conference of Russian Young Researchers in Electrical and Electronic Engineering (г. Санкт-Петербург, 2021г.); 3rd International Scientific-Practical Conference on Quality Management and Reliability of Technical Systems (г. Санкт-Петербург, 2021г.); Web of Conferences. «Energy Systems Environmental Impacts», ESEI (Москва, 2020г.); 3rd International Scientific-Practical Conference on Quality Management and Reliability of Technical Systems (Москва, 2021г.); 2022 Systems of Signals Generating and Processing in the Field of on Board Communications, SOSG 2022 - Conference Proceedings (Москва, 2022г.); XII Международная молодежная научная конференция (Казань, 2017г.); Всероссийская научно-техническая конференция «Техно-ЭМС» (Москва, 2016 - 2018гг.); XVII Международная научно-техническая конференция «Проблемы техники и технологий телекоммуникаций» (Самара, 2016г.).

Связь работы с научными программами, темами, грантами. Работа выполнена при поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (тема №FSSE-2023-0003) в рамках государственного задания Самарского государственного технического университета.

Достоверность полученных результатов подтверждается корректным применением математического и статистического аппарата, экспериментальными исследованиями, обсуждением результатов диссертации на международных и отечественных конференциях, форумах и семинарах.

Публикации. Содержание диссертации отражено в 83 работах, из которых 1 монография, 18 статей опубликованных в изданиях, входящих в Перечень ВАК при Минобрнауки России, 16 – в изданиях, индексируемых базой данных Scopus, а также 5 патентов на изобретения (авторский вклад объемом 43,5 п. л.).

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, семи глав, заключения, списка сокращений и условных обозначений, списка литературы и одного приложения. Общий объем диссертации – 429 страниц, включая 56 рисунков, 25 таблиц, список литературы из 264 наименований.

ГЛАВА 1. АКТУАЛИЗАЦИЯ ПРОБЛЕМЫ РАЗВИТИЯ МЕТОДОЛОГИИ УПРАВЛЕНИЯ КАЧЕСТВОМ АВТОМОБИЛЕЙ НА ЭТАПАХ ЖИЗНЕННОГО ЦИКЛА ПО ПАРАМЕТРАМ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ СОВМЕСТИМОСТИ

1.1 Обоснование выбора научной специальности

Представляемая к защите диссертация, требует определения научной специальности, поскольку возможное первичное впечатление от работы может сформировать ошибочное мнение о ее направленности.

Диссертационная работа посвящена разработке системной, научно-прикладной, методологии управления качеством автомобилей на этапах жизненного цикла по параметрам электромагнитной совместимости. Разрабатываемую методологию следует рассматривать как совокупность научно-производственных технических решений, которая с одной стороны дополняет (модернизирует) используемые в настоящее время инструменты оценки качества, организации испытаний автомобилей в процессе проектирования, по параметрам электромагнитной совместимости для обеспечения соответствия продукции установленным требованиям при постановке в массовое производство, или периодическом контроле качества производимой продукции. С другой стороны, в диссертации предлагаются новые решения, направленные на управление качеством автосборочного предприятия, посредством инженерии проектирования, производства и эксплуатации автомобилей по критериям, которые в настоящее время фактически меняют свой статус, и из разряда специфических переходят в разряд общеупотребляемых, поскольку меняется статус бортового электротехнического комплекса. Он становится доминирующим комплексом в конструкции и определяет качество автомобиля в целом.

Обоснование актуальности предложенного диссертационного исследования проводится с позиции связанной с необходимостью развития методологического содержания вопросов управления качеством

автомобильного производства, посредством улучшения системы менеджмента в соответствии со стандартами ISO:9001, IATF:16949, через модернизацию подходов используемых в рамках современных комплексных инструментов управления качеством APQP, PPAP, FMEA, MSA и т.д., а также соответствующего встраивания в них вновь разрабатываемого инструментария и создания новой комплексной методологии управления качеством автомобильного производства, что является ответом на современные текущие и перспективные вызовы, связанные с постоянным совершенствованием конструкций современных автомобилей и насыщением их электротехническими и электронными компонентами, а также усложнением внешних условий эксплуатации.

Вышеизложенное показывает, что предложенная диссертационная работа ориентирована на развитие системы менеджмента качества автомобильного производства в условиях постоянного роста доли электротехнических и электронных компонентов в конструкции современных автомобилей и соответствующим выходом на передние позиции все более расширяющегося сегмента вопросов управления качеством по параметрам электромагнитной совместимости, которые до настоящего времени не обрели системный уровень решений подразумевающий сквозное управление на этапах жизненного цикла.

В работе проводится обоснование выбора параметров оценки качества автомобилей, в первую очередь с точки зрения методологических требований положений теории всеобщего управления качеством, когда выстраивается цепочка процессов системы менеджмента ориентированная на конечного потребителя и формирующая требования к качеству с точки зрения уровневой системы подразумевающей функциональность, безопасность, комфорт и т.д. Показатели электромагнитной совместимости и помехоустойчивости продукции, с учетом требований базового стандарта ГОСТ 30372-2017, уже сегодня нужно рассматривать как ключевые индикаторы качества, наравне с

уже привычными в области управления качеством продукции в автомобилестроении.

Существует проблема, связанная с необходимостью сближения и интеграции в рамках единых методологических подходов традиционных и понятных для текущего состояния менеджмента процессов показателей и соответствующего сложившегося инструментария управления качеством, с показателями и инструментарием которые только сегодня становятся определяющими с точки зрения развития качества продукции автопрома. Указанная проблема решается путем встраивания и взаимоувязывания предлагаемого в работе инструментария в систему применяемых в настоящее время в автомобильной промышленности методов, методик и подходов по управлению качеством автомобилей в проектировании, производстве и эксплуатации. Современная наука управления качеством решает задачи улучшения продукции через инновации и формирование новых знаний в области менеджмента, которые постоянно развиваются и расширяются по мере технического совершенствования процессов создания продукции, их формализации и стандартизации. И если в этом процессе доминирующим аспектом становится некая отдельная область знаний, формирующая технический облик процессов и продукции, то это требует формирование соответствующего адекватного, направленного в будущее методического аппарата управления качеством. Соответственно, научно-технические решения, которые становятся базой для создания новой продукции, в это же время должны являться точкой опоры для соответствующего и адекватного развития инструментов управления качеством.

Именно по этим соображениям в качестве научной специальности представленной диссертационной работы выбрана системообразующая специальность определяющая методологическое развитие управления качеством: 2.5.22 – Управление качеством продукции. Стандартизация. Организация производства

1.2 Актуализация проблемы управления качеством автомобилей по параметрам электромагнитной совместимости

В современном мире автомобиль является одним из самых распространённых видов транспорта, который используется для повседневных поездок, грузоперевозок, а также в коммерческих и государственных целях. С развитием технологий и увеличением количества электронных систем в автомобилях, таких как навигация, мультимедиа, интеллектуальные системы помощи водителю и другие, возрастает и сложность электромагнитной обстановки внутри и вокруг автомобиля. Это может привести к нарушению работы электронных систем, снижению уровня безопасности движения, а также к негативному воздействию на здоровье человека и окружающую среду.

Актуальность задачи управления качеством автомобиля в разрезе электромагнитной совместимости обусловлена следующими факторами:

- Безопасность движения. Электромагнитные помехи могут привести к сбоям в работе электронных систем автомобиля, таких как системы управления двигателем, антиблокировочная система тормозов, система стабилизации и другие. Это может привести к потере контроля над автомобилем и, как следствие, к дорожно-транспортным происшествиям.

- Комфорт и удобство. Электромагнитные помехи могут привести к сбоям в работе мультимедийных систем, систем навигации и других электронных устройств, что может снизить комфорт и удобство при эксплуатации автомобиля.

- Негативное воздействие на здоровье. Электромагнитные поля могут оказывать негативное воздействие на здоровье человека, особенно при длительном воздействии. Это может привести к ухудшению самочувствия, снижению работоспособности и другим негативным последствиям.

- Окружающая среда. Электромагнитные помехи могут привести к нарушению работы систем управления двигателем, что может привести к

увеличению выбросов вредных веществ в атмосферу, что может негативно сказаться на состоянии окружающей среды и здоровье людей.

– Соответствие требованиям законодательства. Во многих странах, как и в РФ, существуют требования к электромагнитной совместимости автомобилей, которые необходимо соблюдать. Помимо вышеперечисленных последствий, несоблюдение этих требований может привести к штрафам и другим санкциям для автопроизводителя.

Управление качеством автомобиля в разрезе электромагнитной совместимости (ЭМС) – это комплекс мер, направленных на обеспечение соответствия автомобиля требованиям к ЭМС. Эти требования устанавливаются регулируемыми органами и потребителями и включают в себя нормы по уровню электромагнитных помех, излучаемым сигналам, помехоустойчивости и другим параметрам.

В общем виде можно выделить следующие основные этапы управления качеством автомобиля в разрезе ЭМС:

1. Определение требований. Необходимо определить требования к ЭМС автомобиля, установленные регулируемыми органами и потребителями. Для этого могут быть использованы следующие источники информации:

- стандарты и нормативы в области ЭМС;
- технические условия и спецификации на автомобиль;
- отзывы и жалобы потребителей;
- результаты испытаний и сертификаций.

2. Планирование проекта. На этом этапе необходимо разработать план проекта, который будет включать в себя следующие шаги:

- определение целей и задач проекта, включая требования по ЭМС;
- распределение ответственности и полномочий;
- разработка графика выполнения работ;
- определение ресурсов, необходимых для выполнения проекта.

3. Разработка и проектирование. На этом этапе необходимо учесть требования к ЭМС при разработке конструкции автомобиля. Для этого могут быть использованы следующие методы:

- анализ электромагнитной совместимости компонентов автомобиля;
- моделирование электромагнитных полей;
- проведение испытаний на помехоустойчивость.

4. Разработка и планирование производства. На этом этапе необходимо разработать процесс производства, который будет обеспечивать соответствие автомобиля требованиям к ЭМС. Для этого могут быть использованы следующие меры:

- использование компонентов, соответствующих требованиям к ЭМС;
- применение технологий, снижающих уровень электромагнитных помех;
- контроль качества на всех этапах производства.

5. Серийное производство. На этом этапе необходимо обеспечить соответствие автомобиля требованиям к ЭМС путем проведения испытаний и измерений. Для этого могут быть использованы следующие методы:

- измерение уровня электромагнитных помех;
- проверка помехоустойчивости;
- контроль соответствия требованиям к излучаемым сигналам.

6. Управление качеством процессов производства и сборки. На этом этапе необходимо отслеживать и улучшать соответствие изготовленного автомобиля требованиям к ЭМС. Для этого могут быть использованы следующие методы:

- сбор и анализ данных о функционировании автомобиля;
- сравнение результатов испытаний с требованиями;
- проведение корректирующих мероприятий;
- оценка удовлетворенности потребителей;
- постоянное улучшение процессов.

7. Документирование результатов. Необходимо вести соответствующую документацию, подтверждающую соответствие автомобиля требованиям к ЭМС. Для этого могут быть использованы следующие документы:

- технические условия и спецификации;
- протоколы испытаний;
- отчеты об оценке соответствия.

Представленные выше этапы могут быть реализованы в виде отдельного подхода, но это не перспективно, так в современном мире уже существует множество показавших свою эффективность подходов по управлению качеством новых проектов, а также систем управления качеством. Речь идет о стандартах в области качества и различных методов управления качеством. Рассмотрим далее эти стандарты и методы для понимания возможных шагов по системному обеспечению необходимого уровня ЭМС в разрабатываемых автомобилях.

1.3 Стандарты и методологический инструментарий по менеджменту качества в автомобильной промышленности

Стандарт IATF 16949:2016 в автомобильной промышленности – это один из самых современных и строгих отраслевых стандартов в области систем менеджмента качества (СМК). Он не только включает в себя практически все требования к СМК, предусмотренные в основополагающем стандарте на системы менеджмента качества ISO 9001:2015, но и основывается на базовых принципах и инструментах концепций «0 дефектов», бережливого производства и «Шесть сигм». Стандарт IATF 16949 также предполагает использование передовых методов и инструментов менеджмента качества, таких как APQP/CP, PPAP, FMEA, SPC, MSA, QFD, 8D и QRQC.

Кроме того, производители автомобильных компонентов должны соблюдать требования автосборочных заводов (ОЕМ-производителей), которые

зачастую ещё более строгие, чем требования стандарта IATF 16949. Например, требования Renault-Nissan, Volkswagen, АО «АВТОВАЗ» и др.

Также необходимо отметить, что для поставщиков первого и второго уровня внедрение стандарта IATF 16949 является обязательным, кроме того этот стандарт распространяется на поставщиков третьего уровня и поставщиков материалов.

В рамках требований стандарта IATF 16949 для обеспечения качества продукции предприятия автомобильной промышленности, в том числе сами автопроизводители и, особенно, поставщики авкомпонентов должны предпринять целый ряд шагов. Эти шаги включают анализ и внедрение изменений как в процессе проектирования продукта и процесса его производства, далее в процессе подготовки производства и конечно в серийном производстве, а также анализ результативности этих изменений и получение одобрения поставщиками от автопроизводителя.

В стандарте IATF 16949 для управления качеством предусмотрено применение различных специальных методов, которые можно условно разделить на две группы:

- Методы, связанные со сквозным планированием и управлением качеством на этапах жизненного цикла нового продукта (APQP и PPAP).
- Методы управления качеством, применяемые на отдельных этапах жизненного цикла нового продукта (SPC, MSA, FMEA и другие).

APQP (Advanced Product Quality Planning) – это метод, который включает в себя планирование и управление качеством нового продукта, включая оценку рисков, анализ осуществимости, проверку этапов и получение одобрения производства по процедуре PPAP. Он представляет собой основной процесс управления качеством нового продукта, описывающий все этапы управления качеством, от планирования, проектирования продукции и процессов, до подготовки производства и серийного производства [146, 153].

PPAP (Production Part Approval Process) – это метод, который предполагает получение одобрения от потребителя после того, как поставщик демонстрирует понимание и правильное применение всех требований потребителя и обеспечивает качество продукции своими процессами. В процедуру PPAP входят методы FMEA, MSA и SPC.

FMEA (Failure Mode and Effects Analysis) – это метод, который включает идентификацию и анализ возможных отказов и их последствий, анализ рисков этих отказов и применяется на этапах проектирования продукта и процесса его производства. Этот метод позволяет на основе оценки рисков, выявить наиболее критичные отказы и разработать меры по их предотвращению или снижению негативных последствий от них.

SPC (Statistical Process Control) – это метод, который обеспечивает подтверждение стабильности процесса производства, особенно в отношении ключевых характеристик продукта и процесса. Он позволяет гарантировать «запас по качеству» и управлять процессом, обеспечивая качество процессов.

MSA (Measurement System Analysis) – это метод, который предполагает подтверждение стабильности измерительных систем. На результаты измерений влияют не только инструменты контроля, но и методика измерений, сам контролер, а также окружающая среда. Метод позволяет определить «общую изменчивость», сравнить её с допуском и процессом и сделать вывод о приемлемости всей измерительной системы.

Control Plan (CP, План управления) – в этих планах содержится краткое описание систем мониторинга, контроля и управления, которые используются для минимизации отклонений (вариаций) в характеристиках процессов и производимых продуктов. Планы управления предназначены для поддержки цикла планирования и обеспечения качества. Так как они создаются на ранних этапах APQP-процесса, то в последствии помогают производственным подразделениям контролировать процесс производства и гарантировать качество продукции. План управления – это живой документ, который

корректируется с учётом улучшений и извлечённых уроков по мере их появления. Он разрабатывается поэтапно, в зависимости от стадии разработки продукта: прототип, предварительный запуск и серийное производство [146, 177].

QFD (Quality Function Deployment) – это метод, который помогает производителю определить наиболее важные характеристики продукта, ранжировать их по степени важности, преобразовать потребности клиентов в инженерные характеристики продукта и определить задачи по его улучшению.

8D (Eight Disciplines) – это набор последовательных шагов по управлению несоответствиями, который применяется в серийном производстве.

QRQC (Quick Response Quality Control) – это метод, который позволяет оперативно выявлять и устранять основные причины несоответствий. Он должен применяться непосредственно на месте обнаружения ошибки, используя реальные данные и участников процесса.

Методы FMEA, SPC, MSA и CP используются на этапах APQP при проектировании процессов производства и при подготовке производства. Они обеспечивают стабильность процессов и отсутствие рисков. Их также применяют в серийном производстве для подтверждения стабильности процессов и при проведении изменений.

Кроме того, у предприятий при изготовлении продукции могут возникнуть проблемы с качеством в серийном производстве и у потребителя, что потребует применения методов 8D и QRQC.

В рамках планирования качества нового продукта (APQP) предприятия должны выделить ключевые характеристики (КХ), разработать диаграммы потока процесса (ДПП), планы управления (Control Plan) и рабочие инструкции.

Важно отметить, что помимо выполнения требований стандарта IATF 16949 и применения специальных методов, которые являются его частью, поставщики также должны выполнять требования конкретного OEM-производителя.

В рамках исследования ключевыми методами, которые предполагают совершенствование подходов по управлению качеством автомобиля в разрезе его электромагнитной совместимости, являются, на системном уровне – APQP и PPAP, а локально на отдельных этапах – FMEA, План управления, SPC и MSA.

1.4 Методология APQP в автомобильном производстве

Рассмотрим подробнее методологию применения APQP (Advanced Product Quality Planning – планирование качества перспективной продукции).

APQP представляет собой системный подход к переходу нового продукта от концепции к производству, обеспечивающий его соответствие стандартам качества и ожиданиям клиентов. Это очень важно, поскольку он предоставляет производителям структурированную схему для раннего обнаружения возможных проблем, еще в процессе разработки продукта. Следовательно, организации могут повысить надежность продукта, свести к минимуму изменчивость и поддерживать стабильное качество, следуя этапам APQP, что приводит к более высокому уровню удовлетворенности клиентов и, следовательно, к конкурентоспособности. APQP фактически служит руководством для всего процесса разработки и в то же время является стандартом для обмена результатами между организациями (производителем и поставщиками).

APQP основан на американском стандарте управления качеством QS 9000 и был опубликован во втором издании в 2008 году. Второе издание включает обновлённую терминологию и концепции, соответствующие стандарту ISO/TS 16949, который в 2016 году был преобразован в IATF 16949. В настоящее время действует третья версия руководства APQP, которая вышла в 2024 году [153]. В России был разработан стандарт ГОСТ Р 51814.6-2005 «Менеджмент качества при планировании, разработке и подготовке производства автомобильных компонентов», основанный на первом издании руководства APQP.

В руководстве по APQP представлен подробный обзор этапов APQP, которые важны для обеспечения разработки качественного продукта. APQP систематически шаг за шагом охватывает все этапы от первоначальной концепции до производства, что в итоге приводит к соблюдению установленных стандартов качества и удовлетворению ожиданий клиентов.

Стоит отметить, что практический каждый автопроизводитель (GM, Ford, RENAULT) имеет собственные дополнения к APQP, например процедура ANPQP (Alliance New Product Quality Procedure – совместная процедура качества новой продукции) у RENAULT, либо вообще предлагают своим поставщикам собственные системы обеспечения качества новых проектов – например, процедура VDA MLA (VDA Maturity Level Assurance – обеспечение уровня зрелости), которая в основном применяется у автопроизводителей в Германии, но и там подход, основанный на APQP более популярен, так как является фактически общепризнанным на международном уровне.

В рамках процесса APQP структурированные шаги включают технико-экономическое обоснование, проектирование и разработку продукта и процесса, валидацию продукта и процесса и серийное производство (рисунок 1.1). Предполагается, что на каждом этапе APQP потенциальные проблемы выявляются на ранней стадии и принимаются корректирующие меры для обеспечения эффективного производства продукции в соответствии с графиком и спецификациями. APQP фактически является инструментом постоянного улучшения и оказывает системную поддержку повышению производительности и повышения конкурентоспособности продукции автопрома.

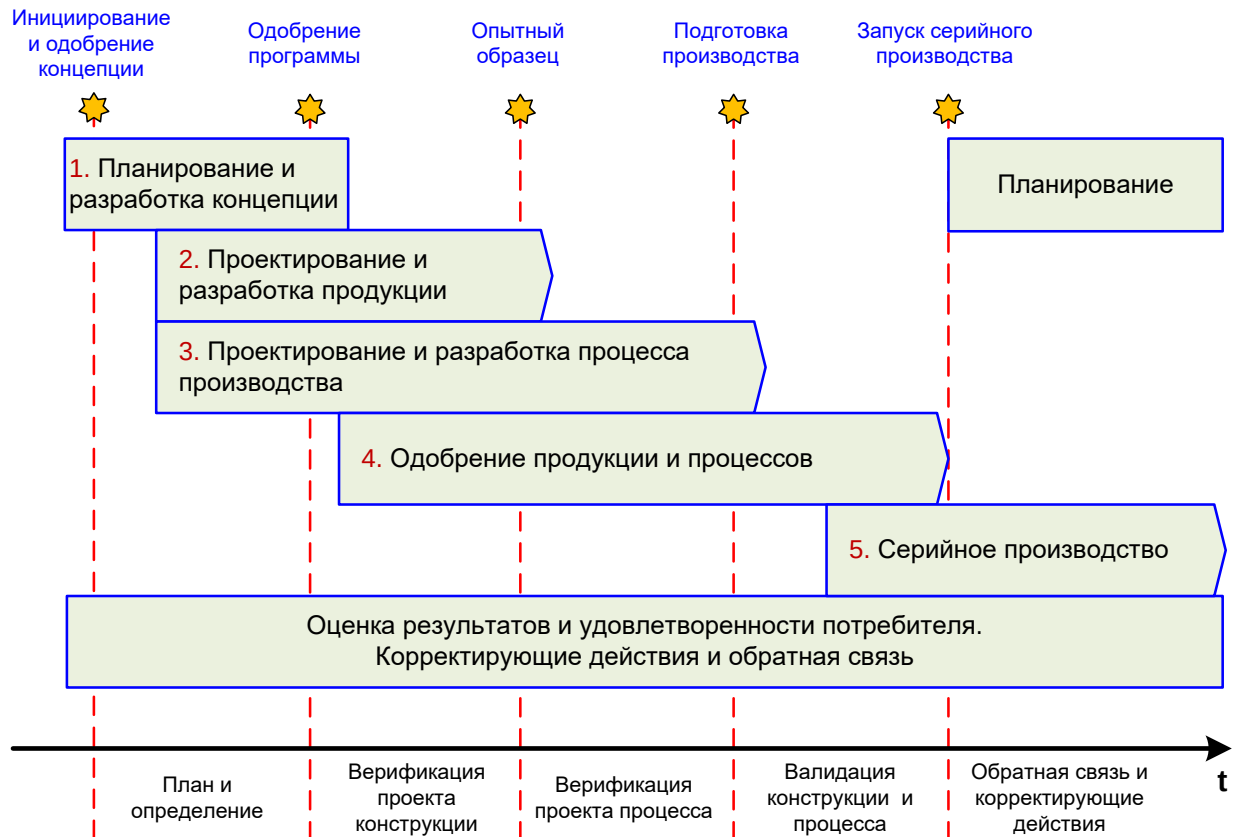


Рисунок 1.1 – Схема процесса APQR во временном контексте

Для эффективного осуществления APQR-процесса необходимо создать межфункциональную APQR-команду. Эта команда должна включать представителей служб, влияющих на выполнение процесса (маркетинг, проектирование, производство, управление качеством, закупки, продажи и сервис). При необходимости могут приглашаться опытные специалисты из других организаций. В команде распределяются ответственность и полномочия в отношении определенных работ.

Целью работы команды является планирование и координация действий по выполнению APQR-процесса для гарантированного обеспечения качества будущей серийной продукции.

Основные задачи команды:

- Выявление интересов и ожиданий потребителя – рекомендуется использовать метод QFD;

- Определение областей деятельности и ролей – рекомендуемая форма в виде матрицы ответственности;
- Определение дисциплин и конкретных работников и/или субподрядчиков;
- Вовлечение потребителей и ключевых поставщиков в работу APQR-команды;
- Определение затрат, сроков и других ограничений;
- Оценка осуществимости поставленных требований и предлагаемых организационно-технических решений;
- Определение процессов и методов документирования.

Как видно из приведённой выше схемы отдельных этапов APQR (рисунок 1.1), процесс APQR используется для планирования продукта от этапа разработки концепции до серийного производства. Как уже говорилось выше, APQR – это процесс управления проектом, в котором используются такие инструменты, как FMEA, MSA, PPAP и SPC при разработке продукта и процесса. Для отдельных этапов планируются и реализуются различные действия в рамках временного контекста. Весь процесс сопровождается отчётом о статусе APQR и должен быть соответствующим образом задокументирован, обычно это сопровождается применением специальных шаблонов электронных документов, в рамках которых реализуется подробное временное планирование этапов (график) и чек-листы контроля их выполнения.

APQR состоит из 5 этапов (рисунок 1.1):

1. Планирование и определение требований клиента/потребителей

На первом этапе процесса необходимо изучить потребности, ожидания и требования клиентов. Это позволяет определить с технической точки зрения, чего должен достичь продукт, насколько широко он должен охватывать аудиторию и какие ограничения существуют, т.е. речь идет о формировании перечня технических характеристик продукта.

2. Проектирование и разработка продукта

На этом этапе создаются технические чертежи и прототипы, которые представляют собой детальный проект продукта. Это гарантирует, что созданный продукт будет соответствовать всем требованиям, которые были определены ранее. В рамках данного этапа проектные и аналитические команды также стремятся улучшить конструкцию продукта, чтобы обеспечить ожидаемую производительность и желаемое качество.

3. Проектирование и разработка процессов

На этом этапе создаётся эффективный производственный процесс. Разрабатываются технологические процессы производства, определяется необходимое оборудование и устанавливаются критические параметры процесса. Основная цель этого этапа – создать надёжный и эффективный метод, который можно использовать для массового производства с постоянным качеством и надёжностью.

4. Валидация продукта и процесса

На этом этапе проводится комплексное тестирование и испытания продукта и соответствующих производственных процессов. Они должны соответствовать всем стандартам качества и критериям эффективности. В противном случае они не будут валидированы.

Этот этап может включать в себя тесты на готовность, такие как производство пилотной партии, проверку качества и проведение эксплуатационных испытаний, направленных на подтверждение того, готовы ли заводы к полномасштабному производству.

5. Запуск серийного производства, обратная связь и оценка

Последний этап предполагает запуск полномасштабного производства продукта. На этом этапе создаются системы непрерывного мониторинга вместе с контурами обратной связи для измерения того, насколько продукт соответствует своим целевым функциям в отношении эффективности конкретных процессов, оценивается и обеспечивается стабильность процессов, предпринимаются действия по улучшению.

В этот период должны доминировать функции корректирующих действий, основанные на отзывах клиентов, поскольку они гарантируют постоянное улучшение и, следовательно, повышение удовлетворенности клиентов.

Основные цели всех этапов APQR-процесса имеют непосредственное отражение в пунктах стандарта IATF 16949:2016 «Фундаментальные требования к системе менеджмента качества для производств автомобильной промышленности и организаций, производящих соответствующие сервисные части» (российский аналог этого стандарта – ГОСТ Р ИСО 58139-2018 «Системы менеджмента качества. Требования к организациям автомобильной промышленности») и представлены в таблице 1.1.

Таблица 1.1 – Этапы APQR-процесса

Этап	Цель этапа	Пункты стандарта IATF 16949
1-ый этап – планирование, разработка концепции и плана обеспечения качества продукции	Обеспечение чёткого понимания требований и ожиданий потребителя.	8.1, 8.2.1-8.2.3, 8.3.1
2-ой этап – проектирование и разработка продукции	Всесторонний анализ конструкции продукта (опытного образца) и осуществимости разработки.	8.3.2 – 8.3.3, 8.3.5 – 8.3.6
3-ий этап – проектирование и разработка процессов	Разработка и развитие эффективной производственной системы, гарантирующей, что требования и ожидания потребителей выполнены.	8.3.2 – 8.3.3, 8.3.5 – 8.3.6
4-ый этап – окончательная подготовка производства (валидация продукции и процессов)	Подтверждение, что продукция и процесс соответствуют требованиям потребителя, перед запуском в серию.	8.3.4, 9.1.1.1
5-ый этап – производство и действия по улучшению	Поддержание и улучшение качества продукции и процессов.	8.5 – 8.7, 9, 10

Рассмотрим более подробно этап №1 «Планирование и определение требований клиента/потребителей».

Цель этого этапа – чётко определить, чего хотят и ждут от нас клиенты, и на основе этого разработать план всего процесса APQR.

Данный этап представляет из себя процесс, имеющий входы и выходы, представленные на рисунке 1.2.

Этап №1 «Планирование и определение требований клиента/потребителей»



Рисунок 1.2 – Схема этапа №1 «Планирование и определение требований клиента/потребителей»

Если внимательно рассмотреть входные данные для этапа, то необходимо отметить следующие основные элементы:

1) «Голос потребителя» – APQR-команда должна использовать все доступные источники информации, чтобы полностью понять и сформулировать потребности и пожелания потребителей:

– Внешняя информация: опросы, анкетирование, письма, пожелания и претензии потребителей, комментарии и анализ СМИ, отчеты по исследованию рынка.

– Информация от внешних организаций: от дилеров, служб сервиса, автопарков, автоинспекций.

– Информация от предприятий-потребителей: возвраты и отклонения в производстве, оценки поставщиков, данные о структурировании функций качества систем и подсистем (результаты применения метода QFD), технические требования.

- Официальная информация: государственные и международные нормы (в том числе стандарты и правила ООН), технические регламенты, обязательные требования.

- Собственная информация: комментарии и указания руководства, предложения персонала, проблемы и задачи внутренних подразделений-потребителей, анализ контракта, отчеты о гарантийном обслуживании, показатели технологических процессов, отчеты о решении проблем, анализ возвратов продукции из эксплуатации, отчеты об изучении качества и надежности новой продукции, отчеты о внутренних проверках систем менеджмента качества.

2) Стратегия бизнес-плана и маркетинга:

- определяет целевого потребителя, ключевые позиции продаж и основных конкурентов.

3) Данные об опорных показателях продукции/процессов:

- позволяет установить цели по эффективности продукции/процессов.

4) Предположения о продукции/процессах:

- включают технические новшества, перспективные материалы, оценки надежности и новой технологии.

5) Данные по исследованию надежности продукции:

- учитывают частоту ремонтов или замен компонентов за определенные периоды времени и результаты долговременных испытаний на надежность/долговечность.

6) Информация от конкретных потребителей:

- дают значимую информацию о потребностях и ожиданиях качества продукции.

- проводят некоторые анализы и испытания.

- используются для выработки согласованных показателей удовлетворенности потребителя.

Выходы данного этапа одновременно являются входами для следующего этапа «Проектирование и разработка продукта» (рисунки 1.2, 1.3):

1) Цели разработки

Чтобы определить цели разработки, необходимо преобразовать всю имеющуюся информацию и «голос потребителя» в конкретные измеримые показатели и задачи разработки. Правильный выбор целей гарантирует, что «голос потребителя» не будет потерян в процессе разработки конструкции или процесса.

2) Цели по надёжности и качеству

Цели по надёжности определяются на основе пожеланий и ожиданий потребителей, задач программы и показателей надёжности. Примеры пожеланий и ожиданий потребителя – отсутствие опасных отказов и простота обслуживания. Общие цели по надёжности следует выражать через средний ресурс, среднее время наработки на отказ и т. д.

Цели по качеству должны основываться на постоянном улучшении. Пример целей по качеству: количество несоответствий на миллион (PPM), снижение потерь от брака.

3) Предварительный перечень материалов

ARQR-команде следует определить предварительный перечень материалов, основываясь на предположениях о продукте и процессах, и проанализировать имеющийся список поставщиков.

4) Предварительная карта потока процесса

ARQR-команде следует описать предполагаемый процесс с помощью карты потока процесса, используя предварительный перечень материалов и предположения о продукте и процессах.

5) Предварительный перечень ключевых характеристик продукта и процессов

Перечень ключевых характеристик продукта и процессов определяется поставщиком на основе знаний о продукте и процессах. Этот перечень следует

разрабатывать, основываясь на следующей информации, но не ограничиваясь ею:

- информация от потребителя о наиболее важных для него показателях;
- предположения о продукте, основанные на анализе потребностей и ожиданий потребителя;
- FMEA подобных продуктов;
- идентификация целей/требований по надёжности;
- идентификация ключевых процессов из предполагаемых процессов производства.

APQR-команде следует убедиться, что разработанный предварительный перечень вытекает из потребностей и ожиданий потребителя.

Поставщик определяет ключевые характеристики компонентов продукта и ключевые характеристики процессов в дополнение к ключевым характеристикам готового продукта, определённым потребителем.

6) План обеспечения качества продукта

План обеспечения качества продукта – важнейший элемент APQR-программы. План преобразует цели разработки в технические требования к конструкции. План может быть разработан в любой понятной форме и может включать в себя следующие действия, но не только их:

- разработка требований общей программы;
- определение целей и/или требований надёжности;
- оценка новых требований к технологии, сложности, материалам, условиям окружающей среды, упаковке, сервису и производству или любых других факторов, которые могут поставить выполнение программы под сомнение;
- применение формализованной структурированной процедуры анализа данных о типах отказов/дефектов (SFMEA, DFMEA, PFMEA), прошлых и настоящих, чтобы предотвратить их возникновение в будущем;
- разработка предварительных технических требований и стандартов.

Таким образом, данный этап должен полностью обеспечить информацией и планом действий все последующие этапы создания нового продукта.

Рассмотрим более подробно этап №2 «Проектирование и разработка продукта».

На этом этапе происходит определение и проектирование нового продукта в его окончательной форме. Здесь важно учитывать все аспекты проектирования. Также на этом этапе создаётся прототип. Напомним, что входами для этого этапа являются выходы первого этапа (рисунки 1.2, 1.3).

Все исследования в отношении нового продукта в рамках данного этапа основываются на технических чертежах и требованиях к спецификации, в том числе на основе стандартов в области безопасности, например, правил ООН. Однако дальнейшая идентификация и расстановка приоритетов характеристик для последующего управления ими, т.е. фактически выявление ключевых характеристик для управления качеством продукта и процесса его производства, могут быть получены с помощью методов анализа, самым известным и эффективным из которых является FMEA. В рамках применения метода FMEA гарантируется критический анализ и оценка входных инженерных и технических требований и информации с точки зрения риска их реализации в новом продукте.

На этапе проектирования используется специальная разновидность метода FMEA, сфокусированная на анализе видов и последствий отказов конструкции изделия – DFMEA (Design FMEA). В рамках применения этого метода очень важно убедиться, что анализом охвачены все соответствующие характеристики конструкции. Это также обеспечивает важную информацию для последующих этапов процесса APQP (рисунок 1.3), таких как проектирование процесса и серийного производства, чтобы обеспечить возможность проектирования нового процесса и его системы управления качеством на основе управления взаимосвязанными характеристиками процесса и обеспечения последующей качественной сборки/изготовления изделия в серии.

Этап №2 «Проектирование и разработка продукта»



Рисунок 1.3 – Схема этапа №2 «Проектирование и разработка продукта»

Обратная связь и уроки, извлечённые из предыдущих проектов, также рассматриваются как входные данные для этапа проектирования продукта.

Напомним, что основная идея APQR заключается в том, что качество продукта особенно важно на этапе разработки. Цель APQR на этих этапах – избежать ошибок, выявить необходимые изменения и обеспечить надёжное соответствие требованиям клиентов ещё до запуска продукта в серийное производство.

Выходами этого этапа являются две группы данных (рисунок 1.3), которые формируются командой APQR и службами проектирования, обычно службой главного конструктора:

1) Выходы, формируемые службой главного конструктора:

– протокол анализа видов и последствий отказов конструкции (DFMEA), в котором отражены все выявленные потенциальные отказы конструкции по каждому компоненту, узлу и системе и оценен риск каждого из них с указанием и отработкой мер по улучшению конструкции, мер по улучшению методов обнаружения (в том числе различных испытаний) и предупреждения отказов

для снижения неприемлемого риска, в том числе утонены специальные характеристики продукта;

- обеспечение технологичности и собираемости;
- верификация и валидация конструкции на соответствие требованиям, установленным на предыдущем этапе;
- анализ конструкции, включающий в себя серию действий по оценке:
 - соображений по конструкции и функциональным характеристикам;
 - обеспечения целей по надежности;
 - рабочих циклов компонентов/подсистем/систем;
 - результатов компьютерного моделирования и стендовых испытаний;
 - результатов DFMEA;
 - технологичности и собираемости конструкции;
 - результатов планирования экспериментов (ПЭ) и изменчивости конструкции при сборке;
 - результатов испытаний на отказ;
 - результатов валидации конструкции;
- создание опытного образца (прототипа) и плана управления для него;
- технические чертежи (включая математические данные), которые могут включать в себя ключевые характеристики (по государственным и международным нормам по безопасности и экологии), которые в том числе должны быть отмечены в плане управления;
- технические требования, связанные с функционированием, безотказностью, долговечностью и внешнему виду существенных компонентов или сборочных единиц и самого продукта в сборе, при этом объем, частоту выборок и критерии приемки для этих параметров обычно устанавливают/приводят в разделе методов испытаний технических требований;
- спецификации материалов;
- изменения чертежей и технических требований.

2) Выходы, формируемые APQR-командой:

- новые требования к оборудованию, инструменту и оснастке;
- ключевые характеристики продукции и процессов, которые предварительно определяются на предыдущем этапе и уточняются здесь в рамках применения различных методов анализа конструкции и процессов производства, в том числе DFMEA, ПЭ и др., а также испытаний;
- требования к контрольно-измерительному и испытательному оборудованию;
- заключение команды об осуществимости проекта и поддержка руководства.

Эти выходы одновременно являются входами третьего этапа APQR, которые тесно связан с текущим этапом и выполняется параллельно с некоторым сдвигом по времени (рисунок 1.1).

Рассмотрим более подробно этап №3 «Проектирование и разработка процесса производства».

Цель этого этапа – создать и отладить все технологические и производственные процессы. В этом разделе мы рассмотрим ключевые аспекты разработки производственного процесса и связанных с ним планов управления, которые необходимы для обеспечения выпуска качественной продукции. Входы и выходы данного этапа схематично представлены на рисунок 1.4.

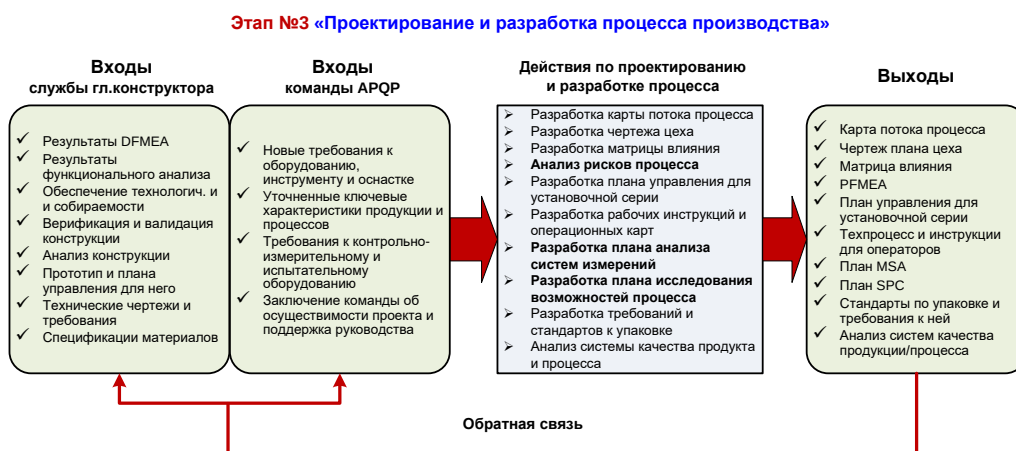


Рисунок 1.4 – Схема этапа №3 «Проектирование и разработка процесса производства»

Перечислим выходы этого этапа и прокомментируем подробнее некоторые из них, важные для темы исследования:

- карта потока процесса, которая представляет собой схематическое представление хода производственного процесса с использованием условных знаков для различных типов операций, и предназначена для анализа причин изменчивости и их влияния на процесс, помогает при проведении PFMEA и разработке Плана управления;

- чертеж плана цеха;

- матрица влияния, которая представляет собой специальный аналитический инструмент, предназначенный для выявления степени влияния технологических операций на специальные характеристики продукции;

- протокол анализ видов и последствий отказов процесса (PFMEA), в котором отражены все выявленные потенциальные отказы процесса по каждой операции и оценен риск каждого из них с указанием и отработкой мер по улучшению операций, методов контроля (в том числе периодических испытаний) и предупреждения для снижения неприемлемого риска отказов, в том числе утонены специальные характеристики процесса;

- план управления для установочной серии, в котором содержится описание геометрических размеров и испытаний материалов и функций, которые проводят в ходе изготовления установочной серии, до начала серийного производства [253];

- инструкции для операторов;

- план анализа измерительных систем (MSA), который разрабатывается командой APQP для осуществления на четвертом этапе процедуры, в который должны быть включены действия по обеспечению линейности, точности, повторяемости, воспроизводимости для основного и дублирующего контрольно-измерительного оборудования;

– план предварительного изучения возможностей процессов (SPC), который разрабатывается командой APQR для осуществления на четвертом этапе процедуры, в который должны быть включены действия по анализу возможностей процесса с помощью статистических методов по выявленным и утвержденным специальным характеристикам продукта и связанным с ними характеристиками процесса;

- стандарты по упаковке и требования к ней;
- анализ систем качества продукции/процесса;
- поддержка руководства.

Таким образом, второй и третий этапы APQR позволяют полностью осуществить разработку и проектирование продукта и всех процессов его производства и сборки с учетом всех обязательных требований, и обеспечить тем самым основу для обеспечения качества и надежности готового продукта. Контроль и подтверждение достижения этих требований проводится в рамках следующего этапа APQR.

Рассмотрим более подробно этап №4 «Валидация продукта и процесса».

Цель этого этапа – обеспечить полную готовность к производству продукта с заданным темпом выпуска и гарантированным соответствием всем требованиям к качеству. Входы и выходы данного этапа схематично представлены на рисунок 1.5.



Рисунок 1.5 – Схема этапа №4 «Валидация продукта и процесса»

Данный этап связан с производством и оценкой установочной партии. На этом этапе команда APQP должна убедиться в том, что планы управления и карта процесса выполняются, а продукция соответствует ожиданиям потребителей. Причем, очень важно в рамках данного этапа обнаружить и проанализировать возможные проблемы, чтобы устранить их до начала серийного производства.

Перечислим выходы этого этапа и прокомментируем подробнее некоторые из них, важные для темы исследования:

- производство установочной серии (пробной партии, пилотной партии), которое осуществляется в производственных условиях как для серийного производства;
- предварительное изучение возможностей процессов, которое осуществляется с использованием методов SPC для предварительной оценки возможностей процесса для надежного обеспечения требований по допускам к специальным характеристикам;
- оценка измерительных систем, которая осуществляется с помощью методики MSA, и проводится до и во время производства установочной партии и применяется для оценки сходимости и воспроизводимости результатов по всему применяемому в рамках процесса контрольно-измерительному и испытательному оборудованию;
- технические испытания для подтверждения производства, которые проводятся для подтверждения того, что продукция, сделанная в условиях подготовленного производства, полностью соответствует всем техническим требованиям к ней;
- оценка упаковки;
- план управления серийной продукцией, который формируется уже как окончательный документ в результате всех проведенных оценок, их анализа и

последующих уточнений плана управления разработанного ранее для опытной партии;

- одобрение производства продукта, осуществляемого по методике PPAP;
- акт готовности производства и поддержка руководства.

Таким образом, на выходе данного этапа мы получаем производственную систему, полностью готовую к серийному производству продукции, которая, при соблюдении всех запланированных мер по управлению качеством на следующем этапе, будет гарантировано соответствовать всем требованиям к ней.

Рассмотрим более подробно этап №5 «Запуск серийного производства, обратная связь и оценка».

Важно понимать, что деятельность команды APQR не завершается после того, как были утверждены результаты подготовки производства и запущены соответствующие процессы производства и сборки (рисунок 1.6). На этапе серийного производства продукции можно оценивать её выход, учитывая все возможные причины изменчивости, как обычные, так и особые. Также стоит отметить, что как раз на этом этапе можно оценить эффективность всех работ, выполненных на предыдущих этапах процесса APQR.

На этой стадии основой для оценки выполнения требований к качеству продукции или услуги является план управления для серийного производства. При этом должны оцениваться данные по количественным и альтернативным признакам, получаемые в результате контроля характеристик, в том числе специальных. Все эти действия описаны в руководстве по статистическому управлению процессами (SPC), которое является обязательной методикой для управления качеством в производстве.

Кроме того, помимо основного производства, поставщики всех автокомпонентов также обязаны выполнить требования по всем характеристикам, причем ключевые характеристики должны быть соответствующим образом обозначены во всех конструкторско-

технологических документах, а также протоколах FMEA, планах управления, операционных картах, инструкциях для операторов и т.д.

Этап №5 «Запуск серийного производства, обратная связь и оценка»



Рисунок 1.6 – Схема этапа №5 «Запуск серийного производства, обратная связь и оценка»

Входы и выходы данного этапа схематично представлены на рисунке 1.6. Перечислим выходы этого этапа и прокомментируем подробнее некоторые из них, важные для темы исследования:

– снижение изменчивости процессов, которое является основной задачей по обеспечению стабильного уровня качества продукции в серийном производстве, при этом для оценки изменчивости используются контрольные карты Шухарта и другие статистические методы (регрессионный анализ, планирование экспериментов и т.д.), после чего, при необходимости, разрабатываются и внедряются соответствующие корректирующие меры или меры по улучшению, основанные на анализе общих и особых причин изменчивости;

– повышение удовлетворенности потребителя, которое базируется на оценке и анализе результатов эксплуатации автомобиля с учетом мнения

потребителей и разработке и внедрении последующих корректирующих действий там, где это требуется по всем предшествующим этапам APQR, кроме того, именно на данном этапе фактически оценивается эффективность всей процедуры APQR;

– поставка и сервисное обслуживание, которые также тесно связаны с обратной связью от конечных потребителей до автопроизводителя и далее до его поставщиков, и зависят от уровня их удовлетворенности обслуживанием и конкретных замечаний и претензий в этой связи.

Отметим, что два последних выхода тесно связаны между собой. Также стоит сказать, что опыт, который получает автопроизводитель на данном этапе APQR-процесса, позволяет ему в понятных ему пределах регулировать снижение стоимости продукта, основанное на снижении затрат на всех стадиях APQR, в том числе на осуществление процессов производства и управление качеством как продукции так и в целом всей системы менеджмента качества.

Представим взаимосвязь этапов APQR и всех действий и требуемых документов на входах и выходах, в виде единой схемы (рисунок 1.7).

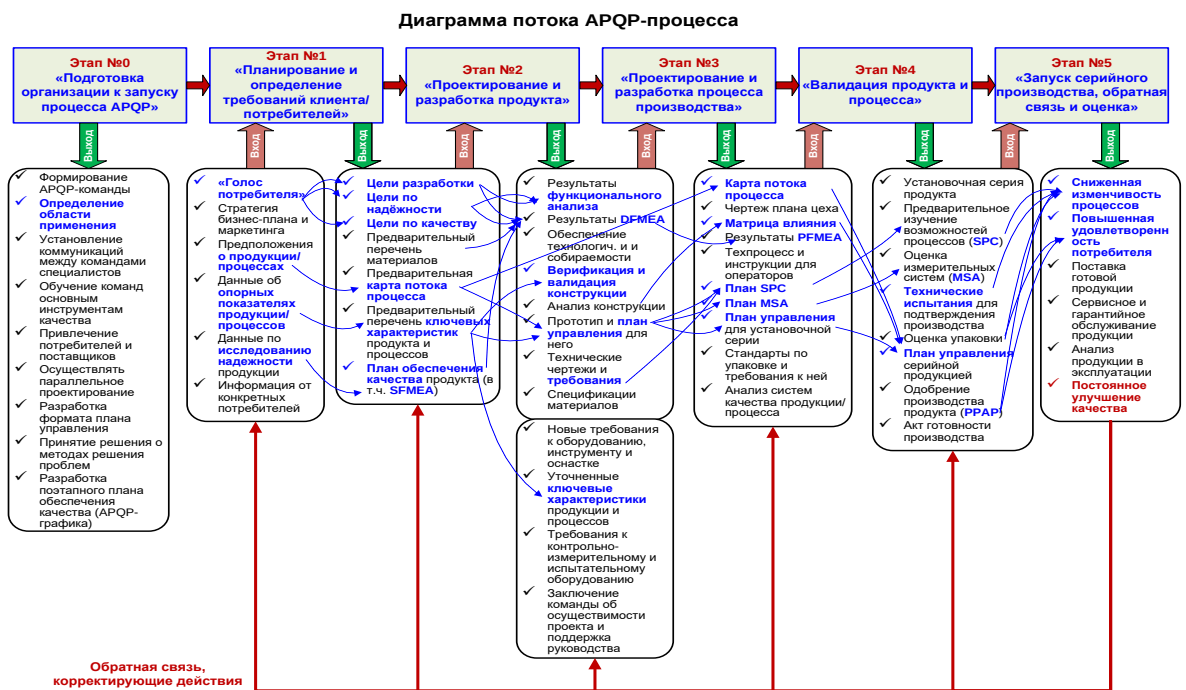


Рисунок 1.7 – Схема взаимосвязи этапов APQR и входов-выходов

Такое представление позволяет наглядно оценить объем, сложность и сильную взаимосвязанность работ на соответствующих этапах APQR.

Для того, чтобы понять и наглядно представить взаимосвязь основных применяемых в рамках APQR инструментов и методов управления качеством, а также порядок их применения в рамках этапов APQR, изобразим систему применения методов в виде схемы (рисунок 1.8).

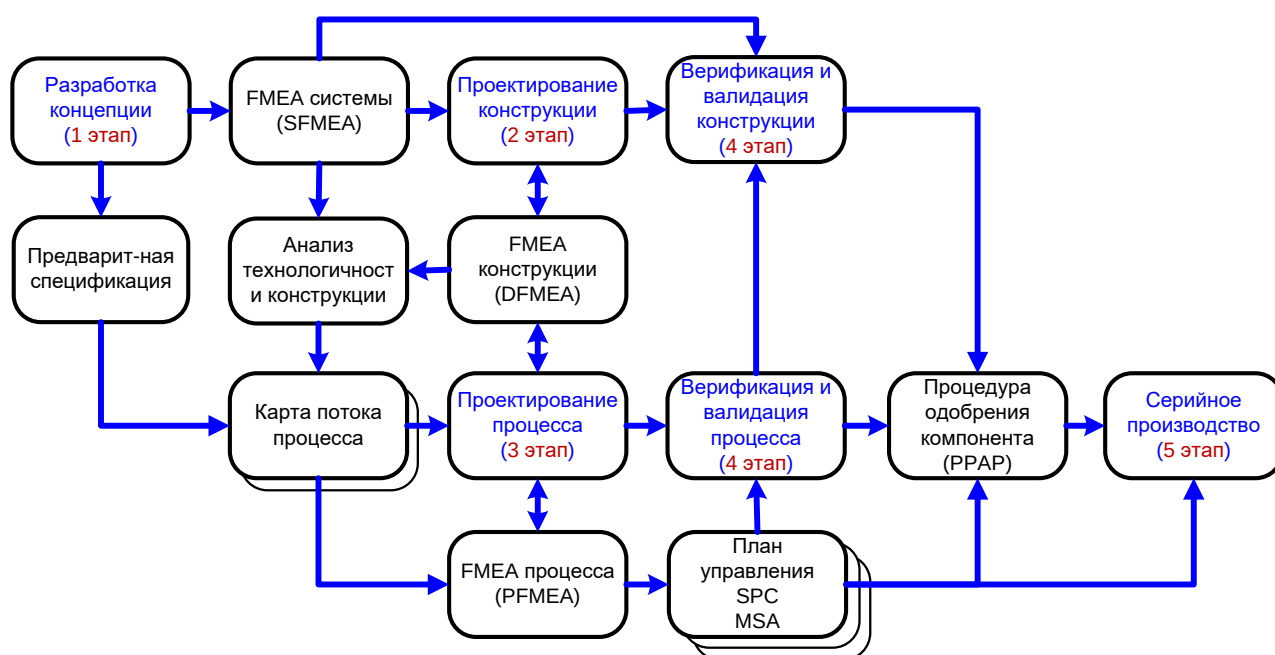


Рисунок 1.8 – Карта APQR-процесса

Для того, что бы понять точки воздействия на систему APQR для реализации программы улучшений в области ЭМС, необходимо определить соответствующие этапы и соответствующие входы-выходы, в рамках которых требуется провести анализ и разработать систему мер по улучшению продукта.

Выделим на общей схеме процесса APQR соответствующие этапы и элементы, требующие доработки (рисунок 1.9). Как видим, получается достаточно сложная структура по количеству мест и элементов, требующих изменения, поэтому для повышения эффективности всего процесса изменений необходимо разработать соответствующую сквозную методологию,

охватывающую всю цепочку этапов APQR, и позволяющую осуществлять улучшения в конкретных областях продукта (отдельных систем, подсистем, узлов) по принципу цикла Деминга, т.е. в виде цикла улучшения с обратной СВЯЗЬЮ.



Рисунок 1.9 – Схема взаимосвязи этапов APQR с наложенной схемой изменений

1.5 Роль методологического инструментария FMEA в рамках APQR

Из представленного выше описания APQR-процесса, видно, что одним из важнейших аналитических методов управления качеством и рисками при создании нового продукта является метод FMEA, который фактически применяется на всех стадиях APQR. В автопроме метод FMEA изначально и разрабатывался как часть системного подхода, и его необходимо применять на соответствующих стадиях жизненного цикла продукции с целью всестороннего и полного анализа рисков проекта и недопущению этих рисков для потребителя в готовом продукте.

Таким образом, метод FMEA следует применять на следующих этапах APQR:

- разработки концепции системы (SFMEA или FMEA системы) – 1 этап;
- разработки конструкции (DFMEA или FMEA конструкции) – 2 этап;
- разработки производственного процесса (PFMEA или FMEA процесса) – 3 этап;
- серийное производство и эксплуатация (RFMEA или обратный FMEA – 5 этап).

Если наложить место на временной график APQR-процесса, то можно увидеть тотальность применения этого метода на всем протяжении работ по осуществлению новых проектов (рисунок 1.10).

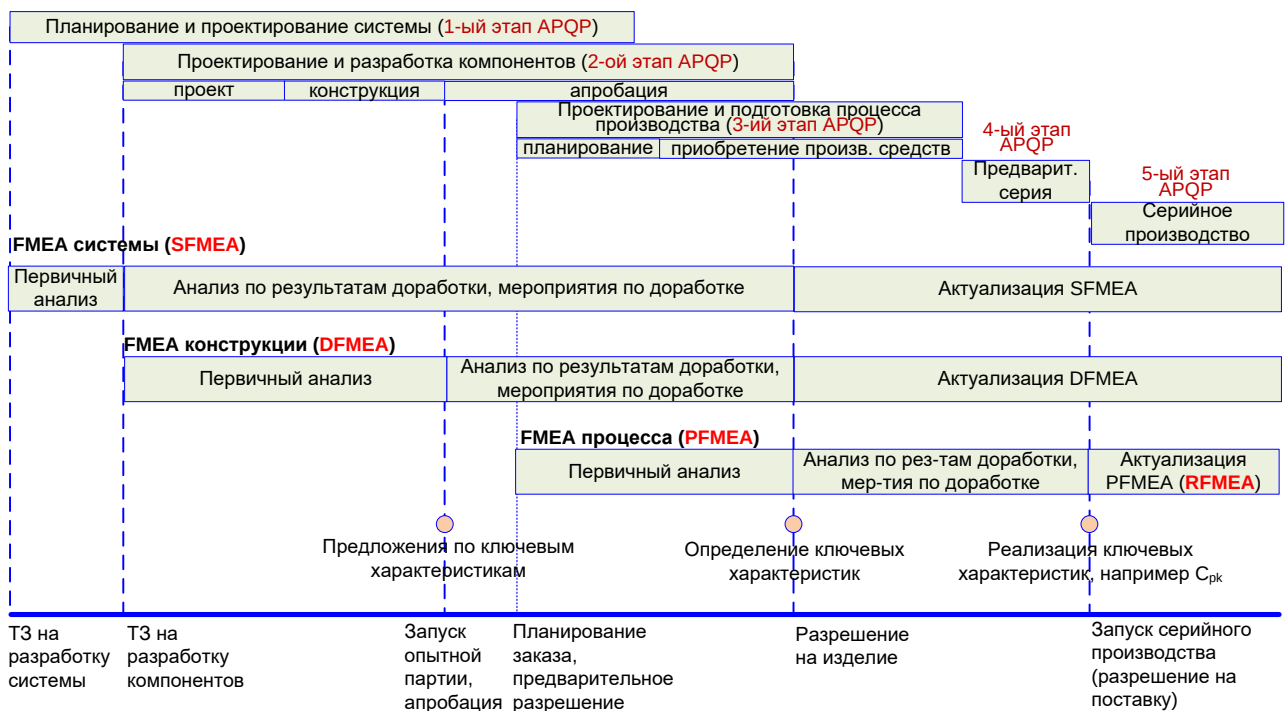


Рисунок 1.10 – Место методологического инструментария FMEA в APQR-процессе

Если рассмотреть стандартный набор фаз любого проекта и обозначить место в них FMEA различного вида, то можно увидеть (рисунок 1.11), что этот метод применяется как на этапе планирования концепции изделия и анализе

проекта, потом на этапе проектирования и отработки конструкции, и далее на этапе проектирования и отработки процесса производства. Фактически, FMEA является одним из основных валидирующих методов для этих стадий проекта. Кроме того, метод FMEA применяется фактически как фильтр для потенциальных дефектов, применяемый при любых изменениях в действующей конструкции и процессах производства.

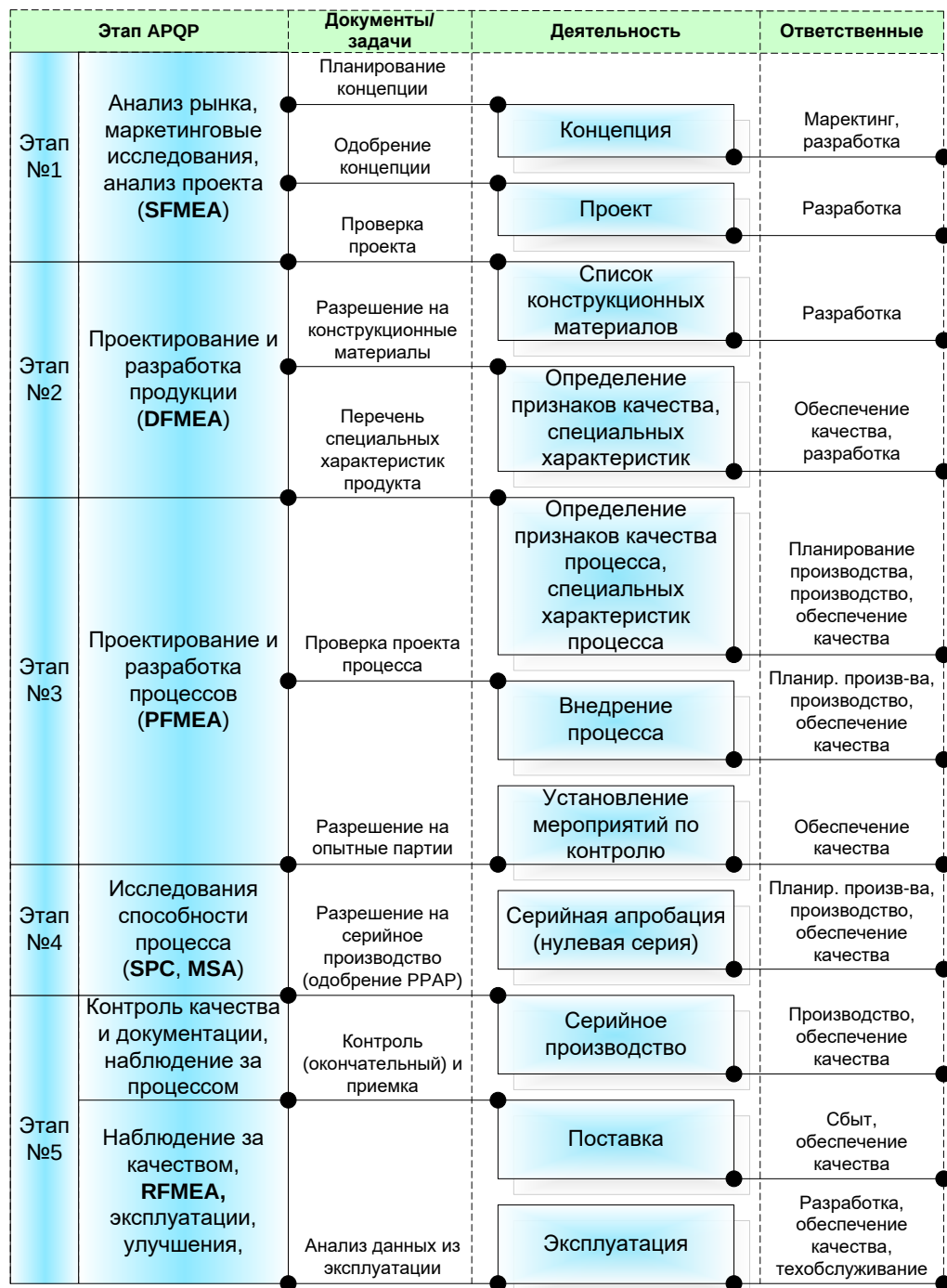


Рисунок 1.11 – Схема этапов жизненного цикла проекта с учетом FMEA

Основные виды FMEA.

Анализ видов и последствий отказов системы (SFMEA, FMEA системы) – это способ проверить, как разные части системы работают вместе и взаимодействуют между собой.

Такой анализ выполняют после того, как основная идея системы уже готова и понятна. Для конкретных проектов его проводят после того, как описаны все функции системы, и лучше сделать это до начала работы над отдельными новыми элементами и их детальным анализом.

Этот подход помогает избежать проблем при разработке системы и предотвратить возможные неполадки в будущем. Интересно, что в официальном руководстве по FMEA от AIAG/VDA такой вид анализа отдельно не рассматривается. По сути, он похож на анализ отдельных компонентов (DFMEA), но проводится на более глобальном уровне, охватывая всю систему целиком.

Анализ видов и последствий отказов конструкции (DFMEA, FMEA конструкции) является формализованной процедурой инжиниринга, направленной на оценку проектных решений и их оптимизацию в ходе взаимодействия межфункциональной FMEA-команды специалистов. Данный метод применяется на стадии конструкторской разработки изделия до начала изготовления опытных образцов и проведения испытаний.

Методология DFMEA обеспечивает:

- предотвращение внедрения в производство недостаточно проработанных конструкторских решений;
- оптимизацию проектных характеристик технического объекта;
- внедрение превентивных мер в производственный процесс;
- минимизацию комплексного риска возникновения дефектов.

Процедура реализуется посредством:

- коллективной экспертизы разнопрофильных специалистов, т.е. DFMEA-команды;
- комплексного учета технологических требований к компонентам и сборке;
- детального анализа потенциальных дефектов и их последствий;
- разработки эффективных методов испытаний конструкции;
- формирования приоритетного списка корректирующих мероприятий по снижению риска;

Завершение всех DFMEA-процедур является обязательным условием для получения одобрения конструкции и запуска изделия в производство.

В процессе выполнения DFMEA производится декомпозиция и анализ функциональных элементов на различных иерархических уровнях – система, подсистема, компонент. Границы анализа определяются согласно функциональной блок-схеме объекта исследования. При этом осуществляется детальное изучение:

- внутренних взаимосвязей между базовыми элементами;
- интерфейсов с внешними компонентами;
- точек взаимодействия с окружающей средой.

Функциональная декомпозиция реализуется по принципу каскадирования:

- системный уровень обеспечивает реализацию заданных функций объекта;
- подсистемы реализуют промежуточные функциональные требования;
- компоненты выполняют базовые функции.

Важно отметить, что методология DFMEA допускает:

- проведение анализа на любом уровне иерархии;
- возможность выделения отдельного метода SFMEA (о чем говорилось выше);
- комплексную оценку интерфейсов взаимодействия – важнейший момент, связанный с темой исследования.

При этом учитываются все заинтересованные стороны:

- производственный персонал (сборщики узлов и систем);
- конечный потребитель;
- сервисные службы;
- эксплуатационное персонал.

Такой многоуровневый подход обеспечивает всестороннюю оценку потенциальных рисков на всех этапах жизненного цикла изделия. При этом все действия, вытекающие из DFMEA, могут быть использованы для рекомендаций по внесению изменений в конструкцию, дополнительным испытаниям и другим действиям, которые снижают риск отказа или повышают способность контроля обнаруживать отказы до постановки конструкции на производство.

Анализ видов и последствий отказов процесса (PFMEA, FMEA процесса) представляет из себя метод оценки производственных процессов и их оптимизации в рамках работы специализированной PFMEA-команды. Анализ выполняется на стадии разработки производственных операций одновременно с составлением плана управления процессом и планированием производственной инфраструктуры, предшествуя запуску серийного производства.

Ключевые различия между DFMEA и PFMEA:

- DFMEA фокусируется на проектных рисках изделия;
- PFMEA направлен на выявление производственных рисков;
- DFMEA анализирует потенциальные отказы на этапе проектирования;
- PFMEA исследует риски производственных, сборочных и логистических процессов.

Методология PFMEA включает:

- идентификацию потенциальных отказов, возникающих вследствие вариаций процесса;
- определение приоритетности превентивных мероприятий;
- оптимизацию систем контроля и методов обнаружения дефектов.

Основная цель PFMEA – это:

- предотвращение внедрения недостаточно отлаженных производственных процессов;
- минимизация рисков, связанных с производством и сборкой;
- исключение возможных последствий производственных и сборочных дефектов;
- обеспечение соответствия выпускаемой продукции конструкторской документации.

Результатом успешного применения PFMEA является:

- оптимизированная производственная документация;
- внедрение эффективных методов контроля;
- снижение вероятности возникновения дефектов;
- повышение качества выпускаемой продукции.

Обратный FMEA (Reverse FMEA или R-FMEA) не является отдельным видом FMEA, как, например, PFMEA или DFMEA, он представляет собой методику поддержания и совершенствования существующих FMEA. Но такое выделение метода важно для понимания его роли, как инструмента по постоянному улучшению действующего производства.

Основные характеристики R-FMEA:

- реализация в условиях реального производства;
- проведение межфункциональной командой непосредственно на рабочем месте;
- периодическое обновление существующей FMEA-документации;

Этапы проведения R-FMEA:

- 1) Анализ текущего состояния производственного процесса.
- 2) Сопоставление фактического процесса с описанным в НТД.
- 3) Выявление отклонений и изменений.
- 4) Проверка реализации первоначальных рекомендаций.
- 5) Оценка эффективности внедренных мер.
- 6) Анализ достигнутых результатов.

- 7) Обновление FMEA-документации.
- 8) Актуализация карт потока процесса.
- 9) Корректировка планов управления.
- 10) Обновление рабочих инструкций.

Преимущества применения R-FMEA:

- Сохранение и систематизация производственного опыта
- Постоянное улучшение процессов
- Снижение рисков и затрат
- Формирование структурированной базы знаний
- Практическое применение цикла PDCA в FMEA

Важно отметить, что R-FMEA является «живым» документом, требующим регулярного обновления на протяжении всего жизненного цикла продукции, начиная от серийного производства и до его завершения.

Основные элементы анализа отказов в рамках FMEA.

Основой анализа отказа в FMEA является причинно-следственный подход, который применяется в отношении конкретного вида отказа из перечня видов отказов, который определяется для всех элементов анализируемой иерархической системы. В стандарте ГОСТ Р 51901.12-2007 приведена схема, достаточно наглядно демонстрирующая взаимосвязь иерархической структуры анализируемой системы и структуры отказа (рисунок 1.12). На этой схеме представлена структура системы и соотношение с ней вида отказа, его последствий и причин, что позволяет проследить взаимосвязь этих параметров отказа между собой, но не очень наглядно. Для удобства представления того, как осуществляется оценка риска отказа, оторвем структуру отказа от структуры системы и представим ее отдельно во временном аспекте (рисунок 1.13).

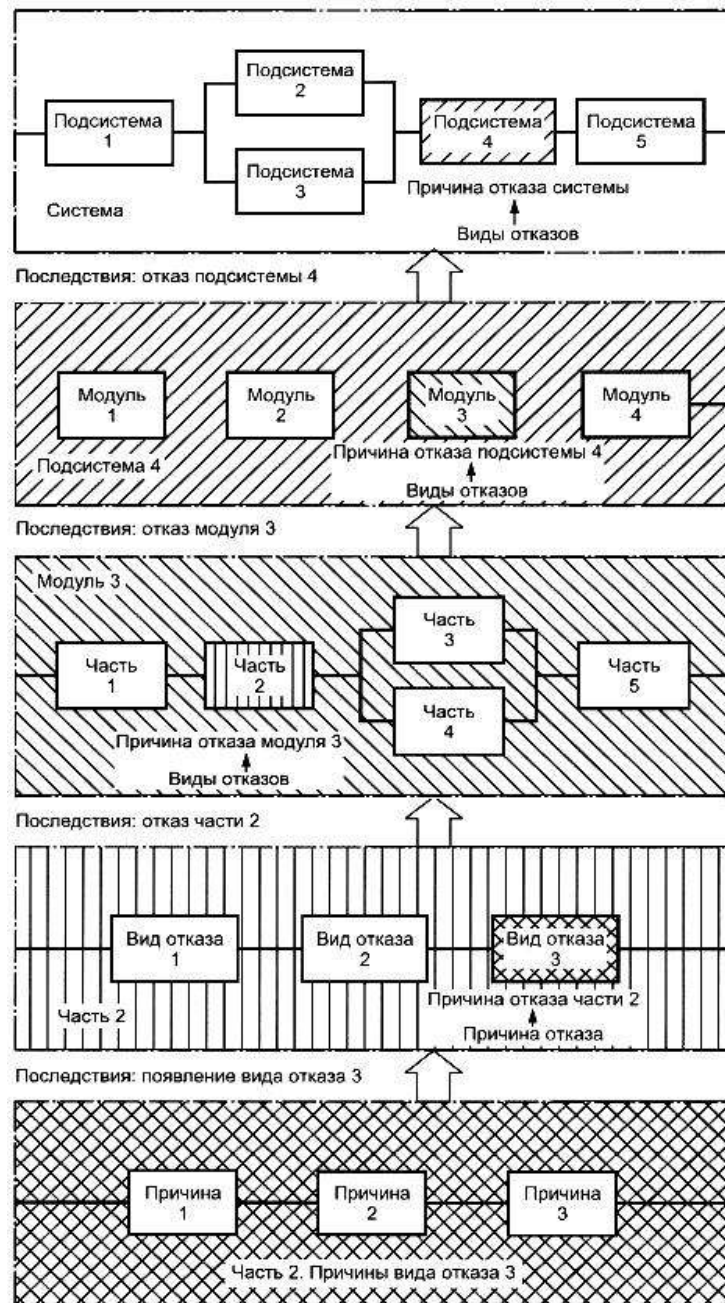


Рисунок 1.12 – Взаимосвязь видов и последствий отказов в иерархической структуре системы (рисунок 1 из стандарта ГОСТ Р 51901.12-2007)

Структура отказа представляет собой диаграмму по типу диаграммы «галстук-бабочка». В центре располагается вид отказа, от которого справа расходятся последствия вида отказа, которые с определенной значимостью влияют на разные группы потребителей (внутренних, сборщика, конечного потребителя), а слева расположена сеть причин отказа, приводящая к запуску

механизма отказа и возникновению самого вида отказа. Эта структура распределена во времени, т.к. по своей сути представляет из себя причинно-следственные цепочки явлений, которые в какой-то момент времени (t_{oN}) сходятся в одной точке, в момент возникновения вида отказа.

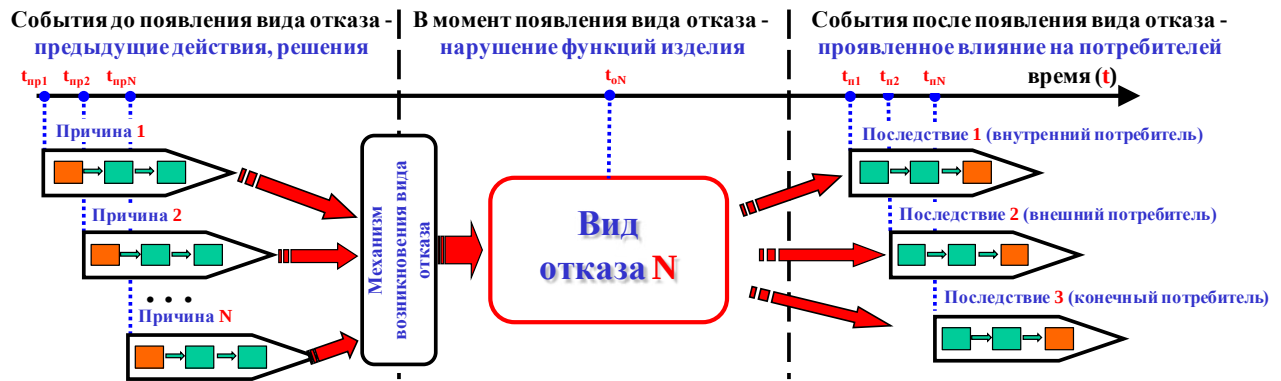


Рисунок 1.13 – Структура вида отказа в FMEA на основе причинно-следственного подхода

Опираясь на рисунок 1.13 опишем основные действия в рамках FMEA. За основу возьмём стандарт ГОСТ Р 27.303-2021 «Надежность в технике. Анализ видов и последствий отказов», руководство по FMEA от AIAG/VDA [181] и работы [73].

Полный цикл применения FMEA включает в себя следующие основные этапы:

1. Планирование применения FMEA в рамках общей процедуры APQR.
2. Планирование и подготовка процедуры.
3. Структурный и функциональный анализ объекта исследования.
4. Оценка рисков объекта исследования.
5. Разработка и внедрение мер по снижению рисков.
6. Отчет по результатам FMEA (завершение текущей процедуры).
7. Пересмотр FMEA.

Нас в наибольшей степени сейчас интересуют этапы 3-5, в рамках которых и осуществляется основной набор действий по анализу и доработке объекта до приемлемого уровня риска (таблица 1.2).

Таблица 1.2 – Задачи основных аналитических этапов метода FMEA [256]

№	Этап	Задачи (подэтапы)
2.	Структурирование и функциональный анализ	• Ознакомление с предложенными проектами конструкции или технологического процесса. Определение границ системы и уровней анализа. • Структурирование объекта анализа – блок-схемы, параметрические схемы, карты потока и т.п. Нумерация и обозначение компонентов или технологических операций. • Определение функций, параметров, показателей качества объекта анализа. Анализ функциональных и иных требований. Сопоставление функций и требований. • Формирование структуры функций и требований к системе (в т.ч. визуализация).
3.	Оценка рисков	• Составление перечня потенциальных отказов на основе функционального анализа. • Анализ вида отказа. Определение последствий и причин отказов. Определение мер по предупреждению и обнаружению отказов, запланированных к применению для данного проекта. Определение и оценка для каждого отказа: значимости последствий отказов (S); вероятности возникновения отказов/причин (O); вероятности обнаружения отказов/причин (D). Определение приоритета действий (AP) или расчет приоритетного числа риска отказов/причин (ПЧР) и определение приемлемости риска. • Оценивание риска. Решение на основе матрицы приоритетов действий или ранжирование отказов/причин по степени приемлемости риска (в соответствии с согласованной с заказчиком шкалой/матрицей). Решение о доработке/корректировке объекта анализа по результатам приоритезации риска отказов/причин. • Формирование протокола FMEA по всему перечню видов отказов.
4.	Разработка и внедрение мер по снижению рисков	• Разработка мер по снижению риска. Оценка возможностей снижения баллов S, O, D и выработка рекомендаций по корректировке/доработке объекта анализа по выбранным отказам/причинам для снижения риска до приемлемого уровня. • Планирование мер по снижению риска. Определение ответственных и сроков реализации улучшений. • Внедрение мер по снижению риска. Передача разработчику объекта анализа результатов FMEA. Разработка конкретных мероприятий по улучшению на основе рекомендаций FMEA-команды (меры, ответственность и сроки). Реализация мероприятий по улучшению. Подготовка отчетов по

№	Этап	Задачи (подэтапы)
		результатам изменений объекта анализа и передача FMEA-команде. - Анализ эффективности внедренных мер. Анализ улучшенного варианта объекта анализа. - Повторная оценка риска (определение АР или ПЧР) для отказов/причин, в отношении которых вводились мероприятия по улучшению – анализ эффективности мероприятий. - Заполнение FMEA-протокола, если по всем отказам/причинам риск приемлем, иначе возврат на этап 3.

Роль функционального анализа.

Важную роль в рамках применения метода FMEA играет функциональный анализ, который позволяет на основе структурного анализа объекта сформировать исчерпывающий и взаимосвязанный набор его функций и описать требования к выполнению этих функций.

Именно в рамках функционального анализа можно последовательно рассмотреть все компоненты объекта, изучить их связи между собой и внешними средами, в том числе другими узлами и подсистемами, если речь идет о сложном объекте, таком как автомобиль. Команда по проекту должна четко понимать, как конкретно должен функционировать конкретный компонент, узел, подсистема и система автомобиля, все функции должны быть четко сформулированы, эффективность их выполнения должна быть явно определена, причем количественно. Все эти действия позволяют составить полный перечень функциональных требований, в который должны войти все нормативные требования и ожидания потребителей. Это в полной мере касается и требований в отношении электромагнитной совместимости, так как конечный результат производства в виде такого сложного объекта, как автомобиль, должен каждым своим компонентом, который входит в соответствующий узел и далее в соответствующую систему, функционировать так, чтобы не выходить из строя самому или не влиять негативно на соседние компоненты и узлы, при наличии внешних электромагнитных воздействий.

Таким образом, на данной стадии также очень важно учесть все аспекты, связанные с ЭМС, при формулировании функций и требований к ним, чтобы в дальнейшем иметь возможность системно управлять данным свойством автомобиля, как при его проектировании, так и при производстве и сборке.

Порядок анализа рисков в рамках FMEA.

Алгоритм анализа и оценки рисков в рамках FMEA достаточно прост – последовательно элемент за элементом объекта анализа идентифицируются отказы на основе результатов функционального анализа, т.е. соответствующего перечня функций и требований к каждому элементу. После выявления всех возможных отказов осуществляется последовательный анализ рисков каждого отказа с выявлением цепочки последствий от возникновения отказа и цепочки причин, приводящих к нему.

Все выявленные последствия отказа записываются (рассматриваются все возможные уровни проявления последствий) и оценивается их значимость (ранг/балл значимости S) по максимальной из оценок среди всех выявленных последствий. Для этого применяются специальные критериальные таблицы с десятибалльной шкалой оценки ($S=1$, когда нет последствий и $S=10$, когда последствия связаны с риском для жизни участников движения). Эти таблицы с критериями оценки значимости в общем виде являются универсальными, но в разрезе управления ЭМС команда экспертов должна обязательно иметь в виду в том числе и последствия, связанные с влиянием э/м излучения как на другие системы автомобиля и далее на водителя и пассажиров, так и на внешнюю среду и других участников движения. Если э/м воздействия приводит к отказу какой-либо электронной системы, которая связана с обеспечением безопасности, например тормозная или рулевая системы, то последствие в таком случае может быть связано с жизнью и здоровьем участников движения, а, значит, в этом случае необходимо балл значимости S выбирать равным 10.

Важнейшим этапом анализа далее является анализ причин отказа, с последующей оценкой вероятности возникновения отказа по каждой отдельной

вызывающей его причине. Данные оценки базируются на данных по отказам из эксплуатации и результатах испытаний аналогичных компонентов и систем. Данные по отказам используются для определения балла возникновения О, для чего также используются специальные таблицы с критериями на основе диапазонов частот возникновения отказов. На величину балла возникновения также влияют меры по предупреждению отказов, которые в плановом порядке используются производителем для предотвращения возможных отказов при проектировании продукта и в процессе его производства. Данные меры позволяют достаточно сильно снизить вероятность возникновения конкретного отказа, если они изначально для этого предназначены, т.е. фактически снизить значение балла возникновения О.

Третьим элементом, который используется для комплексной оценки риска в FMEA, является оценка возможности выявления исследуемого отказа или его причин запланированными мерами по обнаружению, например, в случае DFMEA это могут быть испытания различного вида, в том числе испытания материалов, отдельных узлов и прототипа автомобиля. В рамках PFMEA мерами по обнаружению являются различные виды контроля и инспекционных испытаний. В FMEA для оценки вероятности обнаружения используется балл обнаружения D, который также как другие баллы оценивается в диапазоне от 1 (обнаружит наверняка) до 10 (невозможно обнаружить или нет мер по обнаружению). Именно совершенство действующих мер по обнаружению определяет на величину балла обнаружения. Это касается как вида метода контроля или испытаний (визуальный контроль, инструментальный ручной контроль, автоматизированная система контроля), так и его уровня совершенства как такого (измерение обычным микрометром или электронным, обычная автоматизированная система или усовершенствованная новейшими разработками). Именно в этой области также возможно снижения риска отказов в области ЭМС автомобиля, как раз за счет совершенствования методов

испытаний на ЭМС как с инструментальной точки зрения, так и с методической.

Таким образом, оценив три компонента риска – значимость отказа по последствиям S , вероятность возникновения отказа по каждой из причин O и вероятность обнаружения отказа или его причин D , мы сможем дать оценку общей величине риска конкретного отказа. В зависимости от выбранного метода мы или вычисляем приоритетное число риска $ПЧР = S \times O \times D$ и потом сравниваем его с приемлемым (граничным) значением $ПЧР_{гр.}$, либо используем подход из руководства по FMEA от AIAG/VDA и на основе специальной таблицы критериев определяем приоритет действий (AP – action priority), который состоит из трех уровней – высокий, средний и низкий (таблица 1.3).

Таблица 1.3 – Меры реагирования команды экспертов, в зависимости от ранга приоритета действий

Ранг приоритета действий (AP)	Меры реагирования
Высокий приоритет (H)	Команде требуется либо определить соответствующие действия по улучшению мер или средств по предупреждению и/или обнаружению, либо обосновать и задокументировать, почему существующие меры управления можно считать адекватными.
Средний приоритет (M)	Команде рекомендуется либо определить соответствующие действия по улучшению мер или средств по предупреждению и/или обнаружению либо, по усмотрению компании, обосновать и задокументировать, почему меры управления являются адекватными.
Низкий приоритет (L)	Команда могла бы определить действия по улучшению мер профилактики или контроля обнаружения.

При комплексной оценке параметров значимости, вероятности возникновения и вероятности обнаружения, соответствующей уровню приоритета «Н» (высокий), требуется незамедлительное внедрение корректирующих мероприятий для анализируемого объекта с целью минимизации рисков. Это включает разработку и реализацию мер по устранению причин отказа.

В случае определения приоритета «М» (средний), реализация корректирующих мероприятий в отношении причин отказа рекомендуется, но не является обязательной.

При присвоении приоритета «L» (низкий) решение о проведении корректирующих действий принимается на усмотрение эксплуатирующей организации.

Таким образом, чтобы снизить риск до уровня L или ПЧР_{гр}. Необходимо снизить одну или несколько определяющих его значение баллов S, O и D, а это в свою очередь означает либо изменение предложенных на момент анализа конструкции или процесса, либо совершенствование методов обнаружения, т.е. методов испытаний и контроля. Важно отметить, что наиболее правильно будет в первую очередь постараться устранить или снизить риск отказа за счет изменения объекта анализа (причем снижение значимости отказа по его последствиям наиболее предпочтительно, хотя и влечет за собой обычно внедрение каких либо защитных элементов в конструкции или в процессе, что приводит к удорожанию проекта), а уже потом искать возможности улучшения мер по обнаружению, что тоже может помочь, но при этом вероятность возникновения отказа не снижает, а только позволяет с большей вероятностью обнаруживать отказ, что также обычно ведет к общему удорожанию проекта. Всё это в полной мере касается отказов, связанных с воздействием э/м излучения на электронные системы автомобиля и его ЭМС, где также есть два основных пути снижения риска – совершенствование конструкции (использование новых материалов, внесение в конструкцию новых элементов защиты, использование более современной элементной базы и т.п.) и совершенствование методов испытаний и контроля.

Схема учета и уточнения специальных характеристик в DFMEA и PFMEA.

Контроль и испытания на стадии проектирования и в серийном производстве планируются на основе разработанного на этапе №1 APQR предварительного перечня специальных характеристик продукта и процесса,

который уточняется на всех последующих стадиях APQR вплоть до этапа №5 «Серийное производство». В основном это уточнение осуществляется на этапах, связанных разработкой и проектированием (этапы №2 и №3 APQR), как раз в рамках проведения DFMEA и PFMEA. В рамках проведения анализа рисков специальные характеристики специальным образом прослеживаются (отмечаются в протоколах анализа специальным знаком) и на них обращают особое внимание при проведении оценки значимости последствий S, а также баллов возникновения O и обнаружения D. Приоритетной задачей является максимальное снижение риска в отношении отказов, связанных со специальными характеристиками, что как раз и достигается способами, указанными выше. Важно отметить, что выбор специальных характеристик на этапе №1 APQR тесно связан с теми входными данными, которые мы изучаем при формировании целей разработки по надежности и качеству продукта, в том числе берем эти данные на основе предыдущего опыта, например, из опыта эксплуатации аналогичных продуктов, а также из различных нормативных требований в отношении различных характеристик продукта, в т.ч. по безопасности и электромагнитной совместимости (Правила R10, Правила 116, ISO 11451-1, ISO 11451-2 и др.).

1.6 Специальные характеристики и план управления в рамках APQR

Выявление, учет и контроль специальных характеристик и их применение в планах управления [153] в рамках всех этапов APQR является важнейшим элементом системы обеспечения качества продукции. Специальные характеристики – это параметры продукции или процесса, которые критически влияют на безопасность, соответствие законодательным требованиям, функциональность продукта или удовлетворенность клиента.

Опишем структуру разработки специальных характеристик и их интеграцию в планы управления.

1. Определение специальных характеристик. Источниками определения специальных характеристик являются:

- требования клиента (например, спецификации, договоры);
- нормативные и законодательные требования.
- анализ рисков (FMEA).
- опыт предыдущих проектов или аналогичных продуктов.

2. Классификация специальных характеристик. Специальные характеристики обычно подразделяются на:

- критические (Critical Characteristics): Характеристики, которые могут повлиять на безопасность или соответствие законодательным требованиям;
- важные (Significant Characteristics): Характеристики, которые влияют на функциональность продукта или удовлетворенность клиента.

Каждая специальная характеристика должна быть четко идентифицирована (используются специальные значки разного вида) и документирована (эти значки указывают в чертежах, рабочих инструкциях, операционных картах, протоколах FMEA, Планах управления) (см. пример обозначения на рисунке 1.14).

SAFETY CLASSES (valable pour cette planche) valid for the sheet	
 S	1
 R	4
 1	0
 2	0

Рисунок 1.14 – Пример обозначения специальных характеристик в чертежах

3. Использование специальных характеристик в APQP. В рамках APQP специальные характеристики используются на каждом этапе:

Этап №1: Планирование и определение требований потребителей:

- определение требований клиента и нормативных требований;
- идентификация потенциальных специальных характеристик на основе входных данных;
- документирование специальных характеристик в плане проекта.

Этап №2: Проектирование и разработка продукта:

- идентификации специальных характеристик продукта в рамках проведения DFMEA;
- разработка технических спецификаций с указанием специальных характеристик;
- определение методов контроля и измерений для специальных характеристик.

Этап №3: Проектирование и разработка процессов:

- идентификации специальных характеристик процесса при проведении PFMEA;
- разработка Плана управления процессом (Control Plan), включающего в себя специальные характеристики;
- определение критических точек контроля в процессах и методов мониторинга и исследования процессов.

Этап №4: Валидация продукта и процесса:

- проведение валидации процессов (например, в рамках PPAP) для подтверждения, что специальные характеристики находятся под контролем;
- контроль и испытания продукции на соответствие специальным характеристикам;
- документирование результатов валидации.

Этап №5: Запуск серийного производства, обратная связь и оценка:

- контроль и мониторинг специальных характеристик в ходе серийного производства;
- анализ полученных при мониторинге данных и обратная связь для непрерывного улучшения процесса;
- корректирующие действия в случае отклонений специальных характеристик от нормы.

4. Особенности использования специальных характеристик в Планах управления. Планы управления (Control Plans) – это ключевые документы, в которых описывают, как будут контролироваться специальные характеристики на всех этапах производства. В рамках Плана управления:

- специальные характеристики идентифицируются, т.е. используются утвержденные обозначения для специальных характеристик в Плане управления;
- указываются и кратко описываются для каждой операции процесса все применяемые методы контроля специальных характеристик;
- указывается периодичность контроля специальных характеристик;
- указываются ответственные лица за контроль и мониторинг специальных характеристик;
- для каждой специальной характеристики описываются планы реагирования, в рамках которых указываются действия персонала в случае выявления несоответствий.

5. Эффект от применения специальных характеристик. Применение специальных характеристик приводит к следующим системным результатам:

- использование специальных характеристик в производстве позволяет сфокусироваться на критических параметрах, чтобы минимизировать риски дефектов, у которых имеются последствия с высокой значимостью;
- в контроле качества специальные характеристики являются основой для разработки контрольных карт, чек-листов и других инструментов контроля;

– специальные характеристики четко документируются и доводятся до всех участников процесса (инженеров, операторов, поставщиков), что значительно облегчает коммуникацию в этой области.

Таким образом, разработка и управление специальными характеристиками в рамках APQR обеспечивает системный подход к достижению высокого качества продукции и процессов, минимизируя риски и повышая эффективность производства, а также приводит к повышению удовлетворенности заказчиков и конечного потребителя. Все это в полной мере относится и к параметрам, ответственным за ЭМС автомобиля.

PPAP в рамках APQR.

Одним из ключевых элементов APQR является процесс одобрения автокомпонентов (Production Part Approval Process, PPAP), который играет важную роль в подтверждении того, что продукция и процессы поставщика автокомпонента соответствуют требованиям клиента и стандартам качества. PPAP является финальным этапом валидации перед запуском серийного производства и обеспечивает уверенность в том, что все риски были учтены и устранены.

PPAP выполняет несколько ключевых функций в рамках APQR:

1. Подтверждение соответствия продукции требованиям клиента. PPAP демонстрирует, что продукция соответствует всем техническим требованиям и требованиям по качеству, указанным в спецификациях клиента. Это включает в себя проверку размеров, материалов, функциональности и других параметров.

2. Валидация процессов производства. PPAP подтверждает, что производственные процессы способны стабильно производить продукцию, соответствующую требованиям. Это включает проверку оборудования, методов контроля и способности процессов поддерживать заданные параметры.

3. Документирование и предоставление доказательств. PPAP требует предоставления полного пакета документов, которые подтверждают, что все

этапы APQR были выполнены корректно. Это включает результаты испытаний, планы управления, FMEA, чертежи и другие документы.

4. Минимизация рисков. PPAP помогает выявить и устранить потенциальные проблемы до начала серийного производства, что снижает риски дефектов и несоответствий.

5. Выполнение требований стандартов. PPAP является обязательным требованием в автомобильной промышленности согласно стандарта IATF 16949.

Для понимания структуры процесса PPAP, опишем действия по одобрению в рамках общего процесса APQR:

Этап №1: Планирование и определение требований потребителей:

- на этом этапе определяются требования клиента и разрабатывается план проекта;

- PPAP ещё не выполняется, но планируются ресурсы и сроки для его проведения.

Этап №2: Проектирование и разработка продукта:

- разрабатывается конструкция продукта и примерная карта потока процесса;

- проводится DFMEA для идентификации рисков конструкции;

- PPAP ещё не выполняется, но подготавливаются необходимые данные для его проведения.

Этап №3: Проектирование и разработка процессов:

- разрабатываются производственные процессы и проводится PFMEA для идентификации рисков процесса;

- разрабатываются Планы управления и инструкции для операторов;

- PPAP ещё не выполняется, но подготавливаются инструменты и методы контроля.

Этап №4: Валидация продукта и процесса:

– проводится валидация процессов и продукции (именно на этом этапе РРАР играет ключевую роль), включая:

- изготовление пробных партий;
- проведение испытаний и измерений;
- сбор и анализ данных;

– подготавливается пакет документов РРАР, который включает:

- отчеты об испытаниях;
- Планы управления;
- результаты DFMEA и PFMEA;
- чертежи и спецификации;

– пакет документов по РРАР предоставляется клиенту для утверждения.

Этап №5: Запуск серийного производства, обратная связь и оценка:

- серийное производство начинается после утверждения РРАР;
- РРАР обеспечивает уверенность в том, что процессы стабильны и продукция соответствует требованиям;
- проводится мониторинг процессов и сбор обратной связи для непрерывного улучшения.

РРАР включает 18 элементов, которые должны быть предоставлены клиенту для утверждения. Основные из них следующие:

1. Отчет об испытаниях – результаты всех проведенных испытаний (с этапа №4 APQR).

2. План управления – описание методов контроля и мониторинга процессов (с этапа №3 APQR).

3. Протоколы DFMEA и PFMEA – анализ рисков для продукта (с этапа №2 APQR) и процесса (с этапа №3 APQR).

4. Чертежи и спецификации – документация, утвержденная клиентом на этапе разработки продукта (с этапа №2 APQR).

5. Образцы продукции – физические образцы, предоставленные для проверки на этапе валидации (с этапа №4 APQR).

6. Отчеты о возможностях процессов (MSA и SPC) – анализ измерительных систем и статистический контроль процессов (с этапа №4 APQR).

7. Отчет о валидации процессов – подтверждение стабильности процессов (с этапа №4 APQR).

Таким образом, PPAP играет критически важную роль в процессе APQR, обеспечивая валидацию продукции и процессов перед запуском серийного производства у поставщиков автокомпонентов. Он является финальным этапом, который подтверждает, что все требования автопроизводителя и стандарты качества выполнены. Интеграция PPAP в APQR позволяет минимизировать риски, повысить качество продукции и обеспечить удовлетворенность автопроизводителей и впоследствии конечных пользователей.

1.7 Стандарты по управлению качеством и надежностью в области ЭМС автомобилей на этапах жизненного цикла

Как уже говорилось выше, электромагнитная совместимость это ключевой аспект проектирования современных автомобилей, где электронные системы управляют критически важными функциями, от безопасности до комфорта. Рост числа электронных компонентов, включая системы помощи водителю, электроприводы и телематику, требует строгого контроля электромагнитных помех. Без четких регламентов и стандартов в этой области невозможна системная работа по учету требований по ЭМС автомобилей. Рассмотрим кратко международные и российские стандарты по ЭМС, их требования и практическое применение в автомобилестроении.

Международные стандарты в области ЭМС.

1. Общие требования в области ЭМС устанавливаются следующими документами:

- Директива 2014/30/EU: Устанавливает требования к ЭМС для оборудования, размещаемого на рынке ЕС. Охватывает ограничение излучаемых помех и устойчивость к внешним воздействиям. Для автомобилей включает сертификацию компонентов и систем.

- Правила ЕЭК ООН №10 (R10): Регламентирует ЭМС транспортных средств, включая испытания на эмиссию и иммунитет. Обязателен для сертификации в странах Евразийского экономического союза (ЕАЭС).

2. Требования по эмиссии (излучению) помех устанавливаются в следующих стандартах:

- CISPR 16-1-2: «Specification for radio disturbance and immunity measuring apparatus and methods. Part 1-2: Radio disturbance and immunity measuring apparatus»: определяет требования к измерительному оборудованию для оценки радиопомех.

- CISPR 16-2-1: «Specification for radio disturbance and immunity measuring apparatus and methods. Part 2-1: Methods of measurement of disturbances and immunity»: описывает методы измерений излучаемых помех, включая калибровку оборудования.

3. Требования по иммунитету (устойчивости) устанавливаются в следующих стандартах:

- ISO 7637-2: «Дорожные транспортные средства. Электрические помехи от проводимости и связи. Часть 2: Проводимость переходных электрических процессов только по линиям электропитания»: устанавливает методы испытаний на устойчивость к импульсным помехам в бортовой сети (например, от реле, генераторов).

- ISO 10605: «Дорожные транспортные средства. Методы испытаний на электрические помехи от электростатического разряда»: определяет тесты на устойчивость к электростатическим разрядам (ESD) до 25 кВ.

- IEC 61000-4-2: «Электромагнитная совместимость (ЭМС). Часть 4-2: Методы испытаний и измерений. Испытание на устойчивость к

электростатическим разрядам»: детализирует процедуры испытаний ESD для компонентов.

- IEC 61000-4-3: «Электромагнитная совместимость (ЭМС). Часть 4-3: Методы испытаний и измерений. Испытание на устойчивость к радиочастотным электромагнитным полям»: описывает методы тестирования устойчивости к радиопомехам в диапазоне 80 МГц – 6 ГГц.

- IEC 61000-4-5: «Электромагнитная совместимость (ЭМС). Часть 4-5: Методы испытаний и измерений. Испытания на устойчивость к микросекундным импульсным помехам большой энергии»: описывает методы испытаний оборудования к микросекундным импульсным помехам большой энергии, вызываемым перенапряжениями, возникающими в результате коммутационных переходных процессов и молниевых разрядов.

- IEC 61000-4-6: «Электромагнитная совместимость (ЭМС). Часть 4-6: Методы испытаний и измерений. Испытания на устойчивость к кондуктивным помехам, наведенным радиочастотными электромагнитными полями»: описывает методы тестирования устойчивости к наведенным помехам в диапазоне 150 кГц – 80 МГц.

- IEC 61000-4-8: «Электромагнитная совместимость. Часть 4-8: Методы испытаний и измерений. Испытания на устойчивость к магнитному полю промышленной частоты»: описывает методы к устойчивости оборудования, подвергающегося в условиях эксплуатации воздействию магнитного поля промышленных частот 50 и 60 Гц, создаваемого бытовыми, коммерческими и промышленными установками, электростанциями и подстанциями среднего и высокого напряжения.

4. Требования в области ЭМС для автомобилей и компонентов устанавливаются в следующих стандартах:

- ISO 11451 (серия стандартов):

- о ISO 11451-1: «Дорожные транспортные средства. Методы испытаний автомобилей на электрические помехи от узкополосного излучаемого электромагнитного поля. Часть 1: Общие принципы и терминология»: устанавливает общие требования к испытаниям.

- о ISO 11451-2: «... Часть 2: Испытания на устойчивость к излучаемым радиопомехам»: регламентирует методы испытаний в экранированной камере.

- о ISO 11451-3: «... Часть 3: Испытания на устойчивость к портативным передатчикам»: устанавливает требования испытаний к устойчивости излучения от радиопередающих устройств, расположенных в автомобиле.

- о ISO 11451-4: «... Часть 4: Методы испытаний транспортного средства на электрические помехи от узкополосного электромагнитного излучения. Инжекция объемного тока»: регламентирует методы испытаний на устойчивость к помехам, наведенным в электрических цепях автомобиля.

- ISO 11452 (серия стандартов):

- о ISO 11452-1: «Дорожные транспортные средства. Методы испытаний компонентов на электрические помехи от узкополосного излучаемого электромагнитного поля. Часть 1: Общие принципы»: устанавливает общие требования к компонентам.

- о ISO 11452-2: «... Часть 2: Устойчивость к радиочастотным полям»: регламентирует методы испытаний в экранированной камере с поглощающими материалами.

- о ISO 11452-3: «... Часть 3: Камеры поперечных волн»: устанавливает методы испытаний и требования к помехоустойчивости автомобильных компонентов в экранированных камерах поперечных волн (ТЕМ - камеры).

- ISO 11452-4: «... Часть 4: Устойчивость к помехам, наведенных электромагнитным полем в электрических цепях»: устанавливает методы испытаний к помехоустойчивости автомобильных компонентов при наведении помех в электрических цепях методом объемного тока.
- ISO 11452-5: «... Часть 5: Полосковые линии»: устанавливает методы испытаний и требования к помехоустойчивости автомобильных компонентов в полосковых линиях к воздействию поперечных волн.
- ISO 11452-8: «... Часть 8: Устойчивость к магнитным полям»: тестирование компонентов в условиях сильных магнитных полей в диапазоне частот 15 Гц – 150 кГц.
- ISO 11452-9: «... Часть 9: Испытания на устойчивость к портативным передатчикам»: устанавливает требования испытаний автомобильных компонентов к устойчивости излучения от портативных радиопередатчиков.
- ISO 16750-1: «Дорожные транспортные средства. Условия окружающей среды и испытания электрического и электронного оборудования. Часть 1: Общие требования»: Определяют функциональные классы помехоустойчивости электрооборудования и автомобиля при электромагнитном воздействии.
- ISO 16750-2: «... Часть 2: Электрические нагрузки»: Устанавливает требования к устойчивости к перепадам напряжения, коротким замыканиям и другим электрическим нагрузкам.
- ISO 7637-2: «Дорожные транспортные средства. Электрические помехи от проводимости и связи. Часть 2: Проводимость переходных электрических процессов только по линиям электропитания»: устанавливает методы испытаний на устойчивость к импульсным помехам в бортовой сети (например, от реле, генераторов).
- ISO 7637-3 «Дорожные транспортные средства. Электрические помехи от проводимости и связи. Часть 2: Переходная электрическая передача посредством емкостной и индуктивной связи по линиям, отличным от линий

питания»: устанавливает методы испытаний на устойчивость к помехам в сигнальных и управляющих цепях.

- ISO 10605: «Дорожные транспортные средства. Методы испытаний на электрические помехи от электростатического разряда»: определяет тесты на устойчивость к электростатическим разрядам (ESD) до 25 кВ.

Основные российские стандарты и технические регламенты в области ЭМС.

Перечислим основные нормативные документы в области ЭМС, действующие в Российской Федерации:

1. ТР ТС 020/2011. Технический регламент Таможенного союза «Электромагнитная совместимость технических средств»: устанавливает требования к ЭМС для устройств, включая автомобильные компоненты. Обязателен для стран ЕАЭС. Включает ссылки на несколько десятков стандартов РФ и других стран-участников в области ЭМС.

2. ГОСТ Р 51320-99 «Совместимость технических средств электромагнитная. Приборы бытовые и аналогичные. Помехи промышленные. Нормы и методы испытаний»: применяется для электрооборудования, устанавливаемого в транспортных средствах. Регулирует уровни промышленных помех.

3. ГОСТ 30805.22-2013 (CISPR 22:2006) «Оборудование информационных технологий. Радиопомехи промышленные. Нормы и методы измерений»: распространяется на оборудование информационных технологий и устанавливает нормы и методы измерений промышленных радиопомех.

4. ГОСТ IEC 61000-4-8-2013 «Электромагнитная совместимость. Часть 4-8. Методы испытаний и измерений. Испытания на устойчивость к магнитному полю промышленной частоты» (IEC 61000-4-8:2009): устанавливает требования к устойчивости оборудования, подвергающегося в условиях эксплуатации воздействию магнитного поля промышленных частот 50 и 60 Гц, создаваемого

бытовыми, коммерческими и промышленными установками, электростанциями и подстанциями среднего и высокого напряжения.

5. ГОСТ 30804.4.4 «Совместимость технических средств электромагнитная. Устойчивость к наносекундным импульсным помехам. Требования и методы испытаний»: устанавливает требования и методы испытаний к техническим средствам по устойчивости к повторяющимся наносекундным импульсным помехам.

6. ГОСТ 30804.4.11 «Совместимость технических средств электромагнитная. Устойчивость к провалам, кратковременным прерываниям и изменениям напряжения электропитания. Требования и методы испытаний»: устанавливает требования и методы испытаний электротехнических, электронных и радиоэлектронных изделий и оборудования, подключаемых к низковольтным (напряжением не выше 1000 В) электрическим сетям переменного тока, на устойчивость к воздействию провалов, кратковременных прерываний и изменений напряжения электропитания, а также рекомендуемые уровни испытательных напряжений при проведении испытаний на помехоустойчивость.

7. ГОСТ 30804.4.2 «Совместимость технических средств электромагнитная. Устойчивость к электростатическим разрядам. Требования и методы испытаний» устанавливает требования и методы испытаний технических средств на устойчивость к электростатическим разрядам как при прямом воздействии электростатических разрядов от оператора, так и непрямым воздействием от оператора на предметы и оборудование, расположенные вблизи ТС.

Основные требования в области ЭМС для российских автопроизводителей и их применение при разработке автомобиля.

В РФ действует следующая система требований по ЭМС в автомобилестроении:

В РФ действует следующая система требований по ЭМС в автомобилестроении:

1. Сертификация по ТР ТС 020/2011 и ГОСТ Р 41.10:

- Проведение испытаний на соответствие нормам эмиссии (CISPR 25) и иммунитета (ISO 11452, ISO 7637-2).
- Обязательная проверка устойчивости к электростатическим разрядам (ISO 10605) и радиопомехам (IEC 61000-4-3).

2. Испытания компонентов:

- Устойчивость к импульсным помехам (ISO 7637-2) и магнитным полям (ISO 11452-8).
- Проверка на соответствие климатическим условиям (ISO 16750-1) и электрическим нагрузкам (ISO 16750-2).

3. Интеграция в процессы разработки и документирование:

- Учет требований ЭМС на этапах APQP, включая DFMEA/PFMEA, Планы управления и PPAP.
- Предоставление протоколов испытаний, протоколов FMEA, Планов управления и других сопутствующих документов (матрица специальных характеристик, карты потока процесса и т.д.).

Если говорить в целом, то соблюдение международных (ISO, IEC, CISPR) и российских (ТР ТС 020/2011, ГОСТ Р 41.10) стандартов ЭМС обеспечивает безопасность и надежность автомобилей. Интеграция требований ЭМС в процессы APQP, FMEA и PPAP позволяет системно управлять рисками на всех этапах жизненного цикла автомобиля. Для российских автопроизводителей ключевым является выполнение норм ТР ТС и Правил R10, а также внедрение современных методов испытаний.

Внутренние стандарты и методы по управлению качеством в области ЭМС АО «АВТОВАЗ».

АО «АВТОВАЗ» при разработке и производстве автомобилей руководствуется как международными и российскими стандартами, так и внутренними регламентами, адаптированными под специфику предприятия. Ключевые документы включают:

- о СТП:
 - РД 30000.37.101.0016 - определяет как требования к компонентам, так и автомобиля в целом. Документ разработан на основе международных и отечественных стандартов и является обязательным для поставщиков электронной продукции.
- о ТУ:
 - на базе РД 30000.37.101.0016 к каждому блоку или системе бортового электрооборудования разрабатываются контурные технические требования, учитывающие специфику конкретного изделия и его функций. Изделие может быть сложное и выполнять несколько функций, одна часть из которых определяет безопасность автомобиля, а другая часть определять функции комфорта. Поэтому технические условия для каждого изделия являются уникальными, но разработанными в рамках внутреннего документа РД 30000.37.101.0016.
- о Регламенты альянса Renault-Nissan-Mitsubishi: включают корпоративные стандарты по проектированию и валидации. Для компонентов, ЭМС требования которые должны выполнять поставщики разработан внутренний стандарт RNDS-C-00517. Для испытаний автомобилей применяется документ АЕК-А-20224. Данные стандарты также разработаны на базе международных требований.

Таким образом, АО «АВТОВАЗ» в полной мере выполняет требования стандарта IATF 16949, поэтому все указанные методы применяются в

соответствии с внутренними стандартами предприятия, в том числе в рамках взаимоотношении с поставщиками автокомпонентов.

Требования к поставщикам АО «АВТОВАЗ» в области ЭМС.

В части ЭМС АО «АВТОВАЗ» к поставщикам предъявляет требования внутреннего документа РД 30000.37.101.0016. В процессе проектирования на всех стадиях номинации поставщиков, разработки, прототипирования и «Of-tool» (конечная продукция) поставщики продукции в части выполнения требований ЭМС ориентируются на данный документ. Так на стадии номинации, поставщик заявляет о понимании, каким образом он будет обеспечивать данные требования и предоставляет в конструкторские подразделения концепцию. При разработке конструкции поставщик показывает конкретные закладываемые ЭМС решения, обосновывая и защищая их выбор. При прототипировании производится первичные испытания по методикам РД 30000.37.101.0016 для проверки заложенных решений. В конструкторские подразделения АО «АВТОВАЗ» предоставляется протокол испытаний. На стадии прототипирования поставщик может проводить испытания в любой одобренной АО «АВТОВАЗ» ЭМС лаборатории. На стадии «Of-tool» испытания проводит АВТОВАЗ в своей лаборатории для обеспечения контроля ЭМС качества.

1.8 Проблема развития методологии управления качеством автомобилей по параметрам ЭМС

Для понимания системы учета требований по ЭМС при проектировании и производстве автомобилей приведем перечень регламентированных испытаний и других действия по контролю по ЭМС с привязкой к этапам APQP.

Этап №1: Планирование и определение требований потребителей:

Цель на данном этапе: определение требований к ЭМС и планирование ресурсов.

Действия на данном этапе: анализ требований клиентов и нормативов, в т.ч. сравнение с ТР ТС 020/2011, Правилами R10, ГОСТ Р 41.10 на соответствие стандартам эмиссии и иммунитета.

Этап №2: Проектирование и разработка продукта:

Цель на данном этапе: проверка ЭМС компонентов на этапе проектирования.

Действия на данном этапе:

- Предварительные испытания компонентов:
 - о Метод: испытания по ISO 11452-2 (радиочастотные поля), ISO 11452-4 (кондуктивные помехи).
 - о Параметры: устойчивость к помехам в диапазоне 80 МГц – 2 ГГц, уровень подавления помех в цепях питания.
- Тестирование прототипов:
 - о Метод: ISO 10605 (электростатические разряды), IEC 61000-4-2 (ESD до 15 кВ).
 - о Параметры: сохранение работоспособности после разрядов.
- Моделирование ЭМС:
 - о Метод: использование ПО (Ansys, CST) для анализа электромагнитных полей.
 - о Параметры: распределение помех в конструкции, оптимизация экранирования.

Этап №3: Проектирование и разработка процессов

Цель на данном этапе: обеспечение стабильности процессов, влияющих на ЭМС.

Действия на данном этапе:

- Контроль качества сборки:
 - о Метод: визуальный и инструментальный контроль пайки, экранирования (по IPC-A-610).
 - о Параметры: целостность экранов, сопротивление заземления.

- Испытания на технологические дефекты:
 - Метод: ISO 16750-2 (электрические нагрузки).
 - Параметры: устойчивость к перепадам напряжения (+24 В/-12 В).

Этап №4: Валидация продукта и процесса

Цель на данном этапе: подтверждение соответствия ЭМС перед серийным производством.

Действия на данном этапе:

- Полномасштабные испытания автомобиля:
 - Метод: ISO 11451-2 (радиочастотные поля), ISO 11451-4 (кондуктивные помехи).
 - Параметры: устойчивость к полям до 200 В/м, помехам в сети питания.
- Измерение эмиссии:
 - Метод: CISPR 25 (излучаемые помехи) в экранированной камере.
 - Параметры: уровень излучения в диапазоне 150 кГц – 2.5 ГГц.
- Импульсные помехи:
 - Метод: ISO 7637-2 (испытания на переходные процессы).
 - Параметры: устойчивость к импульсам 5a/5b (нагрузка до 100 В).
 - Валидация в рамках РРАР:
 - Метод: предоставление протоколов испытаний и сертификатов, комплекта документов.
 - Параметры: соответствие требованиям ГОСТ Р 41.10 и ТР ТС 020/2011.

Этап №5: Запуск серийного производства, обратная связь и оценка

Цель на данном этапе: мониторинг ЭМС в серийном производстве.

Действия на данном этапе:

- Выборочный контроль:
 - Метод: IEC 61000-4-3 (радиочастотная устойчивость), CISPR 16-2-1 (измерение эмиссии).

- о Параметры: уровень помех, соответствие допускам.
- Анализ дефектов:
 - о Метод: анализ причин нестабильности и корректирующие действия на основе данных SPC (статистический контроль).
 - о Параметры: тренды отклонений, частота отказов.

В таблице 1.4 сведены все рассмотренные виды испытаний на ЭМС в разрезе общего APQR-процесса.

Таблица 1.4 – Сводная таблица испытаний по ЭМС в рамках APQR

Этап APQR	Испытание	Стандарт/Метод	Исследуемые параметры
Этап 2	Устойчивость к радиопомехам	ISO 11452-2	Иммунитет в диапазоне 80 МГц – 2 ГГц.
	Электростатические разряды	ISO 10605, IEC 61000-4-2	Сохранение функциональности после ESD до 15 кВ.
Этап 4	Измерение эмиссии	CISPR 25	Уровень излучения (150 кГц – 2.5 ГГц).
	Импульсные помехи	ISO 7637-2	Устойчивость к импульсам 5a/5b.
Этап 5	Мониторинг эмиссии	CISPR 16-2-1	Соответствие нормам в серийных партиях.

Таким образом, можно утверждать, что интеграция испытаний по ЭМС в процесс APQR позволяет системно управлять рисками на всех этапах жизненного цикла автомобиля. Это включает проектирование, валидацию и серийное производство, что гарантирует соответствие международным и российским стандартам, таким как ISO 11452, CISPR 25 и ГОСТ Р 41.10.

Помимо обязательных испытаний и контроля регламентированных в нормативных документах, требования в отношении ЭМС также могут определяться в рамках процесса APQR:

- о На этапе проектирования конструкции при проведении DFMEA – осуществляется выявление рисков ЭМС (например, помехи в CAN-шине), оценка влияния помех на функциональность (например, отказ датчика из-за ESD) и необходимость внедрения в конструкции экранирования, фильтров для снижения выявленных рисков.

- о На этапе проектирования процесса при проведении PFMEA – осуществляется выявление рисков в производственных процессах (например, дефекты, возникающие на операциях пайки и монтажа экранированных компонентов).
- о Учет специальных характеристик, связанных с ЭМС в Планах управления – включение в документы проверок экранирования, сопротивления, заземления и др.
- о Учет требований по ЭМС поставщиками автокомпонентов в рамках процедуры одобрения PPAP – предоставление протоколов испытаний и сертификатов и другой документации..

Учет ЭМС при проведении FMEA

Рассмотрим пример учета требований по ЭМС при проведении анализа рисков с помощью методики FMEA.

В рамках DFMEA осуществляется выявление и устранение рисков, связанных с ЭМС, на этапе проектирования электронных систем и компонентов в следующем порядке:

2. Идентификация компонентов и функций: Определить электронные компоненты, критичные к ЭМС (например, блоки управления, датчики, CAN-шины, проводка).

3. Определение потенциальных отказов: Для каждого компонента указать возможные отказы, вызванные ЭМС, например:

- о помехи в сигнальных линиях;
- о сбои в работе микроконтроллеров из-за электромагнитных наводок;
- о повреждение компонентов электростатическими разрядами (ESD).

4. Определение последствий отказов и их значимости (балл S): Определить последствия отказа. Присвойте баллы S от 1 до 10 в зависимости от влияния отказа на безопасность и функциональность, например:

- о отказ блока управления двигателем из-за помех – $S=9$ (высокая значимость, нарушение нормативных требований), если последствия отказа могут привести к нарушению безопасности, то S будет равно 10.

5. Выявление причин отказа и оценка вероятности возникновения отказа по каждой причине (балл O), с учетом действующих мер по предупреждению ошибок: Определить все возможные причины отказа. Оценить вероятность возникновения путем выставления балла O . Учитывать исторические данные, сложность конструкции и стандарты (например, ISO 11452), например:

- о помехи из-за отсутствия экранирования проводов – $O=7$ (высокая вероятность возникновения).

6. Оценка возможности обнаружения отказа действующими мерами обнаружения (балл D): Определить действующие меры и оценить насколько существующие методы контроля (тесты, симуляции) и испытаний способны выявить проблему, например:

- о используются общие виды испытания автомобиля, при этом отсутствуют специальные испытания на радиопомехи – $D=8$ (низкая вероятность обнаружения).

7. Расчет общего риска отказа: Рассчитать общий риск, с помощью приоритетного числа риска по формуле $ПЧР = S \times O \times D$ или с помощью оценки приоритета действий (AP), например:

- о $ПЧР = 9 \times 7 \times 8 = 504$ (критический риск, требуются действия по снижению риска);
- о $AP = High$ (высокий приоритет, требует обязательного снижения риска).

8. Корректирующие действия: Разработать и внедрить действия по снижению риска, путем доработки конструкции и/или методов ее контроля и испытаний, например:

- о внедрение экранированных кабелей (согласно CISPR 25);
- о добавление фильтров в цепи питания (ISO 7637-2);
- о использование защитных диодов для подавления ESD (ISO 10605);

- о проведение электромагнитного моделирования (например, в Ansys HFSS).

9. Актуализация документации: После внедрения изменений:

- о включение требований ЭМС в технические спецификации;
- о обновление Плана управления и других сопутствующих документов с указанием специальных характеристик.

В рамках PFMEA осуществляется выявление и устранение рисков, связанных с ЭМС, на этапе проектирования процессов производства в следующем порядке:

1. Идентификация этапов производства: В рамках общего анализа процесса, выделить операции, влияющие на ЭМС, например: пайка, сборка жгутов, монтаж экранов.

2. Определение потенциальных отказов: Для каждой операции выявить все возможные отказы процесса, например:

- о некачественная пайка контактов (повышенное сопротивление → нагрев → помехи);
- о повреждение экранирующей оплетки кабелей;
- о неправильное заземление компонентов.

3. Определение последствий отказов и их значимости (балл S): Определить последствия отказа. Присвойте баллы S от 1 до 10 в зависимости от влияния отказа на безопасность и функциональность, например:

- о дефект экранирования CAN-шины → помехи в передаче данных → балл S=8 (отказ основной функции узла).

4. Выявление причин отказа и оценка вероятности возникновения отказа по каждой причине (балл O), с учетом действующих мер по предупреждению ошибок: Определить все возможные причины отказа, связанные с процессом. Оценить вероятность возникновения путем выставления балла O, учитывать исторические данные, например:

- о Влияние состояния оператора при выполнении операции на качество пайки $\rightarrow O=6$.

5. Оценка возможности обнаружения отказа действующими мерами обнаружения (балл D): Определить действующие меры и оценить насколько запланированные методы контроля и испытаний способны выявить проблему, например:

- о запланирован визуальный контроль, но этот метод не выявляет микротрещины в пайке $\rightarrow D=8$.

6. Расчет общего риска отказа: Рассчитать общий риск, с помощью приоритетного числа риска по формуле ПЧР = $S \times O \times D$ или с помощью оценки приоритета действий (AP), например:

- о ПЧР = $8 \times 6 \times 8 = 384$ (высокий риск).
- о AP = High (высокий приоритет, требует обязательного снижения риска).

7. Корректирующие действия: Разработать и внедрить действия по снижению риска, путем доработки техпроцесса и/или методов контроля и испытаний, например:

- о внедрение автоматизированной пайки (снижение человеческого фактора);
- о использование рентгеновского контроля для проверки паяных соединений;
- о обучение персонала по стандартам IPC-A-610 (требования к монтажу электроники).

8. Интеграция изменений в План управления:

- о добавление в документ методов контроля экранирования и сопротивления заземления для соответствующих специальных характеристик;
- о включение статистических методов (SPC) для мониторинга стабильности процессов по данным характеристикам.

Таким образом, учет требований ЭМС в FMEA позволяет снизить риски отказов электронных систем, обеспечить соответствие международным стандартам (ISO, CISPR, ГОСТ), интегрировать требования по ЭМС в процессы APQR, в т.ч. в Планы управления и PPAP для гарантии качества.

Основные проблемы в области ЭМС требующие решения

В таблице 1.5 в рамках конкретных этапов APQR представлены основные исследуемые параметры ЭМС и проблемы, связанные с ней, которые требуют решения на различных уровнях – как в рамках стандартов предприятия, так и в рамках национальных и международных стандартов.

Таблица 1.5 – Перечень текущих задач и проблем, требующих решения в рамках обеспечения ЭМС автомобиля

№ п/п	Этапы APQR	Исследуемые параметры/проблемы	Текущие требования стандартов и действующие подходы
1.	№2 и №4 в части разработки и одобрении конструкции	Позиционирование при испытаниях к антенне	Перед (типовое положение), борта и задняя часть – при необходимости
		Исследование причин помехоустойчивости	На основе анализа при воздействии амплитудно-модулированного сигнала (АМ) в диапазоне 20 – 800 МГц и импульсно-модулированного сигнала (ИМ) в диапазоне 800 МГц – 2 ГГц
2.	№2/4 и 3-4-5 Разработка и одобрение конструкции и процесса, контроль в серийном производстве	Уровни воздействия	30 В/М (25 В/м в 10 % частот)
3.		Шаг позиционирования	В зависимости от диапазона частот от 2% до 10 %
4.		Оценка минимального уровня помехоустойчивости	С учетом шага перестройки по частоте по критерии «есть проблемы при 30 В/м или нет проблем»
5.		Количество автомобилей как при сертификации, так и при контроле производства	1 автомобиль
6.		Критерии оценки соответствия	Есть проблемы при 30 В/м, или нет проблем
7.		Испытательные конфигурации	Стандартная полубезэховая камера
8.	№5. Серийное производство	Контроль производства при сборке автомобиля (методы и параметры контроля и испытаний, связанные с ЭМС)	Проверка по методам из действующих стандартов (Правила R10, Правила 116, ISO 11451-1, ISO 11451-2)

№ п/п	Этапы APQR	Исследуемые параметры/проблемы	Текущие требования стандартов и действующие подходы
9.	Этап 5 + эксплуатация и обратная связь	Решение проблем с ЭМС в эксплуатации на системном уровне	Нет
10.	№2-5, а также научно- исследовательские работы в области ЭМС	Проблемы с нормативной базой, связанные с отсутствием стандартов, определяющих правила проектирования и обеспечение ЭМС в эксплуатации и низкой надежностью методов оценки большой партии автомобилей из-за применения стандартного подхода	Сертификация автомобиля в соответствии с действующей нормативной документацией одного экземпляра автомобиля заявленной комплектации по критерию «да/нет»

Таким образом, для решения проблем в области ЭМС с учетом все более возрастающих рисков воздействия внешних и внутренних факторов на электронные системы автомобиля, связанных со стремительной интеллектуализацией автомобилей, развитием интеллектуальных транспортных систем и быстрого распространения различных систем высокоскоростной связи, необходимо значительно переработать действующие подходы и методы, применяемых при разработке новых автомобилей в части использования новых материалов, систем защиты от помех, а также всей системы обеспечения качества, особенно методов контроля и испытаний, применяемых при проектировании, производстве и в период эксплуатации.

1.9 Выводы по первой главе

Текущее содержание научно-прикладного методологического обеспечения процессов системы менеджмента качества машиностроительных (автосборочных) предприятий, с точки зрения его полноты и достаточности, актуализирует проблему улучшения качества автомобилей по параметрам электромагнитной совместимости. Исходя из анализа, применяемого в настоящее время инструментария контроля качества автомобилей и

достигнутого уровня научно-технического прогресса, просматриваются возможности по совершенствованию и развитию комплексных инструментов управления качеством, направленных на устранение недостатков традиционных конструкций и новых типов автотранспортных средств: отсутствие твердой концептуальной позиции определяющей развитие вопросов качества с учетом усложнения внешних факторов эксплуатации и конструкции автомобилей; фрагментарность применяемых инструментов управления, реализация инструментария только на отдельных этапах проектирования и производства, а также практически полное отсутствие охвата инструментами управления качеством эксплуатационного этапа жизненного цикла; несовершенство применяемых организационно-технических методов и подходов при проведении испытательного процесса по оценке качества продукции; недостаточность базы количественных критериев оценки качества автомобилей и инструментов их реализации. Наличие выделенных проблем предопределяет необходимость создания, встраивания в систему существующих инструментов управления и реализации научно-технической методологии управления качеством автомобилей на этапах жизненного цикла по параметрам электромагнитной совместимости направленной на преодоление выделенных проблем.

С учетом сказанного, предложена концепция методологии управления качеством автомобилей по параметрам электромагнитной совместимости, сформированная на основе перекрестного анализа стандартов (ISO 9001:2015, IATF 16949:2016, и т.д.), современных методологий управления качеством (APQP, PPAP, FMEA, SPC, MSA, Control Plan, QFD, QRQC и т.д.) и требований ведущих автопроизводителей (ANPQP, VDA MLA и т.д.).

Графическая интерпретация разрабатываемой методологии управления качеством автомобилей на этапах жизненного цикла по параметрам электромагнитной совместимости представлена на рисунке 1.15.

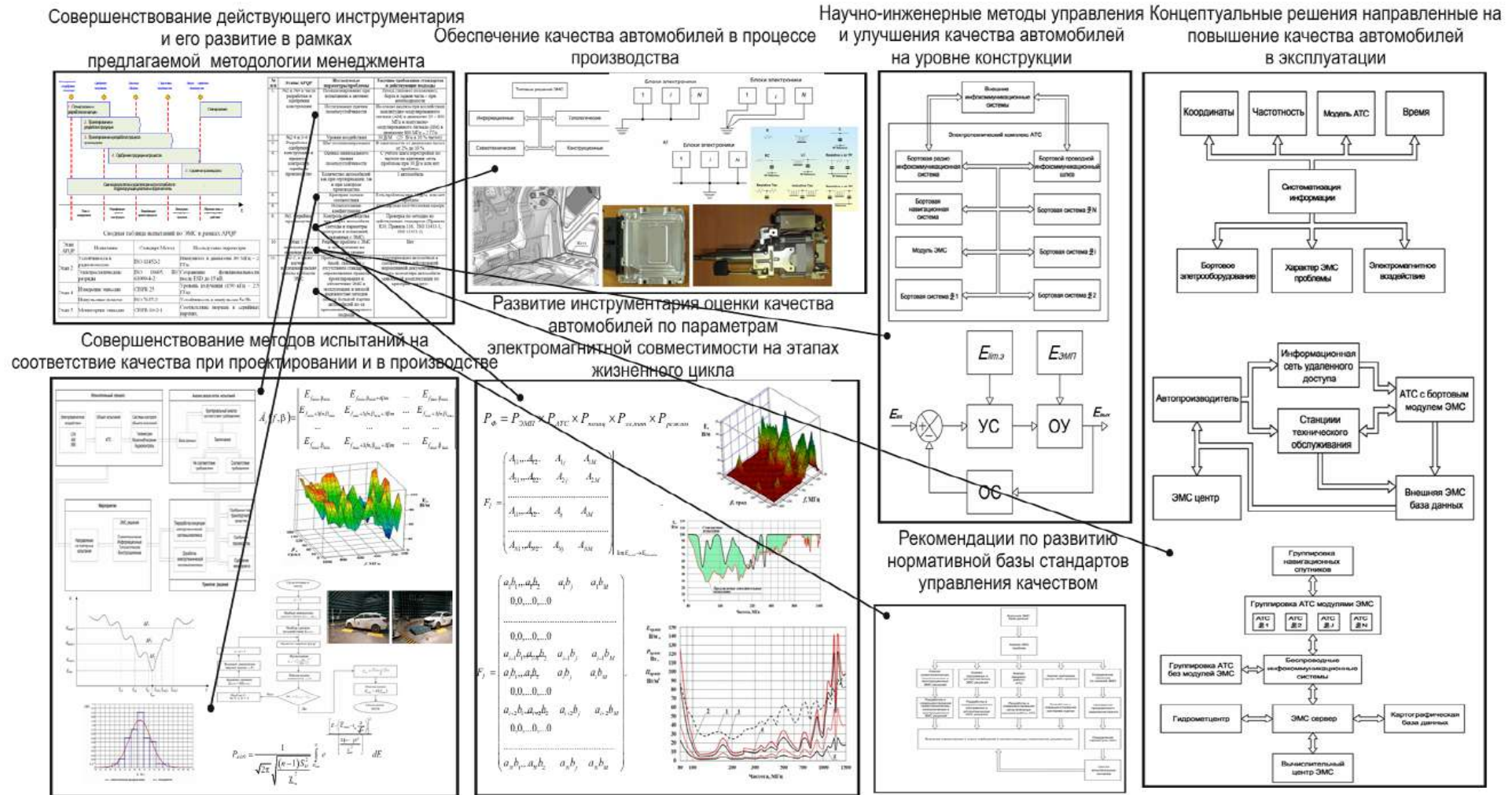


Рисунок 1.15 – Графическая интерпретация концепции методологии управления качеством автомобилей по параметрам электромагнитной совместимости

1.10 Цели и задачи диссертационного исследования

Цель исследования состоит в разработке методологии управления качеством автомобилей на этапах жизненного цикла по параметрам электромагнитной совместимости, направленной на непрерывное улучшение конкурентоспособности продукции в условиях развития бортового электротехнического комплекса.

Для достижения поставленной цели в диссертации решаются следующие **комплексные научно-прикладные задачи:**

1. Научно-технический анализ и проработка современных стандартов, научных и прикладных методологий, методов и подходов менеджмента качества в автомобильном производстве на предмет определения места позиционирования, принципов встраивания, а также формирования и наращивания связей создаваемой методологии управления качеством автомобилей по параметрам электромагнитной совместимости в автомобильном производстве. Разработка концепции управления качеством автомобилей на этапах жизненного цикла по параметрам электромагнитной совместимости.

2. Обоснование проблемы электромагнитной совместимости как ключевой проблемы конкурентоспособности и качества современных автомобилей на этапах жизненного цикла. Определение технико-экономического содержания проблемы ЭМС. Комплексный критический анализ существующих методов и подходов в процессе управления качеством современных автотранспортных средств на этапах жизненного цикла используемых для обеспечения электромагнитной совместимости с формированием концептуальных направлений развития научно-технических решений в рамках создаваемой методологии.

3. Развитие комплексного инструментария направленного на совершенствование методов экспериментальных исследований современных автомобилей, электромобилей, автомобилей с комбинированной

энергоустановкой в области управления качеством по параметрам электромагнитной совместимости. Формирование математической модели оценки качества автотранспортных средств по параметрам помехоустойчивости с использованием экспериментальных данных.

4. Развитие и реализация базы показателей используемой для оценки качества автомобилей по параметрам электромагнитной совместимости с формированием научно-прикладных инструментов вероятностного моделирования нарушения качества функционирования бортовых электротехнических систем в условиях эксплуатации, формированием матрицы оценки нарушения качества функционирования автотранспортного средства, выделением мощностного показателя нарушения качества функционирования (поражаемости) автотранспортного средства, с применением их для анализа проблем качества автомобилей в условиях усложнения электромагнитной обстановки.

5. Развитие научно-инженерных методов и инструментов управления и улучшения качества автомобилей по параметрам электромагнитной совместимости с разработкой: метода активной защиты качества автомобилей по параметрам помехозащищенности; программного метода игнорирования электромагнитных помех; обоснование подходов по обеспечению качества автомобилей по параметрам ЭМС с помощью инструментов резервирования и рационализации выбора бортовых систем.

6. Концептуальное развитие комплексного инструментария управления качеством автомобилей по параметрам электромагнитной совместимости на эксплуатационном этапе жизненного цикла с разработкой модернизированной архитектуры бортового электрооборудования с интегрированным модулем обеспечения качества по параметрам электромагнитной совместимости, формированием модели обеспечения качества автомобилей по параметрам помехоустойчивости на основе обратной связи «автотранспортное средство - автопроизводитель», созданием комплексной системы мониторинга

электромагнитной обстановки и предупреждения ЭМС конфликтов, обеспечением качества автомобилей по параметрам помехозащищенности на базе инструментов технического обслуживания.

7. Развитие инструментов совершенствования нормативной базы стандартов в вопросах управления качеством автомобилей по параметрам электромагнитной совместимости на этапах жизненного цикла с выделением направлений: по совершенствованию стандартов с позиции обеспечения и актуализации количественных показателей качества по параметрам помехоустойчивости; формированием комплексных рекомендаций по созданию новой и корректировке существующей базы стандартов в области обеспечения качества автомобилей по параметрам электромагнитной совместимости.

8. Комплексная апробация и отраслевое внедрение полученных научно-технических решений.

ГЛАВА 2. ПРОБЛЕМА ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ СОВМЕСТИМОСТИ КАК КЛЮЧЕВАЯ ПРОБЛЕМА КОНКУРЕНТОСПОСОБНОСТИ И КАЧЕСТВА СОВРЕМЕННЫХ АВТОМОБИЛЕЙ

2.1 Содержание проблемы электромагнитной совместимости, конкурентоспособности и качества автотранспортного средства

Конкурентоспособность современных автомобилей определяется совокупностью технических, экономических, имиджевых характеристик, которая образует такой уровень достаточности, отвечающей достигнутому уровню научно-технического прогресса, при котором формируется соответствующая клиентская потребность. Одним из ключевых показателей конкурентоспособности автомобиля является качество, которое определяет степень соответствия продукции запросам потребителей по ряду параметров включающих безопасность, надежность, эргономичность, исполнение, комплектность, функциональность, экологичность, интеллектуальность и т.д.

Так как характеристики электромагнитной совместимости (ЭМС) самым существенным образом влияют на целый ряд параметров выделенной совокупности определяющей качество (безопасность, надежность, технические характеристики, и исполнение), с учетом особой роли бортового электротехнического комплекса современного автомобиля, становится понятна высокая значимость и влияние ЭМС на формирование технических характеристик определяющих конкурентоспособность.

Важность проблемы электромагнитной совместимости (ЭМС) автотранспортных средств (АТС) и ее решение на современном этапе науки и техники подтверждается сводом международных обязательных стандартов [196 - 199, 254, 255]. Но до сих пор остается не решенным большой круг задач. Здесь очень много вопросов, связанных с ЭМС в эксплуатации. Очень маленький объем информации о проблемах, возникающих в реальных условиях, не дает в

полной мере анализировать риски. АТС из-за массового использования являются источником повышенной опасности. Во всем мире автокатастрофах ежегодно погибают или получают травмы значительное количество людей. Также аварии наносят серьезный экономический ущерб. Эту статистику, очевидно пополняют и нарушения работоспособности автотранспорта из-за электромагнитных воздействий.

Сбор статистики о проблемах ЭМС АТС в процессе эксплуатации является сложной задачей [169, 253, 259]. Главная причина этому то, что эти проблемы сложно выявить. Во-первых, отсутствует диагностика нарушений работоспособности электротехнических систем АТС в части ЭМС. Во-вторых, водители, за исключением небольшого процента, не знают про потенциальное электромагнитное влияние на функционирование автомобилей. Поэтому, в большей части, если в эксплуатации произошло нарушение работоспособности какого-либо бортового электрооборудования, то оно не интерпретируется как проблема ЭМС. Достаточно часто источник излучения или не является стационарным объектом, или его параметры меняются некоторым образом, или же водитель, находясь рядом с источником мощных электромагнитных помех не знает об этом. Поэтому те проблемы ЭМС, которые возникают в эксплуатации, автомобилисты сопоставляют с другими причинами, например, некачественному топливу, выработавшей ресурс или некачественной бортовой системе, погодным условиям и т.п. Аналогичная ситуация с диагностикой ЭМС наблюдается и на станциях технического обслуживания.

Однако в некоторых случаях удастся связать нарушение работоспособности и электромагнитное воздействие. В основном это происходит при явном изменении функционирования какой-либо бортовой электротехнической системе в условиях очевидно присутствующего мощного электромагнитного поля. Примерами этого могут служить акустические искажения автомобильной мультимедийной системы около радиоцентров.

Рассмотренная ситуация объясняет сложность получения достаточно полных статистических данных о проблемах ЭМС в эксплуатации. Но постоянной внедрение новых электротехнических систем в АТС дает понимание об актуальности решения вопросов помехоустойчивости. На данном этапе основную роль по исследованиям и сбору статистики играют специализированные ЭМС центры. На основании результатов тестирования выявляются потенциальные проблемы, и производится доработка АТС в соответствии с заданными требованиями [148 - 152].

В обобщенном виде электромагнитные помехи (ЭМП) ухудшают качество работы автомобилей, определяют их потерю работоспособности, снижают надежность и функциональную безопасность, и приводят к выходу из строя (рисунок 2.1) [17].

Электромагнитное воздействие наводит в бортовых систем АТС помехи, из-за чего происходит искажение полезной информации, что ведет к неправильному функционированию программ и алгоритмов, а также вызывает перегрузки, приводящие к выходу из строя электроники. Последствия можно классифицировать как допустимые/недопустимые и опасные/неопасные. Оценкой является степень риска в отношении масштаба последствий. Контрольные пределы в соответствии с классификацией определяются компетентными службами на основании приемлемого риска (рисунок 2.2) в зависимости от условий поражения в процессе эксплуатации АТС. С позиции ЭМС понятие риска включает в себя вероятность наступления негативного последствия с некоторым нарушением функционирования от воздействия [62, 143].

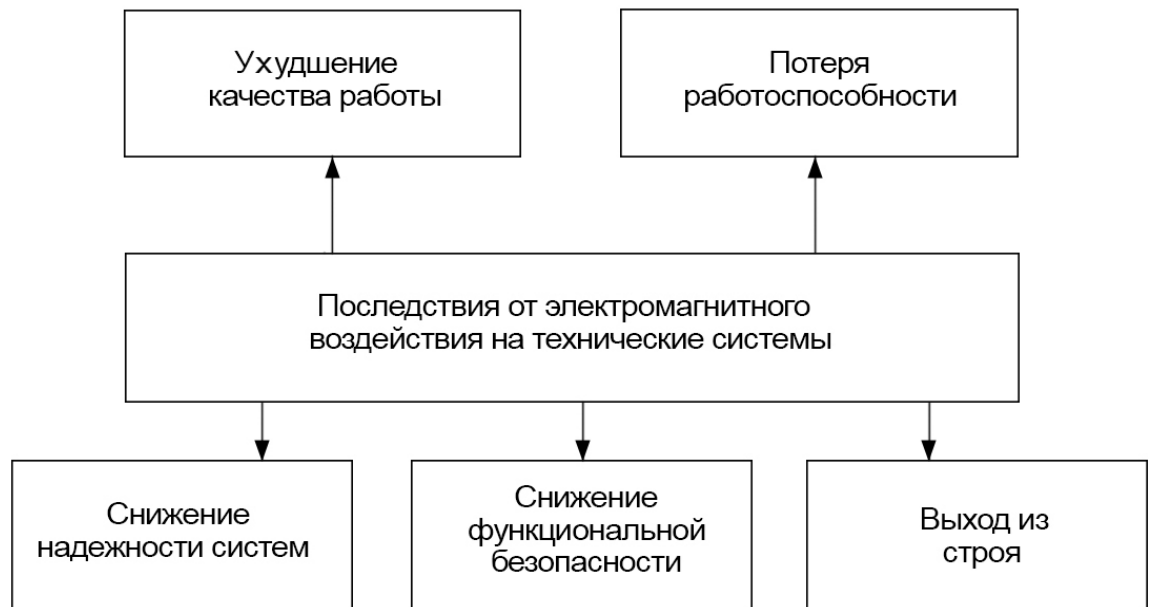


Рисунок 2.1 – Последствия воздействия ЭМП на автомобиль



Рисунок 2.2 – Соотношение нарушений функционирования и степени риска

Нагляден пример нарушения работоспособности автомобильного генератора напряжения. При низкой помехоустойчивости встроенного регулятора его выходное напряжение при электромагнитном воздействии может превышать допустимые значения или быть ниже их. Если выходное напряжение будет ниже допустимого значения или генератор откажет, то это не рассматривается как опасное последствие из-за наличия бортовой аккумуляторной батареи. Она, как резервный источник электроэнергии и в зависимости от ее заряда, некоторое время она обеспечит достаточное функционирование бортового электрооборудования. Даже если ряд параметров

будут выходить за пределы, как например, световой поток светотехнических систем, но при этом АТС будет работоспособно и не опасно. В другом обратном случае, при превышении предельного уровня напряжения с генератора увеличивается вероятность выхода из строя бортовых электротехнических систем. Что уже достаточно опасно, т.к. последствия могут быть существенными.

Обеспечение требованиям электромагнитной совместимости автомобильного транспорта, а именно помехоустойчивости и помехозащищенности, основывается на принципе экономического подхода (рисунок 2.3) [51, 233], который в свою очередь учитывает сложность технических требований к ЭМС.

При недостаточном бюджете на обеспечение помехоустойчивости бортовых систем увеличиваются экономические потери в процессе эксплуатации АТС (область I). При значительных затратах при разработке и производстве на обеспечение ЭМС экономические потери в эксплуатации минимальны (область II).

Множество 1 (рисунок 2.3) при заданной сложности определяется квалификацией конструкторов и применяемыми решениями. Множество 2 зависит от условий эксплуатации: сезонность, погодные условия, маршрут, интенсивность, периодичность и своевременность прохождения технического осмотра и т.п.

С оптимальной позиции ЭМС затраты при производстве АТС должны быть экономически целесообразны, а компромиссное решение содержать совокупность экономических и технических мероприятий. Данный оптимум затрат на рисунке 2.3 показан в виде множества Y.

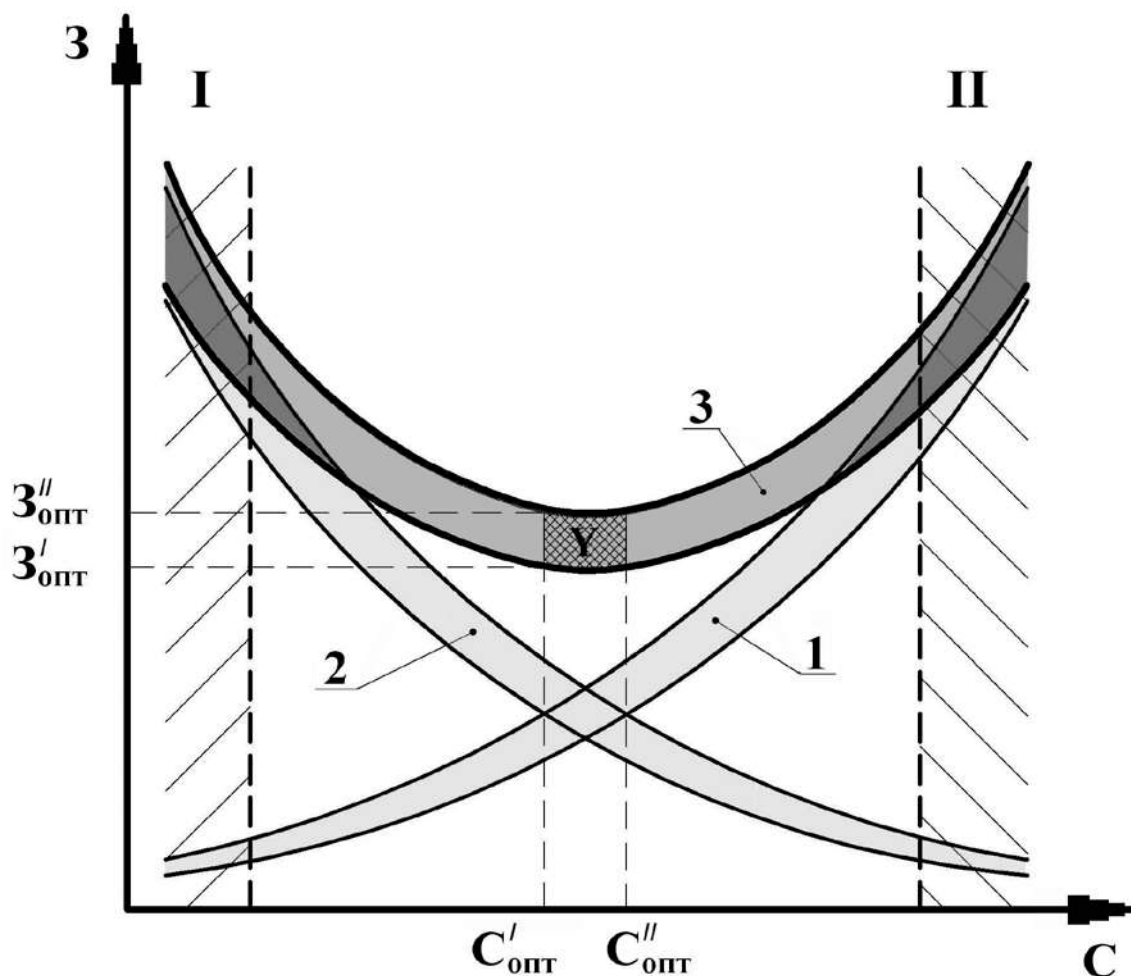


Рисунок 2.3 – Затраты Z , связанные с требованиями к ЭМС АТС в зависимости от сложности C требований: 1 – затраты на обеспечение ЭМС на этапе конструирования; 2 – экономические потери в процессе эксплуатации из-за недостаточного обеспечения требований ЭМС; 3 – общие затраты

Графики на рисунке 2.3 наглядно отображают экономическую сторону задач обеспечения помехоустойчивости АТС. При недостаточном подходе к вопросам ЭМС, риск нарушения работоспособности АТС в эксплуатации увеличивается. В некоторых случаях после изучения рекламаций от потребителей и выводов экспертов о наличии проблем ЭМС бортовые электротехнические системы дорабатываются, но это, как очевидно, влечет за собой дополнительные материальные ресурсы. Кроме этого, автопроизводитель несет экономические потери из-за рекламаций, судебных выплат и компенсаций. В глобальном масштабе несоответствие требованиям ЭМС может привести к наложению запрета на производство продукции вследствие не

прохождения сертификации. Приведенные факторы определяют на рисунке 2.3 границу оптимума затрат области Y слева. Цель производителя удовлетворить спрос потребителей в приобретении соответствующего критерию цена/качество АТС определяет правую границу. Для гражданской промышленности, ориентированной на массового покупателя, приведенные выше критерии не предполагают обеспечение жестким показателям ЭМС. Увеличение сложности требований характерно для автомобильного транспорта премиального сегмента, а затраты для области «II» типичны для АТС специального назначения.

Для обеспечения АТС требованиям ЭМС, необходим всесторонний и глубокий подход к проблеме. Это акцентируют в своих работах все ведущие ученые [169, 170, 210, 253, 259]. Большое значение следует уделять испытаниям АТС и бортовым электротехническим системам. Тесты позволяют выявлять проблемы ЭМС (рисунок 2.4) на этапах конструирования и разработки, при сертификации и сопровождении действующего производства. На различных этапах тестирования выявляются потенциальные проблемы. На основании этих результатов производится доработка по параметрам ЭМС, и повышается электромагнитная безопасность автомобильного транспорта.



Рисунок 2.4 – Области испытаний на ЭМС АТС и изделий

Касательно помехоустойчивости АТС часто оперируют термином функциональной безопасности [28-34]. Функциональная безопасность бортовых систем, как рецепторов помех, связана их реакцией на электромагнитное воздействие. Проблемы происходят, когда в электрических цепях наводятся сигналы помех, превышающие порог восприимчивости. На основании практического опыта можно дать следующую классификацию.

Нарушение функций, связанных

- с управлением АТС;
- с защитой водителя, пассажиров, а также иных участников дорожного движения;
- с дезориентацией участников дорожного движения, в том числе и водителя;
- с функционированием информационных каналов, которые могут отрицательно воздействовать на показания устройств отображения информации.

Примером нарушения функций, связанных с управлением АТС, может быть ухудшение или изменения показателей работы системы управления двигателя, тормозов, подвески, трансмиссии, и т.п. Касательно второго пункта наглядным примером служит нарушение функционирования системы надувных подушек безопасности. Для третьего показательны случаи создания акустических и оптических помех, таких как неправильная работоспособность габаритных огней, светосигнальных устройств аварийной системы, указателей поворота, стоп-сигналов и звукового сигнала. По четвертому пункту классификации примерами является нарушение функционирования навигационных систем, одометра или спидометра.

Самые опасные последствия случаются из-за нарушения работоспособности систем АТС, определяющих безопасность. Важно обеспечение параметрам ЭМС не только отдельных устройств, но также и всего бортового комплекса, т.к. современные архитектуры объединяют воедино все электрооборудование, которое работает в тесной взаимосвязи между собой. Проблема ЭМС в работе одного узла, может привести к нарушению функционирования другого.

Функциональная безопасность АТС в контексте ЭМС, хоть и косвенно, но связана и с человеческим фактором. Поведение автомобильного транспорта на дороге, при нарушении работоспособности бортовых систем из-за

электромагнитного воздействия зависит от должной эксплуатации АТС и особенностей водителя.

Управление АТС, из-за его доступности осуществляется широким контингентом людей. Поэтому существует вероятность неадекватной реакции водителя на сбой систем. Его поведение во время движения АТС определяется профессиональными качествами, возрастным фактором, медицинскими показаниями, темпераментом и т.п.

Имеется ряд ЭМС примеров, когда водители, привыкшие ориентироваться на акустический сигнал системы безопасной парковки, при ее сбое осуществляют наезд на препятствие при езде задним ходом.

2.2 Обзор и анализ источников электромагнитных воздействий, создающих внешнюю электромагнитную обстановку

В процессе эксплуатации автомобильный транспорт работает в динамично меняющейся электромагнитной среде. На бортовые системы постоянно воздействует внешние излучение различной физической природы. По классификации источники помех подразделяются на техногенные и естественные (рисунок 2.5) [19, 69, 156, 251].

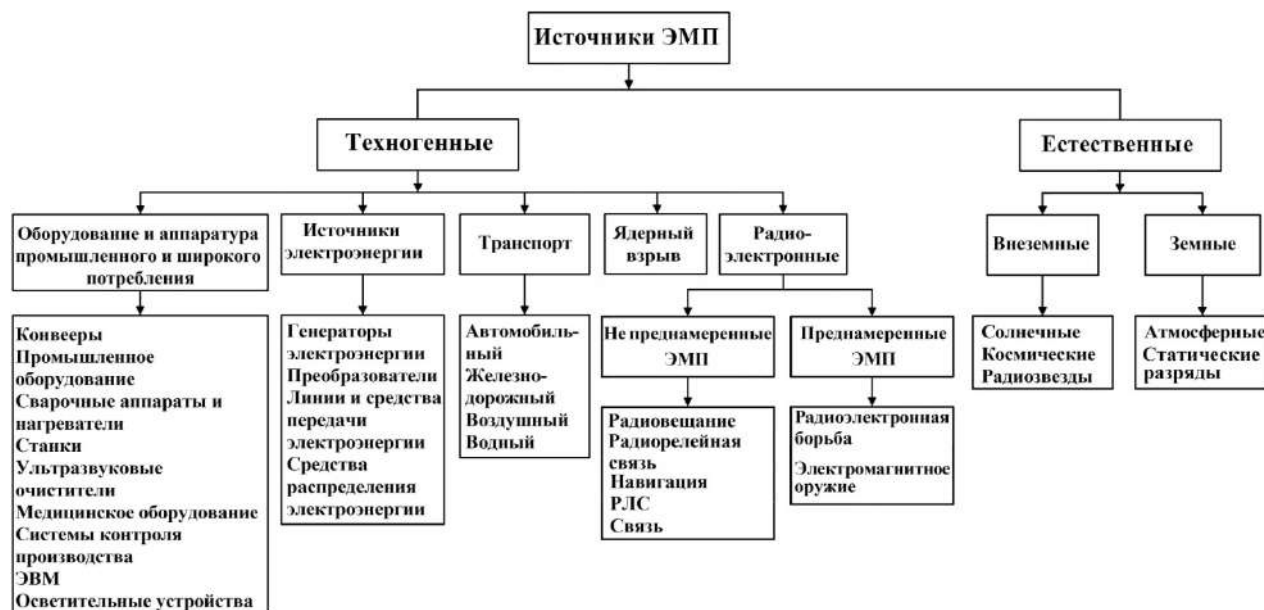


Рисунок 2.5 – Источники помех, создающие электромагнитную обстановку

Естественные источники подразделяются наземные и внеземные. До частотной границы 30 МГц в основном преобладают атмосферные помехи (рисунок 2.6) [19, 69]. Молнии являются самым мощным источником естественного происхождения. По статистике на планете происходит приблизительно сто ударов в секунду [8, 9, 167]. Молниевые разряды бывают непосредственные, близкие, и удаленные. Для АТС специального назначения рассматриваются все типы молний, а для гражданских АТС - только удаленные разряды. Область электромагнитного воздействия грозового разряда составляет несколько километров.

Следующими по мощности после молнии естественными источниками помех являются статические разряды, создающиеся из-за пробоя на электрические проводящие поверхности накопленных на диэлектриках зарядов. Их потенциалы могут достигать значений до 100 кВ [9], а ток разряда - до 70 А. Электростатический разряд создает электромагнитное поле в диапазоне до 1 ГГц (таблица 2.1).

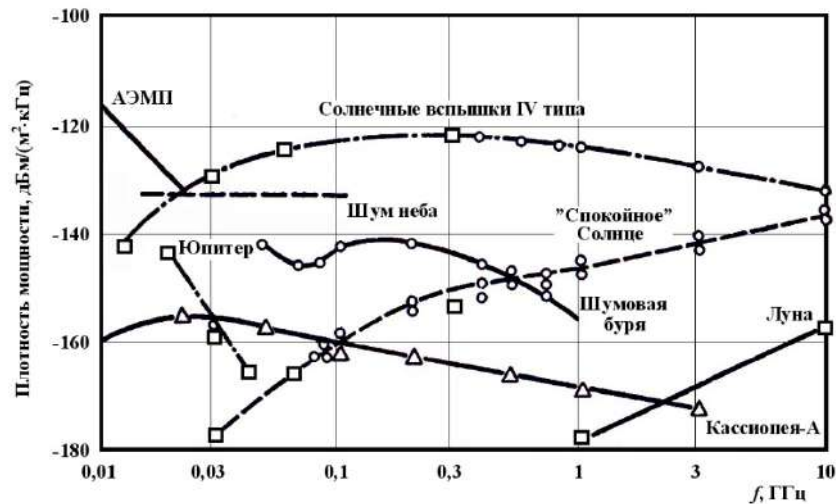


Рисунок 2.6 – Спектр электромагнитных помех от естественных источников:
 Δ , $\square$, o – данные разных исследователей

Таблица 2.1 – Параметры помех молнии и статического разряда

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 электромагнитных помех являются космические объекты: галактики, радиозвезды, солнце и т.п. (рисунок 2.6). Наибольшую составляющую в суммарный электромагнитный фон вносят периодически возникающие вспышки на Солнце. Созданные ими поля по параметрам стабильны, широкополосные и длятся несколько суток [9, 18, 72, 140]. Основные проблемы, вызванные вспышками, связаны со сбоями в навигации АТС.

Техногенными или искусственным источникам электромагнитных помех являются технические средства. Это ядерный взрыв, радиоэлектронные системы непреднамеренного и преднамеренного излучения, источники электроэнергии, транспорт и различная аппаратура промышленного применения [12, 42, 53, 54].

Самым мощным источником техногенных помех является ядерный взрыв. Механизм создания электромагнитных помех связан с взаимодействием гамма- и рентгеновского излучения с молекулами воздуха. Происходит перенос заряда вторичными электронами, взаимодействие заряженных частиц с геомагнитным полем Земли, а также протекают сложные процессы в зоне высоких градиентов термодинамических характеристик газа в тепловых и ударных волнах [56, 58, 135, 147]. Параметры импульсов высотного и наземного ядерных взрывов показаны на рисунке 2.7.

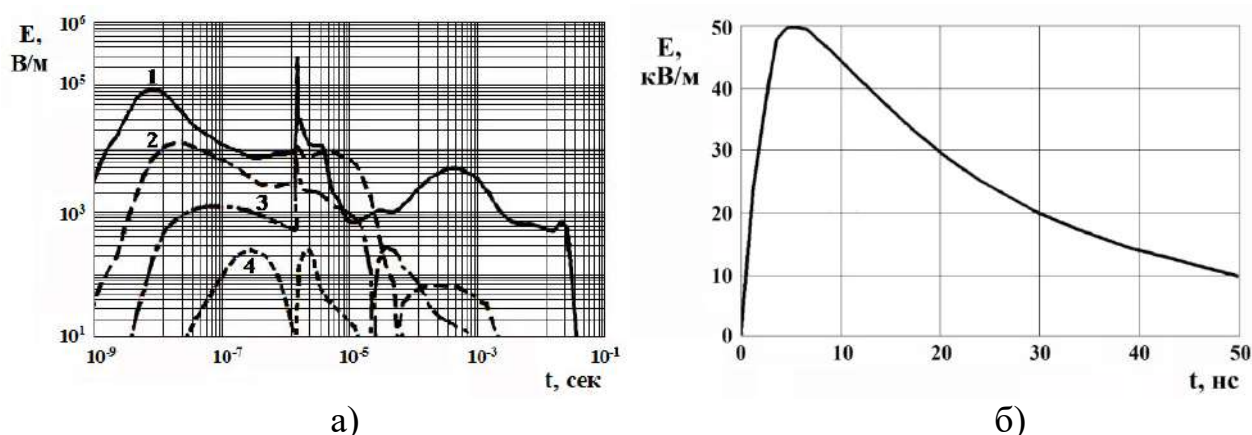


Рисунок 2.7 – Электромагнитное поле ядерного взрыва: а) наземный; б) высотный; 1 – 215 м; 2 – 745 м; 3 – 1520 м; 4 – 3000 м

Излучение высотного ядерного взрыва имеет следующие параметры [9]: пиковая напряженность электрического поля – до 50 кВ/м, а пиковая напряженность магнитного поля – до 133 А/м. У наземного ядерного взрыва значение вертикального электрического поля достигает 100 кВ/м, значение радиального электрического поля – 200 кВ/м и значение азимутального магнитного поля составляет в максимуме 5 кА/м.

Проверки на помехоустойчивость гражданских АТС к электромагнитному воздействию ядерного взрыва не целесообразны по экономическим соображениям, и проводятся только для транспорта специального назначения.

Помехи, созданные линиями электропередач (ЛЭП) и высоковольтным оборудованием, могут достигать значений 10^4 В/м и 10^4 А/м [9, 55, 57, 138] (рисунок 2.8). Их уровень наиболее максимален в условиях влажности, при

дожде, тумане и снегопаде. Из-за старения и неисправностей на частотах 50 Гц и выше возрастает уровень импульсных помех. Особенностью ЛЭП является свойство двухпроводной линии, имеющей малое затухание. Поэтому вдоль них помехи могут распространяться на большое расстояние.

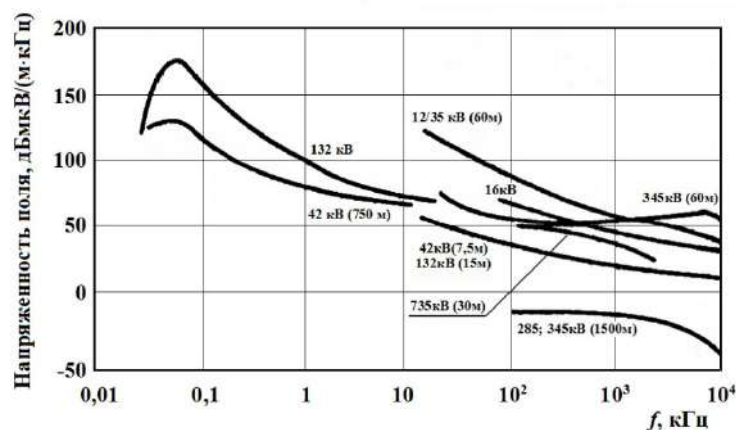


Рисунок 2.8 – Электромагнитные помехи от ЛЭП

Электромагнитные поля от промышленной аппаратуры сосредоточены в основном в частотном диапазоне до 100 МГц, но верхняя граница может достигать 1 ГГц. От сварочных аппаратов помехи сосредоточены в диапазонах средних и коротких волн (рисунок 2.9).

Контактная сеть железных дорог является наиболее интенсивным источником электромагнитных помех в низкочастотной области. Воздействие генерируется потенциалом контактных проводов по отношению к нулевому потенциалу. Магнитное поле обусловлено протеканием в электрической сети тяговых токов или токов короткого замыкания. Максимальные напряженности электрического и магнитного полей имеют значения 10^4 В/м и 10^3 А/м соответственно [2, 9, 21].

Помехи от АТС во временной области представляют собой импульсную последовательность. Основным и наиболее интенсивным источником является искровая система зажигания. Их спектр в основном сосредоточен до 1 ГГц [59, 67, 70] (рисунок 2.10).

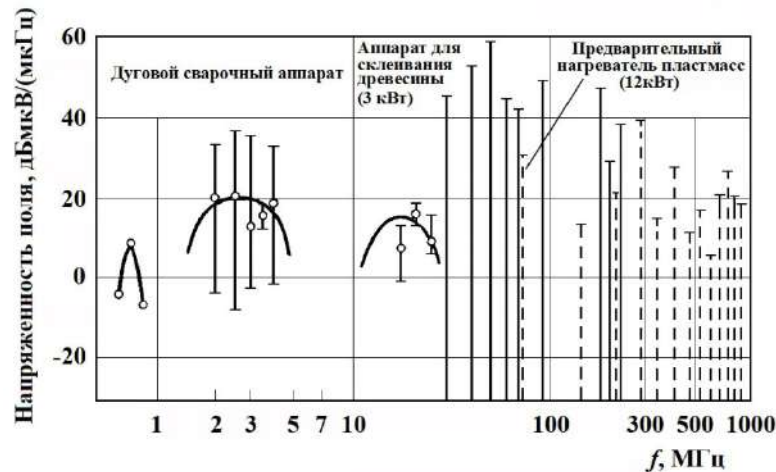


Рисунок 2.9 – Электромагнитные помехи от промышленной аппаратуры

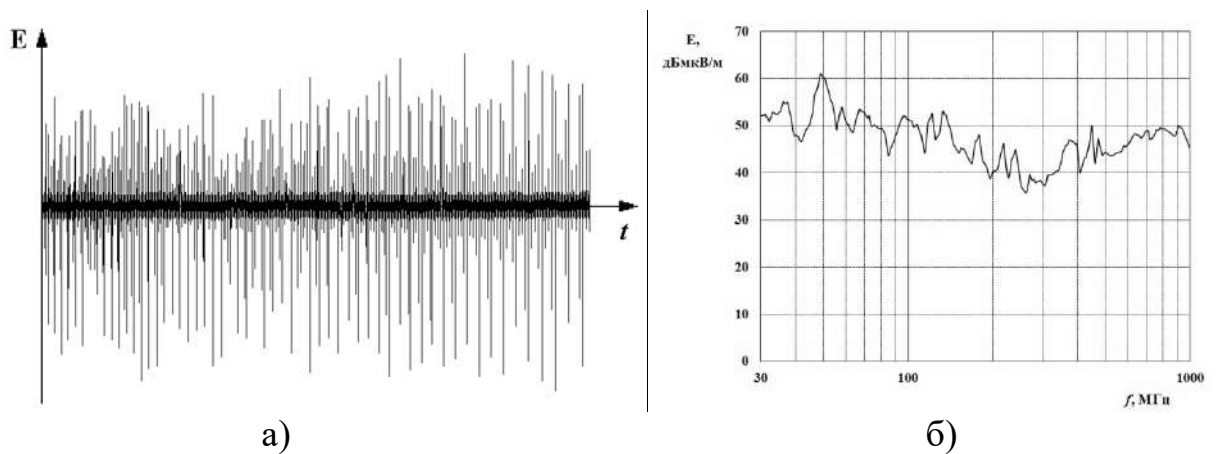


Рисунок 2.10 – Электромагнитные помехи от потока автомобильного транспорта с расстояния 10 м от дороги: а) временная последовательность импульсов; б) спектр

Средний уровень электромагнитного поля зависит от количества АТС, находящихся в данной области. Максимум амплитуды от потока автотранспорта в большинстве случаев определяется только одним автомобилем, который наиболее интенсивно излучает, потому что мала вероятность синфазного сложения импульсных сигналов от разных АТС. Если условие синфазности и выполняется, то в амплитуда на соответствующей частоте вырастает максимум на 6 дБ [69, 136].

Электромагнитное поле, создаваемое радиоэлектронными техническими системами, может быть непреднамеренное и преднамеренное. К первым источникам относится, например, телевидение, различные радиолокационные

станции, радиовещание, связь, и навигационные системы. Их параметры представлены в таблице 2.2 [16].

Таблица 1.2 – Параметры электромагнитных помех от систем непреднамеренного воздействия

Источник	Частота	Расстояние До источника	Уровень
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
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	20 см	30 В/м
Ручные радиостанции	27 МГц	5 см	≥ 1000 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

Различные летательные аппараты, в зависимости от условий, генерируют электромагнитные помехи с максимальной напряженностью до 2000 В/м, спектр которых сосредоточен в диапазоне 10 кГц - 300 ГГц.

Все больше становятся актуальными вопросы электромагнитной защиты АТС от преднамеренного воздействия. К источникам таких помех относятся технические средства радиоэлектронной борьбы, радиочастотное оружие и СВЧ источники высокой мощности. Первые создают электромагнитное поле на расстоянии до 100 км уровня до 100 В/м [39, 137]. Системы радиочастотного оружия создают воздействия на расстоянии до 1 км напряженностью от 30 В/м и выше [3, 9, 13, 48, 50]. СВЧ источники высокой мощности создают поля в узкой полосе частот до 100 кВ/м [10, 19, 43, 137] в диапазоне от 1 до 15 ГГц.

В основном на автомобильный транспорт воздействует группа независимых источников, излучающих с различных направлений, на разнесенных частотах и разных мощностях. АТС функционирует в постоянно меняющейся электромагнитной обстановке. В общем случае электромагнитная среда оценивается по усредненным параметрам. В свою очередь, из известных результатов исследований [5, 61, 62] электромагнитные поля от независимых источников излучения могут складываться, усиливаясь по амплитуде в течении короткого периода времени в несколько раз. Такие ситуации увеличивают вероятность нарушения работоспособности АТС.

Из анализа приведенной информации самым мощным естественным источником поля являются грозовые разряды. Наиболее интенсивными по суммарному времени воздействия являются технические системы радиосвязи, работающие в области 20 МГц - 2 ГГц. Интенсивность их воздействия в зависимости от различных факторов может достигать уровней 30 В/м и более.

2.3 Общий подход к оценке качества автотранспортных средств с точки зрения электромагнитной совместимости

Многочисленные исследования [69, 156, 165, 169, 233, 259] доказывают, что любую техническую систему с позиции электродинамики можно рассматривать как антенну с некоторыми частотными характеристиками. Исходя из этого, АТС в части ЭМС следует изучать как приемно-передающая система. Современные расчетные методы позволяют произвести определенную оценку параметрам ЭМС. Однако они не дают достаточной точности по отношению к реальным значениям ввиду сложности учета всех особенностей.

Как приемоизлучающая антенна, любое АТС, имеет сложную диаграмму направленности (рисунок 2.11), которую определяют многочисленные факторы. Основные из них:

- полезные сигналы протекающие и наведенные помехи в электрических цепях бортового электрооборудования;
- схемотехнические решения;
- конструктивные особенности конкретного блока электрооборудования;
- общая компоновка узлов и внутренняя геометрия АТС;
- геометрические параметры щелей и отверстий кузова.

Дополнительно на форму диаграммы может оказывать внешняя обстановка.

Протекая в электрических цепях, сигналы возбуждают электромагнитные волны. Их спектр соответствует спектральному составу самого сигнала. Из теории сигналов известно, что чем короче длительность импульс, тем шире его полоса частот.

Внутренний объем кузова АТС с позиции электродинамики можно рассматривать как широкополосный объемный резонатор. Количество резонансных частот в некоторой области частот оценивается по формуле

$$N = \frac{V_p}{2\pi v^2} \omega_{\text{д.д}} \Delta\omega, \quad (2.1)$$

где V_p – геометрический объем резонатора; v – скорость электромагнитных колебаний; $\omega_{\text{д.д}}$ – верхняя частота; $\Delta\omega$ – диапазон частот.

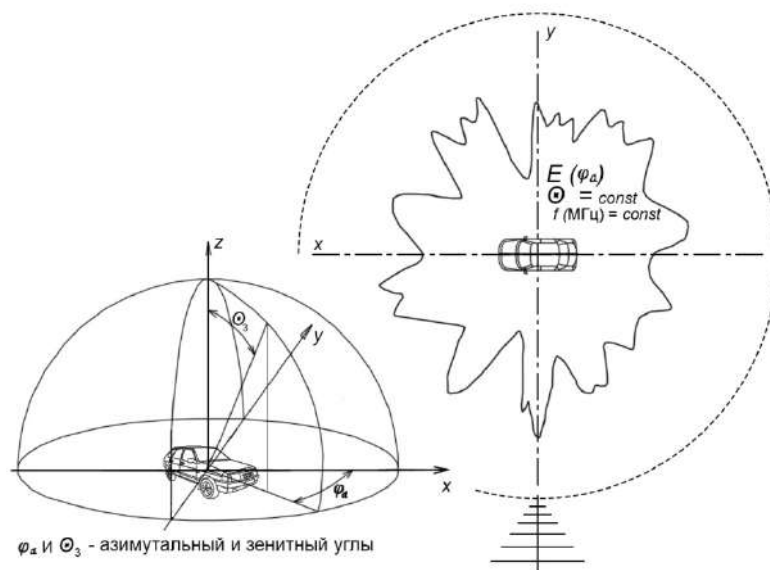


Рисунок 2.11 – Сложная диаграмма направленности АТС

С позиции АТС как излучателя, если оперировать данными геометрических размеров среднестатистического легкового автомобиля, то в соответствии (2.1) в диапазоне частот 20 – 2000 МГц, резонансные частоты могут быть разнесены на 0,5–4 Гц. Разброс параметров вышеперечисленных факторов определяет отличие в спектральных характеристиках АТС одинаковых моделей (рисунок 2.12).

За исключением ряда моделей, например, таких как Renault Clio Symbol или Trabant, кузова АТС изготавливаются из металла. И кузов в первом приближении является экраном снижая уровень электромагнитных помех (рисунок 2.13). В тоже время различные щели и отверстия на кузове являются путями проникновения излучения. Поэтому АТС, как антенная система, имеет сложную апертуру и соответственно диаграмму направленности, что и определяет индивидуальное спектральное распределение (рисунок 2.14).

Несмотря на развитие технологий в настоящее время невозможно достичь полной повторяемости по параметрам ЭМС у АТС одинаковых комплектаций. Это видно по кривым спектральных распределений, показанных на рисунок 2.15.

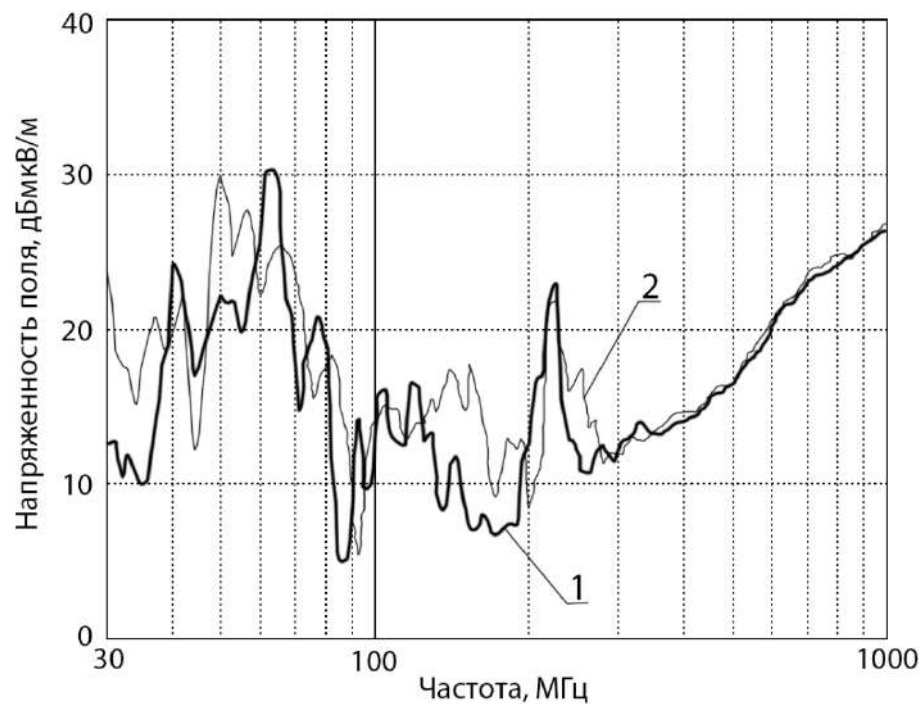


Рисунок 2.12 – Спектральное распределение излучаемых помех автомобилей LADA 2110: 1 – двигатель ВАЗ 2112; 2 – двигатель ВАЗ 2111

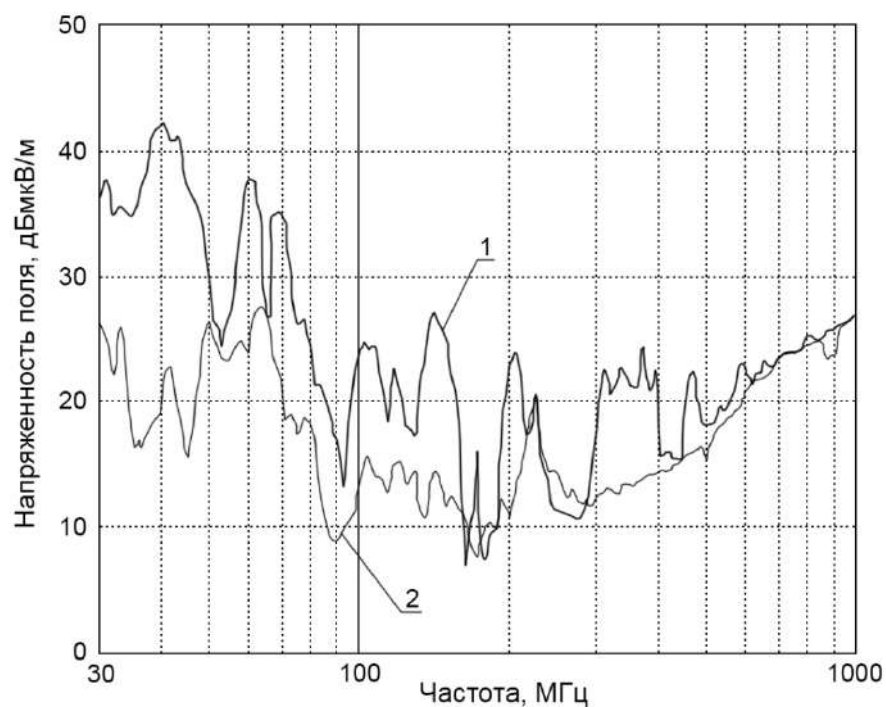


Рисунок 2.13 – Спектральные распределения электромагнитных помех от автомобиля: 1 – прототип с неметаллическим кузовом; 2 – прототип с металлическим кузовом

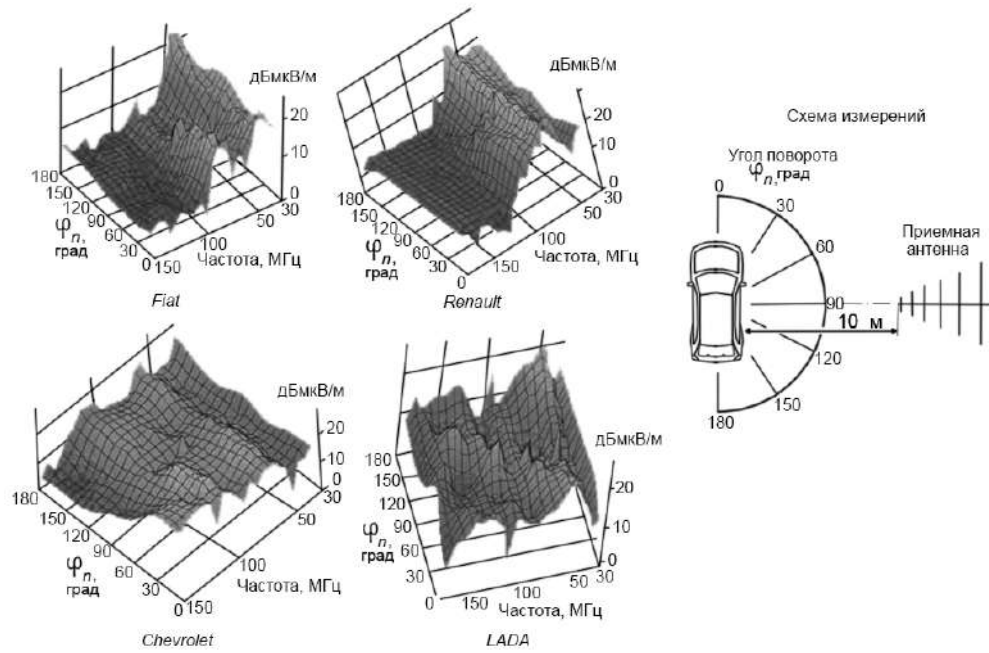


Рисунок 2.14 – Спектральное распределение АТС в азимутальной плоскости

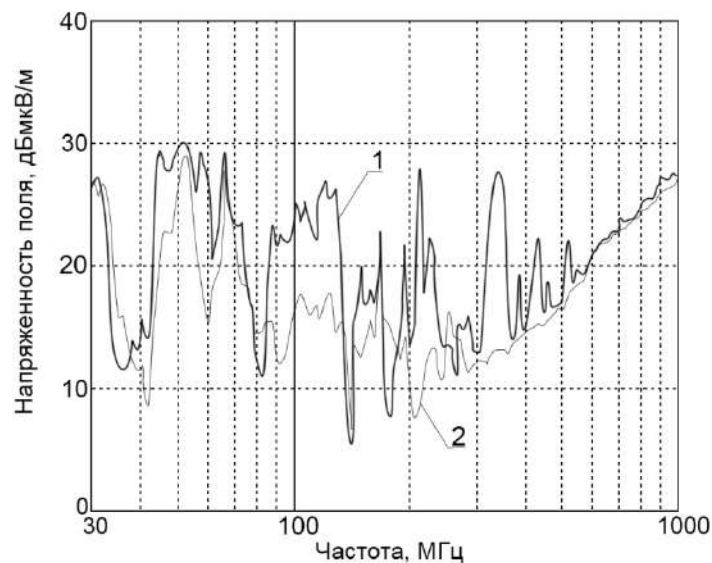


Рисунок 2.15 – Спектральные распределения помех от автомобилей одинаковых комплектаций: 1 – автомобиль №1; 2 – автомобиль №2

В части восприимчивости автотранспортные средства рассматриваются как приемные антенны. На уровень наведенных помех в бортовых электрических цепях влияют приведенные выше аналогичные факторы. Внешнее излучение, попадает во внутреннее пространство кузова через щели и отверстия. Капот и багажник являются резонаторами и поля в них имеют

сложную структуру. На разных частотах они могут как усиливаться, так и ослабляться (рисунок 2.16).

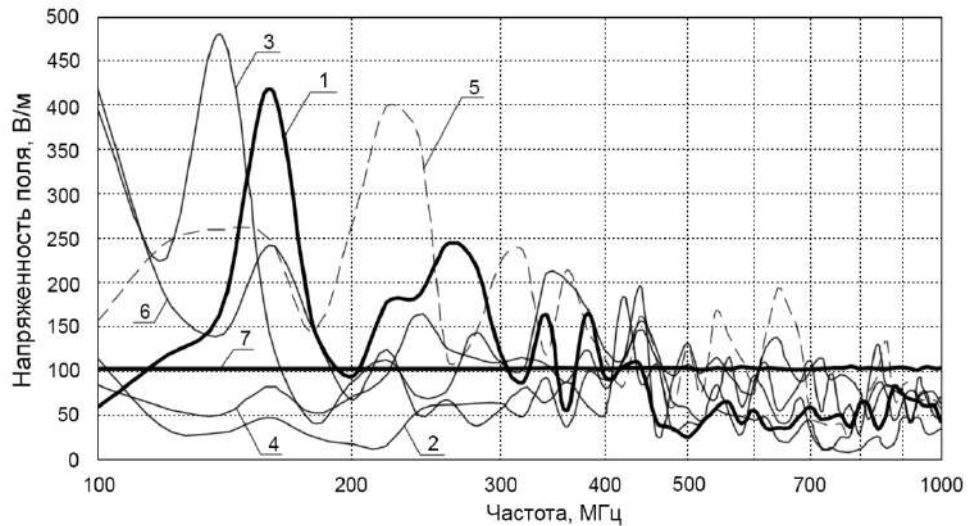


Рисунок 2.16 – Спектральные характеристики поля рядом с бортовыми системами автомобиля: 1 – мультимедийная система; 2 – ABS; 3 – электромеханическая дроссельная заслонка; 4 – комбинация приборов; 5 – генератор; 6 – блок управления системы надувных подушек безопасности; 7 – внешний уровень излучения

Анализ АТС с позиции электродинамики показывает, что оно является линейной, но не симметричной электромагнитной системой. Это значит, что при приращении уровня внешнего излучения пропорционально изменяется поле в области измерения внутреннего объема кузова (рисунок 2.17). Асимметричность компоновки обуславливает несимметричность АТС, как приемной антенны (рисунок 2.18). Это значит, что ее диаграмма направленности не является круговой или сферической.

АТС представляет собой сложную электродинамическую систему, у которой параметры ЭМС определяются многомерной функцией, включающей в себя как внешние и внутренние факторы.

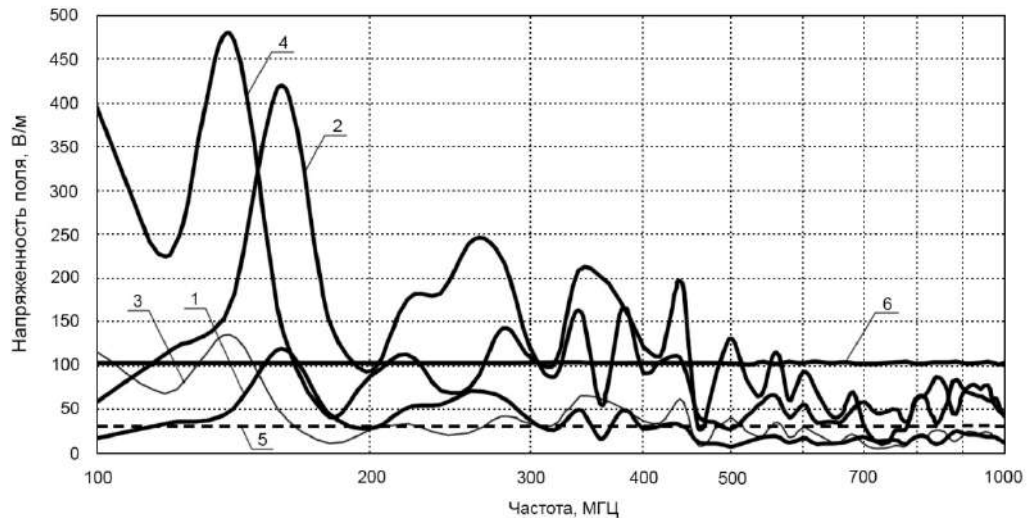


Рисунок 2.17 – АТС как линейная электромагнитная система. Спектральные характеристики рядом с бортовыми системами автомобиля: 1 – мультимедийная система (внешний уровень 30 В/м); 2 – мультимедийная система (внешний уровень 100 В/м); 3 – электромеханическая дроссельная заслонка (внешний уровень 30 В/м); 4 – электромеханическая дроссельная заслонка (внешний уровень 100 В/м); 5 и 6 – внешние уровни излучения

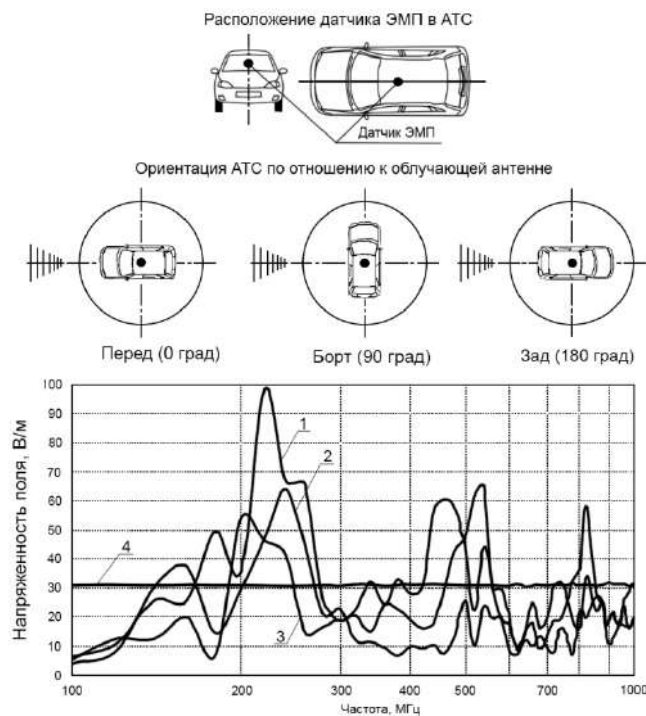


Рисунок 2.18 – Спектральные характеристики электромагнитного поля в центре автомобиля: 1 - ориентация передом к источнику излучения (0°); 2 – ориентация бортом к источнику излучения (90°); 3 – ориентация задом к источнику излучения (180 град); 4 – уровень излучения

2.4 Обзор и анализ типовых методов испытаний автомобилей на оценку качества по параметрам восприимчивости к электромагнитным воздействиям

В зависимости от назначения, автотранспортные средства проходят соответствующие испытания на оценку качества по параметрам помехоустойчивости, регламентированные международными или национальными стандартами [171 – 174, 187 – 190, 194 – 208, 223 – 231, 254, 255]. В различных частотных диапазонах тестирование производится в различных по физическим особенностям полеобразующих системах.

Применительно к АТС, наименее распространенным, применимым более для исследовательских работ является метод, основанный на инъекции объемного тока (ИОТ) (рисунок 2.19) [199, 254]. В большинстве своем он применяется для тестирования отдельных блоков и систем электрооборудования. Суть метода заключается в бесконтактном индицировании электромагнитных помех в жгутах проводов АТС с помощью высокочастотного трансформатора тока в локальном месте бортовой сети. С одной стороны, это есть недостаток, так как не производится интегрального воздействия на АТС. С другой стороны, применение метода ИОТ позволяет выявить наименее помехозащищенную цепь, что довольно трудно сделать при полном облучении объекта испытаний. Уровень развития техники позволяет проводить тесты в диапазоне от 1 МГц до 2 ГГц.

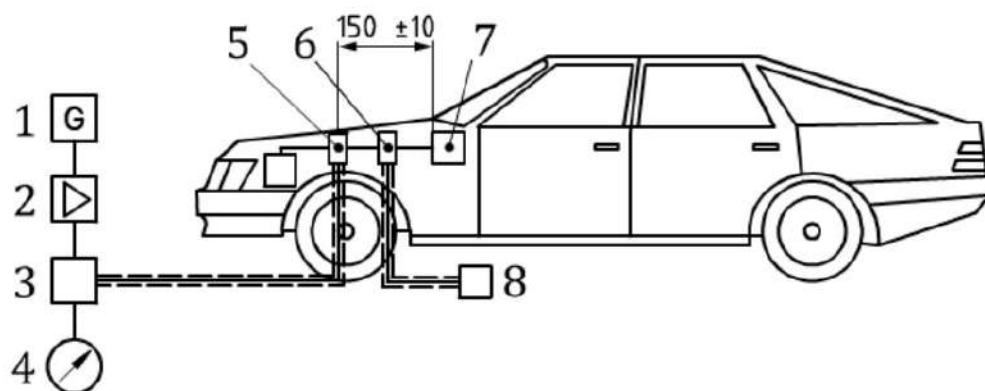


Рисунок 2.19 – Метод ИОТ: 1 – сигнальный генератор; 2 – широкополосный усилитель; 3 – направленный ответвитель; 4 – ваттметр; 5 – высокочастотный трансформатор ввода тока; 6 – измерительный трансформатор; 7 – испытуемая электротехническая система АТС; 8 – измерительный приемник

Другой метод основан на прямом воздействии электромагнитного излучения. Он является самым распространенным, так как он соответствует наиболее приближенным условиям эксплуатации. Обобщая их можно выделить испытания в полосковых системах и с применением излучающих антенн. До частот 20 – 30 МГц испытания проводят в полосковых системах. Частными примерами являются экранированные ТЕМ-камеры и не симметричные полосковые линии (рисунок 2.20) [180, 197, 201, 219, 231]. Особенностью структуры электромагнитного поля (ЭМП) является то, что силовые линии электрического поля замкнуты на поверхности проводников, а волна имеет поперечную структуру.



а)



б)

Рисунок 2.20 – Полосковые системы: а) неэкранированная несимметричная полосковая линия; б) симметричная экранированная полосковая линия (ТЕМ-камера)

Свыше 20 – 30 МГц применяются антенные системы, создающие вихревое электромагнитное поле. В основном такие испытания проводят в безэховых экранированных камерах (БЭК) [52, 64] (рисунок 2.21). Альтернативой БЭК являются открытые площадки, но их использование сведена к минимуму вследствие зависимости результатов из-за погодных условий. В ряде случаев применяются реверберационные камеры [222, 228], представляющие собой резонатор. Но здесь ограничением является предел по максимальной границе

частотного диапазона.

Универсальность БЭК позволяет их использовать как для тестирования изделий, так и АТС

В соответствии с международными требованиями [254], воздействие на АТС осуществляется вертикально поляризованным полем. При сертификации тесты проводятся в диапазоне частот 20 МГц - 2 ГГц. Шаг перестройки по частоте выбирается или логарифмическим или линейным (таблица 2.3) [196]. В работе [54] для ускорения проведения испытаний рекомендуется воздействовать на объект только на нескольких резонансных частотах. Однако опыт испытаний показывает, что чем больше шаг, тем больше вероятность пропуска частот, на которых низкая помехоустойчивость электрооборудования АТС.



Рисунок 2.21 – Испытания на помехоустойчивость АТС в БЭК с применением излучающих антенн

Таблица 2.3 – 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

При сертификации по требованиям качества, регламентируется воздействовать на объект полем со следующими параметрами:

– амплитудная модуляция 1 кГц с коэффициентом 0,8 модуляции в диапазоне частот 20–800 МГц;

– импульсная модуляция с длительностью 577 мкс и периодом 4600 мкс в диапазоне от 0,8 до 2 ГГц МГц.

Время воздействия на заданной частоте должно составлять как минимум 2 с. В процессе тестирования АТС устанавливается на роликовый стенд и движется со скоростью 50 км/ч. Для тихоходного автотранспорта скорость задается 25 км/ч.

Расстояние между антенной и АТС выбирается из условия покрытия фронтальной плоскости автомобиля основным лепестком диаграммы направленности антенны [197]. В соответствии с международными требованиями [254] в основном автотранспортное средство устанавливается передней частью к полеобразующей системе. Если бортовые электротехнические системы также располагаются в задней части или на боковой стороне, то АТС при испытаниях ориентируется соответствующей частью к антенне [254].

Для повышения электромагнитной безопасности своей продукции, а следовательно для улучшения качества, ведущие автопроизводители разрабатывают внутренние стандарты, по которым тесты проходят в более жестких условиях. Применяется более расширенный диапазон частот, например, от 100 кГц до 3,2 ГГц. В процессе испытаний создается более мощные поля, как минимум в два раза больше, чем регламентируют международные требования. Дополнительно воздействуют горизонтально поляризованным полем. Применяются различные виды сигналов. Наиболее распространенные воздействия представлены на рисунке 2.22 [196].

Для контроля качества функционирования бортовых электротехнических систем разрабатываются специальные тесты, которые учитывают специфические особенности работы данных систем [69].

Все больше приобретает значимость испытаний АТС к воздействию бортовых передатчиков [198, 261]. Существуют две разновидности тестов, отличающихся расположением передающей антенны по отношению к кузову. В

одном случае излучатель располагается на кузове АТС. Сигнал поступает на антенну от внешнего источника, например, от бортовой радиостанции или усилителя мощности. В другом случае излучатель, имитирующий портативный приемо-передатчик со встроенной антенной устанавливается внутри кузова АТС. Антенна во время испытаний не только размещается в тех местах, где по документации могут быть в эксплуатации расположен передатчик, но и позиционируется в трех взаимно перпендикулярных плоскостях. Как правило, воздействие осуществляется следующими типами сигналов: TDMA/FDMA, SSB, Telegraphy, AM, FM, Tetra.

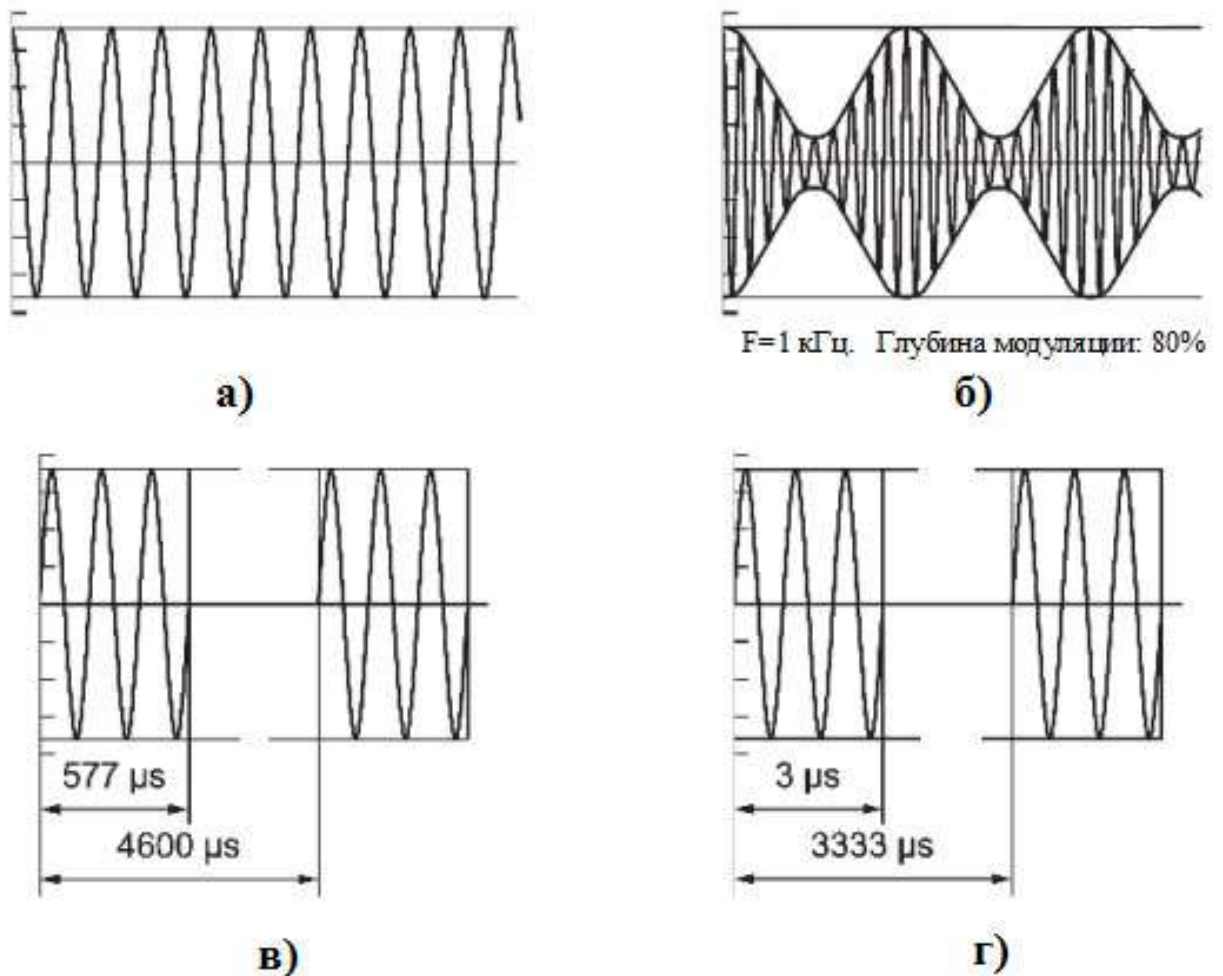


Рисунок 2.22 – Типовые виды воздействующих сигналов: а) немодулированный; б) амплитудно-модулированный; в) импульсно-модулированный (тип №1); г) импульсно-модулированный (тип №2)

При испытаниях на оценку качества по параметрам помехоустойчивости к

электромагнитным полям промышленной частоты воздействие производится электрической и магнитной составляющими. Тестирование электрическим полем осуществляется в полосковых линиях (рисунок 2.23), а магнитным – с применением катушек Гельмгольца (рисунок 2.24) [69, 186, 191].

АТС специального назначения подвергаются испытаниям к удару молнии (рисунок 2.25) [6, 230], а также полями контактной сети железных дорог и ядерного взрыва [36].

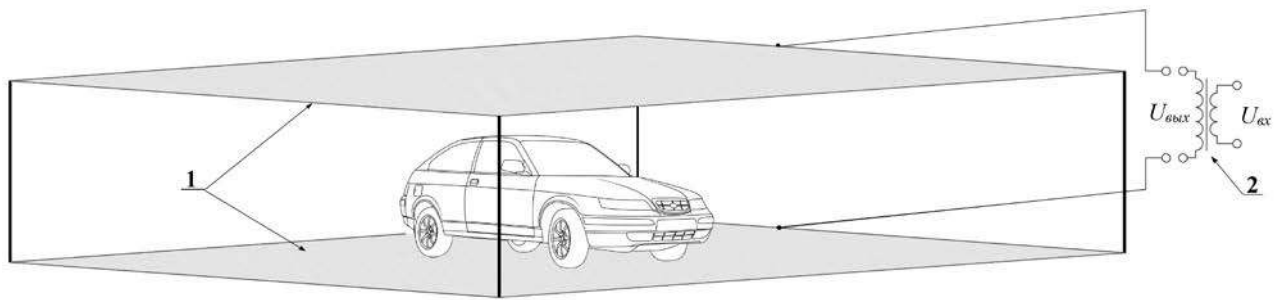


Рисунок 2.23 – Тестирование АТС на устойчивость к электрическому полю промышленной частоты: 1 – полосковая система; 2 – генератор

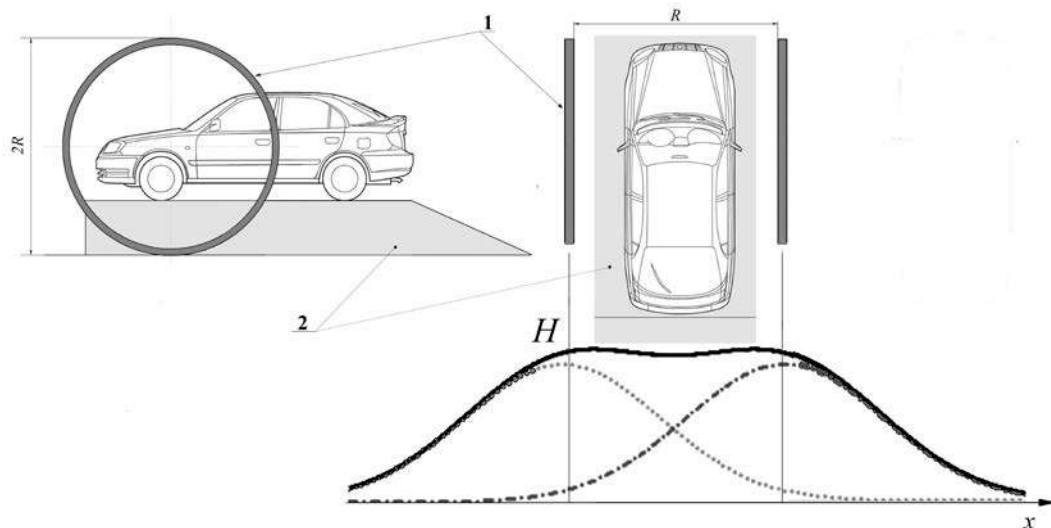


Рисунок 2.24 – Тестирование АТС на устойчивость к магнитному полю промышленной частоты: 1 – катушки Гельмгольца; 2 – диэлектрическая подставка

Все типовые испытания на оценку качества, по отношению к полеобразующей системе проводятся при одном или нескольких

фиксированных положениях. Это, для случая АТС как сложной приемной антенны, не является достаточным. Данный подход не позволяет оценить АТС на помехоустойчивость с тех направлений, где на некоторой частоте или диапазоне, щели и отверстия в кузове формируют эффективную приемную антенну.

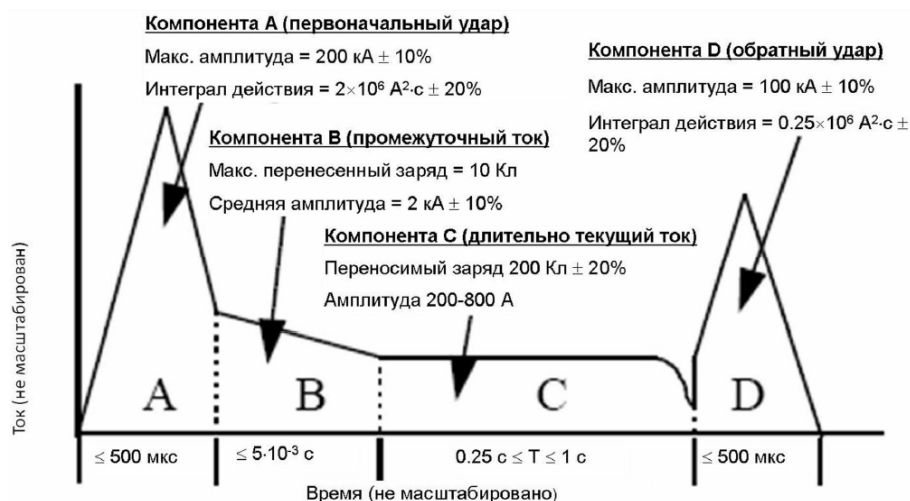


Рисунок 2.25 – Испытательный импульс удара молнии

Анализ типовых методов испытаний по оценке качества по параметрам помехоустойчивости, показывает их неполноту для более достаточной оценки АТС по параметрам ЭМС. Это определяет неучтенные риски в эксплуатации. Необходима работа по совершенствованию методов в части критериев позиционирования относительно полеобразующей системы, шага перестройки по частоте и параметров импульсных воздействий. Данные направления являются предметом более детальных исследований.

2.5 Типовые решения, применяемые для обеспечения качества автомобилей по параметрам помехоустойчивости при проектировании и в производстве

Для нормальной функционирования бортового электрооборудования АТС уже на этапе проектирования закладываются ЭМС решения. Правильно выбранная

концепция снижает время и финансовые затраты на разработку. Из практики известно, что при недостаточно должном ЭМС подходе, техническая система автомобиля не только перестает нормально функционировать, но и влияет на работоспособность других систем. Наиболее часто проблемы качества функционирования выявляются, когда разрабатывается принципиально новое устройство. Учет ЭМС на первоначальном этапе позволяет минимизировать ресурсы доработок для быстрого и эффективного обеспечения соответствия качества по установленным требованиям. Во многих случаях для решения проблем качества применяется комплексный подход.

Обобщая существующий опыт, можно дать следующую классификацию по способу реализации применяемым для обеспечения качества по параметрам помехоустойчивости решениям в области ЭМС, которая приведена на рисунке 2.26.

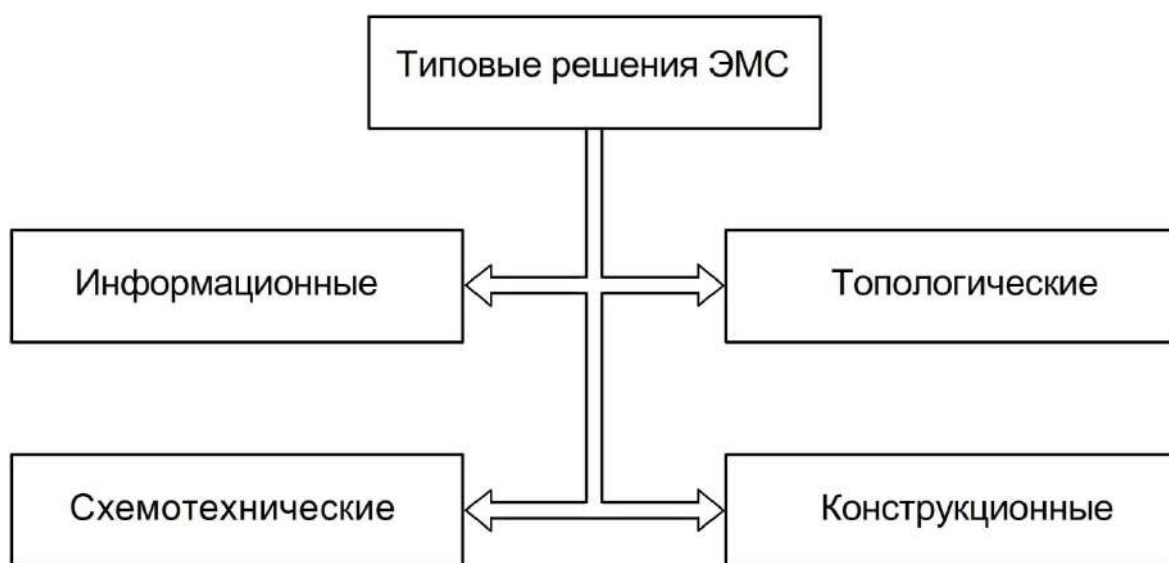


Рисунок 2.26 – Классификация типовых решений, применяемых для обеспечения качества автомобилей по параметрам помехоустойчивости

Информационные решения.

К данной группе относятся решения, принципы обеспечения качества в области ЭМС, которых основаны на применении помехозащищенной информации. Сюда входят сигналы, коды и программные решения [17, 69, 155, 158, 166, 182].

Сигналы лежат в основе всех информационных сообщений. При их искажении происходят ошибки приема данных, и нарушается работоспособность бортовой электроники. Вследствие чего целостность сигналов важна для нормального функционирования электрооборудования.

В АТС используется аналоговая, так и цифровая передача информации. В основном аналоговые сигналы поступают с датчиков на входе систем управления, с дальнейшим преобразованием в цифровой формат (рисунок 2.27). Внутри и межсистемные коммуникации производятся посредством цифровых сигналов [128].

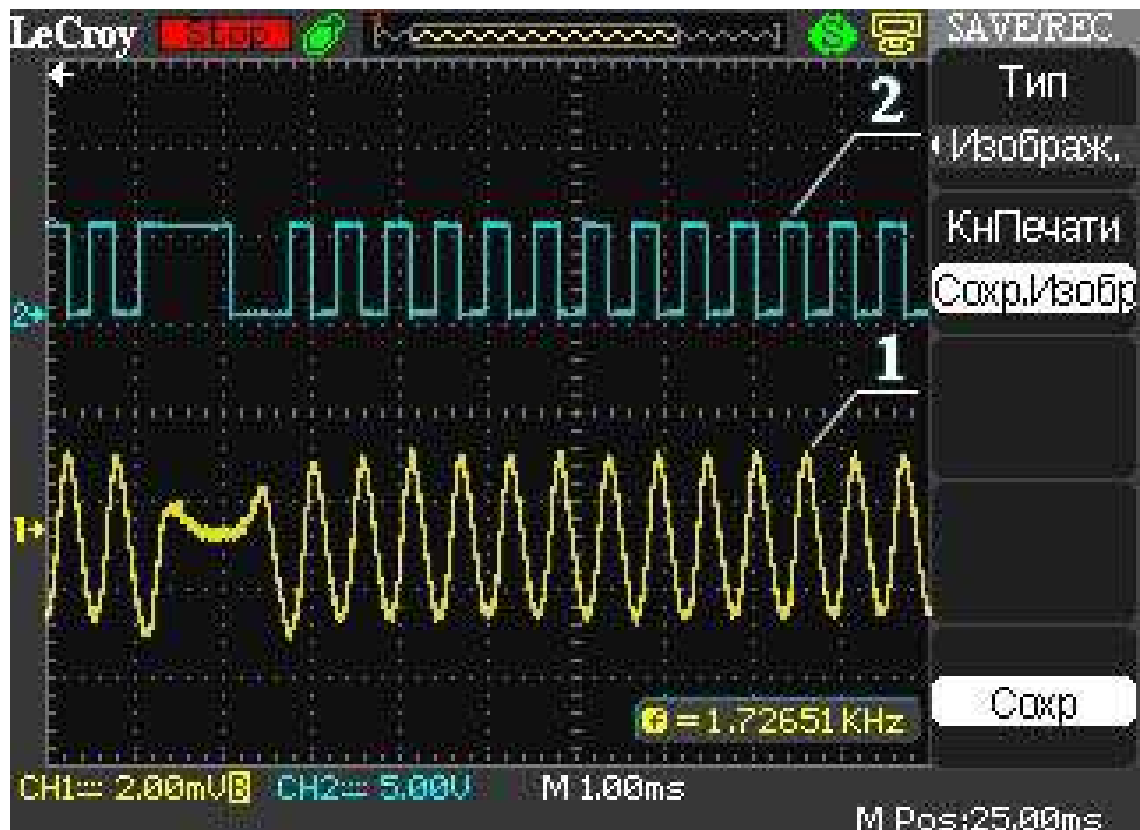


Рисунок 2.27 – Сигналы датчика положения коленчатого вала:
1 – аналоговый; 2 – цифровой, после преобразователя

Наименее помехозащищенными являются аналоговые сигналы, у которых амплитуда служит носителем информации. Физический процесс искажения заключается в изменении истинного значения $U_{ист}$ на некоторую величину, соответствующую наведенной помехе. Дальнейшая обработка информации производит по искаженным данным.

$$U_{\text{изм}} = U_{\text{ист}} \pm U_{\text{п}}, \quad (2.2)$$

где $U_{\text{изм}}$ – напряжение сигнала на входе устройства обработки; $U_{\text{ист}}$ – истинное значение сигнала; $U_{\text{п}}$ – напряжение помехи.

Уровень наведенных помех из-за линейности АТС, как электромагнитной системы [69], пропорционален уровню внешнего излучения. Если $U_{\text{п}}$ таково, что выходная функция управления выходит за допустимые пределы, то происходит нарушение функционирования АТС. Например, неправильное определение количества топлива из-за искажения данных массового объема воздуха подаваемого в цилиндры двигателя может привести к его остановке. Из-за наведенных помех на датчик массового расхода воздуха, контроллер системы управления скорректирует подачу топлива, вследствие чего в действительности получится обедненная или обогащенная топливовоздушная смесь. Если коэффициентом избытка воздуха $\alpha_{\text{ув}}$ [144] будет выходить за пределы 0,4 – 1,3, то фронт пламени в цилиндре не будет развиваться, и смесь не будет гореть. На рисунке 2.28 показана динамика развития сбоя в работе системы. На участке I уровень электромагнитного воздействия незначителен и сигнал с датчика массового расхода воздуха не искажен. Дальнейшее увеличение амплитуды внешнего излучения приводит к наведению помех, достаточных для появления ошибки управления, выражающейся в обогащении топливовоздушной смеси. Участок II характеризуется достижением значения $\alpha_{\text{ув}} = 0,8$ и двигатель выходит на точку характеристики максимальной мощности. Это обуславливает приращению оборотов с n_1 до n_2 . Дальнейшее увеличение уровня излучения приводит к уменьшению коэффициента избытка воздуха, и соответственно и мощности двигателя. На участке III обороты падают, а затем, когда уровень помех становится такой, что фактический $\alpha_{\text{ув}} < 0,4$, двигатель останавливается (участок IV).

Основной путь повышения качества по параметрам помехозащищенности информации с датчиков является применение частотно-модулированных сигналов (рисунке 2.29).

Для повышения качества по параметрам помехозащищенности цифровой информации применяются дифференциальные сигналы (рисунке 2.30), в которых синфазная наведенная помеха подавляется более чем 50 дБ. Ее коэффициент ослабления равен

$$k_{\text{осс}} = \frac{U_{\text{сф}}}{U_{\text{д}}} = \frac{U_{\text{вх1}} + U_{\text{вх2}}}{2(U_{\text{вх1}} - U_{\text{вх2}})}, \quad (2.3)$$

где $U_{\text{сф}}$ – напряжение синфазного сигнала; $U_{\text{д}}$ – напряжение дифференциального сигнала; $U_{\text{вх1}}$ и $U_{\text{вх2}}$ – составляющие напряжения дифференциального сигнала.

Однако эффективное подавление помехи достигается только в области рабочей полосы электрической схемы.

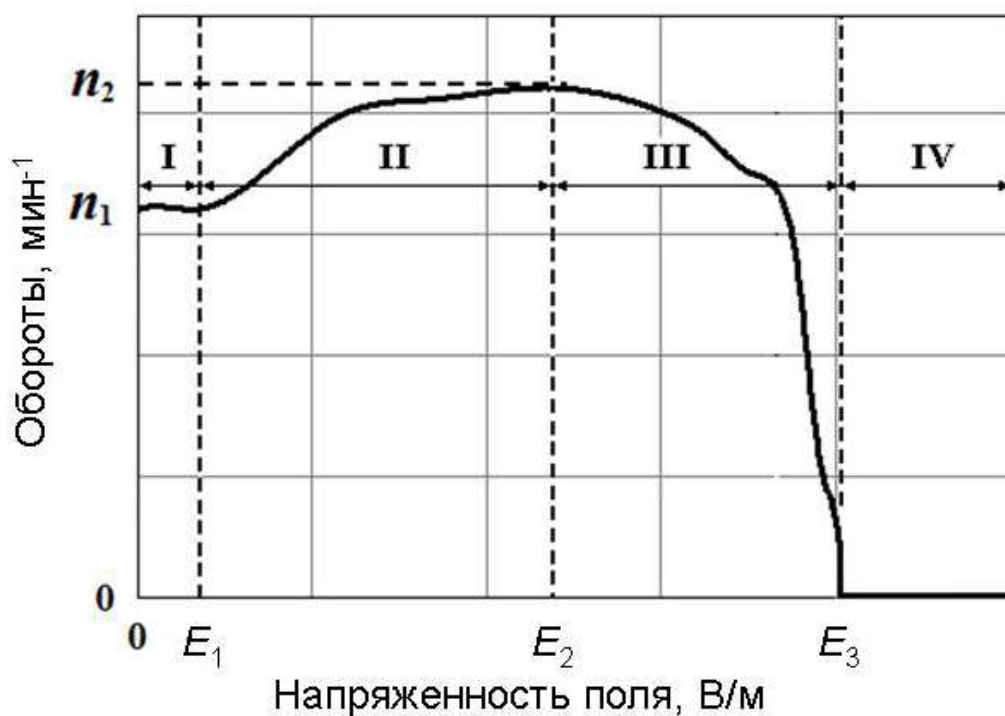


Рисунок 2.28 – Развитие сбоя двигателя при искажении информации о поступающем в цилиндры воздухе

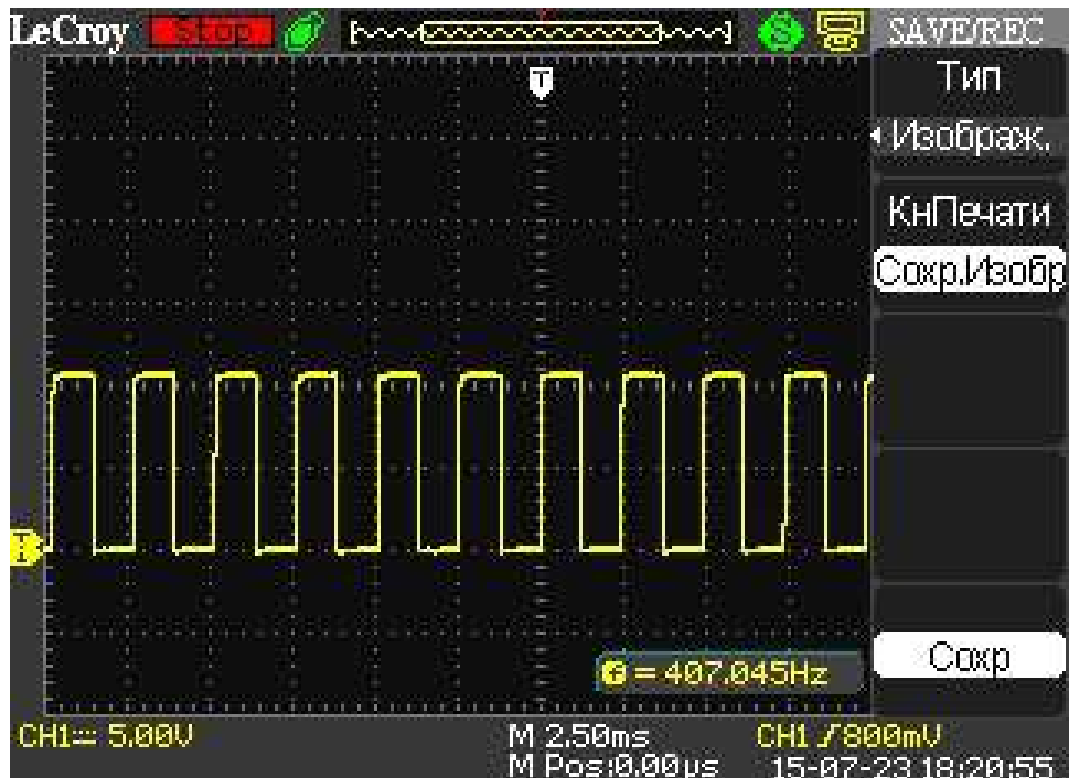


Рисунок 2.29 – Частотно-модулированный сигнал с датчика массового расхода воздуха

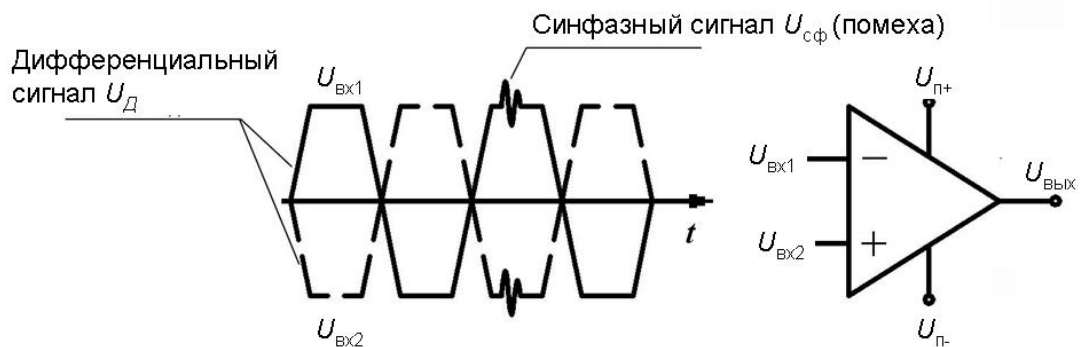


Рисунок 2.30 – Дифференциальный сигнал

На протокольном уровне повышение качества по параметрам помехозащищенности достигается применением кодированных последовательностей. В современных сетях АТС в основном используются CAN-протоколы, имеющие типовую скорость передачи данных 500 кбит/с. Данная скорость оптимальна для длины шины 5 м. Нормальная работоспособность CAN-шины сохраняется при ее загрузке не более 55%. В некоторых случаях могут использоваться CAN-шины с другими скоростями,

например, мультимедийные низкоскоростные 125 кбит/с, или 1 Мбит/с, объединяющие группу из 2–3 устройств [87].

Особенностью CAN протокола является отсутствие информации о ее конфигурации. Поэтому устройства могут быть включены в сеть без какого-либо изменения программного обеспечения. Внутри CAN-шины любое сообщение принимается всеми узлами. Содержание внутри сообщения определяется идентификатором, который описывает значение данных, таким образом, чтобы все устройства, подключенные в сеть, могли решить фильтрацией возможность воздействовать на данное сообщение или нет. CAN шина имеет одно из двух возможных логических значений: «recessive» или «dominant». Напряжение логического «0» соответствует доминантному физическому состоянию, напряжение логической «1» - рецессивному.

Data frame или кадр имеет семь полей: «start of frame» – 1 бит; «arbitration field» – 11 бит; «control field» – 6 бит; «data field» от 0 до 8 байт; «CRC field» – длина определяется параметрами передаваемого потока данных; «ACK field» – 2 бита и «end of frame» – 7 бит. Между кадрами идет минимум 3 бита, имеющих логический уровень «1». Если в шине отсутствуют сообщения, то в ней устанавливается уровень «recessive». При передаче сообщения «Начало кадра» устройство, начавшее передачу данных, устанавливает в шине уровень «dominant». Если передачу информации начали вести одновременно два или более устройств, то приоритетное сообщение выбирается по второму полю идентификатора (рисунок 2.31).

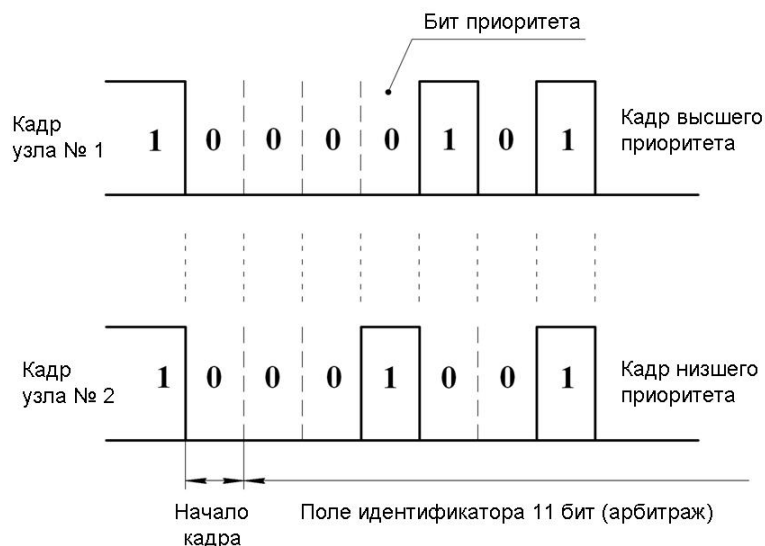


Рисунок 2.31 – Принцип арбитража в CAN-шине

Алгоритмы, заложенные в CAN-протокол, определяют его помехозащищенность. Проверка кадров на целостность проверяется в поле «CRC». Вероятность ошибки для необнаруженных искаженных сообщений составляет $P=4,7 \cdot 10^{-11}$. После передачи фрейма все устройства проверяют непротиворечивость получаемого информации, затем подтверждают непротиворечивость информации или помечают противоречивые посылки. Если передатчик передал искаженное сообщение «ERROR FRAME», то он заново повторяет его передачу.

Устройство может иметь одно из трех состояний: активная/пассивная ошибка, а также отключение от CAN-шины. При активной ошибке устройство не отключается и может нормально взаимодействовать с CAN-шиной. При пассивной ошибке устройство не может передавать сообщения, а только принимать и обрабатывать их. Если устройство переходит в состояние отключения от шины, то оно принимает, но не обрабатывает информацию. У каждого устройства есть счетчики ошибок передачи и приема. В зависимости от того сколько ошибок устройство будет переходить из одного состояния в другое, и может как отключаться от шины, так и самовосстанавливать свою работоспособность.

Помимо CAN в АТС локально реализуются протоколы пакетной передачи данных Ethernet, GSM, Wi-Fi и Bluetooth.

При обработке информации широко применяется программная фильтрация, реализуемая на принципах накопления и анализе получаемых данных [166, 175, 211, 216, 221, 258].

Одним из типовых решений в области улучшения качества, является введение временной задержки для исключения дребезга контактов. Как правило, она выбирается исходя из компромиссных условий – достижения наиболее максимального подавления помех и приемлемого отклика системы. В числовом выражении временная задержка задается в диапазоне 40–120 мс.

Другим видом программной фильтрации является анализ текущих данных по отношению к среднему значению (рисунок 2.32). Этим исключаются грубые ошибки.

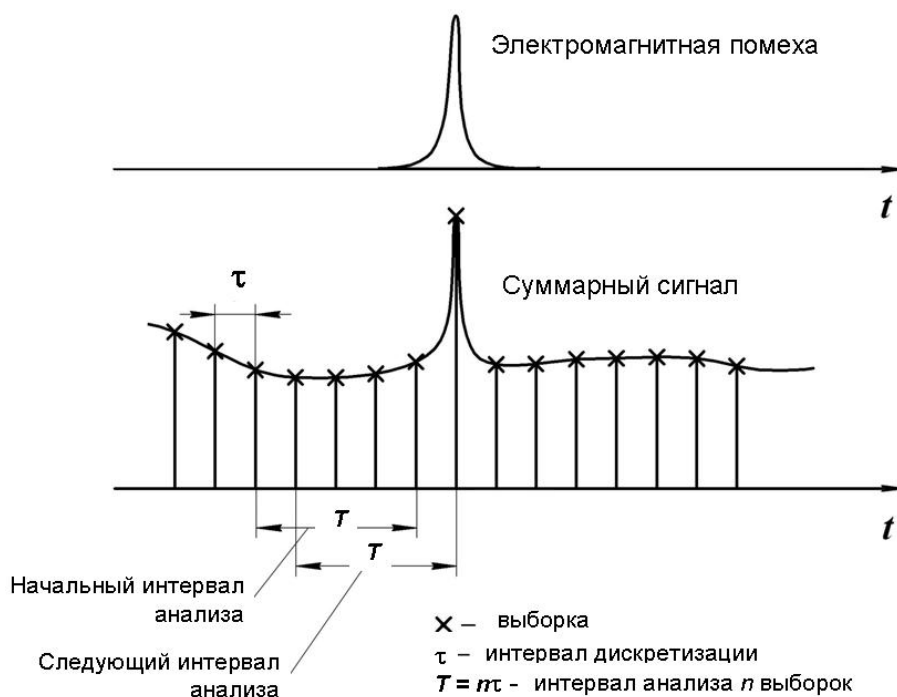


Рисунок 2.32 – Фильтрация грубых ошибок

Среднее значение вычисляется за серию предыдущих измерений и вычисляется дисперсия. Если последнее измерение попадает в заданное окно допуска, то оно учитывается в дальнейшей обработке. В другом случае при

выходе за допуск оно исключается из измерений, как грубая ошибка [888].

Широко применяются решения, обеспечивающие выход программы из неопределенного состояния [159, 160, 2215, 218, 236]. При появлении дестабилизирующего фактора, например, электромагнитной помехи, возникают в программе условия неоднозначности, и она уходит в неопределенное состояние. Для возвращения к исходной нормальной работоспособности необходимо принудительная перезагрузка или перезапуск. Для этого применяются решения на базе следящих схем. Принцип из работы заключается в получении признака функционирования от контролируемого объекта. На практике это некая информация, например, бит подтверждения по запросу, позволяющее однозначно идентифицировать текущее состояние системы. Один путь основан на использовании дублирующего микропроцессора. В этом случае каждый микропроцессор контролирует за работу другого. Если произошло зависание одного, второй его перезагружает. Второй путь базируется на применении сторожевого таймера (рисунок 2.33). В начальный момент времени работы сторожевой таймер системы запускает свой внутренний счетчик. При нормальном функционировании микропроцессор, через заданные периоды времени сбрасывает сторожевой таймер. При зависании микропроцессора таймер им не сбрасывается и происходит переполнение его внутреннего счетчика, после чего таймер формирует сигнал «Reset», который перезагружающий микропроцессор.

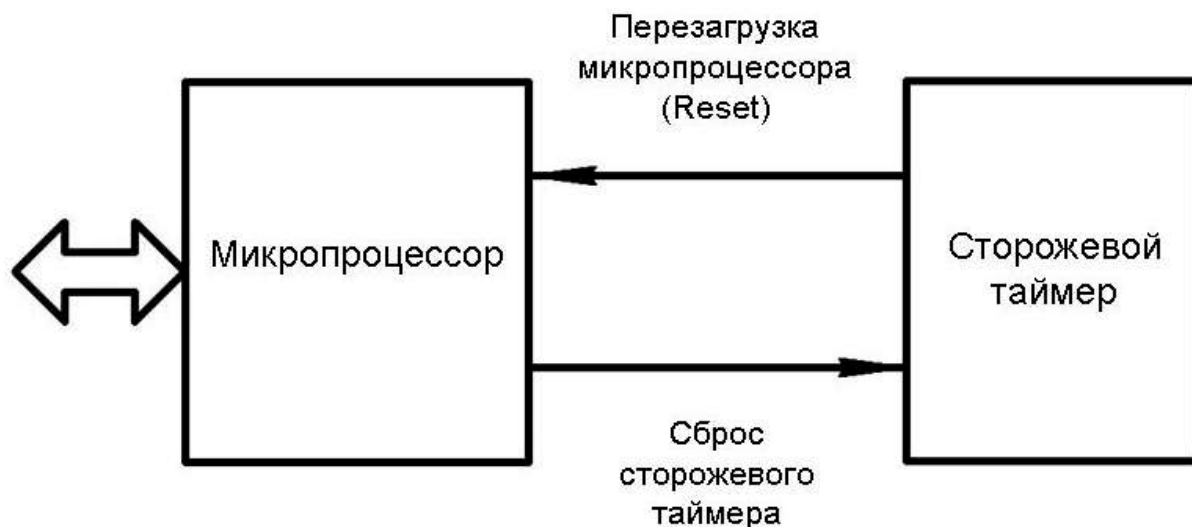


Рисунок 2.33 – Следящая схема перезагрузки микропроцессора на базе сторожевого таймера

Топологические решения применяются для обеспечения качества функционирования систем по параметрам ЭМС исполнения информационных и силовых линий и широко применяются при проектировании печатных плат и трассировке жгутов проводов [41, 46, 47, 63].

При неправильном проектировании печатной платы электронная система будет иметь низкую помехозащищенность и соответственно вероятность нарушения ее работоспособности возрастает. Для современных высокоскоростных схем печатная плата рассматривается как линия с распределенными и сосредоточенными элементами, которые зависят от проводящего рисунка, магнитной и диэлектрической проницаемостями. Шины питания, для подавления помех, имеют высокую емкость. Для сигнальных линий критерием является обеспечение волнового сопротивления в диапазоне 40–120 Ом. Для каждой система выбирается свое оптимальное значение волнового сопротивления. Так для CAN-шины оно составляет 120 Ом, а для радиотехнических систем, например, система ЭРА ГЛОНАСС – 50 Ом. Сложность реализации одинакового волнового сопротивления по всей длине трассы определяется имеющимися на ней неоднородностями. Для их минимизации оптимизируются конфигурация проводников за счет

рациональных поворотов в виде закруглений и минимизации геометрических размеров металлизированных отверстий.

Не маловажным моментом обеспечения качества продукции, является организация взаимной трассировки прямого и возвратного проводников. Большая площадь контура определяет высокий уровень наведенных в нем помех. Рациональная конфигурация прямого и возвратного проводников подразумевает их прохождение рядом без расхождений (рисунок 2.34), а наилучшим решением в качестве возвратного проводника является плоскость [167, 168, 192, 212, 220, 234, 237, 257]. Аналогичное правило применяется при осуществлении соединений между различными платами.

Обеспечение параметров ЭМС также достигается минимизацией длин проводников печатной платы [45], т.к. короткие проводники являются менее эффективными приемными антеннами.

Одной из основных проблем ЭМС в печатных платах являются перекрестные помехи, передающиеся по емкостной и по индуктивной связям (рисунок 2.35). Наиболее подвержены их влиянию близкорасположенные сигнальные линии [217, 234, 264].

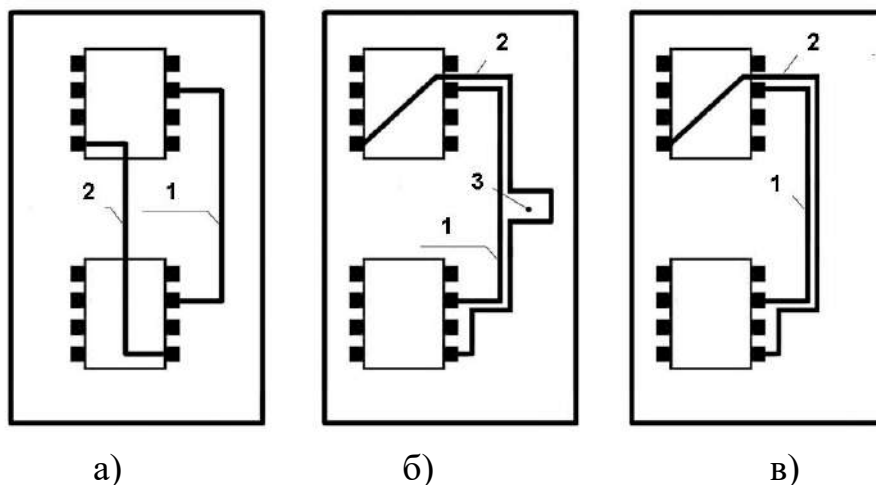


Рисунок 2.34 – Реализация трассы печатного рисунка: а) не рационально (большая площадь контура); б) не рационально (неоднородность волнового сопротивления); в) рационально; 1 – прямой проводник; 2 – возвратный проводник; 3 – зона неоднородности

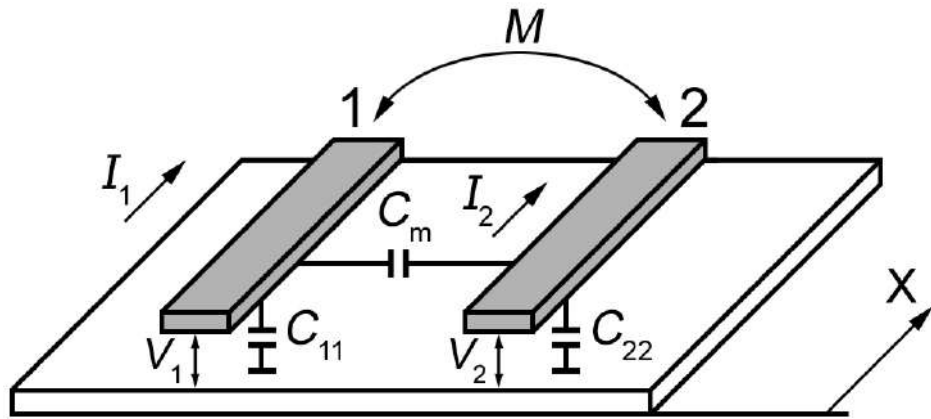


Рисунок 2.35 – Взаимодействие линий передач при образовании перекрестных помех: 1 – источник; 2 – рецептор

Перекрестные помехи уменьшаются за счет использования проводящих слоев для возвратного пути; снижения длины проводников; преимущественного использования микрополосковых линий передач; уменьшение волнового сопротивления; использования материалов с малой диэлектрической проницаемостью; сближения сигнальных и возвратных трасс в выводах корпусов микросхем и соединителях; использования защитных трасс с закорачивающими металлизированными отверстиями на концах и по длине, а также расположения сигнальных линий перпендикулярно друг другу [183, 185, 193, 263]. Для надежной работы схемы приемлемый уровень перекрестных помех составляет 5%.

Минимизация внутрисистемных помех достигается зонированием, суть которого сводится к разнесению на плате аналоговых и цифровых элементов, высокочастотных и низкочастотных узлов, а также мощных и сигнальных.

Наиболее часто плоскость заземления разделяют на две зоны (рисунок 2.36). В этом случае щель в плоскости заземления полностью прерывает возвратные токи.



Рисунок 2.36 – Контур возвратных токов при зонировании аналоговой и цифровой схем

Обеспечение высокого качества при проектировании печатных плат обеспечивается разнесением потенциальных слоев аналоговых и цифровых схем, т.к. если между ними имеется перекрытие, то образованная между слоями емкость в этой области будет обеспечивать путь для помех из одной части схемы к другой. Важным правилом является расположение электронных компонентов так, чтобы их плоскости заземления и питания были сгруппированы вместе и не перекрывались [178, 235].

При разработке схем на многослойных печатных платах формируются полосковые линии передач, а также схема распределения электропитания с минимизацией полного сопротивления. Эти достигается последовательным набором полосковых линий, с ориентацией их потенциальными слоями друг к другу. Соседние потенциальные слои запитываются напряжением питания или являются плоскостями заземления. В этом случае образуются планарные конденсаторы, минимизирующие на высоких частотах полное сопротивление.

При проектировании жгутов проводов АТС в основном применяются аналогичные принципы повышения качества по параметрам помехозащищенности, что и при проектировании печатных плат, но в другой реализации.

Наиболее распространены малозатратные способы, позволяющие уменьшить площадь контура. Основной из них базируется на соблюдении технологии сборки жгутов, где в процессе производства обеспечивается наиболее возможно близкая прокладка между возвратным и прямым проводниками на всей длине трассы. Эффективно применение витой пары. Ее электрические параметры зависят от шага скрутки, и типа проводов [262]. Эффективность витой пары повышается с увеличением числа витков на удельную единицу длины. Ослабление помех неэкранированной витой пары составляет 13–55 дБ.

Разнесение проводов позволяет достаточно эффективно обеспечить высокое качество по параметрам ЭМС. Задача заключается в удалении высокочувствительных проводов от цепей, являющихся источниками на максимально возможном расстоянии, чтобы наведенные помехи не оказывали влияние на функционирование бортового электрооборудования [154, 157, 213].

Трассировку проводов осуществляют в соответствии с их классами. Класс 1 - провода, для передачи очень чувствительных сигналов. Класс 2 - провода, для передачи менее чувствительных сигналов. Класс 3 и класс 4 - провода, несущие слабо и сильно воздействующие сигналы соответственно. Маршруты проводов разносятся согласно их классам. Между каждым классом расстояние задается как можно больше. В соответствии с конструкторскими правилами проектирования [69] разнесение для параллельных проводов должно быть не менее 10 см между соседними классами.

На рисунке 2.37 показан пример неправильного расположения кабелей, вследствие которого были проблемы ЭМС. На приемную антенну АТС на частотах 100-110 МГц наводились внешним излучением с уровнем 40 В/м электромагнитные помехи и распространялись по антенному кабелю. Далее по емкостной связи они переносились на USB кабель флэш-накопителя. Из-за этого нарушалось нормальное функционирование USB порта мультимедийной системы.

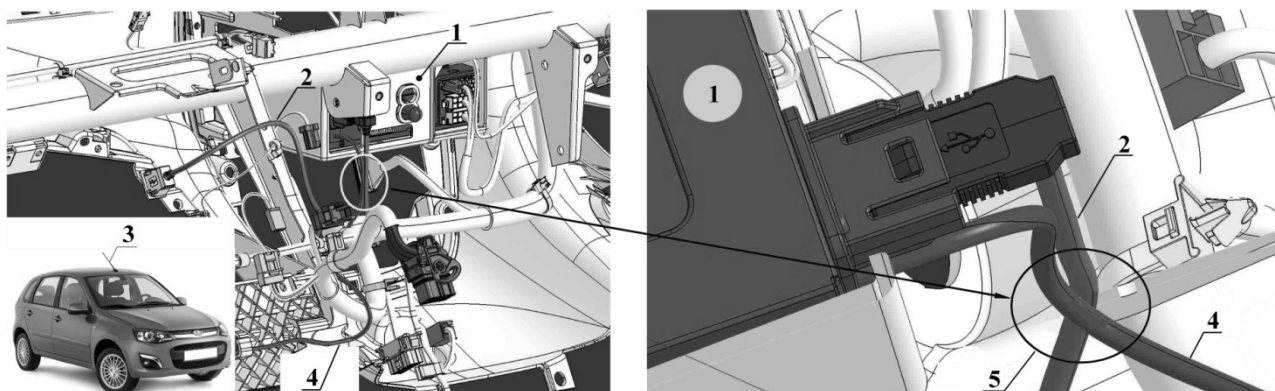


Рисунок 2.37 – Неоптимальная трассировка кабелей: 1 – мультимедийная система; 2 – USB кабель флеш-накопителя; 3 – антенна; 4 – антенный кабель; 5 – место сближения USB и антенного кабелей

Показатели качества по параметрам ЭМС жгутов проводов значительно улучшаются за счет включения нескольких дополнительных возвратных проводников [69]. Данное решение уменьшает площадь контура между прямыми и возвратными проводниками. При расположении дополнительных проводом регулярно по всему жгуту, то показатели ЭМС будут улучшены на 10 дБ до частоты 200 МГц. Оптимальное решение заключается в организации у каждого сигнального или силового проводника одного возвратного. Наиболее рациональным является исполнение, при котором два сигнальных провода разнесены на расстояние за счет установки между ними двух возвратных проводников.

Повышение качества помехозащищенности жгутов достигается оптимизацией их трассы, которая базируется на основах взаимодействия электромагнитного поля и поверхностей с высокой проводимостью. Согласно решениям уравнений Максвелла электрические линии перпендикулярны металлической поверхности. В местах кузова, где две металлические поверхности соединяются с образованием неразвернутого угла, концентрация линий напряженности поля минимальна, т.к. не выполняется условие $\vec{E}_{tg} = 0$, а где переход выполнен плавным изгибом, там концентрация линий напряженности поля больше, чем в неразвернутом угле (рисунок 2.38). Очевидно что на провод не лежащий на металлической поверхности будут со

всех сторон замыкаются силовые линии поля, в том числе и помех. Отсюда вытекают правила трассировки. Снижение уровня наводимых помех осуществляется прокладкой проводника вдоль плоской проводящей поверхности, что как минимум исключается сектор воздействия помех 180 град. Более защищены провода и жгуты прокладываемые вдоль углов или в канале.

В качестве примера на рисунке 2.39 представлена оптимальной с позиции ЭМС трехмерная модель трассы жгута. Исследования показывают, что при правильном подходе помехозащищенность увеличивается на 10–20 дБ.

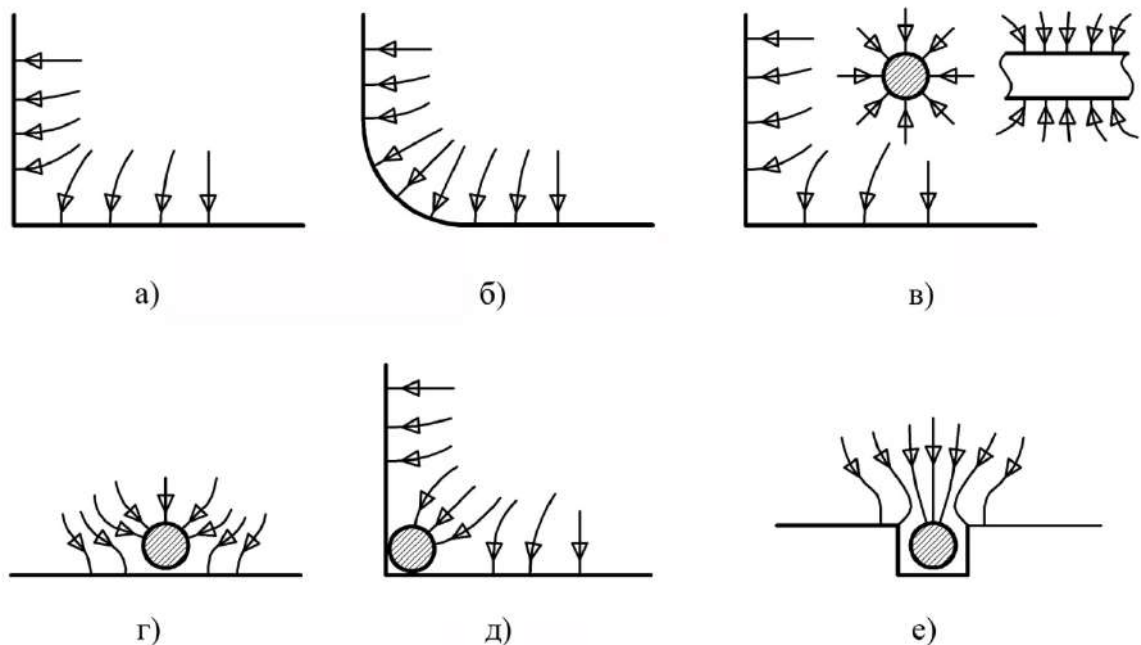


Рисунок 2.38 – Распределение линий электрического поля на металле:
а) неразвернутый угол; б) плавный переход; в) проводник в свободном пространстве; г) проводник на металлической поверхности;
д) проводник, в неразвернутом угле; е) проводник в канале

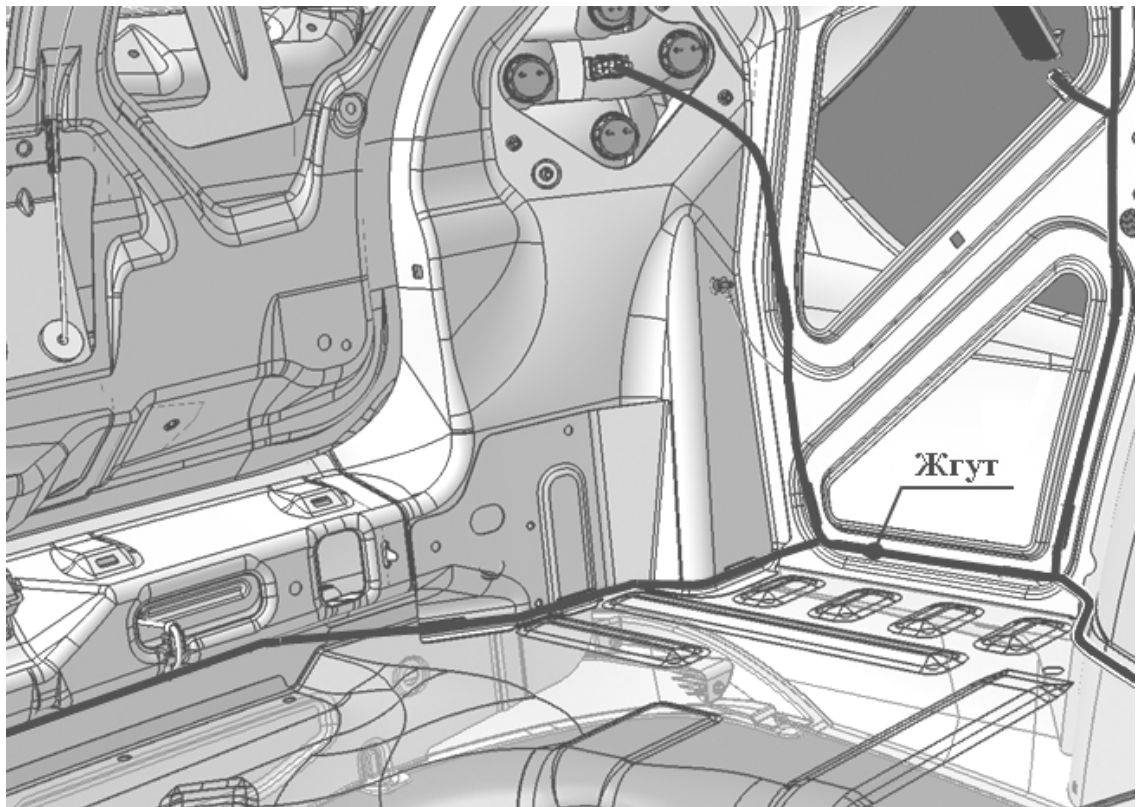


Рисунок 2.39 – Оптимальная трасса жгута в кузове АТС

Правильная организация эквипотенциальной поверхности заземления является одним из эффективных решений уменьшения уровня помех. На практике проводники заземления имеют комплексное сопротивление, зависящее от их геометрических размеров и увеличивающееся с возрастанием частоты:

$$Z_3 = \sqrt{R_3^2 + (2\pi f L_3^2)}, \quad (2.4)$$

где R_3 и L_3 – активное сопротивление и индуктивность провода.

При прочих равных условиях на высоких частотах существенно влияет индуктивность проводов, и поэтому две разнесенные точки заземления имеют отличающийся потенциал, что определяет проблемы ЭМС.

Заземление осуществляется по одноточечной и многоточечной схемам [71] (рисунок 2.40). Одноточечное заземление может быть организовано в виде последовательного и параллельного подключения.

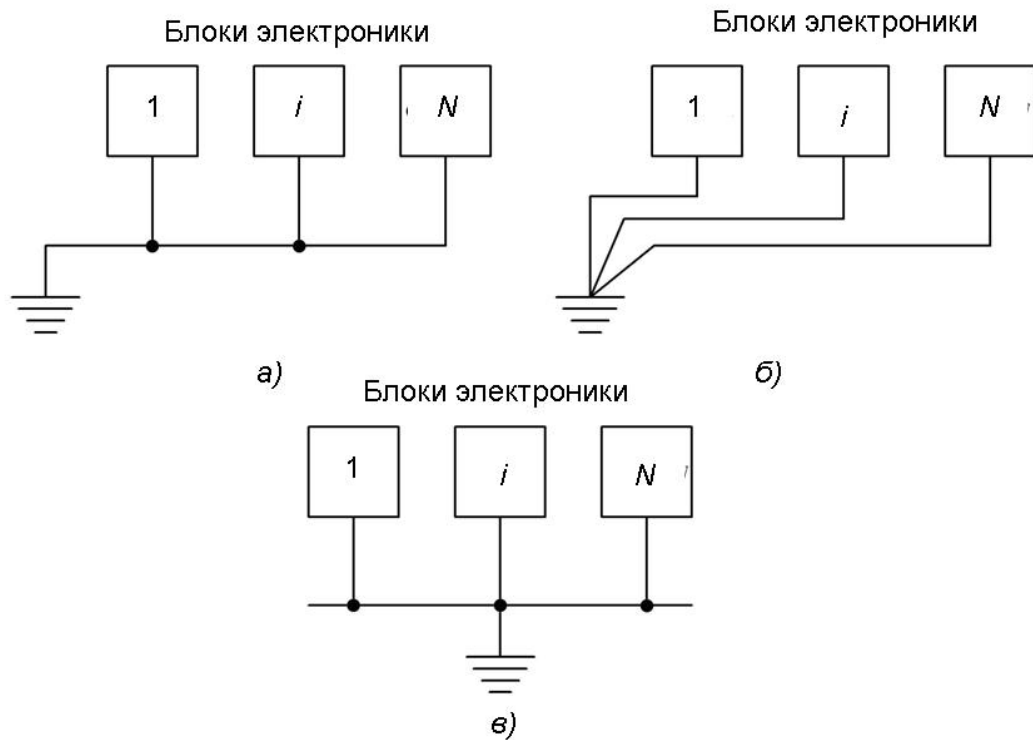


Рисунок 2.40 – Схемы заземления: а) одноточечное последовательное; б) одноточечное параллельное; в) многоточечное

При решении задач по улучшению качества электротехнических систем автомобилей по параметрам ЭМС одноточечную последовательную схему не рекомендуется применять в цепях с большим разбросом потребляемых мощностей, т.к. в каждой точке подключения конкретной схемы напряжение будет отличаться от других. Потенциал зависит не только от сопротивления провода заземления, а также и от потребляемой каждой схемой силы тока.

Недостатки последовательной схемы устраняются в параллельной, но к недостаткам относится большое количество проводов. Если какой-либо провод заземления соизмерим с длиной волны внешней помехи, то он работает как антенна. Чтобы одноточечное заземление было ЭМС эффективно, следует делать провода не более $1/20$ самой короткой длины волны электромагнитной помехи.

На высоких частотах наиболее эффективно работает многоточечная схема заземления вследствие низкой индуктивности трассы, которая по отношению к опорной плоскости делается как можно короче.

Для обеспечения параметров ЭМС применяется схема с разделенными соединениями. Провода или линии заземления организуются по трем типам: сигнальные, слаботочные, силовые и корпусные.

Схемотехнические решения.

Схемотехнические ЭМС решения позволяют компенсировать ошибки конструкторов, допущенные при комплексном проектировании системы. Как типовой пример, при высокой помехоэмиссии от источника, обеспечение качества по параметрам помехоустойчивости может решиться применением помехозащиты рецептора.

В общем, решения направлены на подавление некоторой области спектра и ограничения амплитуды помех и строятся они на основе пассивных и активных элементов. К пассивным компонентам относятся резисторы, конденсаторы и индуктивности, а к активным – компоненты с нелинейной вольт-амперной характеристикой.

Все пассивные элементы имеют паразитные составляющие: сопротивление, индуктивность и емкость, из-за чего на высоких частотах их реальные характеристики отличаются от идеальных. Учета паразитных параметров позволяет обеспечить соответствие параметрам ЭМС у АТС.

На основе пассивных элементов проектируются все помехоподавляющие фильтры. Принцип их работы основан на создании преднамеренной неоднородности в волновом сопротивлении линии передачи, отражении энергии или поглощении помехового сигнала. Для обеспечения ЭМС, в подавляющих случаях, применяются R , L и C фильтры нижних частот, основные схемы которых приведены на рисунке 2.41. Часто применяются фильтры в однокомпонентном исполнении. Часто достаточно применение в цепи только индуктивности или шунтирующей емкости.

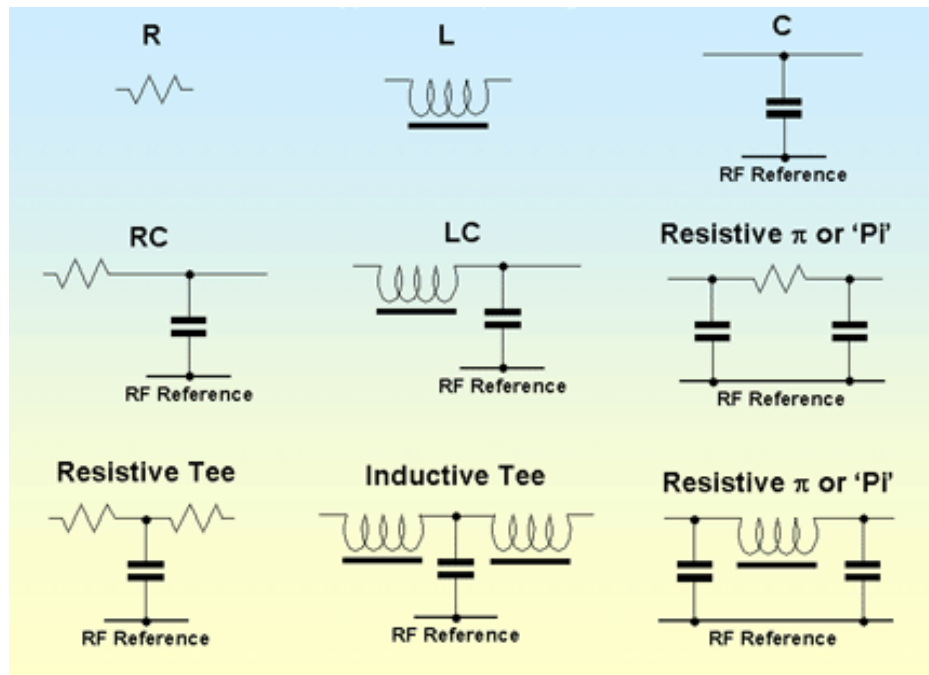


Рисунок 2.41 – Основные типы простых R , L и C фильтров

Все элементы имеют паразитные параметры. На практике наиболее применимы RC -фильтры, т.к. они не имеют выраженных резонансов.

Если в схеме из-за опорной плоскости и возвратного проводника может образовываться паразитный контур заземления, и в ней нет связи по постоянному току, то для его исключения применяется трансформатора, обеспечивая гальваническую развязку (рисунок 2.42). Для обеспечения гальванической развязки сигнальных линий применяется оптрон или оптопара. Такая линия связи не восприимчива к электромагнитным воздействиям.

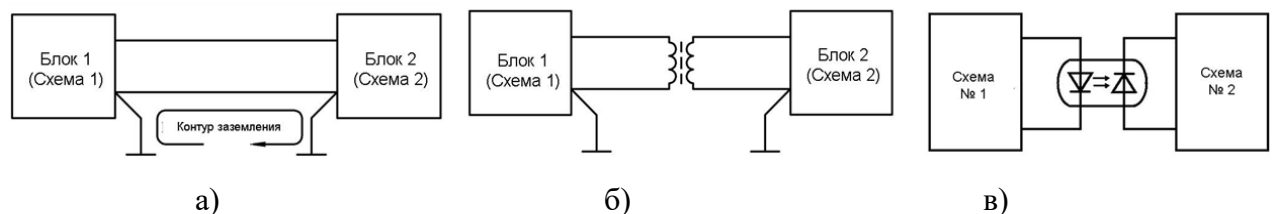


Рисунок 2.42 – Гальваническая развязка: а) контур заземления; б) развязывающий трансформатор; в) оптопара

Ограничители перенапряжений применяют для уменьшения амплитуды переходных процессов, которые создаются при работе мощного электрооборудования АТС. В схеме они подключаются параллельно

защищаемой цепи. Когда напряжения на ограничителе выше порогового уровня, они переключаются с высокого на низкое сопротивление. Наибольшее применение в схемотехнике АТС нашли три основных типа ограничителей напряжения: металлический окисный варистор, лавинный диод и кремниевый управляемый выпрямитель (рисунок 2.43).

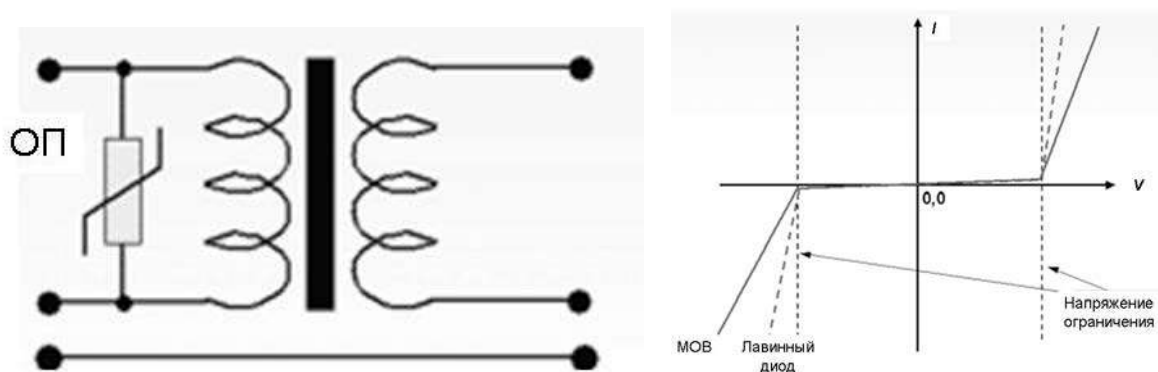


Рисунок 2.43 – Включение ограничителя напряжения в цепь и его характеристика

При проектировании электрооборудования АТС с использованием современной схемотехнической базы для обеспечения качества по параметрам помехозащищенности разработаны ряд правил проектирования [37, 45, 71, 161 - 163].

1. Выводы питания и заземления должны быть расположены близко друг к другу, т.к. это снизить индуктивность.
2. Увеличение числа соединений и контактов с опорной плоскостью.
3. Применение аналогово-цифровых преобразователей, т.к. цифровой сигнал, имеющий два логических состояния «0» и «1», а также в совокупности с цифровой фильтрацией, более помехозащищен чем аналоговый, имеющий два информативных состояния.
4. Применение компараторов предотвращает ложный переход состояния из-за помех.
5. Использование электронных компонентов с малой входной емкостью.
6. Применение дифференциальных схем, что позволяет сбалансировать информационные линии и подавить синфазные помехи.

7. Использование в электрической схеме усилителей для повышения соотношения сигнал/шум, который устанавливается как можно ближе к источнику усиливаемого сигнала.

8. Нагрузки должны быть согласованными или иметь как можно меньшее сопротивление.

9. Целесообразней применять пассивные фильтры вместо активных, т.к. при воздействии внешнего излучения они могут нарушать свою работоспособность.

10. Обеспечение фильтрации всех внешних межсоединений, предпочтительно с гальванической развязкой.

11. Для обеспечения помехоустойчивости работы схем необходимо применение развязки источников питания.

Конструкционные решения.

Данный класс решений включает в себя следующие подходы: разнесение источника и рецептора помех, оптимизация габаритных размеров изделий, использование помехозащищенных конструкций, размещение изделий в местах с минимальным уровнем воздействия и оптимизация элементов кузова. На практике сложно реализовать наилучшие решения по обеспечению качества с позиции ЭМС, т.к. это почти всегда вступает в противоречие с другими критериями: эргономикой, ремонтпригодностью, эстетикой, потребительским восприятием и экономической целесообразностью. Однако при обоснованном подходе они позволяют во многих случаях решить проблемы ЭМС [1, 27, 65, 75].

При разнесении в АТС источника и рецептора помех влияние минимизируется за счет уменьшения электромагнитного поля с расстоянием. Мощные источники или потенциальные переизлучатели располагаются как можно дальше от сигнальных, информационных или слаботочных цепей. Пример подобного рода ЭМС проблем рассмотрен в [41, 69], где антенный кабель проходил рядом с кабелем USB мультимедийной системы. Помехи,

наведенные на радиоприемную антенну АТС, перенаводились на USB кабель и нарушали работоспособность USB порта. ЭМС проблема решается при разнесении на расстояние антенного и USB входов (рисунок 2.44). Данное правило необходимо соблюдать по отношению к бортовым передатчикам, одним из которых является ЭРА ГЛОНАСС с модулем GSM.



Оптимально



Не оптимально

Рисунок 2.44 – Взаимное расположение антенного входа радиоприемника и USB порта мультимедийной системы: 1 – USB порт; 2 – антенный вход

Оптимизация габаритных размеров изделий является многокритериальной задачей. Необходимо учитывать много факторов: массогабаритные размеры, особенности компоновка, стойкость к механическим воздействиям и т.п. С позиции ЭМС минимизация размеров изделия за счет применения современных интегральных микросхем позволяет уменьшить площадь воздействия электромагнитных помех. Однако при очень плотном монтаже элементов высок риск невыполнения ЭМС правил проектирования схем на печатных платах.

Поэтому размеры изделия должны задаваться в конструкторской документации с учетом параметров помехоустойчивости [4, 20, 44].

Помехозащищенные конструкции изначально наиболее рационально применять для оборудования, которое высокочувствительно к электромагнитным помехам или является их мощным источником. Решения выбираются на основании анализа рассматриваемых систем, выполняющих заданный функционал, но отличающихся по конструктивному исполнению. Наиболее очевидным и наглядным примером является экранирование. Другим примером является реализация электромеханического усилителя рулевого управления на базе бесколлекторного электродвигателя (рисунок 2.45).

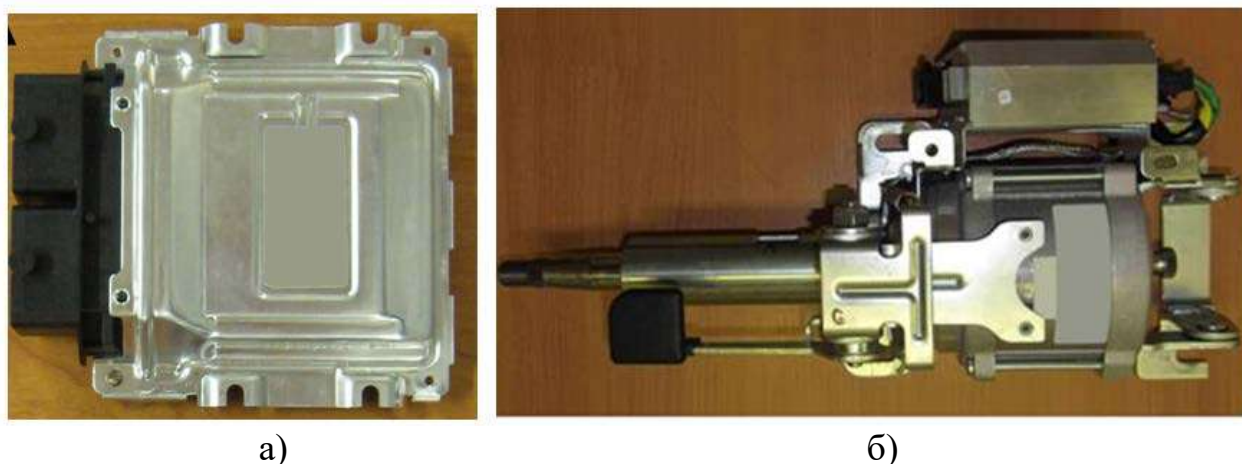


Рисунок 2.45 – Помехозащищенные конструкции: а) контроллер системы управления двигателем; б) электромеханический усилитель рулевого управления с бесколлекторным двигателем

Размещение бортовых изделий в местах с минимальным уровнем воздействия базируется на особенностях распределения электромагнитных волн в пространстве [11]. На любой металлический элемент, например, корпус, провода жгутов, печатную плату, происходит замыкание электрических линий поля, а контура являются магнитными антеннами. При размещении устройства в свободной области пространства силовые линии поля воздействуют на него во всей окружающей его сфере. Суть решений заключается в компоновке изделий в местах с наименьшим количеством силовых линий. Наиболее оптимальным расположением блоков является внутренняя поверхность кузова,

потому что исключается телесный сектор воздействия 180° . На рисунке 2.46 представлен пример компоновки контроллера системы управления двигателем в АТС.

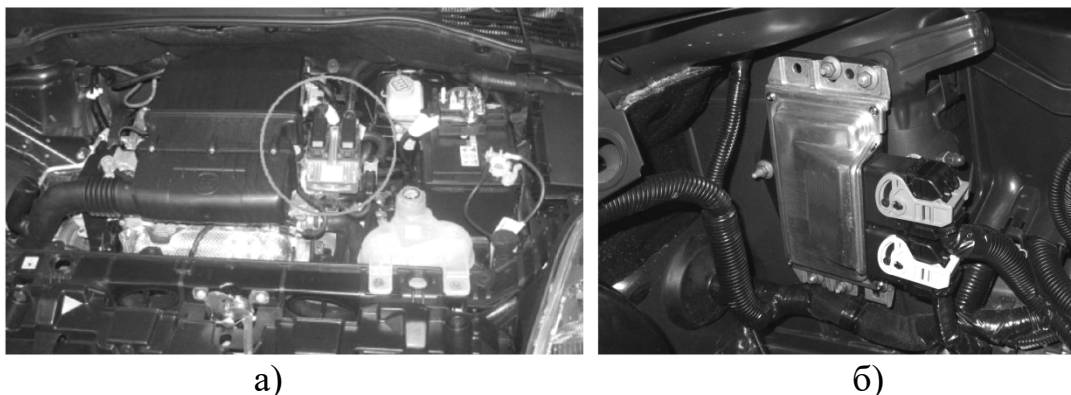


Рисунок 2.46 – Расположение контроллера системы управления двигателем в подкапотном пространстве АТС: а) в пространстве капота; б) на кузове

Оптимизация элементов кузова. АТС является сложной широкополосной антенной. Через отверстия и щели, обладающие определенными радиочастотными характеристиками, проникает электромагнитное поле. Меняя их взаимную ориентацию или конфигурацию уже на начальном этапе проекта можно заложить более высокие параметры качества помехоустойчивости АТС. Например, ориентация щели капота, определяет направление основного лепестка диаграммы направленности (рисунок 2.47) и при вертикальной ее ориентации минимизируется основное горизонтальное направление действия помех [248].

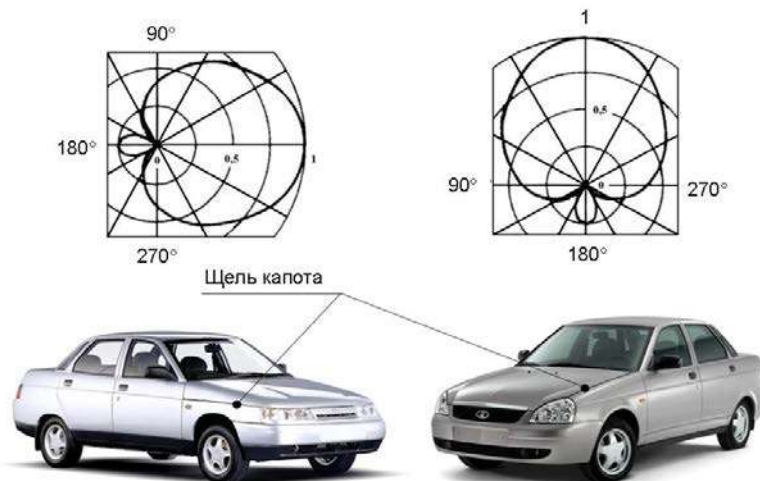


Рисунок 2.47 – Диаграммы направленности щели капота АТС в горизонтальной плоскости (схематично)

Наилучшие характеристики качества помехозащищенности достигаются при комбинированном применении различных решений. Например, типовым является сочетание конструкционных и схемотехнических решений, таких как совместное использование экранирования и фильтрации, или применение проходных фильтров. На рисунке 2.48 приведен пример использования проходных конденсаторов на печатной плате совместно с экраном. Конденсатор расположен на печатной плате так, чтобы его вход и выход были разделены стенкой экраном, а вывод заземления припаян плоскости заземления.

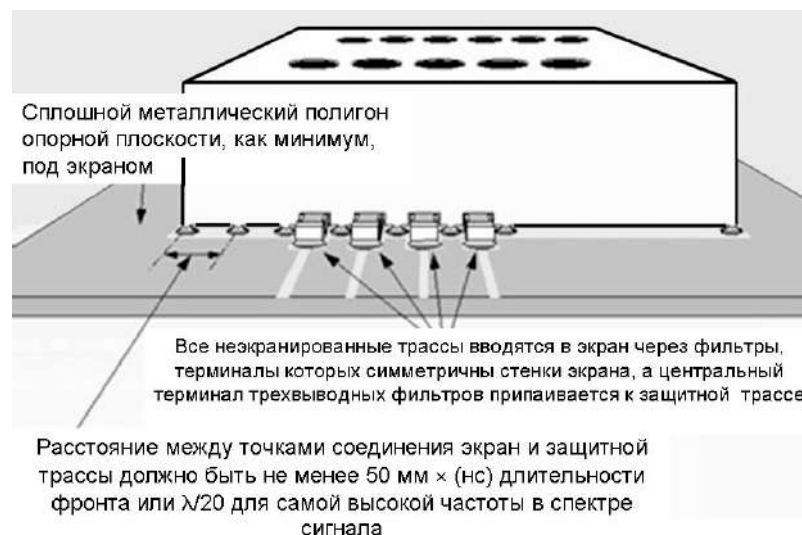


Рисунок 2.48 – Пример установки проходных фильтров совместно с экраном

По результатам обзора существующих решений предлагается ввести классификацию методов обеспечения качества АТС по параметрам помехозащищенности, по принципу действия: пассивные и активные. Пассивные имеют некоторую постоянную помехозащиту, характеризующую ослабление электромагнитного воздействия. Сюда относятся схемотехнические, конструкционные, топологические и часть информационных решений. Активные методы базируются на информационных решениях, в основе которых положены алгоритмы самонастраивания.

В части комплексной защиты от электромагнитного воздействия как активные, так и пассивные методы имеют большие перспективы развития.

2.6 Анализ типовых критериев оценки качества автомобилей по параметрам помехоустойчивости

Помехоустойчивость испытуемых АТС определяется в соответствии с типовым функциональным состоянием [207, 252] и подразделяется на пять классов.

1) Класс А: у АТС во время проведения тестов не нарушается функционирование, все устройства работают нормально без отклонений, а параметры не выходят за допустимые значения.

2) Класс В: у АТС во время проведения тестов не нарушается функционирование, но допускается выход за пределы допустимых значений одного или нескольких параметров. Например, незначительное изменение угла опережения зажигания или изменение яркости подсветки.

3) Класс С: во время электромагнитного воздействия какая-либо функция бортового электрооборудования АТС не выполняются, но по завершению воздействия их работоспособность восстанавливается. Например, система парковки под электромагнитным полем перестает сигнализировать о наличии препятствия, а после снятия поля возобновляет нормальную работу.

4) Класс D: во время испытаний какая-либо функция не выполняется, а после электромагнитного воздействия ее функционирование восстанавливается управляющей операцией. Например, нажатием кнопки или выключением/включением зажигания.

5) Класс E: во время теста какая-либо функция не выполняется, а по завершению воздействия ее работоспособность восстанавливается после ремонта.

Типовые международные требования класса A, определенные в международных стандартах [254], определяют помехоустойчивость АТС гражданского назначения к уровню 30 В/м в частотном диапазоне от 20 МГц до 2 ГГц. Соответствующие параметры будем рассматривать как ключевые индикаторы качества автомобиля по параметрам электромагнитной совместимости.

Многие ведущие автопроизводители разрабатывают собственные внутренние требования (количественные значения ключевых индикаторов качества), которые в некоторых варьируются в пределах от 60 до 100 В/м [69]. Для подвижных объектов специального назначения, в том числе и автомобильного транспорта, предъявляются более высокие требования [40], некоторые из которых приведенные в таблице 2.4.

Таблица 2.4 – Испытательные уровни электромагнитного воздействия для объектов специального назначения

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		

К электротехническим изделиям также предъявляются минимальные требования по помехоустойчивости класса А [254]. Уровни для различного рода полеобразующих систем следующие: антенны – 30 В/м; 150-миллиметровая полосковая система – 60 В/м; 800-миллиметровая полосковая система – 15 В/м; ТЕМ-камера – 75 В/м и инжекция объемного тока – 60 мА. Допускается нарушение работоспособности на 10 % частот испытуемого частотного диапазона.

При тестировании полями промышленной частоты автотранспортное средство подвергается воздействию как минимум в течение 10 минут напряженностью 25 кВ/м, что соответствует требованиям класса А. При 30 кВ/м и пятиминутном воздействии допускается класс В [23, 69]. Требования к устойчивости магнитному полю промышленной частоты регламентируют работоспособность АТС в течении 5 минут при 30 А/м [24, 69].

Сейчас для гражданского автомобильного транспорта не существует обязательных требований к грозовому разряду. Однако для повышения качества и конкурентоспособности выпускаемой продукции ряд ведущих автопроизводителей вносят их в свои внутренние стандарты предприятий. Как правило, они ориентируются на рекомендации SAE 831011 [260], согласно которым электромагнитное воздействие, имитирующее удаленный грозовой разряд, осуществляется уровнем 5 кВ/м. АТС специального назначения в соответствии с [35] испытываются к прямому и близкому удару молнии. Воздействия амплитуды первого импульса тока составляет 200 кА, а второго – 100 кА.

Помимо тестирования к удару молнии АТС специального назначения испытываются к полям контактной сети железных дорог. В соответствии с [54]

для нормального режима воздействие электрическим полем составляет 10 кВ/м, а магнитным – 500 А/м.

В АТС все бортовые электротехнические системы подразделяются на две группы. В первую входят изделия, определяющие безопасность. Ко второй относятся системы, у которых нарушение функционирования не влияет на безопасность. Поэтому бортовые системы первой группы по определению должны быть более помехоустойчивы, чем второй. Пример требований приведен в таблице 2.5.

Так как невозможно провести испытания всех образцов на ЭМС, то их выбор для проверки соответствия требованиям случаен. В соответствии с теорией вероятности, если в партии, состоящей из K образцов M не соответствует требованиям, а из данной партии отбирается для проведения тестов k образцов, то вероятность что m будут не соответствовать требованиям равна

$$P(A) = C_M^m \times C_{K-M}^{k-m} / C_K^k. \quad (2.5)$$

Таблица 2.5 – Требования к качеству по параметрам помехоустойчивости электротехнических систем АТС

Уровень воздействия	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

Очевидно, что чем больше выборка, тем больше статистических данных для проведения достоверного анализа. Однако на практике тяжело провести большой объем тестов. Поэтому отбор образцов производят в соответствии с требованиями ГОСТ Р 51320-99 [25]. Для сертификационных тестов бортовых электротехнических систем должно предоставляться как минимум 5 образцов.

В особых случаях возможно проводить испытания трех образцов. При сертификации АТС на испытания предоставляется одно транспортное средство заявленной комплектации.

При испытаниях опытных партий, как правило, отбирается 2%, но минимум три образца, если изготовлено три и более. При изготовлении менее трех образцов, то тестируются все. Приемочные или периодические тесты допускают предоставлять на испытания только один образец.

При тестировании семи и более образцов оценка результатов проводится в соответствии с биномиальным распределением. Критерии соответствия требованиям помехоустойчивости приведены в таблице 2.6.

Таблица 2.6 – Критерии соответствия нормам качества по параметрам помехоустойчивости испытываемых образцов

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

Рассмотренные типовые критерии сводятся к одному - если испытания прошли успешно, то представленные образцы признаются соответствующими требованиям качества и этот результат распространяется на всю партию. В тоже время общепринятая оценка «соответствует/не соответствует» адекватна только для случая единичного или штучного производства. При массовом производстве следует использовать оценки соответствия, в основе которых положен вероятностный подход.

2.7 Выводы по второй главе

1. Показана важность обеспечения автомобилей качества по параметрам помехоустойчивости и помехозащищенности. Следует уделять большое внимание вопросам проектирования и испытаний, т.к. это позволяет повысить вероятность нормального функционирования АТС в сложной электромагнитной обстановке.

2. Проанализированы источники типовых электромагнитных помех, формирующие внешнюю электромагнитную среду. Самым мощным естественным источником электромагнитного воздействия является молния, а из техногенных: ядерный взрыв, а по продолжительности воздействия: ЛЭП, контактная сеть железных дорог и радиопередатчики. Электромагнитные поля воздействуют в широкой области частот: от 50 Гц до 300 МГц.

3. Наиболее интенсивными по суммарному времени воздействия являются радиотехнические системы, работающие на частотах от 20 МГц до 2 ГГц. В зависимости от совокупности факторов их типовой уровень в пределах досягаемости бортовых систем АТС может достигать значений 30 В/м.

4. Для обеспечения качества и функциональной безопасности в процессе эксплуатации как минимум в период гарантии АТС должны обладать запасом помехоустойчивости, который должен превышать типовые уровни электромагнитных помех.

5. Проведен обзор существующих методов испытаний АТС на помехоустойчивость. Анализ показал, что в части параметров электромагнитных воздействий, методы не позволяют достаточно полно оценить помехоустойчивость бортовых электротехнических систем. Это приводит к недостоверной оценке ЭМС АТС и определяет риски нарушения функционирования в сложной электромагнитной обстановке в процессе эксплуатации. В части развития методологий испытаний имеется большой потенциал их развития.

6. Современный подход к обеспечению ЭМС бортовых электротехнических систем базируется на статической электромагнитной обстановке. Перспективным направлением является разработка активных и пассивных методов защиты, в основе которых лежит комплексная концепция электромагнитной безопасности, включающая адаптацию под динамически меняющуюся электромагнитную обстановку.

7. Существующие применяемые стандартизированные методы оценки результатов испытаний на восприимчивость базируются на критерии «соответствует/не соответствует». Данный подход приемлем для единичного или штучного производства АТС. При массовом производстве для более полного анализа соответствия в процессе приемочных испытаний требуются дополнительные оценки соответствия, в основе которых положен вероятностный подход.

8. Исходя проведенного анализа направлений обеспечения помехоустойчивости автомобильного транспорта перспективными направлениями являются совершенствование методов испытаний и оценки АТС как сложной электротехнического комплекса, а также разработка новых методов комплексной защиты бортовых систем электрооборудования с учетом динамически меняющейся сложной электромагнитной обстановки.

ГЛАВА 3. СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДОВ ИСПЫТАНИЙ НА ОЦЕНКУ КАЧЕСТВА АВТОТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ ПО ПАРАМЕТРАМ ПОМЕХОУСТОЙЧИВОСТИ В ПРОЦЕССАХ ПРОЕКТИРОВАНИЯ И ПРОИЗВОДСТВА

3.1 Совершенствование организации процесса испытаний автотранспортного средства на оценку качества по параметрам помехоустойчивости в азимутальной плоскости

Уровень электромагнитных помех, наводимый в бортовых электротехнических системах, является многофакторной сложной функцией. Он зависит от конфигурации АТС, формы, ориентации, а также взаимном расположении щелей и отверстий кузова, компоновки узлов и электрических параметров бортовых электротехнических систем. Очевидно, что АТС, как [81, 110, 122] имеет сложную пространственную многолепестковую апертуру, которая в процессе эксплуатации позиционируется в конкретный момент времени в направлении не эффективного или эффективного приема.

Применяемые методы испытаний на оценку качества по параметрам помехоустойчивости [197, 254] регламентируют фронтальное, боковое и заднее расположение АТС относительно полеобразующей системы. В эксплуатации автомобиль ориентируется по отношению к одному или нескольким источникам электромагнитных помех сразу, случайным образом (рисунок 3.1). Поэтому очевидно, что регламентированные позиционирования не являются достаточными для полной оценки помехоустойчивости.

Отсюда очевидна постановка задачи: определить при испытаниях минимальное количество позиций и их положения относительно источника излучения, при которых оценка качества по параметрам помехоустойчивости АТС, будет достаточно полной. АТС является несимметричной системой (рисунок 3.2). Это доказывает компоновка узлов относительно продольной оси.

Например, двигатель с навесными агрегатами при любом своем расположении в подкапотном пространстве вносит внутреннюю асимметрию. В салоне асимметрия проявляется в передней части. Ее определяют рулевая колонка и компоновка бортовых электротехнических систем. Металлические каркасы водительского и переднего пассажирского сидений определяют динамическую асимметрию, т.к. их конкретные пространственные положения зависят от индивидуальных пользовательских настроек.

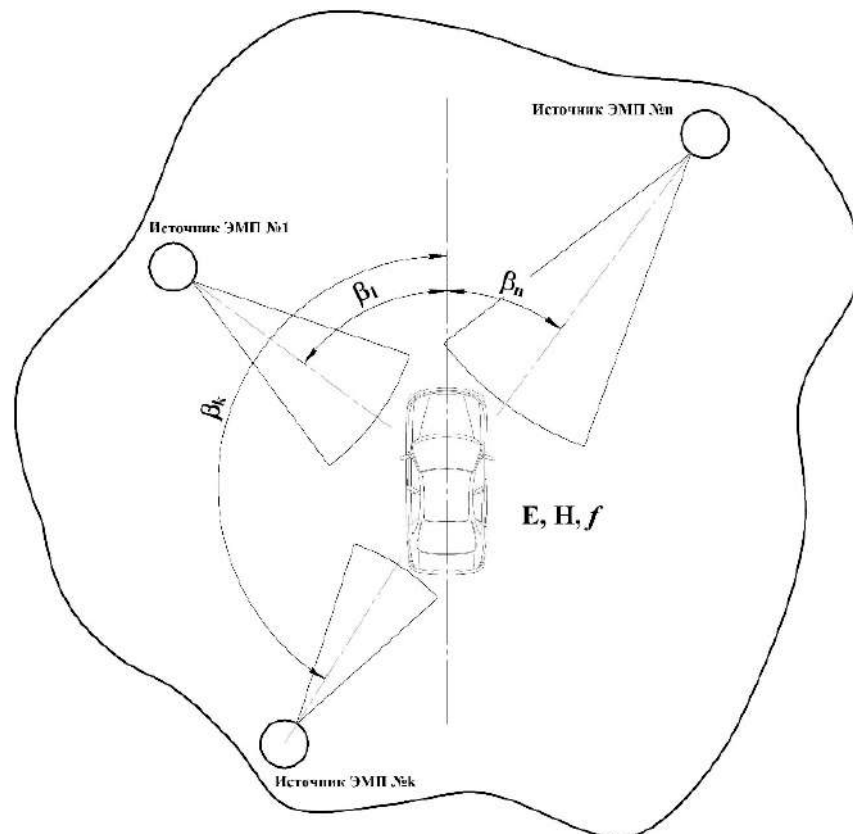


Рисунок 3.1 – Случайная азимутальная ориентация АТС по отношению к источникам излучения

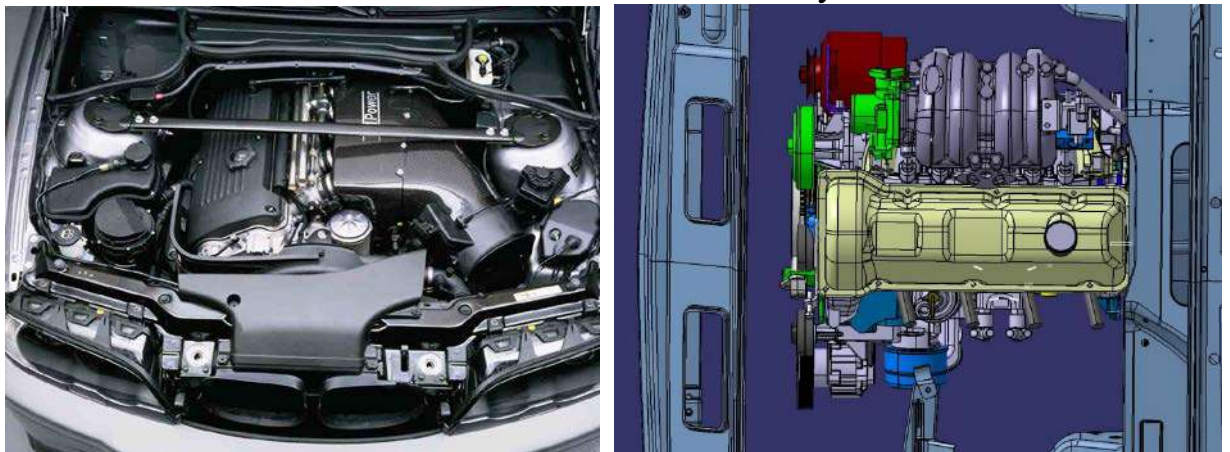


Рисунок 3.2 – Несимметричность АТС

Несимметричность АТС определяет соответствующую несимметричную апертуру. Для доказательства данного вывода был проведен эксперимент по измерению напряженности электрического поля в автомобиле LADA Kalina [81]. В процессе исследований автомобиль располагался в безэховой камере на поворотном стенде. Расстояние от геометрического центра АТС до излучающей электромагнитное поле антенны составляло 14 м. Широкополосный датчик электромагнитного поля располагался над двигателем в центре проекции горизонтальной плоскости подкапотного пространства. Исследования проводились при двух типах покрытия: металлический пол с высоким коэффициентом отражения и пол, покрытый радиопоглощающим материалом, имеющим низкий уровень отражения. Воздействие осуществлялось в диапазоне частот от 100 МГц до 1 ГГц с шагом перестройки по частоте 50 МГц. Результаты проведенных экспериментальных исследований представленных на рисунках 3.3 и 3.4. Как видно из этих рисунков все диаграммы направленности имеют выраженную асимметрию и в большинстве случаев имеют многолепестковую структуру. Азимутальное направление и ширина главного лепестка зависят не только от частоты, но и от характеристик подстилающей поверхности, которая определяет уровень отраженной электромагнитной волны. Во многих случаях данное направление не совпадает с продольной и поперечной осями АТС.

Очевидно, что с учетом индивидуальных конструктивных и компоновочных решений, каждая конкретная модель АТС имеет индивидуальную частотно-зависимую диаграмму направленности. Это определяет уровень наводимых в бортовых цепях электромагнитных помех в зависимости от направления их воздействия, что доказывают результаты эксперимента, представленные на рисунке 3.5. В зависимости от направления излучения разница между максимальным и минимальным значениями в частотном диапазоне 100 – 1000 МГц варьируется от 4 до 33 дБ. Рассчитанное

среднее значение в диапазоне азимутальных углов 360 град составляет 27,7 дБ.

Проведенные исследования доказывают, что качество функционирования систем автомобиля по параметрам помехоустойчивости зависит от ориентации к источнику электромагнитного воздействия.

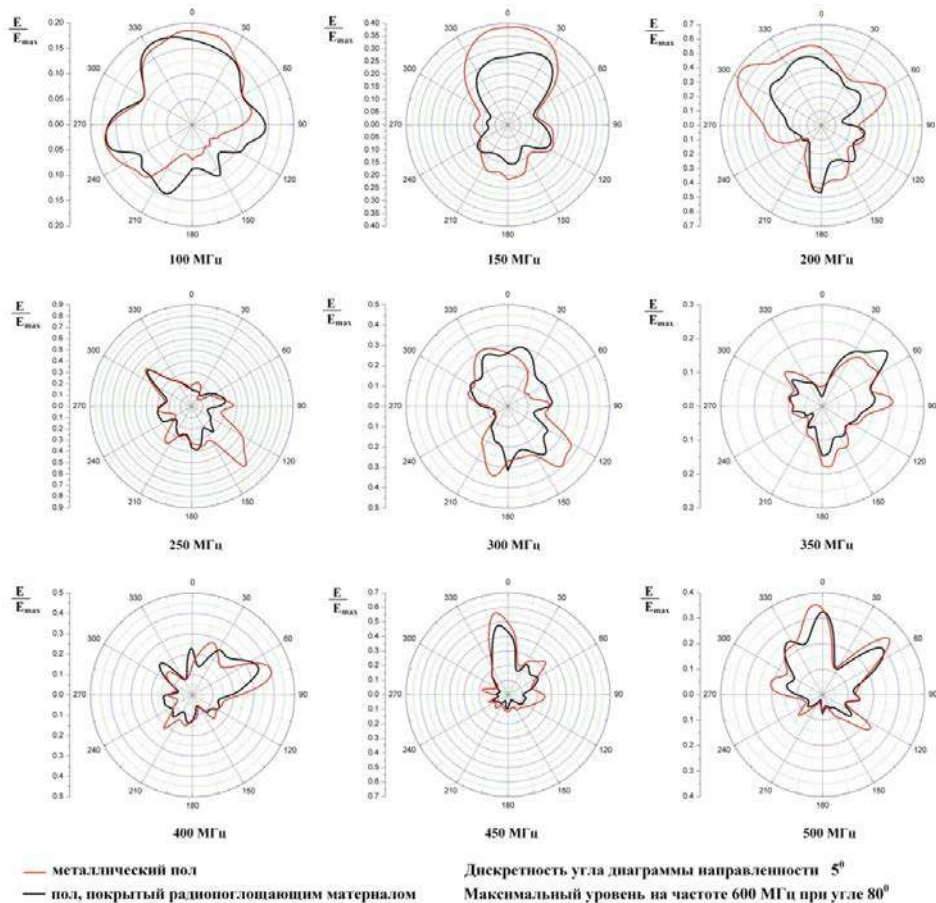


Рисунок 3.3 – Диаграммы направленности автомобиля LADA Kalina, как сложной антенны

В соответствии с доказанной несимметричностью АТС, как сложной антенной, испытания необходимо проводить в диапазоне азимутальных углов от 0 до 360 град по отношению к источнику излучения [76, 90].

Следующей задачей является выбор оптимальных параметров углового позиционирования. Адекватность их выбора определяет качество проведения испытаний. Исходным условием здесь является минимальное время совмещения всех лепестков диаграммы направленности АТС с максимумом излучения антенны на заданной частоте воздействия. Во время испытаний АТС,

в соответствии с тест-планом, может работать в установившемся или динамическом режимах [89 - 91 , 115, 120, 125]. В первом случае циклы всех функций делятся короткое время, которое на практике составляет не более 3 секунд. Например, работа стеклоочистителя. В этом случае провести испытания можно поворачивая непрерывно АТС относительно антенны с заданной угловой скоростью. При динамических режимах ездовые циклы более длительны и могут достигать 30 секунд. Например, тестирование на разных режимах гибридных автомобилей или систем ABS, ASR и ESP с разгоном и торможением. В этом случае непрерывное вращение нецелесообразно, т.к. возможно несовпадение основного лепестка диаграммы направленности АТС с максимумом воздействия на некотором участке цикла. Поэтому при испытаниях в динамических режимах следует применять дискретное позиционирование.

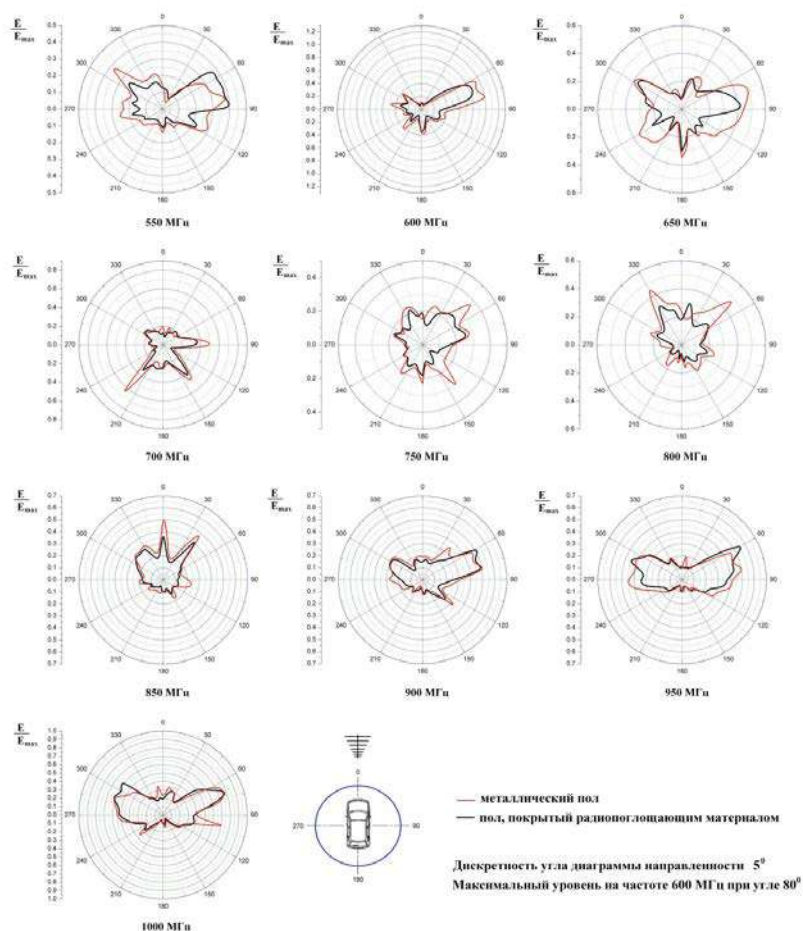


Рисунок 3.4 – Диаграммы направленности автомобиля LADA Kalina, как сложной антенны

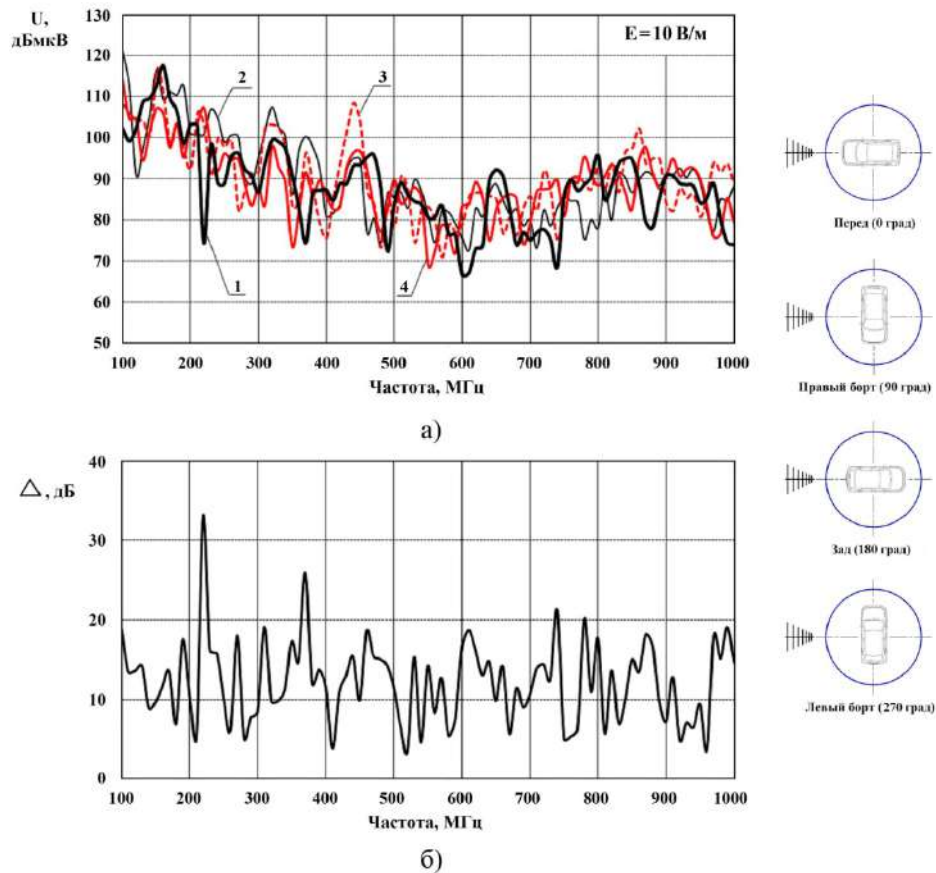


Рисунок 3.5 – Параметры наведенных помех в бортовой сети по входу контроллера системы управления двигателя: а) амплитуда; б) разница между максимальным и минимальным значениями; 1 – перед (0°); 2 – правый борт (90°); 3 – задняя часть (180°); 4 – левый борт (270°)

Отсюда параметрами углового позиционирования, которые необходимо определить, являются дискретный угол позиционирования и азимутальная угловая скорость.

Первичная задача сводится к определению минимальной ширины диаграммы направленности. Обработка экспериментальных данных, графическое отображение которых приведено на рисунках 3.3 и 3.4, показало, что среднее значение или статистическое математическое ожидание диаграммы направленности составляет $m^* = \beta_{cp} = 37,8^\circ$. Статистическое среднеквадратическое отклонение составляет $\sigma_{ct} = 14,6^\circ$.

В предельном случае $\Delta f \rightarrow 0$, где Δf разница между соседними частотами тестируемого диапазона количество диаграмм направленности стремится к бесконечности. Соответственно можно предположить, что их закон

распределения является непрерывным. На основании критерия χ^2 было доказано, что это закон с вероятностью $P=0,78$ подчиняется равномерному. Отсюда границы диапазона $\beta_{\min}$ и $\beta_{\max}$ определяются из соответствующих выражений для моментов равномерного закона [15]:

$$\beta_{\max} = m^* + 1,73\sigma_{\text{ст}}; \quad (3.1)$$

$$\beta_{\min} = 2m^* - \beta_{\max}. \quad (3.2)$$

Подставляя $m^*=\beta_{\text{ср}}=37,8^0$ и $\sigma_{\text{ст}}=14,6^0$ в (3.1) и (3.2) получим $\beta_{\min}=12,5^0$, а $\beta_{\max}=63,1^0$. Минимальный угол диаграммы направленности $12,5^0$ для практических целей не является практичным. Наиболее близкие приемлемые значения 10^0 и 15^0 . В первом случае шаг позиционирования полностью охватывает все углы диаграмм направленностей, а при 15^0 испытания проходят быстрее, что также не маловажно. Найдем вероятность пропуска диапазона $2,5^0$ при применении в практических целях угла 15^0 .

Плотность вероятности равномерного закона при найденных параметрах равна:

$$f_{\text{плотн}}(\varphi) = 1/(\beta_{\max} - \beta_{\min}) = 0,02. \quad (3.3)$$

Отсюда вероятность нахождения диаграммы направленности в диапазоне углов $12,5^0 - 15^0$ равна:

$$P = f_{\text{плотн}}(\varphi) \times (15^0 - \beta_{\min}) = 0,02 \times 2,5 = 0,05. \quad (3.4)$$

Как видна эта вероятность мала, и следовательно, для практических тестов минимальное значение угла азимутального дискретного позиционирования АТС можно положить $\beta_{\min}=15^0$.

Для непрерывного позиционирования рациональная угловая скорость равна

$$\frac{d\beta}{dt} = \frac{\beta_{\min}}{t_{\min}} = \frac{15^0}{3c} = 5^0/c.$$

Недостатком непрерывного позиционирования является то, что если во время проведения испытаний произошло нарушение функционирования какой-либо бортовой электротехнической системы, то осуществляется остановка

вращения АТС и на соответствующем угле находится уровень помехоустойчивости. Поэтому дискретное позиционирование приемлемо не только для испытаний АТС в динамических режимах, но и для поиска проблем и их детального исследования.

По результатам тестов строится характеристика помехоустойчивости

$$E_n(f, \beta) = \begin{vmatrix} E_{f_{\min}, \beta_{\min}} & E_{f_{\min}, \beta_{\min} + \Delta\beta m} & \dots & E_{f_{\min}, \beta_{\max}} \\ E_{f_{\min} + \Delta f n, \beta_{\min}} & E_{f_{\min} + \Delta f n, \beta_{\min} + \Delta\beta m} & \dots & E_{f_{\min} + \Delta f n, \beta_{\max}} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ E_{f_{\max}, \beta_{\min}} & E_{f_{\max}, \beta_{\min} + \Delta\beta m} & \dots & E_{f_{\max}, \beta_{\max}} \end{vmatrix}, \quad (3.5)$$

где E , В/м – напряженность излучения, при которой происходило нарушение качества функционирования автомобилей (рассматривается как ключевой показатель качества автомобилей по параметрам ЭМС);

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

$\beta \in [\beta_{\min}; \beta_{\max}] = [0^0; 360^0]$ – диапазон азимутальных углов поворота относительно источника излучения;

$\Delta\beta = \beta_{\text{опт.д}} = 15^0$;

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

$m = 1, 2, 3 \dots$

На рисунке 3.6 приведен пример характеристики помехоустойчивости опытного контроллера управления двигателем автомобиля LADA GRANTA, полученной по результатам испытаний. На графике отображена поверхность уровней внешних электромагнитных полей, при воздействии которых двигатель, управляемый контроллером неустойчиво работал.

Испытания на оценку качества по параметрам помехоустойчивости АТС, позволяют:

- воссоздать, приближенные к реальным условия эксплуатации в электромагнитной обстановке;
- более полно исследовать характеристику качества по параметрам помехоустойчивости;

- при несоответствии требованиям доработать бортовые электротехнические системы, обеспечив тем самым электромагнитную безопасность.

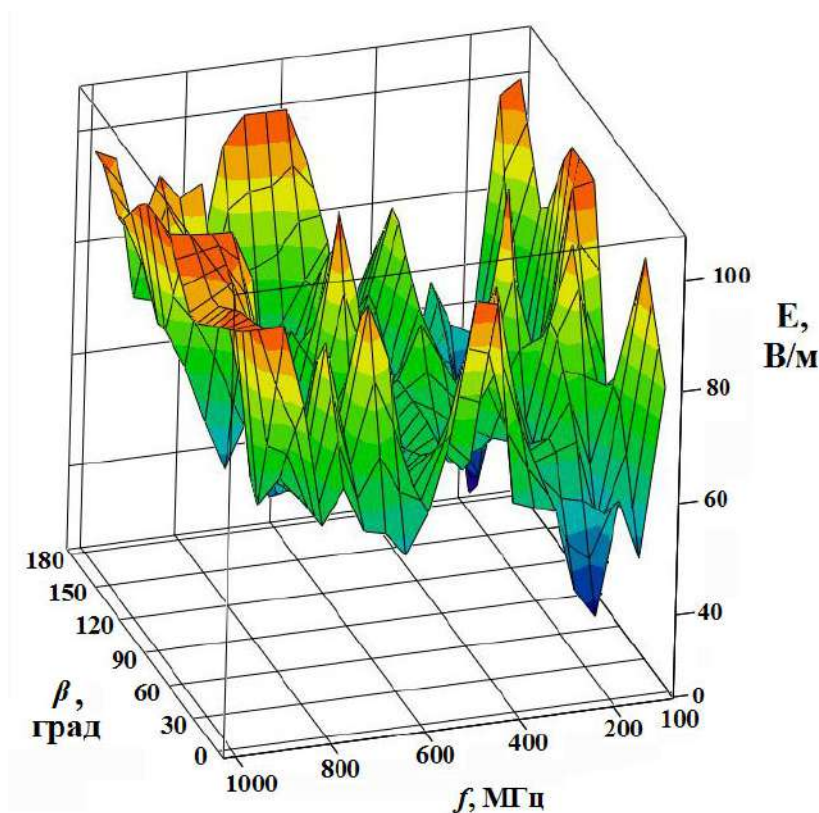


Рисунок 3.6 – Характеристика помехоустойчивости опытного контролера управления двигателем автомобиля LADA GRANTA

3.2 Разработка и реализация алгоритма определения минимального уровня показателя качества по параметру помехоустойчивости

Статистика испытаний показывает, что алгоритм нахождения уровней помехоустойчивости является не достаточными для полной оценки АТС. Применяемый регламентированный шаг перестройки по частоте не позволяет детально исследовать весь диапазон частот. Поэтому можно пропустить проблемные частоты с минимумами помехоустойчивости и не произвести доработку. В эксплуатации это будет определять риски, связанные с безопасностью.

Доказано, что проблемы качества функционирования автомобилей по параметрам ЭМС появляются на резонансах электрических цепей [19]. Поэтому для решения задачи нахождения минимального уровня показателя качества по параметрам помехоустойчивости адекватен подход, в котором параметры электромагнитного воздействия при тестировании АТС задаются из учета рассмотрения бортовых систем, как электротехнических систем с множеством паразитных резонансных контуров.

Примем следующие условия:

- рассматривается случай, при котором любой диапазон частот с низкой помехоустойчивостью сформирован одним паразитным резонансным контуром;

- полосы пропускания резонансных контуров не перекрываются.

Резонансная частота и полоса пропускания связаны между собой добротностью контура [14]:

$$Q = \frac{f_p}{\Delta f}; \quad (3.6)$$

где Q – добротность контура;

f_p – резонансная частота контура;

Δf – полоса пропускания, равная

$$\Delta f = f_b - f_n, \quad (3.7)$$

где f_n и f_b – нижняя и соответственно, верхняя частоты полосы пропускания резонансного контура.

С учетом, того что

$$f_b - f_p = f_p - f_n, \quad (3.8)$$

то (3.6) запишется в виде [86]:

$$f_p = \frac{2Qf_n}{2Q-1}. \quad (3.9)$$

Испытания на оценку качества по параметрам помехоустойчивости начинается с частоты f_1 . Положим, что она соответствует нижней частоте первого паразитного резонансного контура $f_{н1}$, т.е.

$$f_1 = f_{н1} . \quad (3.10)$$

Так как решение задачи исходит из того, что шаг перестройки по частоте электромагнитного воздействия меньше полосы пропускания резонансного контура, то оптимальный шаг должен быть таким, чтобы вторая (последующая) частота воздействия совпала с резонансом. Если проблем с функционированием АТС не выявлено, то полагаем, что вторая частота воздействия попадает на нижнюю частоту полосы пропускания резонанса второго контура

$$f_2 = f_{н2} = f_{p1} . \quad (3.11)$$

Тогда с учетом (3.9), первый шаг перестройки по частоте равен

$$h_1 = f_{p1} - f_{н1} = f_{н2} - f_{н1} = f_{н2} - f_{н1} = \left(\frac{2Qf_1}{2Q-1} - f_1 \right) = f_1 \left(\frac{1}{2Q-1} \right). \quad (3.12)$$

Рассуждая аналогично, запишем

$$f_2 = f_1 + f_1 \left(\frac{1}{2Q-1} \right) = f_1 \left(\frac{2Q-1+1}{2Q-1} \right) = f_1 \left(\frac{2Q}{2Q-1} \right). \quad (3.13)$$

$$h_2 = \frac{f_2}{2Q-1} = f_1 \left(\frac{2Q}{(2Q-1)^2} \right). \quad (3.14)$$

$$f_3 = f_2 + f_1 \left(\frac{2Q}{(2Q-1)^2} \right) = f_1 \left(\frac{2Q}{2Q-1} + \frac{2Q}{(2Q-1)^2} \right). \quad (3.15)$$

Соответственно

$$\begin{aligned} h_3 &= \frac{f_3}{(2Q-1)} = f_1 \left(\frac{2Q}{2Q-1} + \frac{2Q}{(2Q-1)^2} \right) \times \frac{1}{(2Q-1)} = \\ &= f_1 \left(\frac{2Q}{(2Q-1)^2} + \frac{2Q}{(2Q-1)^3} \right) . \end{aligned} \quad (3.16)$$

$$\begin{aligned}
f_4 &= f_3 + h_3 = f_1 \left(\frac{2Q}{(2Q-1)^2} \right) = \\
&= f_1 \left(\frac{2Q}{2Q-1} + \frac{2Q}{(2Q-1)^2} \right) + f_1 \left(\frac{2Q}{(2Q-1)^2} + \frac{2Q}{(2Q-1)^3} \right) = \\
&= f_1 \left(\frac{2Q}{2Q-1} + \frac{4Q}{(2Q-1)^2} + \frac{2Q}{(2Q-1)^3} \right)
\end{aligned} \quad (3.17)$$

Из (3.11) - (3.17) видно, что шаг есть геометрическая прогрессия с параметром $\left(\frac{2Q}{2Q-1} \right)$. Тогда

$$f_n = f_1 \left(\frac{2Q}{2Q-1} \right)^{n-1}, \quad (3.18)$$

где $n=1, 2, 3, \dots$

В свою очередь $f_n \in [f_{\min}; f_{\max}]$, где $f_{\min}$ и $f_{\max}$ минимальная и максимальная частоты тестируемого диапазона.

Из [122, 240] максимальное значение добротности для паразитных контуров АТС составляет 33,8 и с его учетом (3.18) примет вид

$$f_n = 1,015^{n-1} f_1. \quad (3.19)$$

Выражения (3.18) и (3.19) выведено для случая, когда частота воздействия совпадает с резонансом.

На практике область частот, где происходят нарушения качества функционирования систем, в основном образован несколькими резонансными контурами и шире, чем шаг перестройки электромагнитного воздействия.

При поиске минимума уровня показателя качества по параметру помехоустойчивости АТС в первой итерации производится тестирование на электромагнитное воздействие с заданным уровнем $E_{\text{возд.1}}$. Перестройка по частоте производится в соответствии с (3.18) или (3.19) и находится диапазон ΔF_1 , в котором происходит нарушение работоспособности АТС. Если

$$\Delta F_1 > f_{n+2} - f_n, \quad (3.20)$$

где

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

На второй итерации осуществляется уменьшение уровня напряженности поля до значения $E_{\text{возд.2}}$, проводятся испытания в диапазоне ΔF_1 и находится ΔF_2 . Диапазон ΔF_2 , по аналогии с (3.20), сравнивается с шагом электромагнитного воздействия.

Итерационное уменьшение уровня продолжается пока не будет выполнено условие

$$\Delta F_j = f_{n+2,j} - f_{n,j}, \quad (3.21)$$

где ΔF_j – частотный диапазон, в котором происходит нарушение функционирования АТС при уровне $E_{\text{возд. j}}$;

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

а

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

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

При $j = 1$ снижению уровня не производятся, а уменьшение уровней последующих воздействий осуществляется из условия

$$E_{\text{возд. j+1}} = k E_{\text{возд. j}}, \quad (3.22)$$

где k – коэффициент, выбираемый из пределов

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

Физический смысл коэффициента k следующий: задаваемое уменьшение уровня воздействия не должно превышать отношение наведенной помехи от электромагнитного воздействия на частоте резонанса к наведенной этой же помехе на граничных частотах полосы пропускания резонансного контура.

При выполнении условия (3.21) минимальное значение показателя качества по параметру помехоустойчивости находится на частоте

$$f_{\min} = \frac{f_{n+2,j} + f_{n,j}}{2}, \quad (3.23)$$

и равно

$$E_{\min} = E(f_{\min}). \quad (3.24)$$

Рассмотренный подход графически поясняется рисунком 3.7, а алгоритм нахождения показателя качества как минимального уровня помехоустойчивости АТС, при испытаниях на узкополосное электромагнитное воздействие представлен на рисунке 3.8.

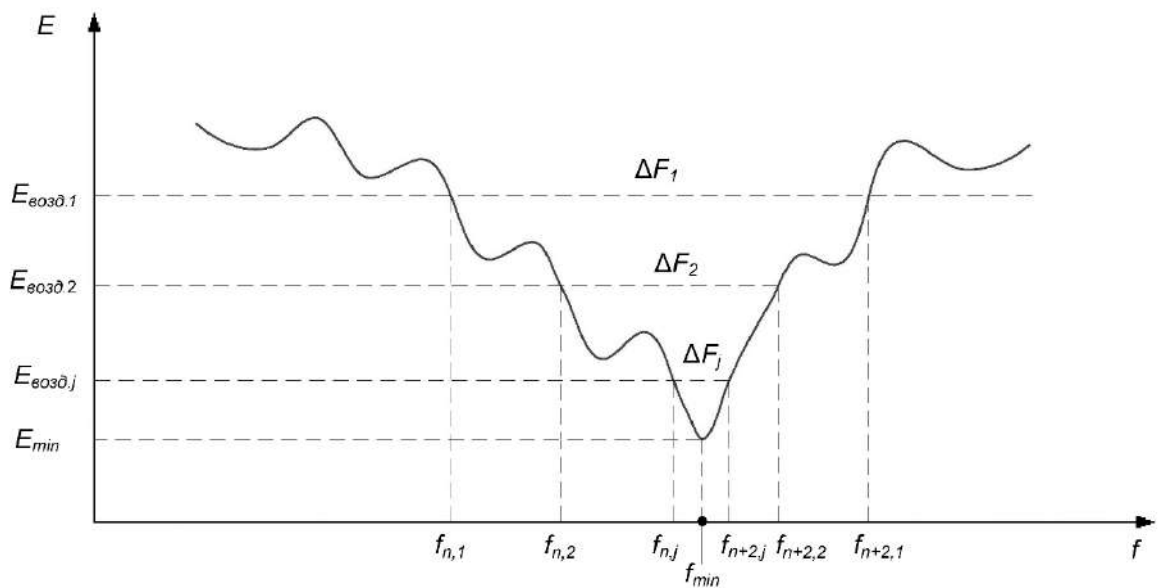


Рисунок 3.7 – Графическое представление нахождения показателя качества отражающего минимальный уровень помехоустойчивости АТС

Сравним, насколько более полное производится сканирование испытательного частотного диапазона по отношению к регламентированным ISO 11451-1 требованиям. По аналогии с (3.18) можно получить выражение текущей частоты воздействия для приведенного ISO

$$f_m = f_1 \left(\frac{100 + x}{100} \right)^{m-1}, \quad (3.25)$$

где $m = 1, 2, 3, \dots$,

x – процент шага перестройки по частоте, регламентированный ISO 11451-1.

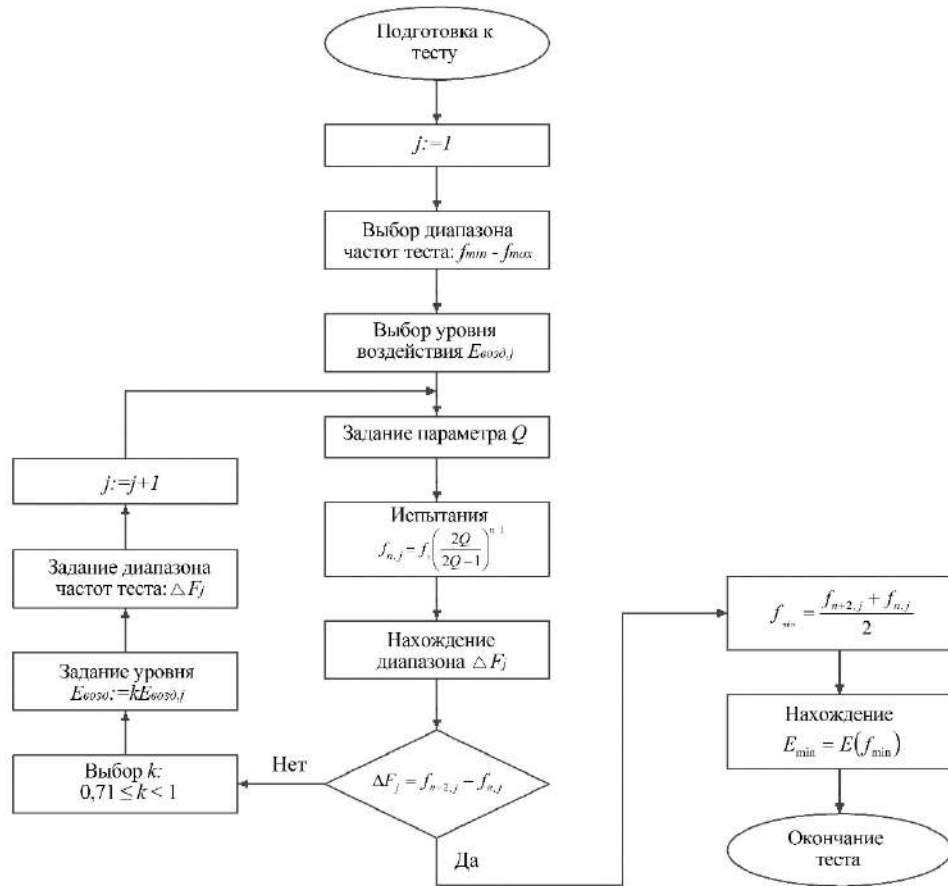


Рисунок 3.8 – Алгоритм нахождения минимального уровня показателя качества по параметрам помехоустойчивости АТС, при испытаниях на узкополосное электромагнитное воздействие

Упростим (3.18) и (3.25), записав

$$\frac{2Q}{2Q-1} = a,$$

$$\left(\frac{100+x}{100} \right) = b.$$

и если для заданного испытательного частотного диапазона $f_1 = f_{\min}$, а $f_n = f_m = f_{\max}$, то

$$\frac{f_{\max}}{f_{\min}} = L.$$

Тогда (3.18) и (3.25) преобразуются в виде

$$L = a^{n-1}, \quad (3.26)$$

$$L = b^{m-1}. \quad (3.27)$$

Отсюда

$$n = \log_a L + 1, \quad (3.28)$$

$$m = \log_b L + 1. \quad (3.29)$$

Разделим (3.28) и (3.29) друг на друга

$$Z = \frac{n}{m} = \frac{\log_a L + 1}{\log_b L + 1}. \quad (3.30)$$

Выражение (3.30) показывает на сколько более полно производится сканирование испытательного частотного диапазона по отношению к регламентированным требованиям.

Если для диапазона частот 400 МГц – 2 ГГц взять $Q=33,8$ и минимальное по ISO 11451-1 $x=2\%$, то $Z = 1,3$. Что доказывает о повышении точности и достоверности результатов оценки качества автомобилей по параметрам помехоустойчивости при проведении испытаний с применением предложенного метода по отношению к стандартному минимум на 30 %.

3.3 Разработка и реализация метода анализа нарушений качества функционирования бортовых систем для обеспечения их помехозащищенности

Одной из основных проблем обеспечения соответствия бортовых систем АТС требованиям качества по параметрам помехоустойчивости является детальный глубокий анализ характера нарушения их качества функционирования при испытаниях. Основная причина этому – отсутствие специализированной контрольно-измерительной аппаратуры. Применяемые при испытаниях средства видео и аудио контроля позволяют выявить уже конечную реакцию бортовых систем на электромагнитное воздействие. Аппаратура, предназначенная для лабораторных исследований, имеет низкую устойчивость. Из-за чего в большинстве случаев невозможно подключиться и измерить параметры полезных сигналов на фоне наводимых в цепях помех.

Применение бесконтактных помехозащищенных контрольно-измерительных приборов сильно ограничено ввиду их особенностей конструкции, а также особенностей компоновки систем АТС. Специализированные устройства, предназначенные для бортовой диагностики через штатный OBD разъем, позволяют получать фреймы и визуализировать информацию (рисунки 3.9 и 3.10) [111]. На современном этапе технического развития они наиболее полно позволяют получать информацию об текущих ошибках и информационных сообщениях. Но, тем не менее, отсутствует аппаратура, позволяющая однозначно локализовать конкретное место проникновения помех. В итоге даже опытные разработчики, с опытом конструирования сложных технических систем, с учетом качества по параметрам ЭМС, часто дорабатывают системы, перебирая последовательно решения, затрачивая много времени. Поэтому в процессе тестирования и обеспечения требованиям качества помехоустойчивости, для поиска уязвимого участка требуется комплексный подход с применением метода, позволяющего по косвенным признакам определять характер физической сущности нарушения качества функционирования бортовых систем и с учетом этого анализировать схемы, локализуя слабо защищенный узел.



Рисунок 3.9 – Конструкция помехозащищенного диагностического устройства с оптоволоконным каналом передачи данных, подключаемое в OBD разъем

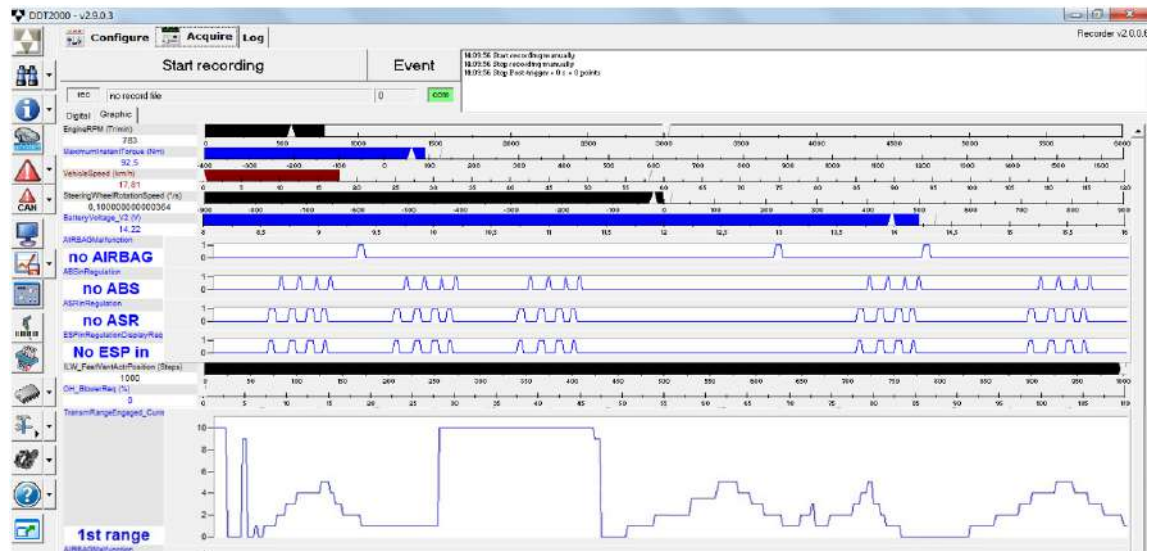


Рисунок 3.10 – Диагностическая информация, получаемая с помехозащищенного диагностического устройства

На частоте воздействия, где зафиксировано нарушение качества функционирования, предлагается исследование сути проблемы на основе сравнения реакции систем на различные типы воздействий. Разработчик на выходе испытательного процесса будет иметь многомерный массив информации о характере нарушения функционирования, полученную от средств видео/аудио контроля, а также данных телеметрии, таких как диагностические ошибки и информацию, заключенную в фреймах, передаваемых бортовыми устройствами.

Помеха, воздействующая по некоторой цепи бортовой электротехнической системы, в общем случае является сложным сигналом, прошедшим от момента взаимодействия с АТС до конкретного входа различные преобразования. Однако, как показывает практика, нарушение качества функционирования происходит от переходных процессов, низкочастотного колебания промодулированной функции, или некоторого среднего или максимального уровней воздействия. Чтобы выявить из-за чего появилась проблема качества по параметрам ЭМС, необходимо сравнить комплексное влияние контрольных тестовых воздействий. На практике достаточно применить три типа воздействующих сигналов: немодулированный гармонический (CW),

амплитудно-модулированный (АМ) и импульсно-модулированный (ИМ). Обозначение CW применяется в соответствии с обозначением, применяемым в ISO 11451-1 [196]. Рассматриваемые сигналы описываются следующими аналитическими выражениями:

$$\begin{aligned} E_{CW}(t) &= E_{\max} \cos(\omega_n t) \\ E_{AM}(t) &= E_{\max} [1 + M \cos(\Omega t)] \cos(\omega_n t); \\ E_{IM}(t) &= \begin{cases} E_{\max} \cos(\omega_n t); & t \in [0; \tau_u] \\ 0; & t \in (0; T_u) \end{cases} \end{aligned} \quad (3.31)$$

где $E_{\max}$ – максимальная амплитуда немодулированного сигнала; ω_n – круговая несущая частота воздействия; M – коэффициент (глубина) модуляции; Ω – частота модулирующего колебания; τ_u – длительность импульсного воздействия; T_u – период импульсного воздействия.

В основе предлагаемого метода анализа нарушений качества функционирования бортовых электротехнических систем, положено то, что в процессе испытаний создаются три вида рассматриваемых электромагнитных воздействий в заданном диапазоне частот и шагом перестройки по частоте. При нарушении качества функционирования при тестировании конкретным видом сигнала определяется порог помехоустойчивости. Далее производится сравнение реакции систем к другим воздействиям [116].

Первая итерация состоит в создании помех, действующие значения которых равны действующему значению сигнала, при котором произошла проблема ЭМС. Для CW, АМ и ИМ они равны [22]:

$$\begin{aligned} E_{д.CW} &= \frac{E_{\max}}{\sqrt{2}}; \\ E_{д.АМ} &= \frac{E_{\max}}{2} \times \sqrt{2 + M^2}; \\ E_{д.ИМ} &= \frac{E_{\max}}{\sqrt{2k}}, \end{aligned} \quad (3.32)$$

где $k = T_u / \tau_u$ – скважность.

ЭМС проблема анализируется по отношению к контрольному сигналу CW.

В этом случае:

$$\begin{aligned} E_{\text{д.СВ}} &= E_{\text{д.АМ}}; \\ E_{\text{д.СВ}} &= E_{\text{д.ИМ}}. \end{aligned} \quad (3.33)$$

Максимальная амплитуда относительно контрольного воздействия равна

$$\begin{aligned} E_{\text{max.СВ}} &= E_{\text{max.АМ}} \times \sqrt{1 + \frac{M^2}{2}}; \\ E_{\text{max.СВ}} &= E_{\text{max.ИМ}} \sqrt{\frac{\tau_{\text{и}}}{T_{\text{и}}}}, \end{aligned} \quad (3.34)$$

где $E_{\text{max.АМ}}$ – максимальная амплитуда несущей частоты амплитудно-модулированного колебания на момент появления нарушения работоспособности (рассматривается как индикатор качества, отражающий амплитудное значение колебания на момент появления нарушения работоспособности);

$E_{\text{max.ИМ}}$ – максимум амплитуды несущей частоты импульсно-модулированного колебания.

Во второй итерации создаются помехи, пиковые амплитуды которых равны пиковому значению сигнала, при котором произошла проблема ЭМС. По отношению к СВ сигналу

$$\begin{aligned} E_{\text{max.СВ}} &= E_{\text{max.АМ}} (1 + M); \\ E_{\text{max.СВ}} &= E_{\text{max.ИМ}}. \end{aligned} \quad (3.35)$$

Сравнение реакции бортового электрооборудования на воздействующие сигналы позволяет разработчику сделать вывод о характере воздействия. Если проблема, в соответствии с (3.33) и (3.34) проявляется при равном действующем или максимальном значениях, то это говорит о высоком уровне помех в цепях схемы и соответственно, малом соотношении сигнал/шум. Из-за этого полезный сигнал не распознается. Решения данного вида проблем сводятся к применению мероприятий по уменьшению помех, например, обеспечением экранирования или введением дополнительной фильтрации в цепях.

Отсутствие реакции бортовых электротехнических систем на СВ сигнал показывает, что нарушение качества функционирования происходит вследствие появления переходных процессов при импульсном воздействии или продетектированного в схеме низкочастотного модулирующего сигнала Ω .

Проявление ЭМС проблемы, в соответствии с (3.35) только при импульсном воздействии говорит о существовании динамических консервативного или колебательного с малым коэффициентом демпфирования ξ звеньев. В этом случае имеющаяся информация ставит задачу перед разработчиком на основании анализа найти данную часть схемы и доработать ее, например, обеспечить $\xi > 1$ путем перевода в апериодическое звено [238].

Если нарушение качества работоспособности проявляется только при амплитудно-модулированном воздействии, то это является следствием его детектирования в схеме с выделением низкочастотной составляющей на частоте Ω , которая и создает проблемы ЭМС. В этом случае задача разработчика сводится к комплексу мероприятий. Первое - поиск частей схемы, где возможно проникновение и детектирование помех. Второе - нахождение внутренних цепей с отсутствием или недостаточной низкочастотной фильтрацией. Третье – доработка в части ЭМС выявленных в процессе анализа частей схемы.

Проявление ЭМС проблем при всех трех видах воздействий говорит о совпадении рабочих частот бортового электрооборудования и несущей частоты воздействия. В этом случае может потребоваться глубокая ЭМС модернизация электротехнической системы, включающая комплекс схемотехнических, информационных, топологических и конструктивных решений.

По результатам тестов формируется база данных, на основании которых производится их анализ и делается вывод о соответствии требованиям к качеству помехоустойчивости. В случае выявления критических проблем ЭМС, определяющих отрицательное заключение, предложенный метод анализа нарушений качества функционирования бортовых электротехнических систем

по реакции на сигнал дает разработчику помимо средств аудио, видео контроля и телеметрии, дополнительную информацию для поиска уязвимого узла. На основании нее разрабатывается и реализуется комплекс мероприятий, включающих ЭМС решения направленные на улучшение качества продукции. После доработки электротехническая система в составе АТС проходит очередные испытания до положительного результата. Структурная схема рассмотренного процесса обеспечения требованиям качества помехоустойчивости на этапе разработки АТС с учетом предложенного метода, представлена на рисунке 3.11.

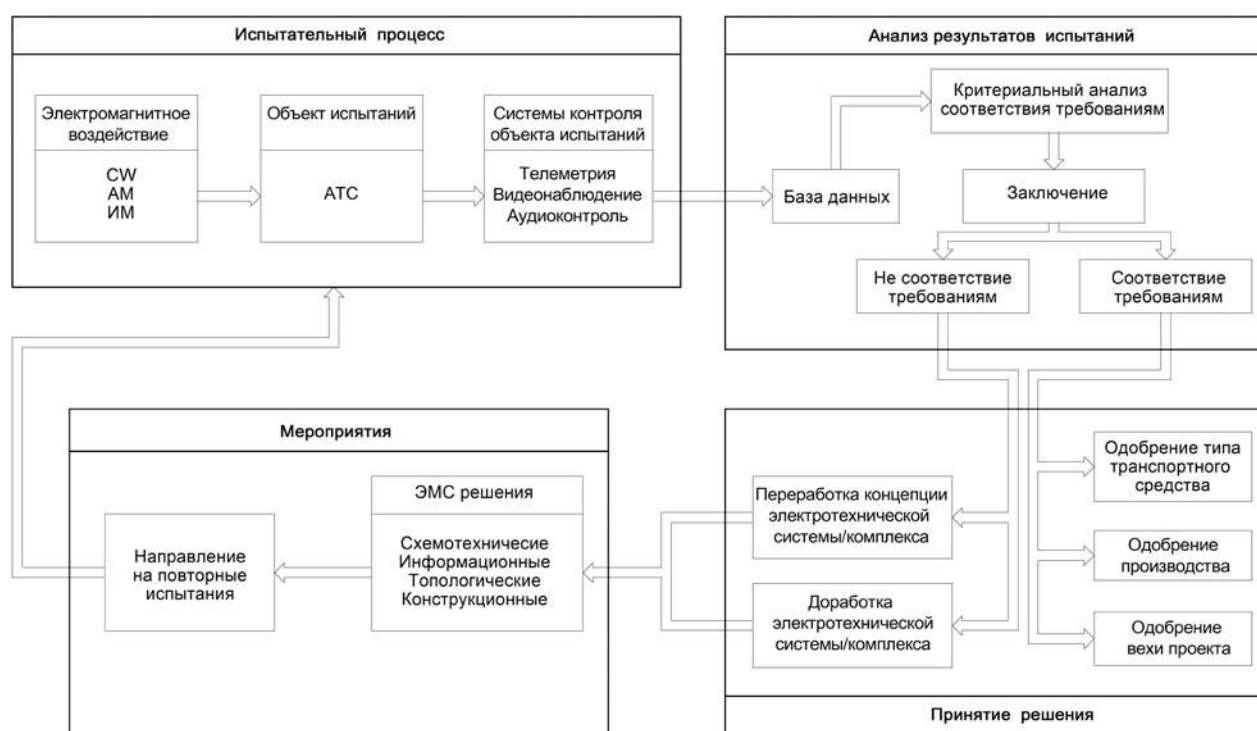


Рисунок 3.11 – Структурная схема обеспечения требованиям качества по параметрам помехоустойчивости на этапе разработки АТС

3.4 Совершенствование метода испытаний по оценке качества автомобилей при импульсном электромагнитном воздействии

Развитие цифровых систем связи и радиолокации определяет соответствующие пути развития ЭМС АТС, в том числе направление защиты от

импульсных помех. Соответственно важным этапом является тестирование на качество по параметрам восприимчивости к соответствующим воздействиям.

Общий алгоритм испытаний на качество по параметрам воздействия электромагнитного излучения сводится к первоначальной калибровке поля испытательной зоны в отсутствии объекта испытаний. Далее в процессе, на каждой частоте создается немодулированное воздействие заданного уровня. Калибровка осуществляется по действующей составляющей принятого сигнала в некоторый промежуток времени t_1 :

$$E_d = \sqrt{\frac{1}{t_1} \int_0^{t_1} E^2(t) dt} . \quad (3.36)$$

На практике t_1 выбирается не менее 500 мс. По достижению заданного E_d запоминается соответствующая этому уровню мощность, подводимая к антенне.

Из-за особенностей испытательных систем калибровка поля в полосковых системах осуществляется одним датчиком, так как структура поля между проводящими пластинами однородна по высоте. При применении излучающих антенн с частот 20 – 30 МГц до 2 ГГц используются четыре, и один в диапазоне 2 – 18 ГГц один (рисунок 3.12) [197]. В полубезэховых камерах, где излучение создается антеннами помимо прямой волны в зону расположения датчика приходит и отраженная от пола (рисунок 3.13). В этом случае суммарное поле равно:

$$E_{\Sigma} = E_{np} + E_{отр} , \quad (3.37)$$

где E_{np} и $E_{отр}$ – прямая и отраженная электрические составляющие напряженности электромагнитного поля.

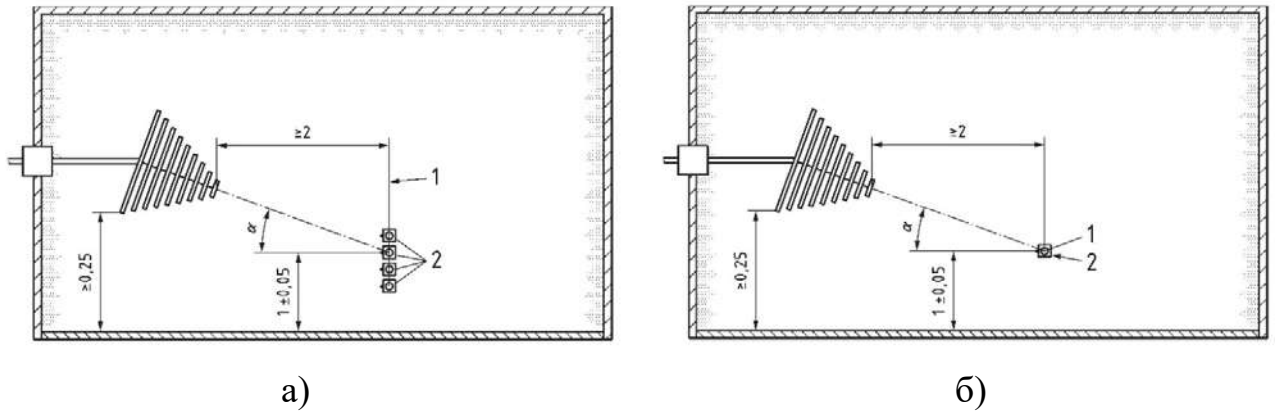


Рисунок 3.12 – Калибровка электромагнитного поля: а) от 20-30 МГц до 2 ГГц;
 б) от 0,01 до 20-30 МГц (полосковая система не показана) и от 2 до 18 ГГц;
 1 – контрольная линия (точка); 2 – датчик

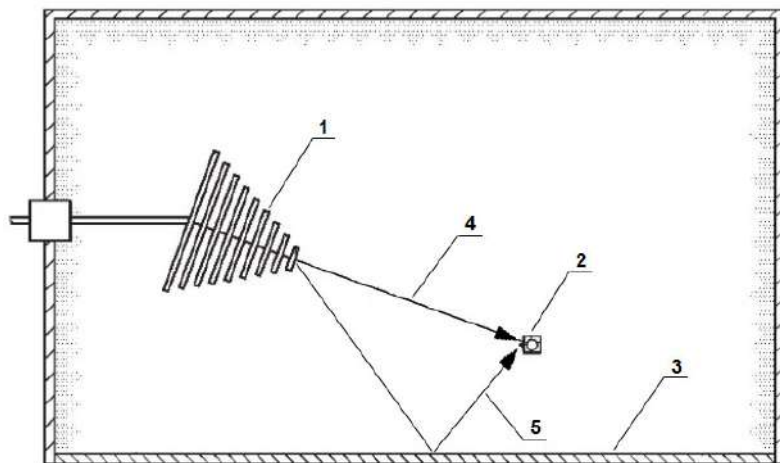


Рисунок 3.13 – Распространение волн: 1 – излучающая антенна; 2 – датчик;
 3 – металлический пол полубезэховой камеры; 4 – прямая волна;
 5 – отраженная волна

Путь отраженной волны соответственно больше, чем прямой, поэтому в точку приема она приходит с задержкой:

$$\tau = \Delta/c, \quad (3.38)$$

где $c = 3 \times 10^8$ м/с – скорость света;

Δ - разности хода прямой и отраженной волн, которая определяется как

$$\Delta = |R_A - (r_1 + r_2)| = \left| \sqrt{l_A^2 + (h_A - h_1)^2} - \left(\sqrt{h_1^2 + \left(\frac{h_1 \times l_A}{h_A + h_1} \right)^2} + \sqrt{h_A^2 + \left(\frac{h_A \times l_A}{h_A + h_1} \right)^2} \right) \right|, \quad (3.39)$$

где R_A – расстояние от излучающей до приемной антенны (датчика) (рисунок 3.14);

r_1 и r_2 – ход отраженной волны до и после плоскости падения соответственно;

l_A – проекция R_A на горизонтальную плоскость;

l_1 и l_2 – проекции r_1 и r_2 на горизонтальную плоскость;

h_1 – высота излучающей антенны;

h_A – высота приемной антенны (датчика).

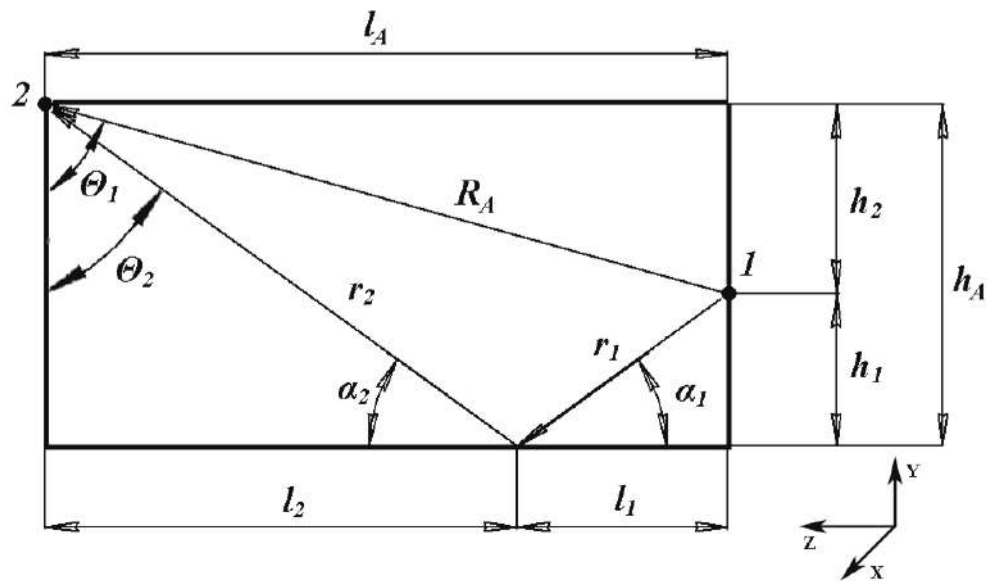


Рисунок 3.14 – Ход волн от излучающей до приемной антенны (датчика)

Соответственно имеется некоторый набег фаз. В зависимости от частоты происходит сложение или вычитание амплитуд. При сложении волн в противофазе уровень поля будет определяться разницей амплитуд пришедших волн. Поэтому для достижения необходимого уровня калибровки электромагнитного поля необходимо на соответствующей частоте повышать мощность сигнала. На практике это может привести к работе усилителя в перенапряженном режиме или, если лаборатория не имеет усилитель достаточной мощности, то невозможно будет достичь заданной напряженности поля. Поэтому применяются для калибровки четыре датчика, разнесенные друг от друга вертикально на одной линии. Уровень поля калибруется уже не в одной точке, а интегрально по линии и определяется как среднее из четырех

показаний всех датчиков. Мощность, отдаваемая усилителем, уже не имеет выраженных максимумов, как при калибровке с применением одного датчика (рисунок 3.15). В СВЧ диапазоне свыше 2 ГГц применение одного датчика обусловлено двумя причинами. Во-первых, для создания мощных полей с уровнем 100 В/м достаточно применение усилителя 200 Вт, что на данном этапе научно-технического развития не сложно реализуемо. Во-вторых, длина волны излучения меньше, чем регламентированное расстояние между датчиками, из-за чего применение для калибровки четырех датчиков с целью оптимизации подводимой к антенне мощности не имеет смысла.

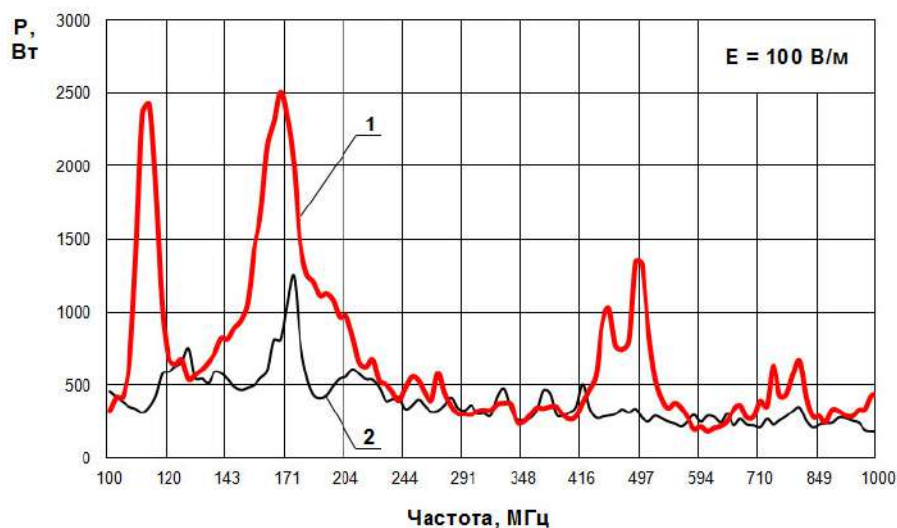


Рисунок 3.15 – Выходная мощность усилителя при калибровке электромагнитного поля уровня 100 В/м: 1 – один датчик; 2 – четыре датчика

После калибровки в испытательную зону устанавливается АТС. В процессе тестирования к излучающей антенне на частотах воздействия подводится сигнал с мощностью, соответствующей калиброванному действующему уровню поля.

Несовершенство метода испытаний электромагнитным излучением в диапазоне частот свыше 2 ГГц обусловлено несогласованным регламентированным подходом процедур калибровки с применением одного

датчика и тестирования АТС импульсным воздействием, что может приводить к некорректным результатам.

Выражение (3.37) для электромагнитного поля в области датчика можно записать в комплексном виде

$$E_{\Sigma} = E_{np} e^{j(\omega t - kr_1)} + E_{omp} e^{j(\omega t - kr_2 - \varphi)}, \quad (3.40)$$

где $k = k' - jk''$ – комплексное волновое число, определяющее потери электромагнитной волны [52];

r – модуль радиуса-вектора луча, пришедшего с некоторого направления. Для прямой волны r равно расстоянию от источника излучения до датчика, а для отраженной – расстоянию от излучающей антенны источника до отражающего пола поверхности и от пола до датчика;

φ – изменение фазы колебаний при падении волны на отражающий пол. Если электрический вектор поля параллелен плоскости падения отражающего пола, то изменение фазы отраженного луча равно нулю, а если перпендикулярен, то изменение фазы составляет π .

С учетом потерь, (3.40) можно представить в виде:

$$E_{\Sigma} = E_{np} e^{-k''r_1} e^{j(\omega t - k'r_1)} + E_{omp} e^{-k''r_2} e^{j(\omega t - k'r_2 - \varphi)}. \quad (3.41)$$

Соответственно

$$E_{np} e^{-k''r_1} = E_{\max.np} \text{ и } E_{omp} e^{-k''r_2} = E_{\max.omp}$$

Если прямая и отраженные волны приходят в зону датчика в противофазе, то

$$k'r_1 - (k'r_2 + \varphi) = \pi$$

Переходя от комплексных амплитуд к мгновенным значениям, преобразованный в датчике суммарный сигнал будет иметь вид

$$E_{\Sigma} = E_{\max.np} \cos(\omega t) \Big|_{t \in [0; t_1 - \tau]} + E_{\max.omp} \cos(\omega t + \pi) \Big|_{t \in [\tau; t_1]}, \quad (3.42)$$

или

$$E_{\Sigma} = E_{\max.np} \cos(\omega t) \Big|_{t \in [0; t_1 - \tau]} - E_{\max.omp} \cos(\omega t) \Big|_{t \in [\tau; t_1]}. \quad (3.43)$$

Получаем действующее значение калиброванного уровня поля, получим

$$E_d = \sqrt{\frac{1}{t_1} \int_0^{t_1} E_{\max.np}^2 \cos^2(\omega t) dt - \frac{2}{t_1 - \tau} \int_{\tau}^{t_1} E_{\max.np} E_{\max.omp} \cos^2(\omega t) dt + \frac{1}{t_1 - \tau} \int_{\tau}^{t_1} E_{\max.omp}^2 \cos^2(\omega t) dt}. \quad (3.44)$$

Интегрирование второго и третьего члена ведется в интервале $[\tau - t_1]$, т.к. отраженная волна доходит до датчика с задержкой по времени τ . Но на практике длительность время калибровки t_1 много больше τ . Следовательно задержкой можно пренебречь. Продолжая рассуждения, можно показать, что так как калибровка ведется немодулированным синусоидальным сигналом, то в диапазоне частот свыше 2 ГГц период колебаний много меньше времени калибровки. Поэтому интегрирование корректно вести по одному периоду колебаний. Исходя из сказанного, в (3.44) все три подкоренных члена есть квадраты действующих значений соответствующих составляющих сигналов. Тогда

$$E_d = \sqrt{\frac{E_{\max.np}^2}{2} - \frac{2}{2} E_{\max.np} E_{\max.omp} + \frac{E_{\max.omp}^2}{2}}. \quad (3.45)$$

Как видно с учетом допущений, действующее значение калиброванного сигнала для случая сложения в противофазе, есть разница действующих значений прямого и отраженного сигналов

$$E_d = \frac{E_{\max.np} - E_{\max.omp}}{\sqrt{2}} = E_{d.np} - E_{d.omp}. \quad (3.46)$$

Уже в процессе самих испытаний в диапазоне свыше 2 ГГц на АТС воздействует импульсно-модулированный сигнал с параметрами (тип №1): длительность - 577 мкс и период - 4600 мкс, или тип №2 с параметрами 3 мкс и 3333 мкс соответственно. На той несущей частоте, где при калибровке прямая и

отраженная волны сложились в противофазе, прямая волна доходит раньше на τ , но ее действующее значение равно

$$E_{д.пр} = E_{д} + E_{д.отр}, \quad (3.47)$$

и соответственно больше требуемого $E_{д}$ на $E_{д.отр}$. Как видно, объект испытаний в течении τ , которое составляет не более 10 нс, находится под более высоким уровнем воздействия, чем требуется. Только после τ , когда к АТС приходит отраженная волна, уровень электромагнитного излучения становится равный калиброванному $E_{д}$. На заданной несущей частоте при минимальном времени воздействия 2 с, АТС облучается 600^{ми} импульсами.

Вышеизложенное подтверждается экспериментальными исследованиями, представленными на рисунке 3.16 [123]. На осциллограмме характерны четыре промежутка времени. Первый соответствует приходу прямой волны в точку приема. Во втором, дошедшая с задержкой τ , отраженная волна складывается в противофазе с прямой. Это прослеживается по уменьшению амплитуды суммарного сигнала. Конец второго промежутка времени характеризуется окончанием импульса прямой волны, т.к. происходит полное вычитание обеих составляющих волн. В третьем промежутке времени преобладает отраженный сигнал, а в четвертом наблюдается эховый фон от элементов различных поверхностей окружающего пространства.

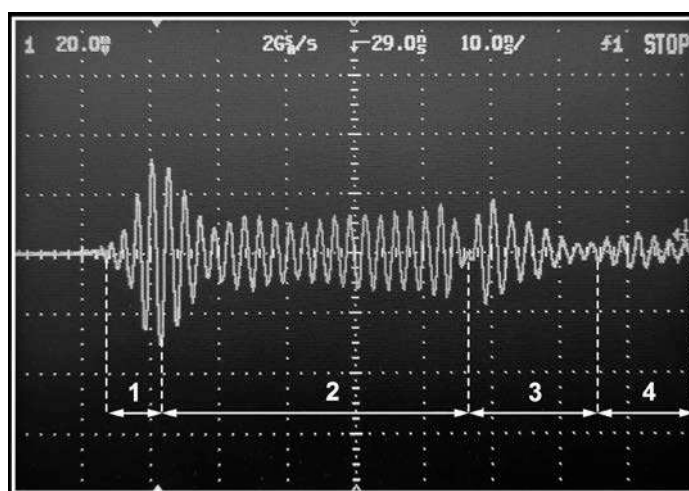


Рисунок 3.16 – Сигнал в точке приема при набеге фаз отраженной волны 180 град: 1 – прямая волна; 2 – суперпозиция прямой и отраженной волн; 3 – отраженная волна; 4 – эховый фон

Если нарушение качества работоспособности бортовых электротехнических систем происходит в интервале времени воздействия только прямой волны с более высоким уровнем, чем требуется по калибровке, то зачастую происходит неправильная интерпретация результатов тестирования, т.к. в этом случае сбой или отказ сопоставляется с воздействием калиброванного уровня поля. Это происходит из-за того, что рассмотренный эффект ранее не был изучен применительно к испытаниям АТС, и лаборатории руководствуются прописанными процедурами стандартов.

При сложении волн в фазе наблюдается обратная ситуация. Действующее значение напряженности калиброванного поля равно

$$E_d = E_{d,пр} + E_{d,отр} . \quad (3.48)$$

Во время испытаний в промежуток времени τ на АТС воздействует меньшее по амплитуде $E_{d,пр}$ по сравнению с E_d . Затем, после прихода $E_{d,отр}$, уровень поля возрастает до калиброванного значения (рисунок 3.17). В этих случаях, при нарушении качества работоспособности бортовых электротехнических систем АТС, происходит корректная интерпретация результатов тестирования [124].

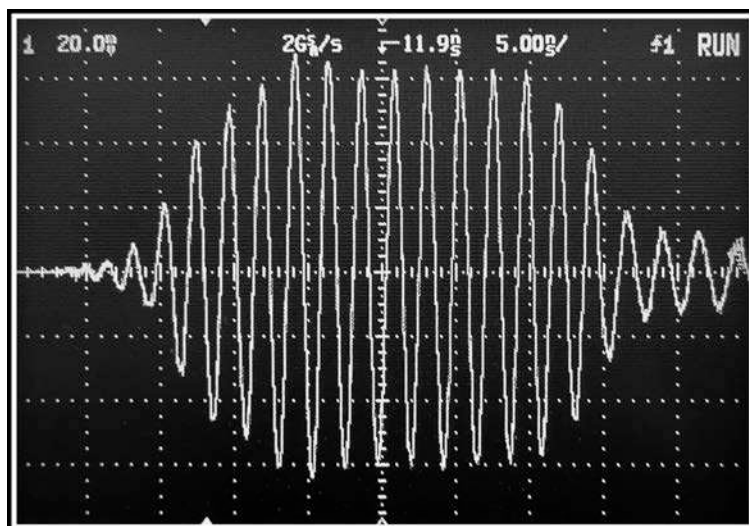


Рисунок 3.17 – Суммарный сигнал калибровки при сложении прямой и отраженной волн в фазе

Экспериментальные исследования в безэховой камере АО «АВТОВАЗ» доказали возможность неправильной интерпретации результатов испытаний [126]. Калибровка электромагнитного поля и испытания АТС проводились в диапазоне частот от 2 до 3 ГГц и при двух различных отражающих покрытиях пола: металл и радиопоглощающий материал (РПМ) (рисунки 3.18 и 3.19).

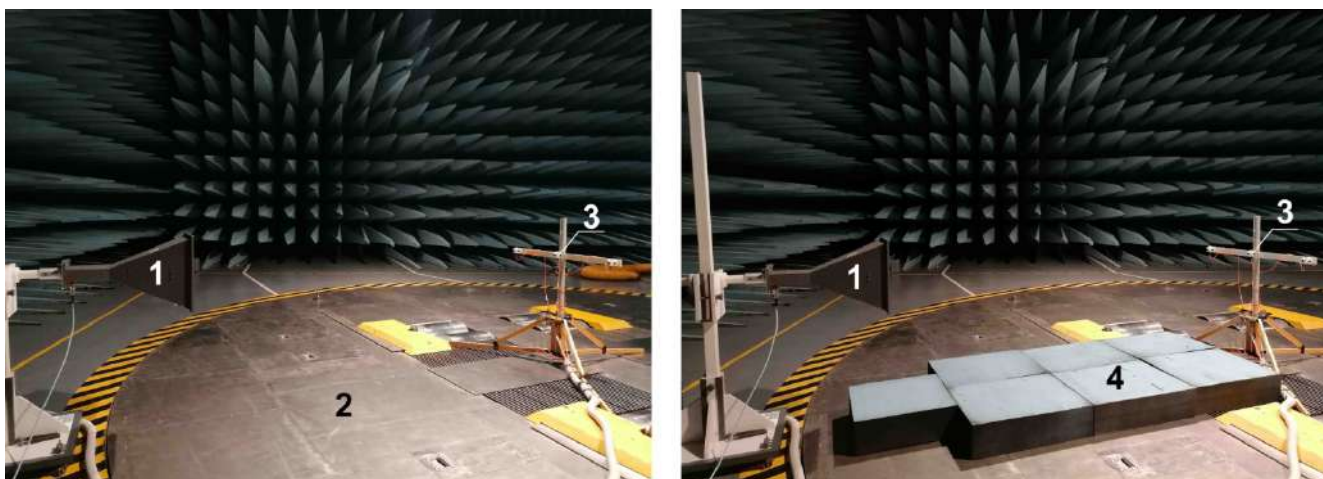


Рисунок 3.18 – Общий вид эксперимента калибровки напряженности электрического поля: 1 – излучающая антенна; 2 – металлический пол; 3 – датчик; 4 – РПМ градиентного типа



Рисунок 3.19 – Испытания на помехоустойчивость автомобиля: 1 – излучающая антенна; 2 – автомобиль; 3 – металлический пол; 4 – РПМ рассеивающего типа

На рисунке 3.20 представлены графики выходной мощности, подаваемой на антенну для калиброванного уровня 100 В/м в диапазоне от 2 до 3 ГГц при расстоянии 3 метра от антенны до датчика поля. Кривая №1 соответствует

мощности для варианта поверхности с металлическим полом, а кривая №2 – при покрытии пола РПМ. В частотных диапазонах, где кривая №1 выше, чем №2, происходит вычитание прямой и падающей волн. Этот вывод основывается на том, что для варианта поверхности с металлическим полом усилителю приходится увеличивать выходную мощность для достижения требуемого калиброванного уровня 100 В/м. Применение же радиопоглощающего материала уменьшает отраженную составляющую. Поэтому преобладающий процент мощности кривой №2 сосредоточен в прямой волне.

Рассуждая соответствующим образом, очевидно, что в частотных диапазонах, где кривая №2 выше, чем №1, происходит сложение прямой и падающей волн.

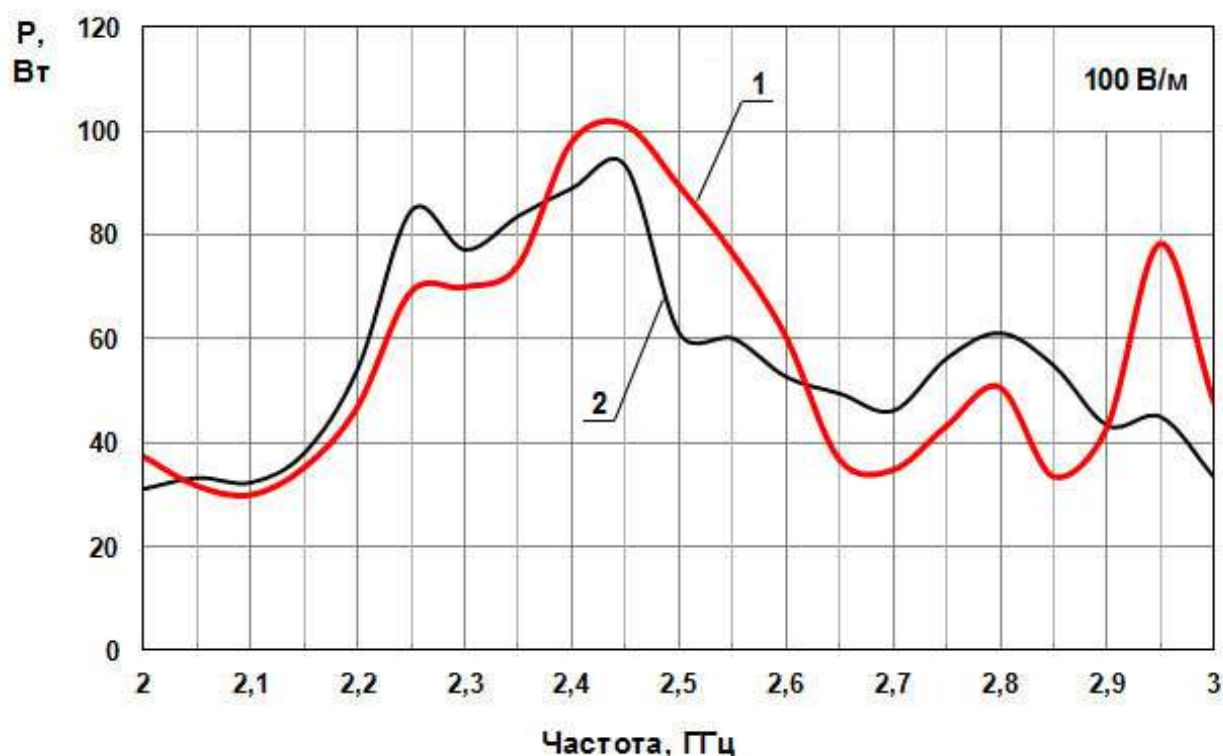


Рисунок 3.20 – Калибровка уровня электромагнитного поля для напряженности 100 В/м: 1 – металлический пол; 2 – покрытие пола РПМ

При испытании АТС с применением калибровочной кривой мощности №1 в диапазоне частот от 2,925 – 2,975 ГГц происходило нарушение качества функционирования электромеханического усилителя рулевого управления (рисунок 3.21). Проблема характеризовалась сбоям датчика момента с

переходом электроусилителя в режим «ОТКАЗ». При применении калибровочной кривой мощности №2 и покрытии пола радиопоглощающим материалом, нарушения работоспособности электромеханического усилителя рулевого управления не было. Из чего следуют, что поставленный эксперимент является подтверждением влияния на функционирование АТС прямой волны в промежутке времени задержки τ .

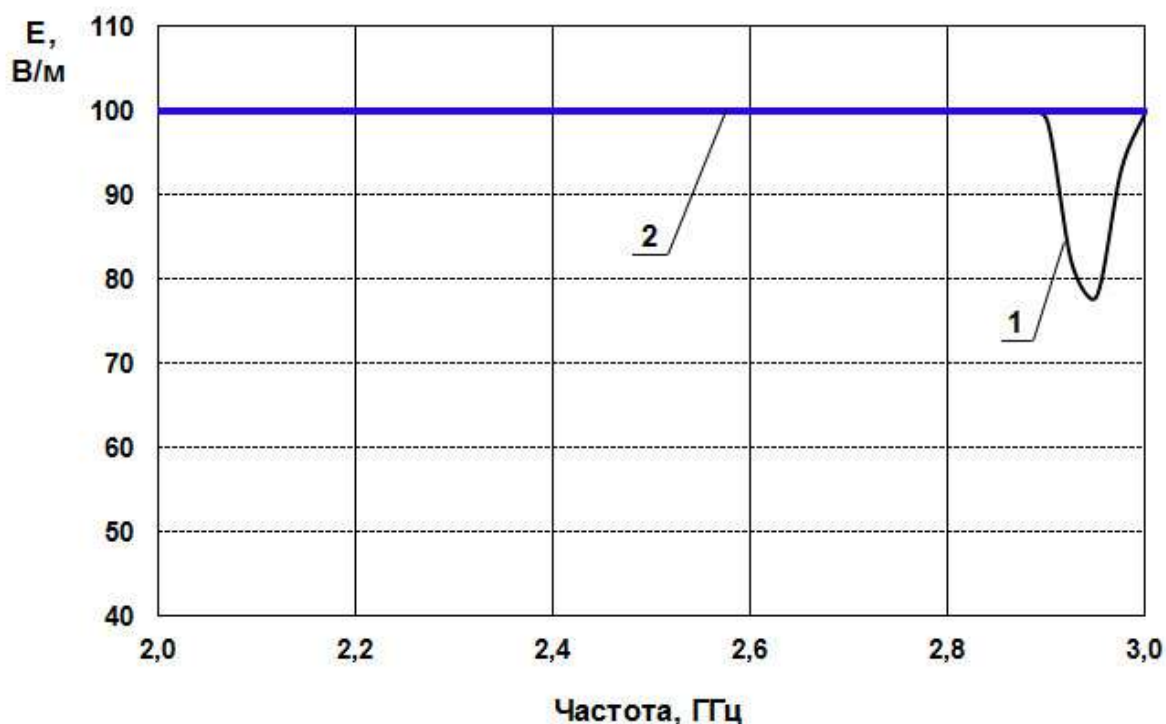


Рисунок 3.21 – Помехоустойчивость электромеханического усилителя рулевого управления в составе автомобиля: 1 - сбой с переходом в режим «ОТКАЗ»; 2 – максимальный уровень излучения

Проведенные исследования показали вероятность некорректной интерпретации результатов испытаний на оценку качества автомобилей по параметрам помехоустойчивости в СВЧ диапазоне. Для исключения этого предлагается проводить калибровку поля и испытания в диапазоне частот свыше 2 ГГц с применением на полу радиопоглощающих материалов, позволяющим уменьшить отраженную составляющую. При применении РПМ градиентного типа, имеющего типовое затухание не менее 20 дБ, неравномерность амплитуды поля будет составлять не более 10% от требуемого значения. Для обеспечения высокой стабильности уровня воздействия во время

испытаний необходимо применять РПМ рассеивающего типа с типовыми характеристиками затухания 40 дБ. В этом случае неравномерность будет не более 1% (рисунок 3.22).

Для исключения общей систематической некорректной интерпретации результатов тестирования АТС по оценке качества по параметрам помехоустойчивости в области частот свыше 2 ГГц необходимо внести коррективы, в части применения радиопоглощающих материалов на полу, в методологию испытаний, регламентируемую стандартами ISO, в частности в ISO 11451-2.

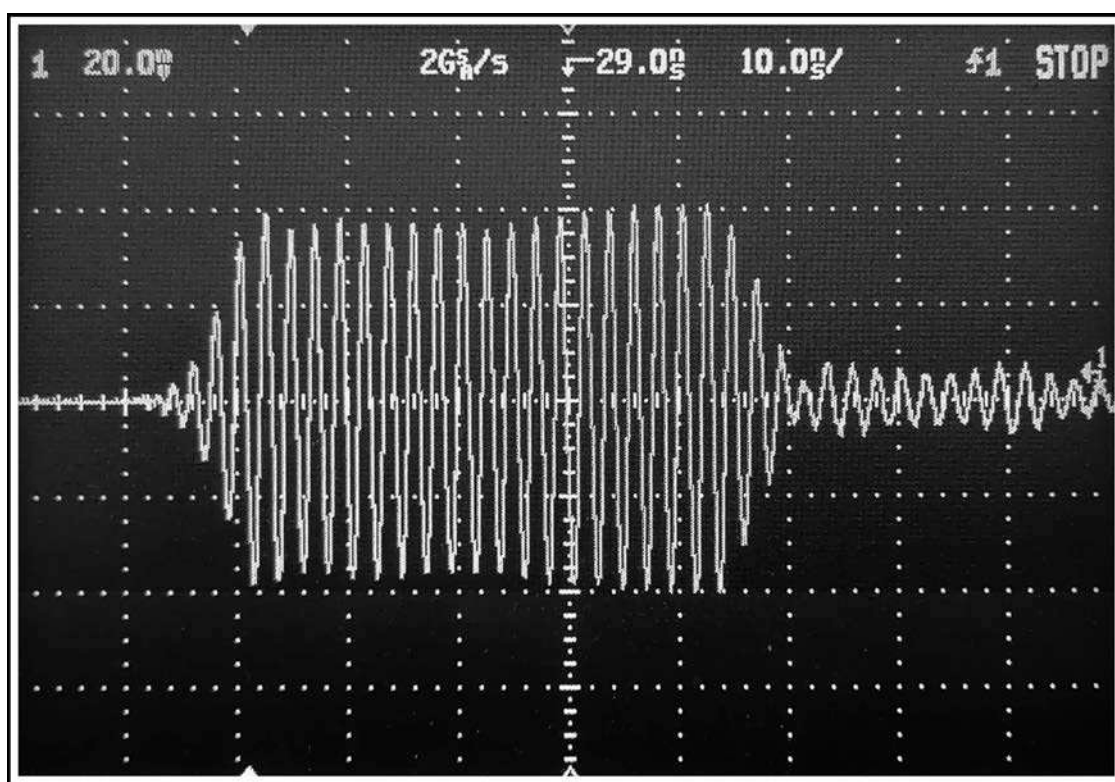


Рисунок 3.22 – Сигнал в точке приема при использовании на полу РПМ рассеивающего типа для случая сложения прямой и отраженной волн в противофазе

3.5 Разработка математической модели оценки качества автотранспортных средств по параметрам помехоустойчивости

Не смотря на внедряемые в автомобильной промышленности стандарты качества, параметры помехоустойчивости АТС одинаковых комплектаций сильно различаются. Результаты тестов выборки образцов дают различие по

уровням до 30 % [122]. Поэтому очевидно, что применяемый подход оценки ЭМС испытаний нескольких образцов, сводящийся к критерию «не соответствует/соответствует», при серийном производстве не отвечает современным тенденциям обеспечения качества. Необходима новая модель оценки соответствия, позволяющая по ограниченной выборке определить соответствие требованиям всей партии АТС.

Приведенные выше данные показывают, что имеются факторы, определяющие качество автомобилей по параметрам помехоустойчивости. Поэтому на начальном этапе решения поставленной задачи необходимо определить их взаимосвязь между собой.

В соответствии с [26, 209] в безэховых камерах должны обеспечиваться нормальные условия окружающей среды. Очевидно, что влияние нестабильности внешних условий на результаты тестов минимально и им можно пренебречь.

Анализ показывает, что имеются две группы факторов, от которых зависит высокое качество по параметрам помехоустойчивости: нестабильность параметров процесса испытаний и разброс конструкторско-технологических параметров АТС.

К нестабильности параметров процесса испытаний относятся амплитуда излучения и поперечное позиционирование АТС по отношению к излучающей антенне. В первом случае сложно точно повторить требуемую амплитуду воздействия. Пример этому показан на рисунке 3.23.

Статистическая обработка результатов исследования показывает (таблица 3.1), что в пределах $\pm 3\sigma$ отклонение амплитуды поля составляет до $\pm 6,7\%$. Данный диапазон подтверждается экспериментальными исследованиями. Один из таких результатов представлен на рисунке 3.24, где в двух последовательных тестах АТС, нарушение функционирования климатической системы в виде прекращения подачи воздуха в салон, наблюдалось с разницей в уровнях помехоустойчивости 2,3 В/м.

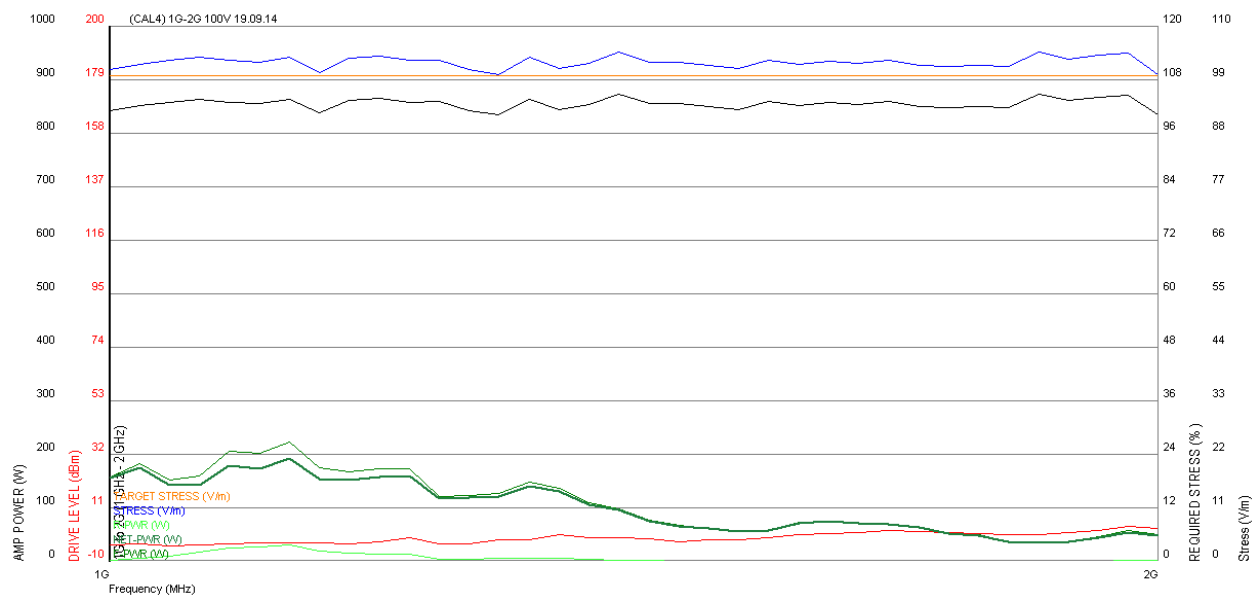


Рисунок 3.23 – Пример реализации ЭМС теста

Таблица 3.1 – Статистические данные уровней электромагнитного излучения

F, МГц	Напряженность поля в контрольной точке, В/м (номер измерения)										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	0,36	31,1	31,3	31,8	31,5	0,36
150	31,6	31,7	31,4	31,1	31,2	31,3	0,37	31,0	30,4	31,6	31,3	0,37
200	31,1	31,4	31,2	31,3	31,2	31,2	0,18	31,2	31,4	31,4	31,2	0,18
250	31,4	31,7	31,5	31,1	31,2	31,2	0,28	31,0	31,2	31,5	31,2	0,28
300	31,6	31,7	31,7	31,4	31,3	31,4	0,25	31,2	31,4	31,6	31,4	0,25
350	31,8	31,7	31,8	31,9	31,7	31,6	0,37	31,9	31,0	31,8	31,6	0,37
400	31,5	31,5	31,6	31,2	31,1	31,4	0,26	31,1	31,1	31,8	31,4	0,26
450	31,3	31,3	31,2	31,1	31,7	31,4	0,35	31,2	31,3	31,6	31,4	0,35
500	31,3	31,4	31,4	31,2	31,6	31,3	0,17	31,3	31,2	31,5	31,3	0,17
550	31,7	31,5	31,5	31,3	30,9	31,4	0,29	31,4	31,0	31,7	31,4	0,29
600	31,9	31,9	32,0	31,0	31,2	31,4	0,40	31,1	30,9	31,4	31,4	0,40
650	31,3	31,3	31,2	31,0	31,7	31,2	0,30	30,9	31,6	30,7	31,2	0,30
700	30,7	30,8	30,7	30,7	31,2	31,0	0,38	31,2	30,8	31,6	31,0	0,38
750	31,0	31,0	30,9	31,6	31,4	31,3	0,28	31,4	31,6	31,7	31,3	0,28
800	31,7	31,1	31,2	31,1	31,2	31,2	0,26	31,1	30,7	31,4	31,2	0,26
850	30,6	30,8	30,8	31,0	31,0	31,1	0,33	31,0	31,7	31,1	31,1	0,33
900	30,5	30,5	30,5	31,2	31,2	31,1	0,46	31,1	31,6	31,6	31,1	0,46
950	31,0	31,1	30,8	31,0	31,0	30,9	0,21	31,0	30,4	31,0	30,9	0,21
1000	31,8	31,8	31,7	31,1	31,3	31,6	0,30	31,4	32,1	31,7	31,6	0,30
1050	31,7	31,7	31,6	31,1	31,3	31,5	0,35	31,3	31,2	32,0	31,5	0,35
1100	31,9	32,0	31,9	30,9	31,2	31,4	0,44	30,8	31,5	31,9	31,4	0,44
1150	32,0	31,9	32,0	31,2	31,2	31,6	0,38	31,1	31,9	31,8	31,6	0,38

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

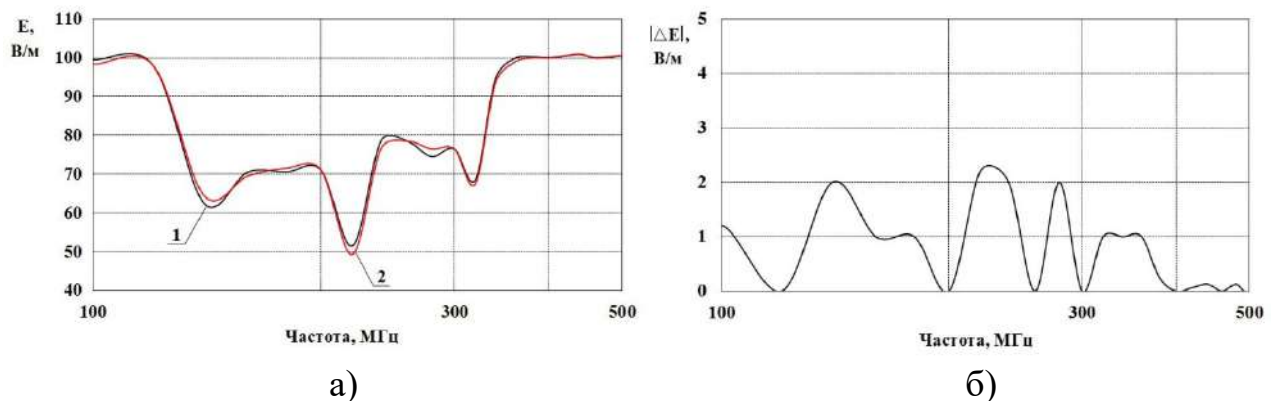


Рисунок 3.24 – Помехоустойчивость климатической системы в двух тестах:
а) уровни помехоустойчивости; б) модуль разницы между уровнями
помехоустойчивости; 1 – тест №1; 2 – тест №2

Зависимость показателей качества по параметрам помехоустойчивости от поперечного позиционирования АТС по отношению к излучающей антенне заключается в том, что щели и отверстия на кузове АТС смещаются по отношению оси излучения антенны, что в свою очередь приводит к изменению параметров проникающего поля во внутренне пространство кузова, что демонстрируется на рисунке 3.25 [110]. АТС, при сильном отклонении может попасть в сильно искаженное, по отношению к калиброванному значению, поле и результаты тестов будут неправильно интерпретированы.

Поперечное смещение относительно заданного возникает при повторной установке для перепроверки этого же АТС на роликовый стенд, а также в процессе испытаний во время ездовых циклов за счет рыскания при движении и наиболее выражено при разгоне и торможении.

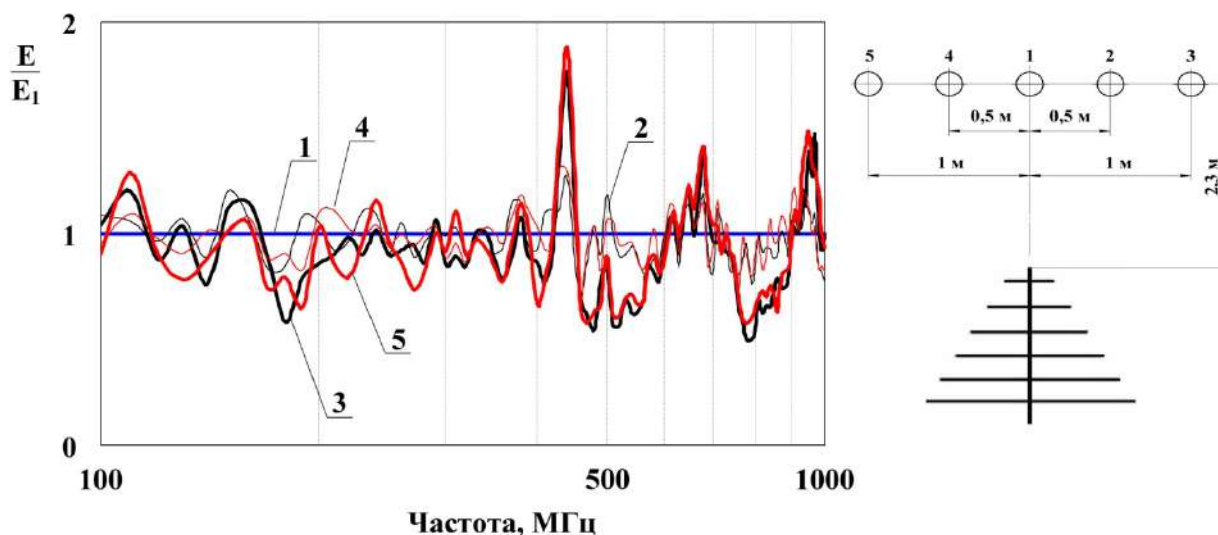


Рисунок 3.25 – Относительный уровень напряженности электрического поля в различных точках, расположенных на линии, перпендикулярной направлению максимума излучения антенны: 1 – в точке №1 (калибровочное значение); 2 – в т.№2; 3 – в т.№3; 4 – в т.№4; 5 – в т.№5

Обработка результатов исследований уровней излучения в подкапотном пространстве автомобиля LADA Vesta, приведённых в таблице 3.2, показывает, что боковое смещение не должно превышать ± 3 см. В этом случае погрешность изменения электромагнитного поля не превышает погрешности его калибровки. Данный вывод подтверждает эксперимент (рисунок 3.26), в котором исследовалась помехоустойчивость климатической системы автомобиля LADA GRANTA при его позиционировании по оси излучения антенны и последующем поперечном смещении на 3 см. Разница в уровнях показателей качества по параметрам помехоустойчивости составила 1,2 В/м, что в относительном выражении составляет 2,3 %.

Таблица 3.2 – Уровни излучения в зависимости от поперечного смещения АТС

Частота МГц	Смещение вправо					Смещение влево			
	20 см	15 см	10 см	5 см	0	5 см	10 см	15 см	20 см
	Уровень электромагнитного излучения								
	В/м	В/м	В/м	В/м	В/м	В/м	В/м	В/м	В/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

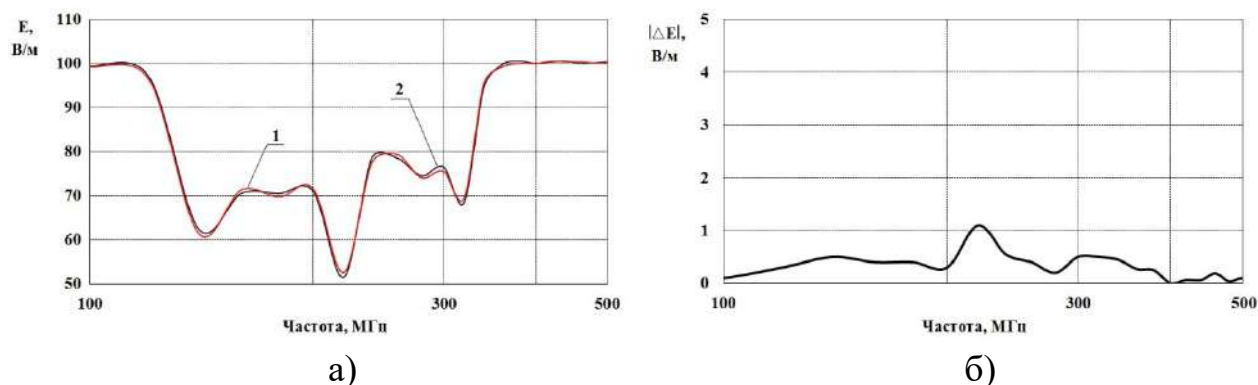


Рисунок 3.26 – Помехоустойчивость климатической системы автомобиля LADA GRANTA: а) уровни помехоустойчивости; б) модуль разницы между уровнями помехоустойчивости; 1 – позиционирование по оси излучения антенны; 2 – поперечное смещение 3 см.

Ко второй группе факторов, определяющих качество автомобилей по параметрам помехоустойчивости относятся конструкторско-технологические параметры АТС. Они группируются по следующим категориям:

- геометрические параметры отверстий, щелей кузова и внутреннего пространства;
- конструкция и топология жгутов проводов;
- отклонения расположения от номинальных мест позиционирования блоков бортовых систем;
- разброс параметров элементов электрических схем.

Как было ранее показано, АТС является сложной широкополосной антенной. Параметры щелей и отверстий на кузове влияют на уровень излучения, проникающего в подкапотное пространство. При длине щели кратной длине волны, она эффективно возбуждает электромагнитные колебания во внутреннем пространстве кузова. Отверстия представляют собой волноводы. Поэтому кузов не является эффективным экраном. Щели и отверстия возбуждают поле во внутреннем пространстве АТС, которое является сложным резонатором [81]. Выделяются три основных резонатора: салон, моторный отсек и багажник. Уровни поля на резонансных частотах могут в несколько раз превышать амплитуду внешнего воздействия (рисунок 3.27).

Не идентичность геометрических параметров отверстий, щелей, а также внутреннего пространства определяет дисперсию амплитуд полей в заданных зонах АТС одинаковых моделей и комплектаций (рисунок 3.28).

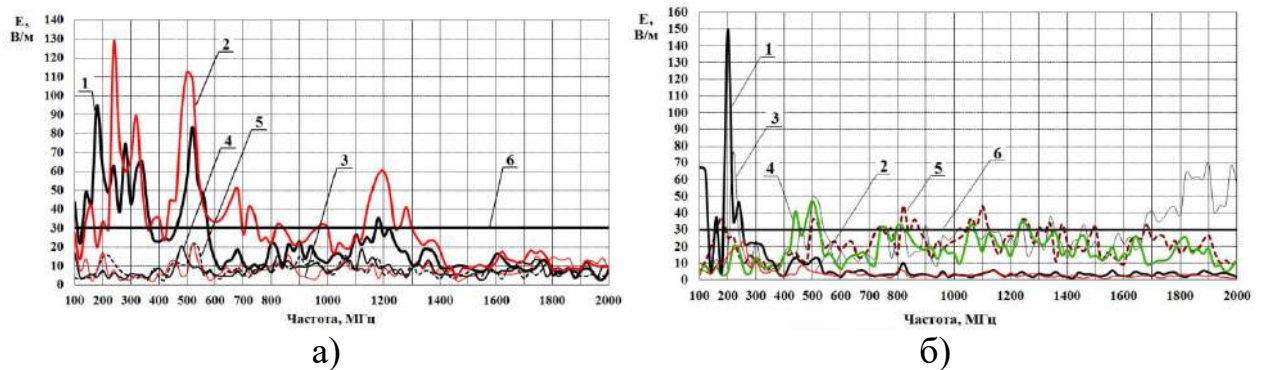


Рисунок 3.27 – Уровни электромагнитного излучения внутри автомобиля LADA X-RAY: а) излучающая антенна спереди автомобиля; б) излучающая антенна сзади автомобиля; 1 – блок электронной системы управления двигателем; 2 – генератор; 3 – магнитола; 4 – комбинация приборов; 5 – блок управления системы надувных подушек безопасности; 6 – воздействующий уровень излучения

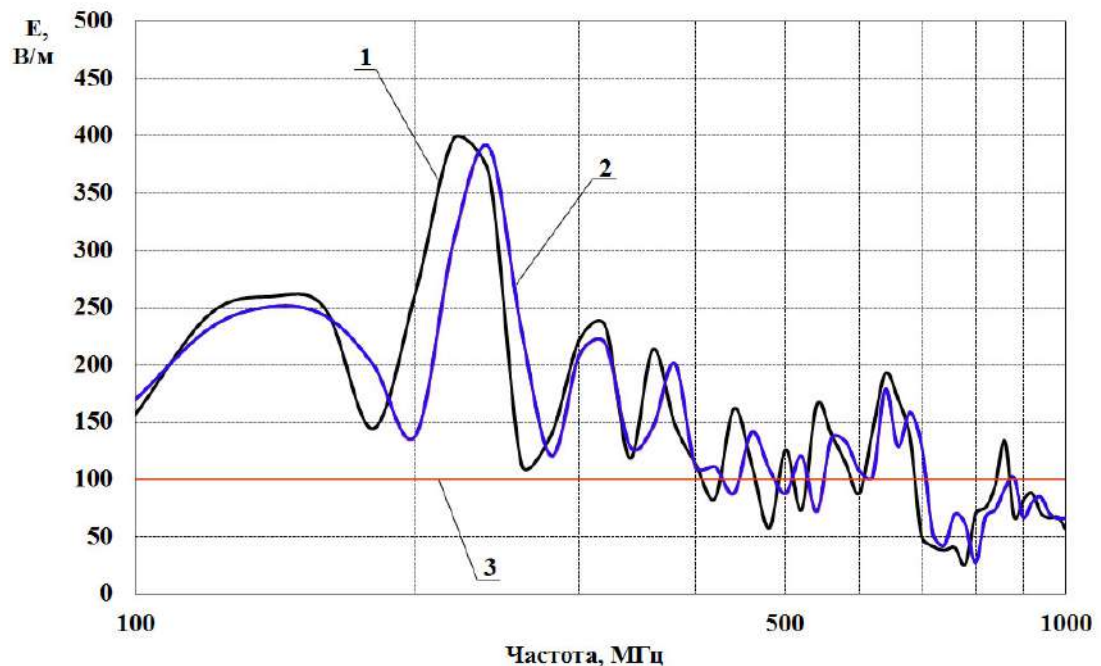


Рисунок 3.28 – Сравнение уровней поля в области генератора напряжения у автомобилей LADA VESTA одинаковых комплектаций: 1 – автомобиль №1; 2 – автомобиль №2; 3 – уровень внешнего излучения

Электромагнитное поле во внутреннем пространстве АТС проникает в электрические схемы по двум каналам: жгуты проводов и отверстия

устройства. Жгуты проводов, являются приемными антеннами и при совпадении их параметров с частотой поля, на них наводится высокий уровень помех.

Из-за несовершенства технологии изготовления жгутов невозможно обеспечить полную повторяемость координатного расположения проводов в самом жгуте. Данные технологические особенности влияют на дисперсию наводимых помех на одни и те же провода у разных АТС (рисунок 3.29), что доказывает существенность данного влияния на разброс значений параметров качества помехоустойчивости АТС.

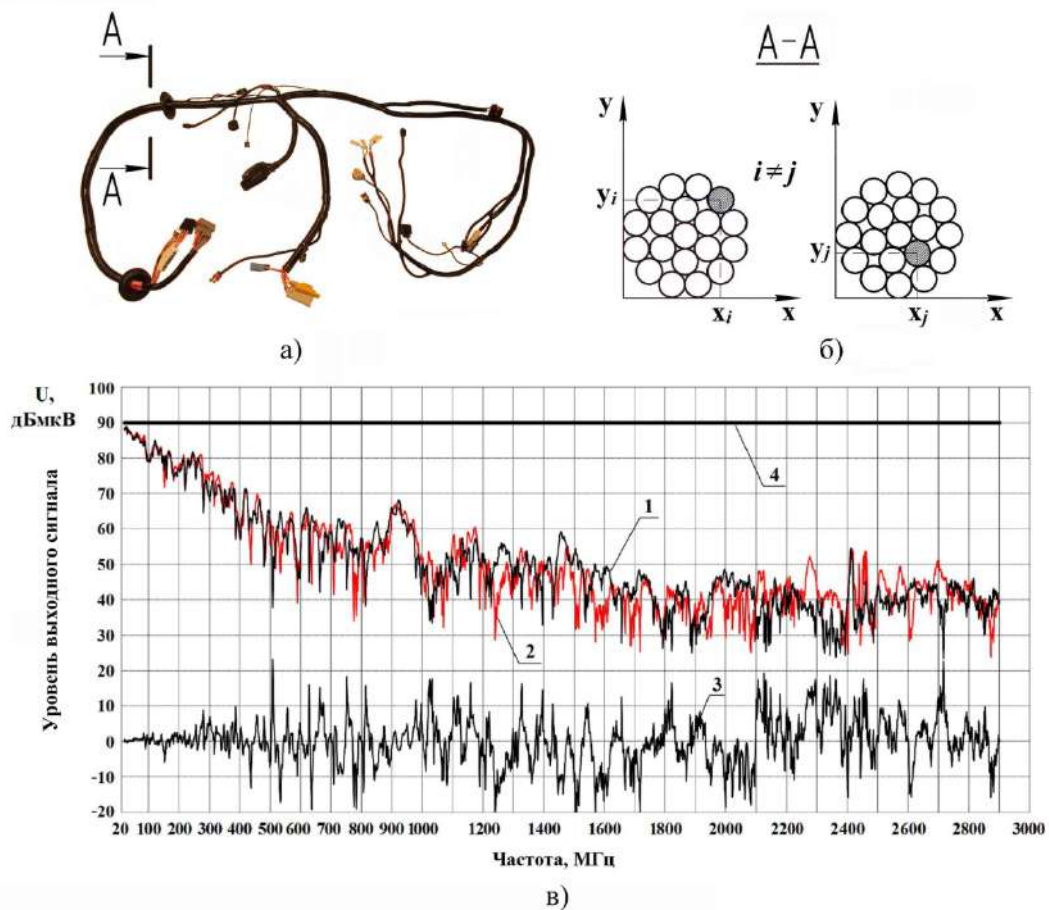


Рисунок 3.29 – Затухание двухпроводных линий жгутов из одной партии длиной 3 м: а) жгут проводов; б) расположение проводов в разных жгутах; в) данные эксперимента; 1 – линия №1; 2 – линия №2; 3 – разница характеристик №1 и №2; 4 – уровень сигнала с генератора

Рассуждая аналогичным образом, можно показать, что отклонения расположения от номинальных мест позиционирования блоков бортовых

систем, а также разброс параметров элементов электрических схем определяет дисперсию помехоустойчивости, что подтверждается экспериментальными исследованиями (рисунок 2.30).

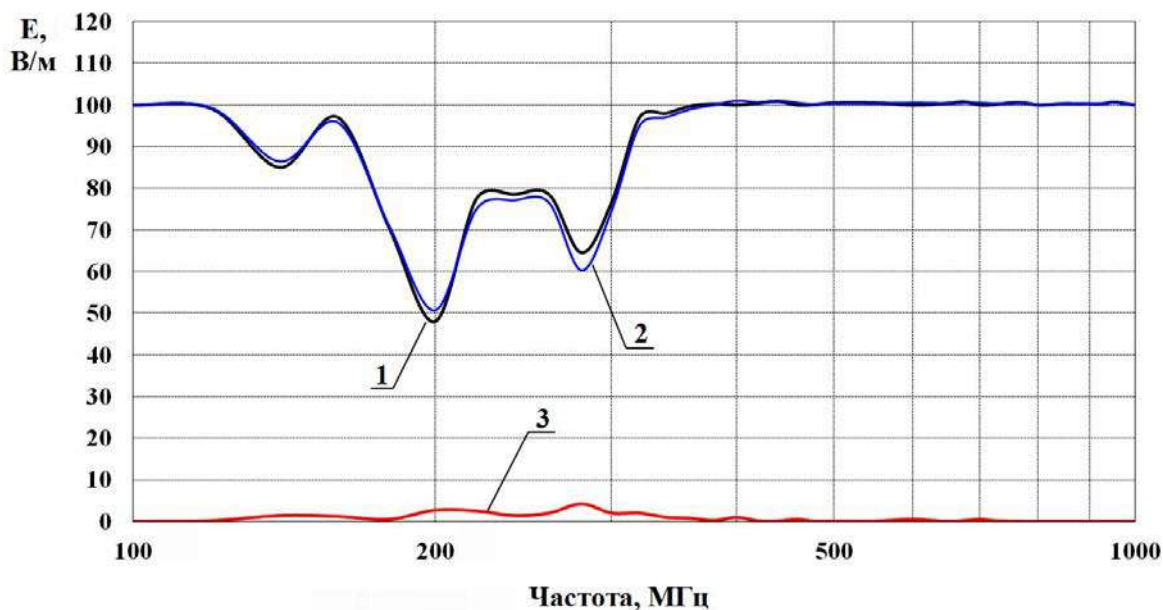


Рисунок 2.30 – Помехоустойчивость комбинации приборов: 1 – заданное посадочное место; 2 – комбинация приборов смещена относительно заданного места на 1 см вправо и замененными фильтрующими конденсаторами по входам цепи питания; 3 – модуль разницы кривых 1 и 2

Понятно, что рассмотренные факторы формируют характеристики качества по параметрам помехоустойчивости независимо друг от друга. В каждом конкретном случае их совокупность определяет уровни и частоты нарушений качества функционирования. Отсюда следует важный вывод - нарушения работоспособности у разных АТС имеют одну и ту же особенность [108], и поэтому независимо от того на какой частоте произошло нарушение работоспособности, важен уровень воздействия, при котором он появился. Его важность заключается в построении модели оценки качества соответствия по требованиям помехоустойчивости любой партии АТС, т.к. это позволяет не учитывать спектральные распределения, а оперировать только наименьшими значениями уровней характеристик качества по параметрам помехоустойчивости каждого конкретного АТС.

В процессе производства как бортовых систем, так и АТС из-за

отклонений технологических процессов все параметры имеют случайный характер. По аналогии, случайный характер имеют и тестовые параметры. В тоже время очевидно, что рассмотренные факторы независимы друг от друга. Отсюда на основании центральной предельной теоремы А.Н. Ляпунова минимальный уровень показателя качества помехоустойчивости АТС, подчиняется нормальному случайному закону [15]. Доказательство данного вывода было подтверждено экспериментально на основании статистических данных испытаний системы безопасной парковки 47 автомобилей LADA Granta (таблица 3.3). Для нахождения параметров нормального гипотетического закона распределения применялся метод оценки числовых характеристик по ограниченному числу опытов [15], в соответствии с которым математическое ожидание определяется как:

$$m_E = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n E_i, \quad (3.49)$$

где E_i – минимальный уровень помехоустойчивости i -й системы безопасной парковки; $n = 47$ – количество испытуемых автомобилей, а среднеквадратическое:

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (E_i - m_E)^2}. \quad (3.50)$$

$$m_E = 48,38 \text{ В/м}, \quad \sigma = 4,44 \text{ В/м}.$$

Статистический ряд распределения, имеющий границы 36,9 В/м и 60,3 В/м был разделен на 9 диапазонов с шагом равным 2,6 В/м. Гипотетическая вероятность распределения минимального уровня помехоустойчивости для каждого диапазона находилась из выражения [15]:

$$P_i = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \int_{E_i}^{E_{i+1}} \exp\left\{-\frac{(E_i - m_E)^2}{2\sigma^2}\right\} dE, \quad (3.51)$$

Зная P_i можно определить параметр χ^2 , который равен

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^k (n_i - np_i)^2 / (np_i) = 2,197. \quad (3.52)$$

Сравнительные графики плотностей статистической и гипотетической вероятностей минимального уровня помехоустойчивости представлены на рисунке 3.31.

Таблица 3.3 – Параметры нарушения качества функционирования системы безопасной парковки автомобилей LADA Granta

№	Число появлений, n_i	Диапазоны, В/м	Минимальные уровни помехоустойчивости, В/м	Гипотетическая вероятность, p_i	Статистическая вероятность, p^*_i	Статистическая плотность вероятности, $f(E)$
1	1	36,9 - 39,5	36,9	0,018	0,021	0,0082
2	2	39,5 - 42,1	40,2; 41,6	0,056	0,043	0,0164
3	7	42,1 - 44,7	42,2; 43,1; 43,7; 43,9; 44,4; 44,6; 44,6	0,125	0,149	0,0573
4	9	44,7 - 47,3	44,9; 45,3; 45,4; 45,8; 46,3; 46,7; 46,7; 47; 47,1	0,2	0,191	0,0736
5	12	47,3 - 49,9	47,3; 47,9; 48,2; 48,3; 48,6; 48,9; 49,1; 49,1; 49,2; 49,4; 49,5; 49,7; 49,8	0,23	0,277	0,1064
6	8	49,9 - 52,5	50,2; 50,6; 50,7; 51,5; 51,6; 52,2; 52,4	0,189	0,149	0,0573
7	6	52,5 - 55,1	52,7; 52,9; 53,6; 54,2; 54,5; 54,8	0,112	0,128	0,0491
8	1	55,1 - 57,7	56,4	0,047	0,021	0,0082
9	1	57,7 - 60,3	60,3	0,014	0,021	0,0082

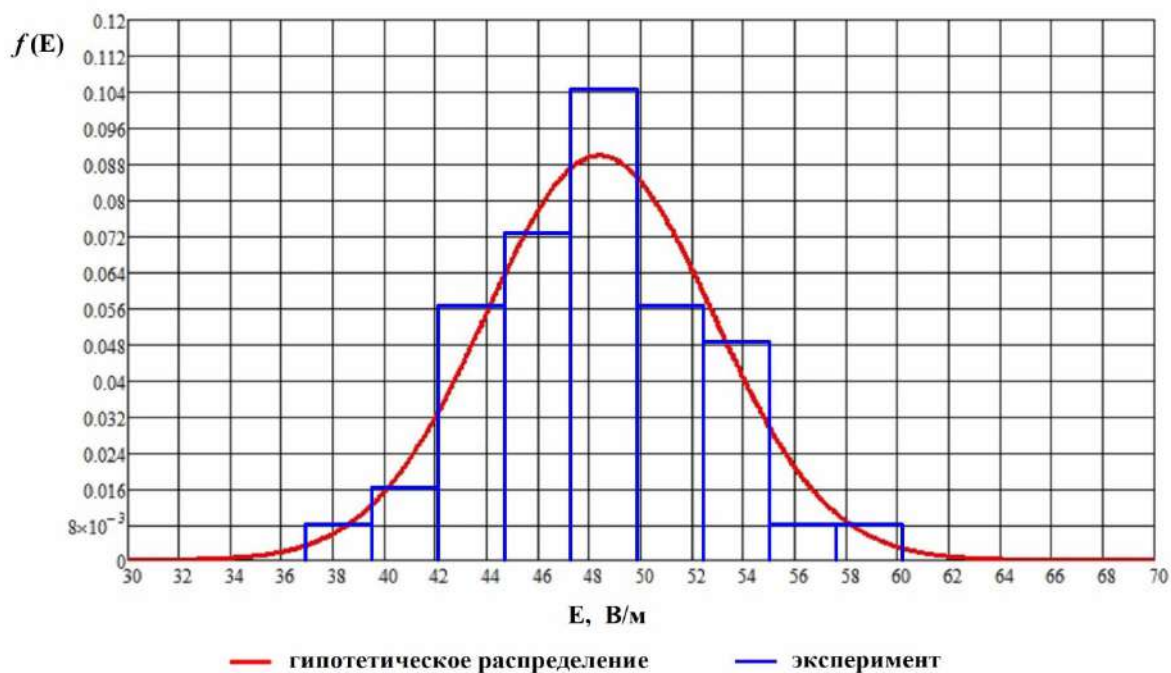


Рисунок 3.31 – Распределение минимальных уровней показателя качества по параметрам помехоустойчивости системы безопасной парковки автомобилей LADA Granta ($\chi^2=2,197$; $r=6$; $P=0,9$)

Полученные выше выводы используем для разработки вероятностной математической модели оценки качества автомобилей по параметрам помехоустойчивости для большой партии АТС по ограниченной выборке. Исходными данными являются результаты испытаний некоторого количества АТС одинаковых моделей, а именно минимальные значения помехоустойчивости [77]. По окончании теста конкретного АТС строится матрица показателей качества по параметрам помехоустойчивости, и из нее выбирается минимальное значение (по сути которое определяет индикатор определяющий минимальное значение параметра качества):

$$\begin{vmatrix} E_{f_{\min}, \alpha_{\min}} & E_{f_{\min}, \alpha_{\min} + \Delta \alpha k} & \dots & E_{f_{\min}, \alpha_{\max}} \\ E_{f_{\min} + \Delta f m, \alpha_{\min}} & E_{f_{\min} + \Delta f m, \alpha_{\min} + \Delta \alpha k} & \dots & E_{f_{\min} + \Delta f m, \alpha_{\max}} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ E_{f_{\max}, \alpha_{\min}} & E_{f_{\max} + \Delta f m, \alpha_{\min} + \Delta \alpha k} & \dots & E_{f_{\max}, \alpha_{\max}} \end{vmatrix} \rightarrow E_{\min}. \quad (3.53)$$

Так как выборка образцов ограничена, то адекватно найти эффективные оценки первых двух моментов уровня показателя качества по параметрам помехоустойчивости. Для математического ожидания он находится из выражения

$$\overline{E}_{\min} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n E_{i\min}, \quad (3.54)$$

где $E_{i\min}$ – минимальный уровень помехоустойчивости $i^{\text{го}}$ каждого АТС, проходящего испытания; n – количество АТС, а эффективная оценка дисперсии:

$$S_D^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (E_{i\min} - \overline{E}_{\min})^2. \quad (3.55)$$

Далее задача сводится к нахождению этих моментов с заданной вероятностью. Вероятностный закон распределения уровня помехоустойчивости, как было показано ранее является нормальным, то применим распределение Стьюдента для определения интервальной оценки математического ожидания. Выбор распределения Стьюдента обоснован независимостью его от обеих моментов. Отсюда надежность того, что первый момент попадет в некоторый интервал равна

$$P\left(\overline{E}_{\min} - t_{\alpha} \frac{S_D}{\sqrt{n}} < m_{E_{\min}} < \overline{E}_{\min} + t_{\alpha} \frac{S_D}{\sqrt{n}}\right) = 1 - \alpha, \quad (3.56)$$

где t_{α} – коэффициент Стьюдента, который для заданной α находится по таблицам.

Математическое ожидание более обоснованно находить с позиции наихудшего варианта. Отсюда:

$$m_{E_{\min}} = \overline{E}_{\min} - t_{\alpha} \frac{S_D}{\sqrt{n}}. \quad (3.57)$$

При нахождении второго момента применим распределение χ^2 , потому что математическое ожидание неизвестно. Тогда надежность попадания дисперсии в некоторый интервал равна

$$P\left(\frac{(n-1)S_D^2}{\chi_\alpha^2} < \sigma_{E_{\min}}^2 < \frac{(n-1)S_D^2}{\underline{\chi}_\alpha^2}\right) = 1 - \alpha, \quad (3.58)$$

где χ^2 – коэффициенты распределения, которые для заданной α находится по таблицам.

Среднеквадратичное отклонение ($\sigma_{E_{\min}}$) при этой же вероятности будет находится в пределах

$$P\left(\sqrt{\frac{(n-1)S_D^2}{\chi_\alpha^2}} < \sigma_{E_{\min}} < \sqrt{\frac{(n-1)S_D^2}{\underline{\chi}_\alpha^2}}\right) = 1 - \alpha, \quad (3.59)$$

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

$$\sqrt{\frac{(n-1)S_D^2}{\chi_\alpha^2}} < \sigma_{E_{\min}} < \sqrt{\frac{(n-1)S_D^2}{\underline{\chi}_\alpha^2}}. \quad (3.60)$$

Среднеквадратическое отклонение более обоснованно находить с позиции наихудшего варианта, т.е. $\sigma_{E_{\min}}$ будет равно наибольшей интервальной границе:

$$\sigma_{E_{\min}} = \sqrt{\frac{(n-1)S_D^2}{\underline{\chi}_\alpha^2}}, \quad (3.61)$$

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

Физический смысл выражения (3.61) означает, что выбирается значение наибольшего рассеяния минимального уровня помехоустойчивости.

Зная числовые характеристики нормального закона распределения, определяется вероятностный показатель качества автомобилей по параметрам помехоустойчивости, как вероятность соответствия требованиям по помехоустойчивости партии АТС [118]:

$$P_{ATC} = \frac{1}{\sqrt{2\pi} \sqrt{\frac{(n-1)S_D^2}{\chi_\alpha^2}}} \int_{E_{\lim}}^{\infty} e^{-\frac{\left[E - \left(\bar{E}_{\min} - t_\alpha \frac{S}{\sqrt{n}}\right)\right]^2}{\frac{2(n-1)S^2}{\chi_\alpha^2}}} dE, \quad (3.62)$$

где E_{lim} – предельно-допустимый уровень помехоустойчивости для АТС, как сложного электротехнического комплекса. На практике E_{lim} выбирается из нормативных документов, например, 30 В/м в соответствии с международными Правилами R10-06, или это могут быть внутренние требования предприятия.

Вероятность $P_{АТС}$ сравнивается с вероятностью P_{lim} , характеризующей предельно-допустимым показателем качества. При условии $P_{АТС} \geq P_{lim}$ партия АТС считается соответствующей требованиям помехоустойчивости и последующие мероприятия по обеспечению качества АТС. Неравенство $P_{АТС} < P_{lim}$ говорит о необходимости ЭМС доработок.

На практике рациональное количество тестируемых АТС для оценки соответствия качества по требованиям помехоустойчивости по разработанной математической модели выбирается от 3 до 5, т.к. связано с длительностью процесса испытаний. Другой особенностью является проведение тестов в нагруженном режиме поля, по отношению к E_{lim} , для определения E_{min} . Поэтому уровень испытательного воздействия в заданном диапазоне частот выбирается из критерия

$$E_{воз} = kE_{lim}, \quad (3.63)$$

где $k \geq 2$. На практике коэффициент k целесообразно выбирать в диапазоне от 2 до 4.

В зависимости от назначения АТС задается надежность оценок математического ожидания и дисперсии помехоустойчивости АТС и предельно-допустимый показатель качества. Для гражданского применения их диапазон находится в пределах 0,8 – 0,9, для специального назначения от 0,95 до 0,98.

Ниже приведен пример оценки соответствия автомобилей модели LADA KALINA по выборке трех образцов для $P_{lim}=0,8$. По результатам экспериментов (рисунок 3.32) в диапазоне частот 100 – 1000 МГц и начальном уровне воздействия $E_{воз}=100$ В/м были определены характеристики помехоустойчивости контроллера системы управления двигателем.

Соответственно для автомобиля №1: $E_{\min}=54$ В/м (частота 200 МГц), автомобиля №2: $E_{\min}=60$ В/м (частота 150 МГц) и для автомобиля №3: $E_{\min}=63$ В/м (частота 170 МГц).

На основании формул, полученных выше, и опуская промежуточные вычисления, для надежности $P = 0,8$, которой в соответствии с таблицами $t_\alpha = 1.886$, а $\chi_\alpha^2 = 0,21$, рассчитаны математическое ожидание и среднеквадратическое отклонение, которые равны

$$m_{E_{\min}} = \bar{E}_{\min} - t_\alpha \frac{S_D}{\sqrt{2}} = 52,88 \text{ В / м ,}$$

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

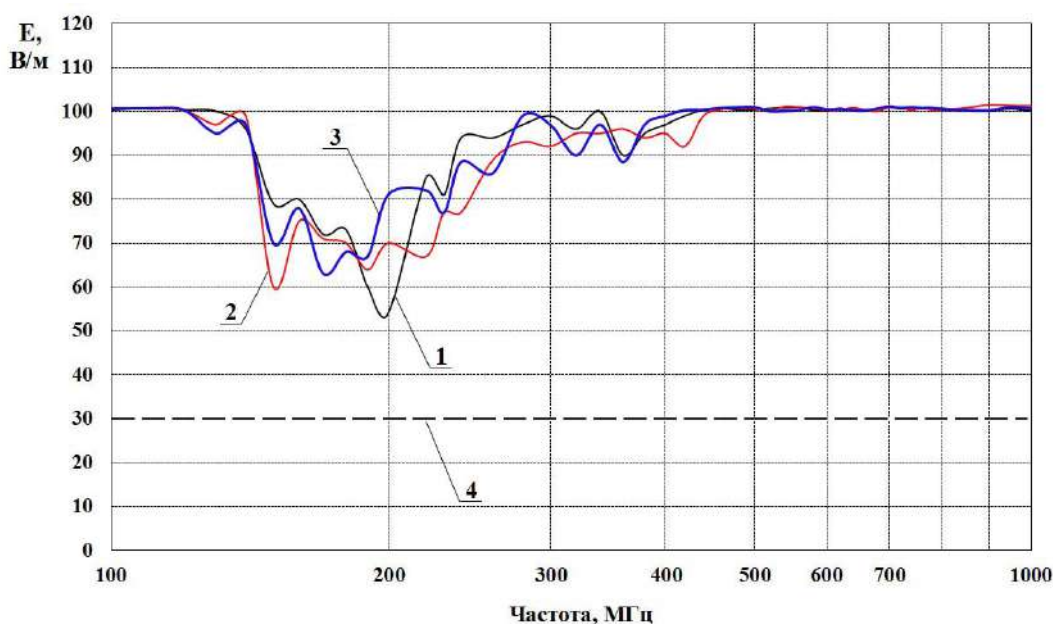


Рисунок 3.32 – Характеристики помехоустойчивости автомобилей LADA KALINA: 1 – №1; 2 – №2; 3 – №3; 4 – $E_{\lim}$

Задав предельно-допустимый уровень $E_{\lim} = 30$ В/м, который определен в международных стандартах (Правила R10-06) и подставив его в (3.62), получим вероятностную оценку качества по параметрам помехоустойчивости $P = 0,947$. Сравним его с критериальным значением $P \geq P_{\lim}$, т.к. $0,947 \geq 0,8$. На основании чего следует вывод, согласно которому автомобили модельного ряда LADA KALINA соответствуют международным требованиям помехоустойчивости.

Поэтому применение дополнительных мероприятий по помехозащищенности АТС не требуется.

3.6 Экспериментальные исследование показателей качества автомобилей по параметрам помехоустойчивости

При исследованиях качества автомобилей по параметрам помехоустойчивости применялась экспериментальная база лаборатории ЭМС АО «АВТОВАЗ», включающая безэховую камеру с поворотным динамометрическим роликовым стендом, антенны для создания электромагнитного поля (рисунок 3.33), усилители мощности, датчики поля, а также робот-автопилот, обеспечивающий задание динамических ездовых циклов АТС (рисунок 3.34).

Безэховая камера, имеет габаритные размеры $30 \times 20 \times 14,5$ м, что позволяет проводить тесты полноразмерных АТС в диапазоне частот от 20 МГц до 18 ГГц. Для создания электромагнитного поля с максимальным уровнем 200 В/м в диапазоне частот 20 МГц – 4 ГГц применяются антенны AT 1225, AT 1250, AT 1080 и AT 4510 и усилители мощности ф. Amplifier Research: AR 10000 L, AR 3000 W, AR 500 TG 2 и Rohde & Schwarz BBA100, а также широкополосные изотропные датчики Е-поля RadiSense 4 [122, 130].

Программа экспериментов включала в себя испытания различных моделей автомобилей, в том числе и перспективных прототипов, которые подвергались электромагнитному излучению с максимальным уровнем 100 В/м. Задавались следующие параметры воздействия:

- немодулированный сигнал: от 20 МГц до 2 ГГц;
- амплитудно-модулированный сигнал: модулирующая частота - 1 кГц, глубина модуляции - $m=80\%$, диапазон частот – от 20 МГц до 1 ГГц;
- импульсно-модулированный сигнал: $\tau=577$ мкс, $T=4600$ мкс, диапазон от 100 МГц до 2 ГГц;

- добротность: $Q=33,8$.

В процессе испытаний на качество, автомобили позиционировались по отношению к антенне с дискретным углом 30 град [113]. Данное значение не соответствует предложенному в работе оптимальному углу, т.к. предоставленное на исследования лабораторией ЭМС время было ограничено.



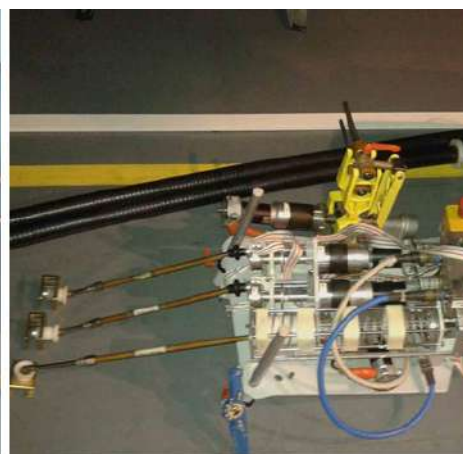
Рисунок 3.33 – ЭМС лаборатория АО «АВТОВАЗ»



а)



б)



в)

Рисунок 3.34 – Испытательное оборудование ЭМС лаборатории: а) усилители мощности; б) датчики электромагнитного поля; в) робот-автопилот

Обработка результатов с учетом параметра частотности, который показывает сколько раз на конкретной частоте происходило нарушение работоспособности при разных углах позиционирования:

$$F_{\beta} = \frac{K_{\beta}}{N_{\beta}} \Big|_{f=\text{const}} \quad (3.64)$$

где K_{β} – количество угловых позиций автомобиля по отношению к антенне при которых происходило нарушение функционирования; N_{β} – полное количество угловых позиций автомобиля.

Исследование показателей качества гибридных автомобилей по параметрам помехоустойчивости.

Конфигурация прототипа гибридного автомобиля на базе LADA GRANTA включала системы управления электродвигателем и двигателем внутреннего сгорания [239]. В ходе испытаний были выявлены три вида нарушения работоспособности, выражающиеся в прекращении [91, 93, 105, 239]:

- процесса заряда тяговой аккумуляторной батареи в фазе рекуперации энергии;
- работы двигателя внутреннего сгорания;
- прекращения работы электродвигателя.

В первом случае нарушение качества функционирования происходило при узкополосном немодулированном излучении в диапазоне частот от 80 до 1400 МГц (рисунок 3.35). После прекращения воздействия заряд тяговой аккумуляторной батареи восстанавливался, что соответствует функциональному классу С. Минимальный уровень помехоустойчивости составил 28 В/м на частоте 124 МГц при азимутальном угле 120 град. В диапазоне частот 90 – 600 МГц для $F_{\beta} \geq 0,3$ было зарегистрировано 86,2% сбоев, а в диапазоне 90 – 640 МГц для $F_{\beta} \geq 0,2$ наблюдалось 88,9 % случаев проблем.

Обеспечение помехоустойчивости канала заряда тяговой аккумуляторной батареи в фазе рекуперации к электромагнитному воздействию 100 В/м было

достигнуто оптимизацией контура заземления контроллера системы управления [93].

Во втором случае нарушение работоспособности (прекращение работы двигателя внутреннего сгорания) происходило при узкополосном амплитудно-модулированном излучении в диапазоне частот от 98 до 1300 МГц (рисунок 3.36) [91]. При заряженной тяговой батарее более 20% рассматриваемая проблема ЭМС характеризовалась как функциональный класс С, так как бортовой контроллер переводил управление на электродвигатель без существенных изменений в процессе движения автомобиля, а после снятия электромагнитного поля двигатель внутреннего сгорания опять начинал функционировать. При разряженной тяговой аккумуляторной батарее нарушение работоспособности характеризовалось как класс D, т.к. автомобиль останавливался, а возобновление его работы производилось повторным пуском двигателя при отсутствии воздействия.

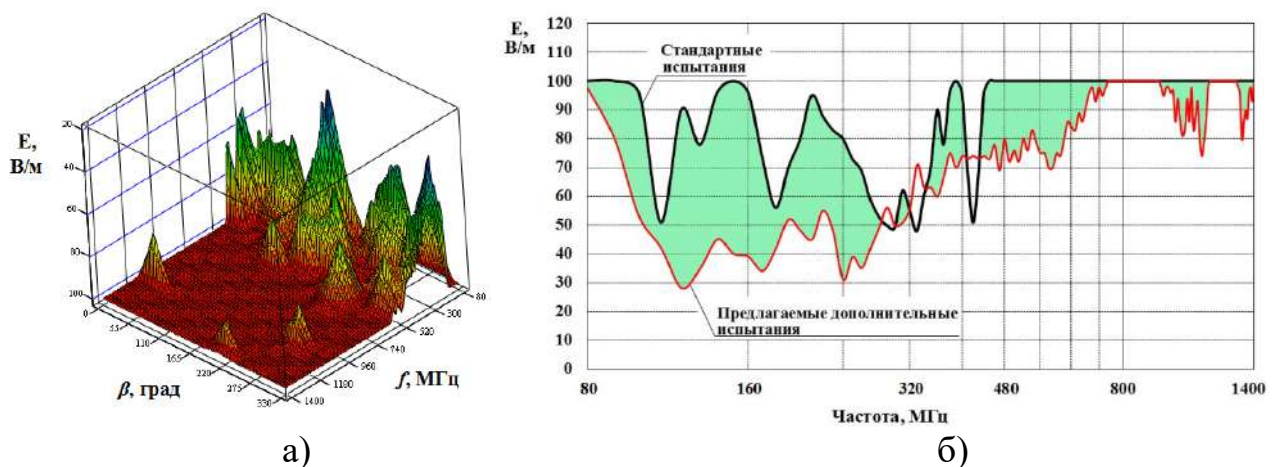


Рисунок 3.35 – Помехоустойчивость канала рекуперации энергии прототипа гибридного автомобиля LADA GRANTA (прекращение зарядки тяговой АКБ): а) частотно-азимутальное распределение; б) минимальные значения

Минимальный уровень показателя качества по параметрам помехоустойчивости составил 25 В/м на частоте 201 МГц при азимутальном угле 120 град. В диапазоне частот 100 – 490 МГц для $F_\beta \geq 0,3$ было зарегистрировано 74% нарушений работоспособности, а в диапазоне 98 – 600 МГц для $F_\beta \geq 0,2$ наблюдалось 81,4 % случаев проблем ЭМС.

Обеспечение качества по параметрам помехоустойчивости системы управления двигателем к электромагнитному воздействию 100 В/м было достигнуто улучшением фильтрации по цепям питания контроллера [122].

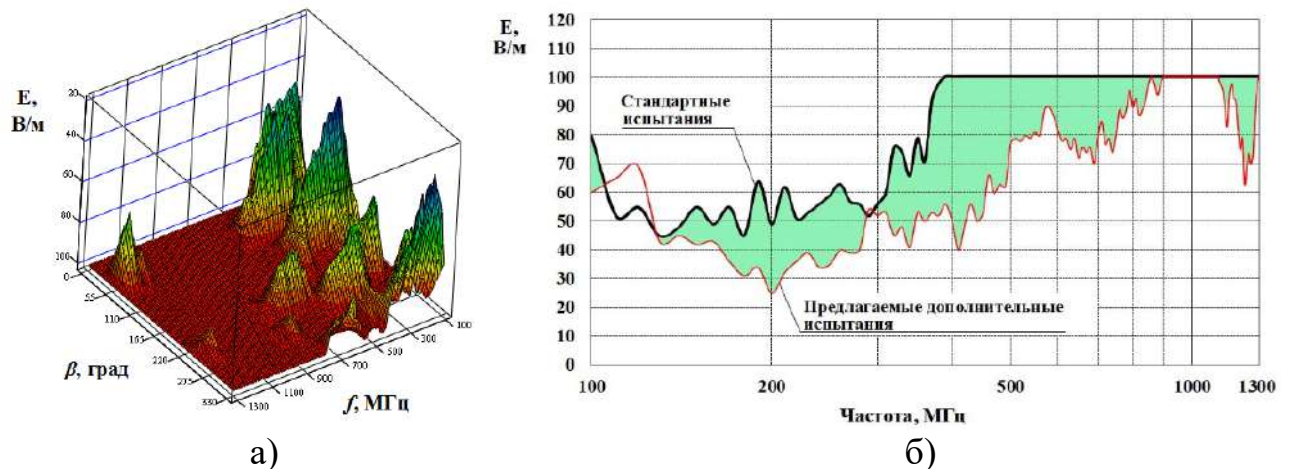


Рисунок 3.36 – Помехоустойчивость системы управления двигателем внутреннего сгорания прототипа гибридного автомобиля LADA GRANTA (прекращение работы двигателя): а) частотно-азимутальное распределение; б) минимальные значения

В третьем случае нарушение качества функционирования (прекращения работы электродвигателя) происходило при воздействии импульсного излучения в диапазоне частот от 500 до 1400 МГц (рисунок 3.37) [105].

Несмотря на то, что после наступления указанного события, управление автоматически переводилось на двигатель внутреннего сгорания и автомобиль продолжал ездовой цикл, рассматриваемая проблема ЭМС классифицировалась функциональным классом Е, т.к. электродвигатель после прекращения электромагнитного воздействия не возобновлял свою работу. Для продолжения движения на электротяге требовалось произвести операцию отключения/включения электропитания контроллера управления от аккумуляторной батареи.

Минимальный уровень показателя качества по параметрам помехоустойчивости составил 43 В/м на частоте 597 МГц при азимутальном угле 270 град. В диапазоне частот 560 – 1160 МГц для $F_{\beta} \geq 0,3$ было зарегистрировано 86,9% нарушений работоспособности, а в диапазоне 540 – 1360 МГц для $F_{\beta} \geq 0,2$ наблюдалось 95,6 % случаев проблем ЭМС [122].

Данные эксперимента показывают, что данный вид нарушения работоспособности проявлялся в области частот стандарта GSM, из этого следует, что АТС может быть восприимчив к электромагнитным полям сотовой сети связи. Исследование проблемы ЭМС показало, что она происходило «зависание» микропроцессора системы управления электродвигателем. Применение сторожевого таймера, автоматически перезагружающего систему в течении 20 мс, позволило обеспечить помехоустойчивость к воздействию с уровнем 100 В/м.

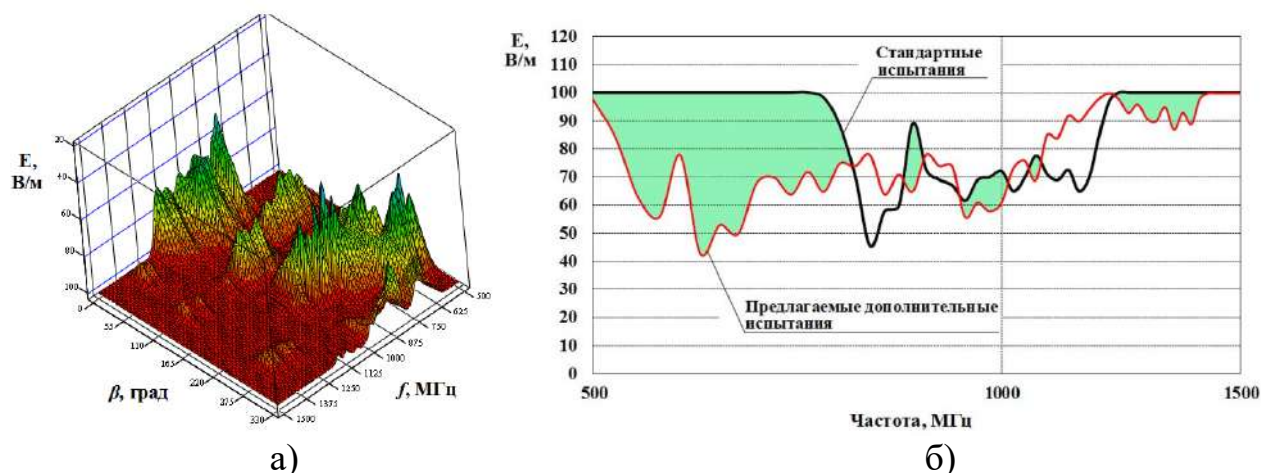


Рисунок 3.37 – Помехоустойчивость системы управления электродвигателем прототипа гибридного автомобиля LADA GRANTA (прекращение работы электродвигателя): а) частотно-азимутальное распределение; б) минимальные значения

Исследование показателей качества по параметрам помехоустойчивости электромобиля.

Конфигурация электромобиля зарубежного производства (служба безопасности АВТОВАЗ не разрешила раскрывать модель) с электрическим асинхронным двигателем номинальной мощности 30 кВт.

В процессе экспериментов было определено, что нарушения качества функционирования, выражающиеся в виде прекращения работы электродвигателя, происходили при воздействии немодулированного узкополосного электромагнитного излучения в диапазоне частот от 110 до 490 МГц (рисунок 3.38). Рассматриваемая проблема ЭМС характеризовалась как

функциональный класс D, т.к. для возобновления работы штатной электродвигателя необходимо было произвести операцию «Выкл/Вкл» ключа (аналог ключа зажигания), коммутирующего напряжение бортовой сети [117].

Минимальный уровень показателя качества по параметрам помехоустойчивости составил 49 В/м на частоте 343 МГц при азимутальном угле 30 град. В диапазоне частот 130 – 440 МГц для $F_{\beta} \geq 0,3$ было зарегистрировано 95,6% нарушений работоспособности, а в диапазоне 120 – 450 МГц для $F_{\beta} \geq 0,2$ наблюдалось 97,8 % случаев проблем ЭМС.

Из-за того, что исследуемый электромобиль был зарубежного производства, детальное изучение физических основ проблем ЭМС не проводилось.

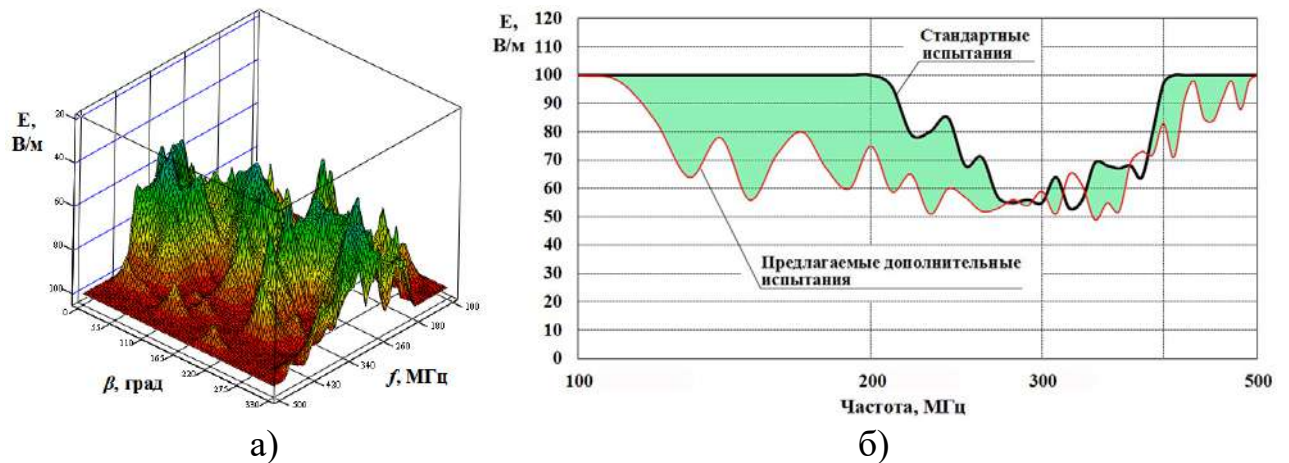


Рисунок 3.38 – Помехоустойчивость электромобиля: а) частотно-азимутальное распределение; б) минимальные значения

Исследования помехоустойчивости электронной системы управления двигателем внутреннего сгорания автомобиля.

Объектом испытаний был выбран автомобиль LADA Kalina с модернизированной системой управления двигателя, в которой внедрялась диагностика работоспособности индивидуальных катушек зажигания. В процессе экспериментов происходило прекращение работы двигателя при воздействии немодулированного узкополосного электромагнитного излучения в диапазоне частот от 99 до 980 МГц (рисунок 3.39). Исследования показали, что проблема ЭМС была вследствие ложной диагностики неисправности

катушек зажигания. Под воздействием электромагнитного воздействия, наводимые в электрических цепях помехи, искажали информацию по каналам диагностики катушек зажигания, и контроллер системы управления двигателем присваивал им неисправный статус и запрещал накопление энергии в катушках, а также топливоподачу в цилиндры двигателя. Данная ЭМС проблема классифицировалась как функциональный класс D, т.к. для возобновления дальнейшей работы необходимо было произвести пуск двигателя после прекращения электромагнитного воздействия [131, 241].

Минимальный уровень показателя качества по параметрам помехоустойчивости составил 30 В/м на частоте 203 МГц при азимутальном угле 210 град. В диапазоне частот 110 – 430 МГц для $F_{\beta} \geq 0,3$ было зарегистрировано 79,5% нарушений работоспособности, а в диапазоне 99 – 440 МГц для $F_{\beta} \geq 0,2$ наблюдалось 81,4 % случаев проблем ЭМС.

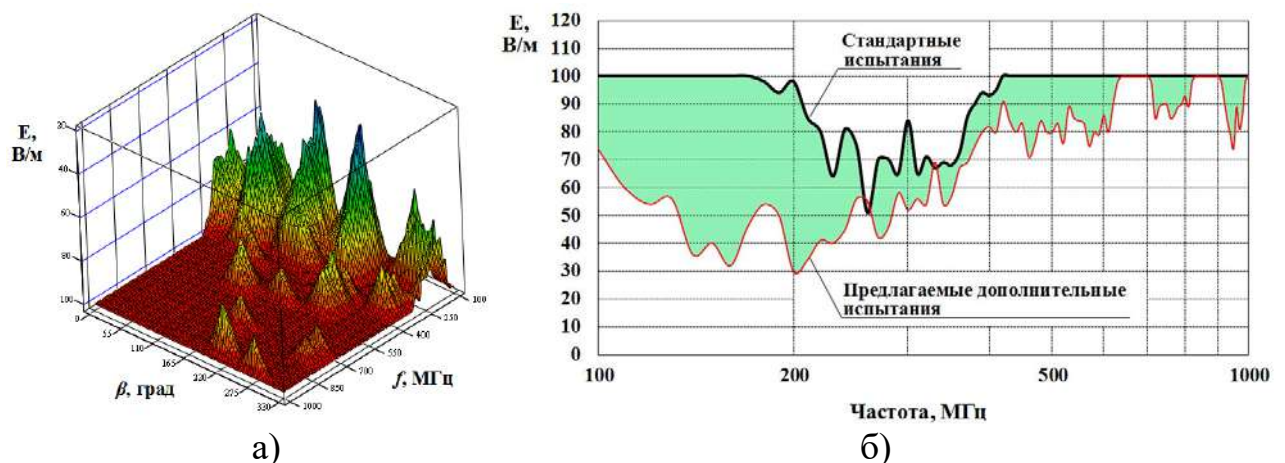


Рисунок 3.39 – Помехоустойчивость модернизированной системы управления ДВС автомобиля LADA Kalina: а) частотно-азимутальное распределение; б) минимальные значения

Обеспечение требованиям качества по параметрам помехоустойчивости к внешнему воздействию 100 В/м достигнуто модернизацией алгоритма работы программы [133]. Предложенное решение основывается на том, что вероятность выхода из строя в процессе эксплуатации двух и более катушек зажигания с интервалом менее 300 мс пренебрежимо мала. Отсюда при одновременном диагностировании проблем работоспособности у нескольких

катушек, информация о данных событиях игнорировалась и соответственно топливоподача в цилиндры двигателя и накопление энергии в катушках не отключались [109].

Исследование показателей качества по параметрам помехоустойчивости системы управления автоматической коробкой передач автомобиля.

Конфигурация тестируемого автомобиля LADA GRANTA включала автоматическую коробку передач и контроллер управления зарубежного производства

Проведенные исследования выявили сбой по цепи датчика положения привода выбора передачи, который приводил к самопроизвольному переключению коробки с первой передачи на нейтральную и появлению ложной ошибки диагностики «Замыкание цепи на бортовую сеть» (рисунок 3.40) [129]. Данная ЭМС проблема классифицировалась как функциональный класс D, т.к. после прекращения электромагнитного воздействия передачи не переключались. Для возобновления работы в штатном режиме требовалось произвести операцию «Выкл/Вкл» ключа зажигания, с соответствующей остановкой и пуском двигателя [131].

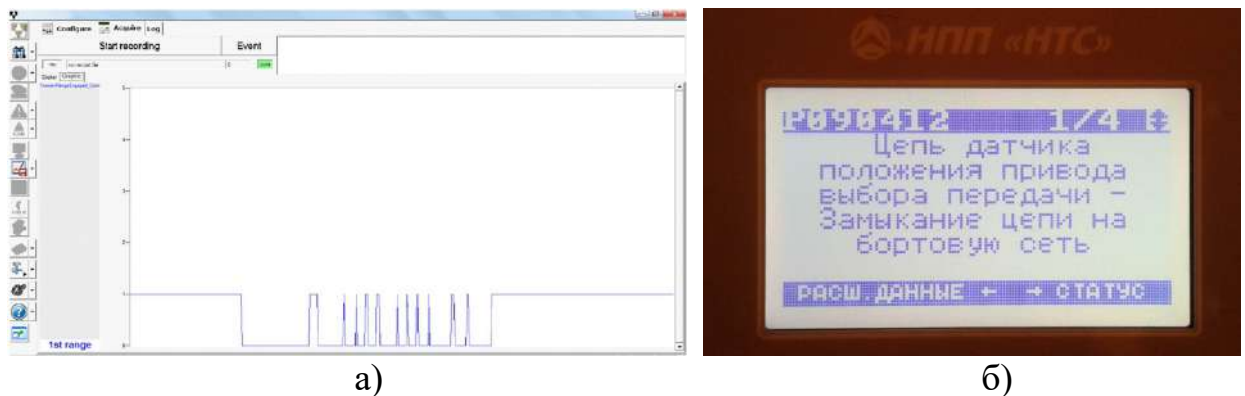


Рисунок 3.40 – Нарушение качества функционирования электронной системы управления автоматизированной коробкой передач:

- а) самопроизвольное переключение с первой на нейтральную передачу;
- б) ложная диагностика ошибки

Нарушения качества функционирования системы управления автоматической коробкой передач происходили в диапазоне частот от 85 до 250 МГц при воздействии амплитудно-модулированного электромагнитного

излучения (рисунок 3.41). Минимальный уровень показателя качества по параметрам помехоустойчивости составил 31 В/м на частоте 176 МГц при азимутальном угле 180 град. В диапазоне частот 90 – 245 МГц для $F_{\beta} \geq 0,3$ было зарегистрировано 98,4% нарушений работоспособности, а в диапазоне 85 – 245 МГц для $F_{\beta} \geq 0,2$ наблюдалось 99,3 % случаев проблем ЭМС.

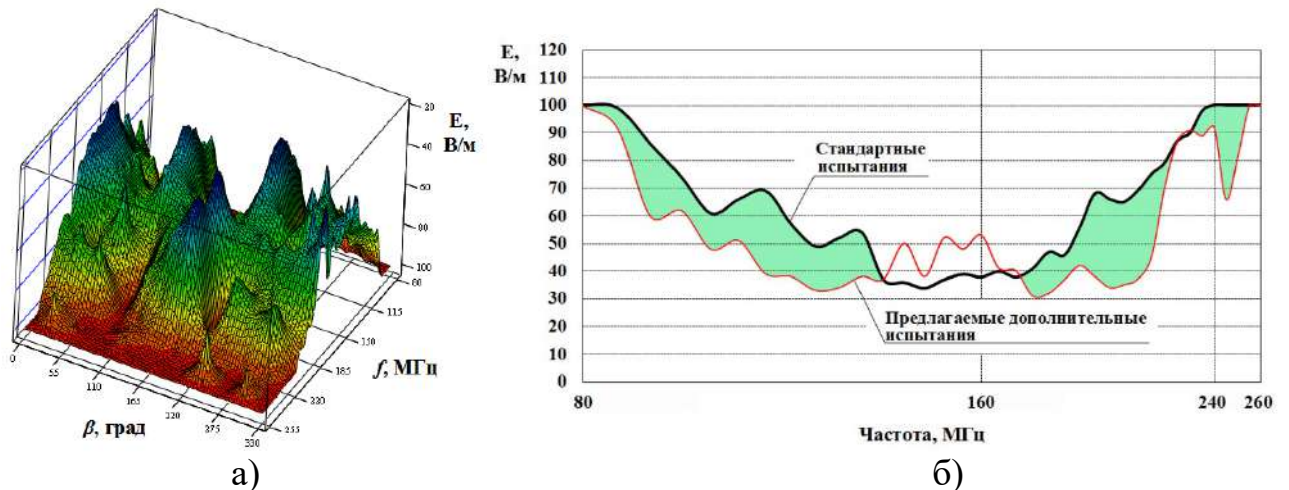


Рисунок 3.41 – Помехоустойчивость системы управления автоматической коробкой передач опытного образца автомобиля LADA GRANTA: а) частотно-азимутальное распределение; б) минимальные значения

Так как исследуемый автомобиль был оснащен системой управления коробкой передач зарубежного производителя, работы по детальному изучению физики проблемы ЭМС, а также доработка по повышению помехоустойчивости не проводились.

Исследование показателя качества по параметрам помехоустойчивости канала управления скоростью автомобиля.

Исследования помехоустойчивости канала управления скоростью проводились на прототипе автомобиля LADA Vesta с электронной педалью акселератора. Конструкция педали состоит из двух переменных резисторов, а выходное напряжение является функцией скорости автомобиля.

В процессе экспериментов под воздействием внешнего излучения сигнал с педали акселератора искажался таким образом, что вносимое приращение по уровню интерпретировалось контроллером управления на увеличение или уменьшение скорости движения (рисунок 3.42) [129].

Искажение информации канала управления скоростью автомобиля происходило в диапазоне частот от 100 до 775 МГц при воздействии немодулированного узкополосного электромагнитного излучения (рисунок 3.43). Минимальный уровень показателя качества по параметрам помехоустойчивости составил 49 В/м на частоте 139 МГц при азимутальном угле 120 град. В диапазоне частот 110 – 580 МГц для $F_{\beta} \geq 0,3$ было зарегистрировано 95,9% проблем ЭМС.

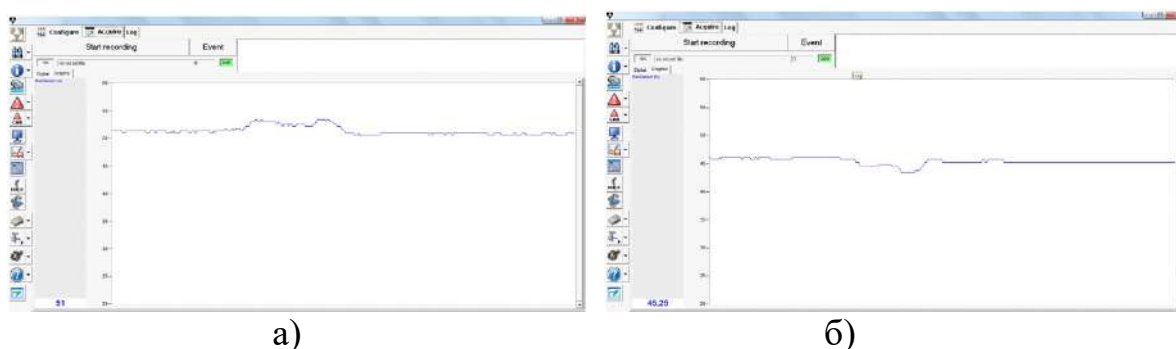


Рисунок 3.42 – Влияние электромагнитного воздействия на показания электронной педали акселератора: а) увеличение скорости движения; б) уменьшение скорости движения

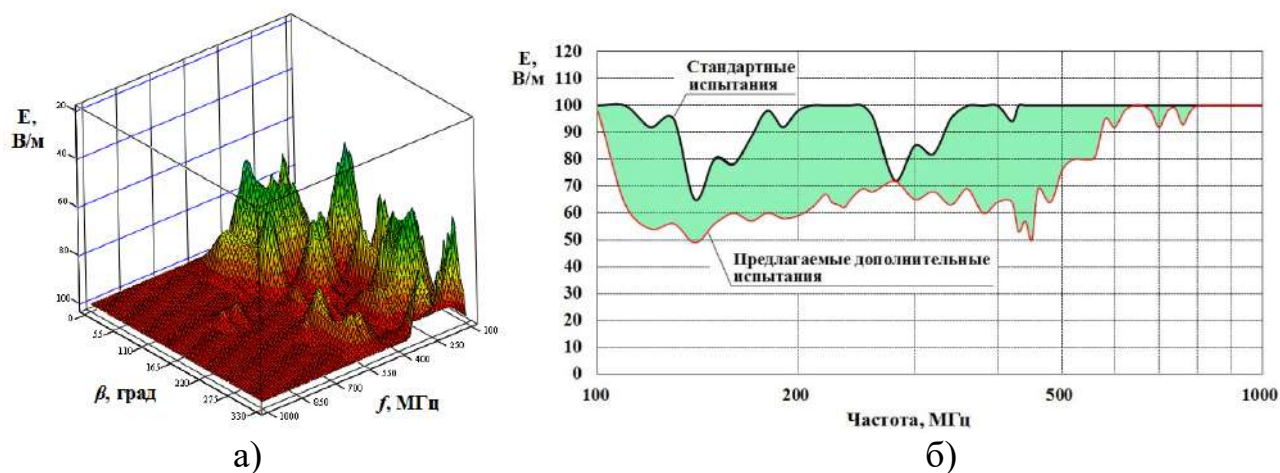


Рисунок 3.43 – Помехоустойчивость канала данных управления скоростью автомобиля LADA Vesta: а) частотно-азимутальное распределение; б) минимальные значения

Применение экранировки сигнальных проводов от педали акселератора до контроллера системы управления позволило обеспечить помехоустойчивость данного канала до уровня 100 В/м.

Исследование показателя качества по параметрам помехоустойчивости информационной CAN-шины

Исследования помехоустойчивости информационной CAN-шины проводились на автомобиле LADA GRANTA. Эксперименты показали, что под действием помех передаваемая в шине информация искажалась и диагностировалась как отсутствие сообщений (рисунок 3.44) [129]. Данная проблема ЭМС характеризировалась функциональным классом D, т.к. система ABS отключалась от сети и не передавала данные скорости автомобиля, что приводило к переходу контроллера системы управления двигателем в аварийный режим работы, влияя на динамические характеристики движения. Для восстановления штатной работоспособности необходимо было выполнить перезагрузку сети операцией «Выкл/Вкл» ключа зажигания.

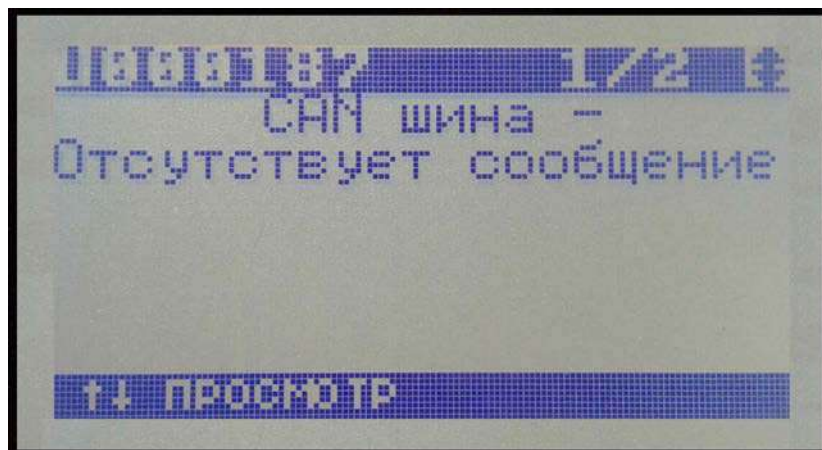


Рисунок 3.44 – Диагностика ошибки CAN-шины

Проблемы ЭМС CAN-шины происходили в диапазоне частот 95 – 780 МГц при воздействии немодулированного узкополосного электромагнитного излучения (рисунок 3.45). Минимальный уровень показателя качества по параметрам помехоустойчивости составил 31 В/м на частоте 171 МГц при азимутальном угле 240 град. В диапазоне частот 98 – 570 МГц для $F_{\beta} \geq 0,3$ было зарегистрировано 92,5% нарушений работоспособности, а в диапазоне 95 – 630 МГц для $F_{\beta} \geq 0,2$ наблюдалось 96,6 % случаев проблем ЭМС.

Экранирование CAN-шины обеспечило ее помехоустойчивость к воздействию 100 В/м в диапазоне тестируемых частот [132].

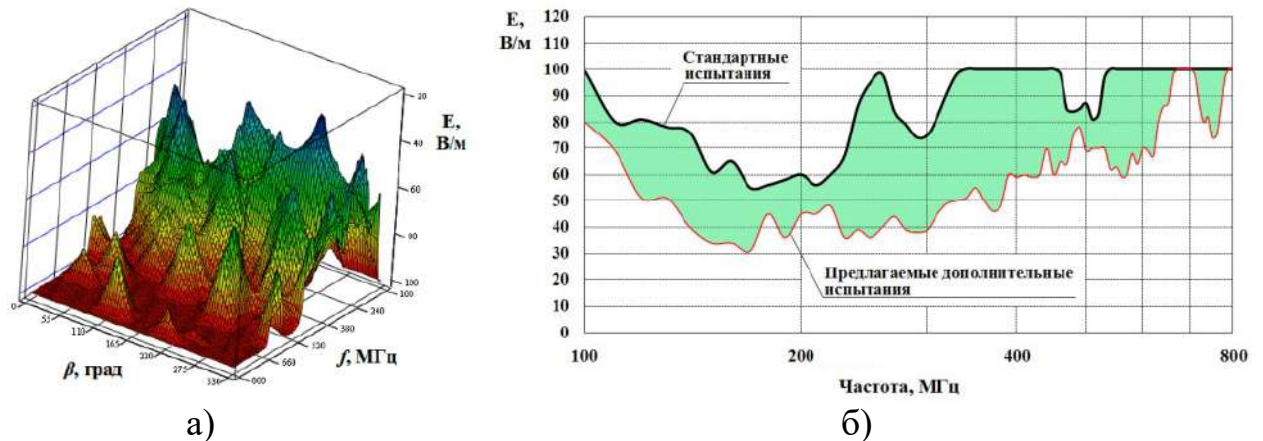


Рисунок 3.45 – Помехоустойчивость CAN-шины автомобиля LADA GRANTA:

а) частотно-азимутальное распределение;

б) минимальные значения

Помехоустойчивость системы ABS автомобиля.

Исследования помехоустойчивости системы ABS проводились на автомобиле производства Nissan. В процессе экспериментов вышел из строя порт датчиков скорости колес, что классифицируется как класс E, т.к. требуется ремонта блока ABS. Отказ произошел при амплитудно-модулированном воздействии на частоте 158 МГц с уровнем 70 В/м (рисунок 3.46) [122].

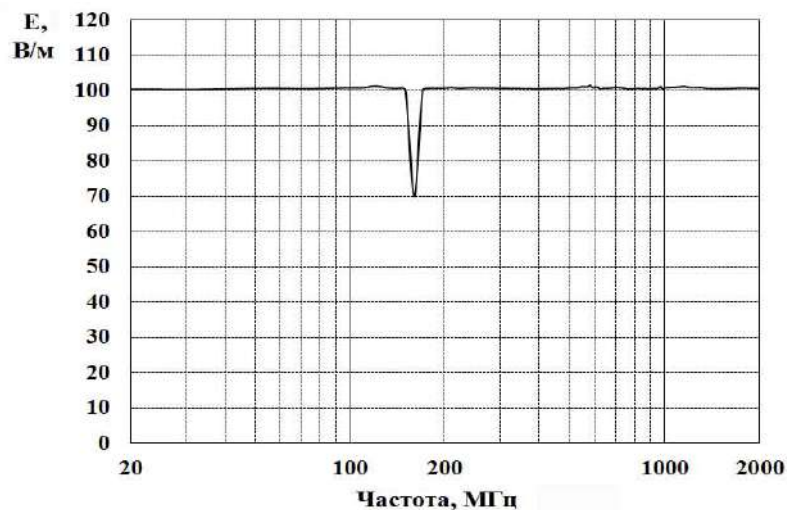


Рисунок 3.46 – Помехоустойчивость системы ABS автомобиля Nissan (функциональный класс E)

Так как исследуемый автомобиль был оснащен системой ABS зарубежного производителя, работы по детальному изучению физики проблемы ЭМС, а

также доработка по повышению помехоустойчивости не проводились.

Исследование показателя качества по параметрам помехоустойчивости электронного реле указателей поворота.

Исследование изменения показателя качества по параметрам помехоустойчивости опытного образца электронного реле указателя поворота проводились на автомобиле LADA NIVA. Эксперименты показали, что во время воздействия происходило прекращение световой сигнализации указателя поворота. После прекращения воздействия функционирование восстанавливалось, поэтому данная проблема ЭМС характеризовалась, как функциональный класс С. В эксплуатации подобного рода нарушение работоспособности может привести к неправильной интерпретации у других водителей о совершаемом маневре автомобиля [122].

Проблема ЭМС наблюдалась в диапазоне частот от 96 до 473 МГц при воздействии немодулированного узкополосного электромагнитного излучения (рисунок 3.47). Минимальный уровень показателя качества по параметрам помехоустойчивости составил 39 В/м на частоте 142 МГц при азимутальном угле 60 град. В диапазоне частот 97 – 410 МГц для $F_{\beta} \geq 0,3$ было зарегистрировано 90,9% нарушений работоспособности, а в диапазоне 96 – 420 МГц для $F_{\beta} \geq 0,2$ наблюдалось 97,7 % случаев проблем ЭМС.

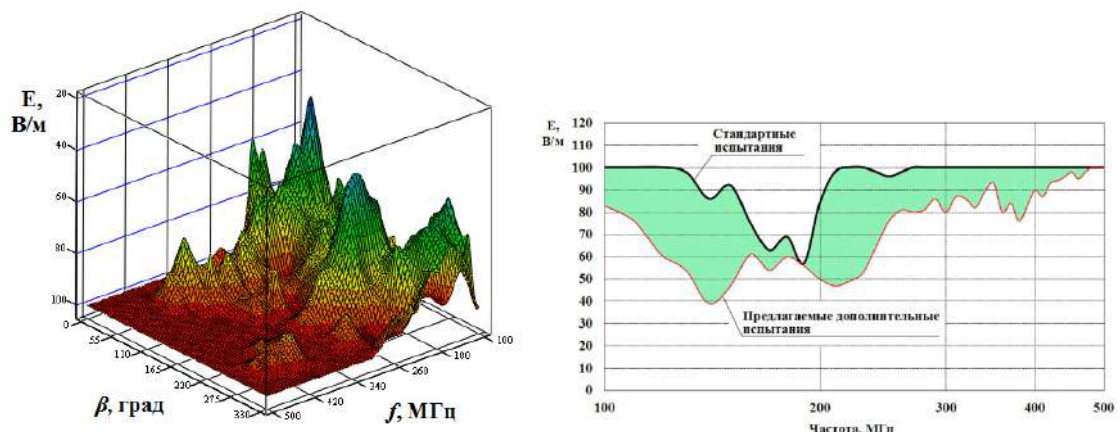


Рисунок 3.47 – Помехоустойчивость опытного образца электронного реле указателя поворота автомобиля LADA 4×4

Применение дополнительного фильтрующего конденсатора в цепи

питания номиналом 0,1 мкф повысило помехоустойчивость электронного реле указателя поворота к воздействию 100 В/м.

Экспериментальные исследования выявили проблемы ЭМС в диапазоне частот от 80 МГц до 1,4 ГГц. С наибольшей вероятностью нарушение работоспособности АТС ожидается в области от 97 до 580 МГц. Этому же частотному диапазону принадлежат минимумы помехоустойчивости, значения которых составляют от 25 В/м, что ниже установленного предела международных требований.

Доказано, что уровни нарушения качества функционирования АТС зависят от его азимутального позиционирования по отношению источника помех. Сравнительный анализ результатов стандартных и предлагаемых дополнительных испытаний показывает, что тестирование в расширенном диапазоне азимутальных углов позволяет более полно оценить АТС на соответствие требованиям ЭМС.

Частотность появления проблем качества по параметрам помехоустойчивости выше при углах позиционирования АТС к источнику излучения отличных от фронтального. Аналогичный вывод справедлив и для минимальных уровней излучения, при которых происходят нарушения работоспособности бортовых электротехнических систем.

3.7 Выводы по третьей главе

Предложен модернизированный инструментарий организации методов испытаний, в процессе проектирования продукции, с развитием количественных показателей экспериментальной оценки качества автомобилей, включающий:

- технические решения по дискретному угловому позиционированию, изменению азимутальной направленности автомобиля по отношению к источнику помех, импульсному электромагнитному воздействию на автомобиль во время экспериментов. Предложен метод испытаний автомобилей

на оценку качества по параметрам помехоустойчивости в диапазоне азимутальных углов его позиционирования от 0 до 360 град по отношению к излучающей антенне. Найден рациональный угол при дискретном позиционировании автомобиля, равный 15^0 . Для непрерывного позиционирования предлагается угловая скорость равная 5 град/с. Разработан инструментарий определения минимального уровня качества по параметрам помехоустойчивости, реализация которого позволила повысить точность и достоверность результатов испытаний на оценку качества по параметрам электромагнитной совместимости автомобилей как минимум на 30 %. Предложен метод анализа нарушений качества функционирования бортовых автомобилей для обеспечения помехозащищенности. В его основе, для поиска уязвимого узла проводится испытания тремя типами сигналов: немодулированным гармоническим, амплитудно-модулированным и импульсно-модулированным, а затем сравнивается реакция на них бортового электрооборудования. По характеру воздействия производится анализ и локализуется наименее помехоустойчивая система и осуществляется ее дополнительная защита от помех. Предложено внести поправку в международный стандарт ISO 11451-2, в части применения радиопоглощающих материалов на полу, для исключения некорректной интерпретации результатов испытаний автомобилей на восприимчивость к электромагнитному воздействию на частотах свыше 2 ГГц. Выявлены две главных группы факторов, определяющих разброс уровней помехоустойчивости автомобилей – нестабильность параметров испытательного теста и разброс конструкторско-технологических параметров автомобилей. На основании проведенных экспериментов установлено, что у автомобилей одной модели и одинаковой комплектации разброс уровней помехоустойчивости может достигать 30%. Распределение минимальных уровней показателя качества по параметрам помехоустойчивости партии автомобилей одной модели и комплектации подчиняется нормальному закону распределения.

- математическую модель оценки качества автотранспортных средств по параметрам помехоустойчивости, направленную на совершенствование методов оценки качества новых конструкций автомобилей при испытаниях в процессе проектирования. Выбраны и обоснованы значения предельно-допустимого уровня показателя качества. Для автомобилей гражданского назначения они лежат в диапазоне $P_{np}=0,8 - 0,9$, а для автомобилей специального назначения $P_{np}=0,95...0,98$. С применением предложенного инструментария, найдены уровни и области частот электромагнитного воздействия, при котором происходила нарушение качества функционирования автомобилей. Экспериментальные исследования выявили проблемы качества в диапазоне 85 – 1400 МГц. Наибольшая вероятность проявления проблем принадлежит области 90 - 1160 МГц. Минимальные значения, имеющие нижний предел 25 В/м, что ниже регламентированного международными требованиями, принадлежат диапазону частот 124 - 597 МГц.

ГЛАВА 4. СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ИНСТРУМЕНТАРИЯ ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА АВТОТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ ПО ПАРАМЕТРАМ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ СОВМЕСТИМОСТИ НА ЭТАПАХ ЖИЗНЕННОГО ЦИКЛА

3.1 Вероятностная модель нарушения качества функционирования бортовых систем в условиях эксплуатации

Построение вероятностной модели нарушения качества функционирования автомобилей по проблемам ЭМС исходит из предположения реализации цепочки событий взаимодействий протекающих процессов в окружающей электромагнитной обстановке и АТС, которые можно рассматривать случайными по отношению друг к другу. В общем случае вероятность нарушения работоспособности конкретной функции электротехнической или электронной системы есть произведение вероятностей всех сопутствующих событий P_i в этой цепочке [184, 244]:

$$P_{\Phi} = \prod_{i=1}^N P_i, \quad (4.1)$$

где N – количество всех событий.

Современные АТС являются сложными комплексами, представляющими собой совокупности функционально взаимосвязанных бортовых систем. В процессе эксплуатации каждое АТС постоянно взаимодействует с электромагнитной средой, которая согласно [142] нестационарный характер. Действительно, электромагнитное поле в конкретно заданной точке зависит от естественных и искусственных факторов. Примерами первых являются погодные условия, меняющие параметры среды распространения радиоволн, определяя в конкретный момент времени значения коэффициентов отражения от различных поверхностей, затухания и рефракции. К искусственным факторам относятся динамически изменяющиеся позиции технических объектов или параметры радиопередающих систем. Примерами этого являются

передатчики с самонастраиваемой мощностью, подвижные объекты, определяющие отражение и суперпозицию волн в заданной точке пространства, а также радиотехнические мобильные средства. Тем самым даже помехи от одного стационарного источника с детерминированными параметрами формируют электромагнитную среду, изменяющуюся во времени по сложному случайному закону. Более сложная ситуация наблюдается при нестационарном характере излучения, динамически изменяющейся позиции излучателя радиоволн и групповом воздействии нескольких источников. В зависимости от конкретных условий и совокупности всех факторов ЭМО может изменяться медленно, быстро или скачкообразно.

Трансформации внешней электромагнитной среды и техногенной обстановки по отношению к конкретному АТС являются случайными процессами. ЭМП в конкретной области пространства в заданный момент времени характеризуется следующими параметрами: амплитуда, диапазон частот, мощность/плотность потока энергии, поляризация и модуляция. Помимо этого, воздействие во многих случаях есть суперпозиция полей от различных источников или отраженных волн от разных поверхностей. Конкретная комбинация соответствующих параметров поля при прочих равных условиях будет определять работоспособность АТС. Пример сказанному показан на рисунке 4.1, где представлено изменение помехоустойчивости опытного генератора напряжения автомобиля LADA NIVA TRAVEL. Как видно, работоспособность электротехнической системы зависит от частоты и поляризации электромагнитного воздействия.

Поэтому в условиях нестационарного характера электромагнитной среды существование ЭМП с некоторыми заданными параметрами, определяющим ЭМС проблемы, будет определяться вероятностью $P_{ЭМП}$.

Существование АТС в заданной области пространства в конкретный момент времени есть вероятность $P_{АТС}$, которая принимает только два значения 0 или 1. При попадании в электромагнитное поле АТС ориентировано в

пространстве к источнику или их группировке случайным образом. Соответственно, как было показано в третьей главе (раздел 3.1), транспортное средство, как антенна, имеет сложную диаграмму направленности. Каждая модель автомобиля обладает индивидуальными параметрами. Поэтому для наибольшего наведения уровня помех в бортовых цепях направления позиционирования АТС и источника ЭМП на частоте или в некотором диапазоне излучения должны совпасть. Вероятность этого события определяется исходя из результатов исследования (раздел 3.1). При минимальной диаграмме направленности АТС $\varphi=10^\circ$, вероятность позиционирования равна $P_{\text{позиц}}=10^0/360^0=0,028$.

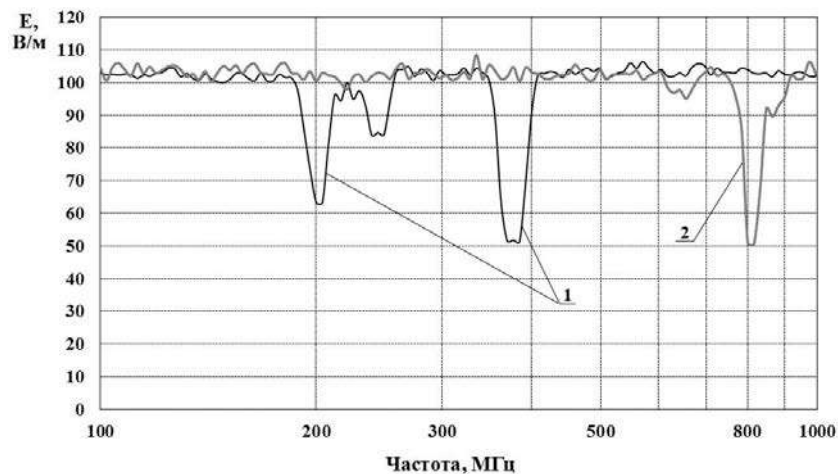


Рисунок 4.1 – Характеристика помехоустойчивости опытного образца генератора напряжения автомобиля LADA NIVA TRAVEL: 1 – вертикальная поляризация ЭМС; 2 – горизонтальная поляризация ЭМП

Рассмотрим две ситуации, когда АТС находится в электромагнитном поле, но двигатель не работает: выключенное электропитание/поставка на охрану и включенное электропитание. Уход от стандартной терминологии «Зажигание» обусловлен тем, что по отношению к электро автомобилям его применение некорректно. Случай прямого попадания молнии не рассматривается, потому что в этом случае протекающие токи, составляющие порядка нескольких десятков или несколько сотен килоампер, за счет термического действия могут повреждать электрооборудование. При выключенном электропитании

/постановке на охрану, часть электрооборудования полностью выключено, часть находится в «спящем» режиме, при котором на него подается электропитание (слаботочные питающие цепи) для поддержания сервисных настроек, например мультимедиа и комбинация приборов, или канала активации, например охранная система, или система удаленного запуска. Наибольшее эффективное действие наведенных помех возможно по активным каналам с нарушением соответствующих функций. Отсюда следует вывод, что при выключенном зажигании и постановке АТС на охрану вероятность нарушения его качества функционирования не равна нулю. При включенном электропитании, т.е. когда электрооборудование запитывается по силовым цепям, часть функций активно и вероятность сбоя функционирования увеличивается, т.к. увеличивается количество активных силовых, сигнальных и информационных каналов. Из рассмотренного очевидно, что вероятность нарушения работоспособности АТС лежит в $P_{эл.пит} \in (0; 1]$. Условие при котором $P_{эл.пит}=0$ будет выполняться только если бортовая сеть полностью обесточена, т.е. при снятых клеммах аккумуляторной батареи.

Включенное электропитание не подразумевает работу бортовых систем в номинальном режиме. Этому должны сопутствовать соответствующие условия активации. Например, система стеклоочистки работает при загрязнении окон. Основные светотехнические приборы – в сумеречное или ночное время или во время торможения. Гибридный двигатель работает на электротяге при скоростях не более 60 км/ч, а после - двигатель внутреннего сгорания.

При выходе системы на номинальный режим работы повышается количество информационных каналов и объем обрабатываемой информации. Соответственно, при воздействии электромагнитных помех, увеличивается вероятность неправильного функционирования. Обработка статистических данных показывает, что основной объем нарушений работоспособности связан со сбоями, и лишь небольшая часть – с отказами. Конфликты обусловлены искажением информации и изменением режимов работы электрических схем.

Проявление характера электромагнитного воздействия в подавляющем большинстве случаев вызвано вероятностным, а не аккумулирующими процессами.

Эффекты восприимчивости от непрерывного ЭМП определяются энергетическим соотношением полезный сигнал/шум. Сбои или отказы бортовых систем из-за воздействия импульсной помехи длительностью τ_u происходят из-за ее наложения и искажения на передаваемую в некотором временном интервале времени T информацию. Электромагнитные изменяют значения битов в пакете данных длительностью $\tau_{n.d} = N\tau_\phi$, где τ_ϕ – длительность одного бита; N – количество битов (рисунок 4.2 а) или уровни напряжения в промежутке времени дискретизации сигнала (τ_d), поступающей полезной аналоговой информации датчиков (рисунок 4.2 б). Вероятность проблем качества функционирования по параметрам ЭМС возрастает если при воздействии импульсного ЭМП, имеющего длительность τ_n увеличивается время ее наложения $\Delta\tau$ на передаваемый полезный сигнал. Искаженная информация определяет коллизии в программном обеспечении систем или неправильное управление функционалом. Причем при не активном конкретном режиме работы вероятность появления его ЭМС проблем не равна нулю, т.к. само электрооборудование включено и участвует функционировании единого бортового электротехнического комплекса АТС, т.е. $P_{\text{режим}} \in (0; 1]$.

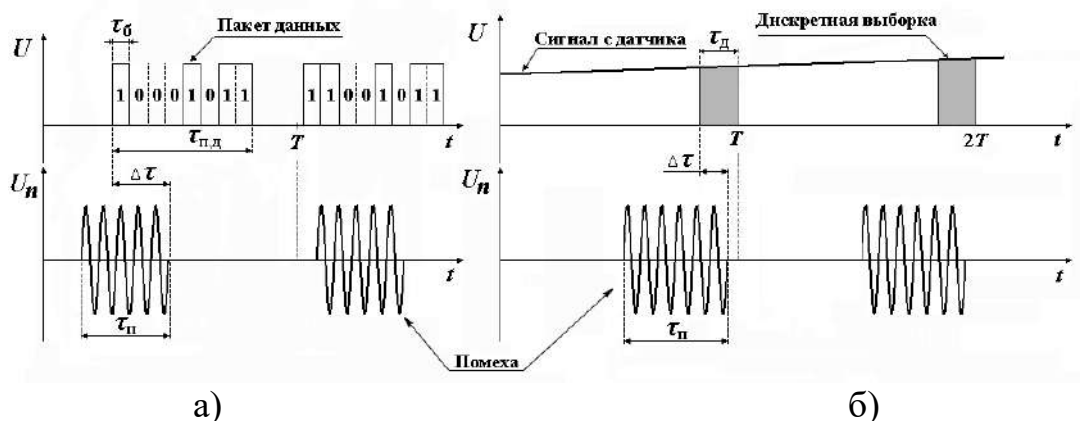


Рисунок 3.2 – Физические принципы появления проблем качества ЭМС при функционировании АТС при импульсной ЭМП: а) воздействие по каналу передачи цифровых данных;
б) воздействие по каналу сбора аналоговой информации

Исходя из рассмотренного, выражение (4.1) вероятности наступления события нарушения работы конкретной функции приобретает следующий вид:

$$P_{\Phi} = P_{ЭМП} \times P_{АТС} \times P_{позиц} \times P_{эл.пит} \times P_{режим}. \quad (4.2)$$

P_{Φ} может быть равно нулю, только если какой-либо один из двух первых два членов равен нулю. Если $P_{ЭМП} \neq 0$ и $P_{АТС} \neq 0$, то $P_{\Phi} \in (0; 1]$. Данный вывод можно сформулировать следующим образом: при попадании автотранспортного средства в сложную электромагнитную обстановку всегда существует вероятность нарушения качества функционирования. Конкретный результат конфликта между ЭМП и бортовым электрооборудованием зависит от параметров воздействия, взаимного ориентирования источника поля и АТС, качества помехозащищенности и режимов работы электрооборудования.

4.2 Развитие показателей качества автомобилей по параметрам помехоустойчивости. Матрица оценки нарушения качества функционирования автотранспортного средства

Комплексное взаимодействие ЭМП и АТС, как было показано выше, является сложной пространственно-временной функцией. Влияние воздействия на качество функционирования бортовых систем многофакторное и конкретные ЭМС эффекты могут проявляться в зависимости от различных комбинаций. Очевидно, что чем больше вариаций режимов работы АТС и ЭМП, тем больше количество вариантов нарушения качества функционирования (поражаемости) как важного комплексного индикатора отражающего качество автомобиля. Оценка множества ЭМС эффектов исходит из конечного числа взаимодействующих комбинаций [99]. Первоэтапная задача заключается в критериальном обосновании лимитирования условий, определяющих конкретные связи. В контексте АТС необходимо рассматривать только те функции или режимы, которые каким-либо образом влияют на некий физический отклик системы, способный отобразиться в явном виде. Касательно ЭМП, величинами, относительно которых можно рассматривать все множество

воздействий, являются мощностные или амплитудные параметры, которые можно рассматривать как соответствующие индикаторы качества. В частности, как было предложено ранее, за индикатор качества автомобилей по параметрам электромагнитной совместимости адекватно принять напряженность электрического ЭМП, т.к. она определена в автомобильных международных стандартах как калиброванная мера воздействия. Этот параметр в диссертационном исследовании рассматривается как ключевой индикатор качества по параметрам помехозащищенности.

Исходя из сказанного, введем ряд допущений.

1. Все виды электромагнитных полей рассматриваются в контексте воздействий одинаковой напряженности.
2. Энергетические и амплитудные параметры ЭМП задаются для пространства без присутствия АТС.
3. Пренебрегается изменение параметров ЭМО при внесении в данную область АТС.
4. Пространственная ориентация АТС относительно источника не учитывается. Электромагнитное воздействие изотропно во всех направлениях.
5. Рассматривается взаимодействие только одного АТС и конкретного вида электромагнитного воздействия.
6. В процессе взаимодействия ЭМП и АТС могут реализовываться все режимы работы и функционал бортовых систем.

Введем обозначения: $a_i - i^{\text{й}}$ режим работы или функционал бортовой системы, а $b_j - j^{\text{й}}$ вид электромагнитного воздействия. При конкретном виде воздействия можно ожидать N ЭМС эффектов, где N – все режимы работы и функционала бортовых систем, образующие множество $A_{\text{АТС}} = \{a_1 \dots a_N\}$. Количество возможных M электромагнитных воздействий, которым может быть подвержен АТС в процессе своей эксплуатации образуют множество $B_{\text{ЭМП}} = \{b_1 \dots b_M\}$. В соответствии правилом умножения комбинаторики получим матрица оценки нарушения качества функционирования автотранспортного

средства (поражаемости АТС) [119, 246]:

$$F_{\Pi} = \begin{pmatrix} a_1 b_1, & a_1 b_2, & \dots & a_1 b_j, & \dots & a_1 b_M \\ a_2 b_1, & a_2 b_2, & \dots & a_2 b_j, & \dots & a_2 b_M \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ a_i b_1, & a_i b_2, & \dots & a_i b_j, & \dots & a_i b_M \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ a_N b_1, & a_N b_2, & \dots & a_N b_j, & \dots & a_N b_M \end{pmatrix}. \quad (4.3)$$

Соответственно количество вариантов поражаемости АТС равно

$$K=N\times M. \tag{4.4}$$

В соответствии с [207] существует пять функциональных классов помехоустойчивости, рассмотренных в первой главе и которые можно записать в виде множества $Z=\{A, B, C, D, E\}$. Очевидно, что любому состоянию $a_i b_j$ матрицы нарушения качества функционирования автотранспортного средства (поражаемости) АТС будет соответствовать какой-либо класс помехоустойчивости. Исходя из этого, сформулируем ЭМС правило: *при заданном уровне напряженности электромагнитного воздействия для любого члена $a_i b_j$ матрицы оценки нарушения качества функционирования автотранспортного средства существует класс помехоустойчивости множества Z , что уже можно классифицировать как класс обеспечения качества по параметрам помехозащищенности.*

Приведем множество Z в обобщенный вид. Введем элемент множества z_q , где $q = 1, 2, 3, 4, 5$. Тогда $Z = \{z_1, z_2, z_3, z_4, z_5\}$. Соответственно $z_1 \sim A$, $z_2 \sim B$, $z_3 \sim C$, $z_4 \sim D$ и $z_5 \sim E$. Исходя из этого матрицу оценки нарушения качества функционирования автотранспортного средства (поражаемости) для некоторого уровня воздействия E_{6030} можно представить в обобщенном виде через множество состояний помехоустойчивости:

Группа I: обеспечение качества функционирования в режимах связанных с влиянием на безопасность, как самого АТС, так и других участников дорожного движения. Как пример сюда относятся непреднамеренное срабатывание подушки безопасности, потеря рулевого управления, торможении, остановка двигателя или скачки напряжения, стеклоочистка, а также иммобилизация.

Группа II: обеспечение качества функционирования в режимах, не являющихся существенными для работы и/или управления транспортным средством.

Группа III: обеспечение качества функционирования в режимах обеспечивающих удобство и комфорт.

Все множество $A_{АТС}$ включает три подмножества групп помехоустойчивости: A_1 , A_2 , A_3 . Причем $A_1 \cap A_2 \cap A_3$. Подмножество режимов или функционала для множества первой группы в соответствии с определением и техническими требованиями должно быть более помехоустойчиво к воздействиям, чем подмножество A_2 и A_3 . Аналогично помехоустойчивость A_2 больше, чем A_3 . При увеличении $E_{возд}$ более $E_{возд.min}$ начинают наблюдаться нарушения качества функционирования бортового электрооборудования. Причем при равных амплитудах воздействий, другие параметры (частоты, модуляция, форма и т.д.) различных видов ЭМП отличаются, то последовательность ЭМС эффектов для каждого столбца будет отличаться от последовательности другого.

Единичное нарушение работоспособности является частным случаем. Нередко проблемы функционирования проявляются у нескольких независимо или взаимосвязано работающих друг с другом бортовых систем. Чем сложнее ЭМО, тем больше проявляются ЭМС эффекты различных функциональных классов.

При дальнейшем увеличении амплитудных и энергетических параметров воздействия матрица оценки нарушения качества функционирования

автотранспортного средства (поражаемости) вырождается в класс Е. В [38] приведены данные, обобщенные графики которых представлены на рисунке 4.3, по энергии воздействия, вызывающей разрушения электронных систем. Другие данные, подтверждающие [38], приведены в [7], где показано, что энергия, выделенная при ядерном взрыве, на расстоянии 1000 км от эпицентра имеет значения порядка 10^{-6} Дж/см², что по мощности составляет 100 Вт/см², вызывает разрушения радиоэлектронной аппаратуры.

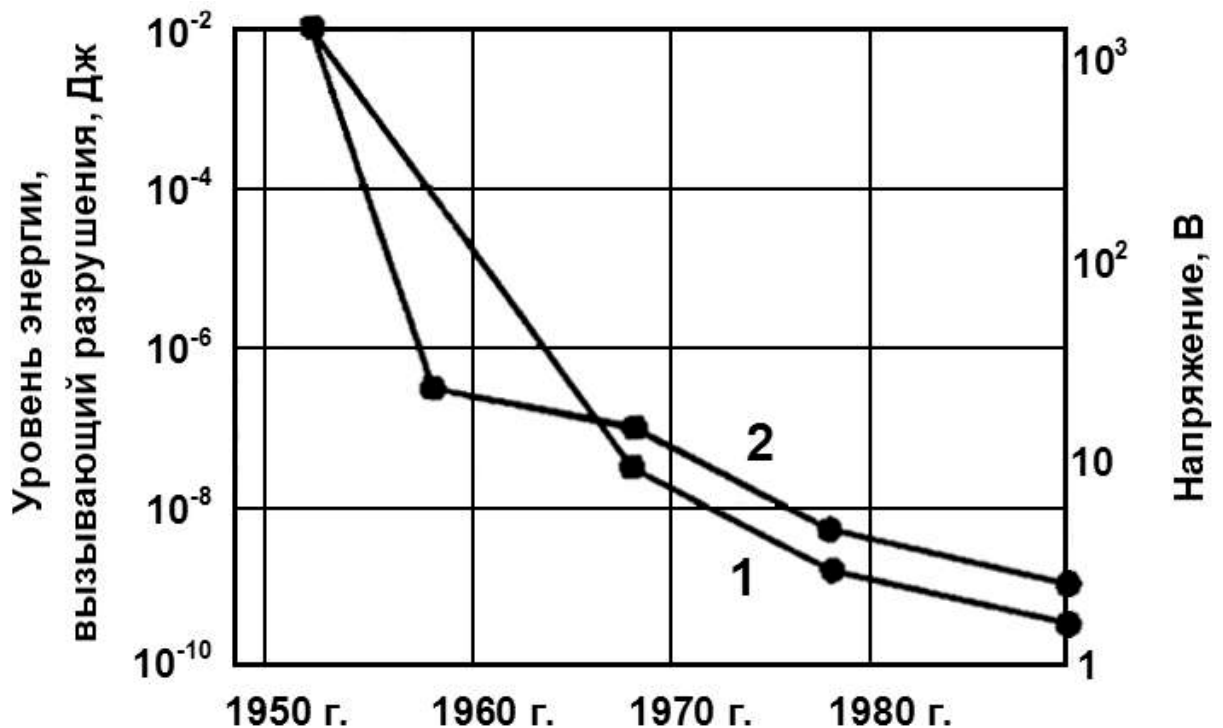


Рисунок 4.3 – Характеристики электронных систем: 1 – энергия воздействия, вызывающая разрушения; 2 – напряжение питания

На практике взаимодействие ЭМО и АТС происходит более сложно. Если произошло нарушение качества функционирования одной системы, то в большинстве случаев будут не корректно работать некоторое количество соответствующих функций. И как было показано в п. 4.1, даже при неработающем АТС может происходить его электромагнитная поражаемость. Нередко в конкретной области существуют поля от нескольких источников, излучающих с разных направлений. Если в некоторой сложной ЭМО наблюдается несколько ЭМС эффектов, то имеет место говорить о нарушении

работоспособности АТС, как сложной электротехнической системе в интегральном контексте.

Из выражений (4.3) – (4.5) следует очевидный вывод: *при прочих равных условиях АТС с развитой архитектурой электрооборудования, более подвержено влиянию ЭМП, чем такая же модель, но с меньшим составом бортовых электронных систем.* Чем больше внедряется функций, тем больше вероятность нарушения качества функционирования АТС. Соответственно для минимизации ЭМС рисков следует более основательно подходить к проблеме обеспечения качества автомобилей по параметрам помехоустойчивости.

4.3 Развитие показателей качества автомобилей по параметрам помехоустойчивости. Мощностной показатель нарушения качества функционирования (поражаемости) автотранспортного средства, как дополнительный показатель оценки АТС по параметрам помехоустойчивости

Перейдем к задаче оценки показателей качества отражающих мощностные параметры ЭМО в области нахождения АТС, при которых вероятно нарушение работоспособности бортовых электротехнических систем. На начальном этапе рассмотрим идеализированный случай, при котором изотропный источник излучения, расположенный в точке О, генерирует ЭМП (рисунок 4.4). На расстоянии R от него находится АТС. Распространяющаяся сферическая волна на расстоянии R имеет структуру для дальней зоны, т.е. является плоской, имеет поперечные, взаимно ортогональные электрические E и магнитные H составляющие, которые соотносятся [60]

$$\frac{|E|}{|H|} = \sqrt{\frac{\mu\mu_0}{\varepsilon\varepsilon_0}} = Z_B, \quad (4.7)$$

где Z_B – волновое сопротивление среды, ε_0 – диэлектрическая постоянная $8,85 \cdot 10^{-12}$ Ф/м; ε – относительная диэлектрическая проницаемость среды; μ_0 – магнитная постоянная $4\pi \cdot 10^{-7}$ Гн/м; μ – относительная магнитная

проницаемость среды. Для воздуха $Z_B = 120\pi = 377$ Ом.

Т.к. основной средой, через которое происходит взаимодействие источника излучения с АТС является воздух, то в дальнейшем будем исключать влияние нерегулярных сред и считать $Z_B = 120\pi$. Более того нерегулярные среды, характеризующиеся комплексными ε и μ вносят дополнительные потери, приводя к ослаблению ЭМП.

Электромагнитное поле, достигая поверхности S , в точке с радиусом R , зенитным и азимутальным углами Q и φ , формирует некоторую ЭМО. Мощность P_Σ , излучаемая источником, определяется интегрированием вектора Уймова-Пойтинга по поверхности сферы в дальней зоне

$$P_\Sigma = \frac{1}{2} \oint_S [E, H^*] n dS, \quad (4.8)$$

где n – единичный вектор, нормальный к элементу поверхности dS .

Решение (4.8) есть равенство

$$P_\Sigma = \Pi \times 4\pi R^2, \quad (4.9)$$

где Π – модуль вектора Уймова-Пойтинга, который равен

$$\Pi = \frac{E \times H}{2}. \quad (4.10)$$

Подставляя (4.10) в (4.9) и учитывая (4.7) получим

$$E = 7,75 \frac{\sqrt{P_\Sigma}}{R}. \quad (4.11)$$

Заменим E на $E_{lim.min}$, а P_Σ на $P_{\Sigma lim.min}$

$$E_{lim.min} = 7,75 \frac{\sqrt{P_{\Sigma lim.min}}}{R}. \quad (4.12)$$

Данное выражение показывает общую взаимосвязь между показателями качества, отражающими мощностные показатели источника излучения и показателями качества, отражающими уровень помехоустойчивости АТС.

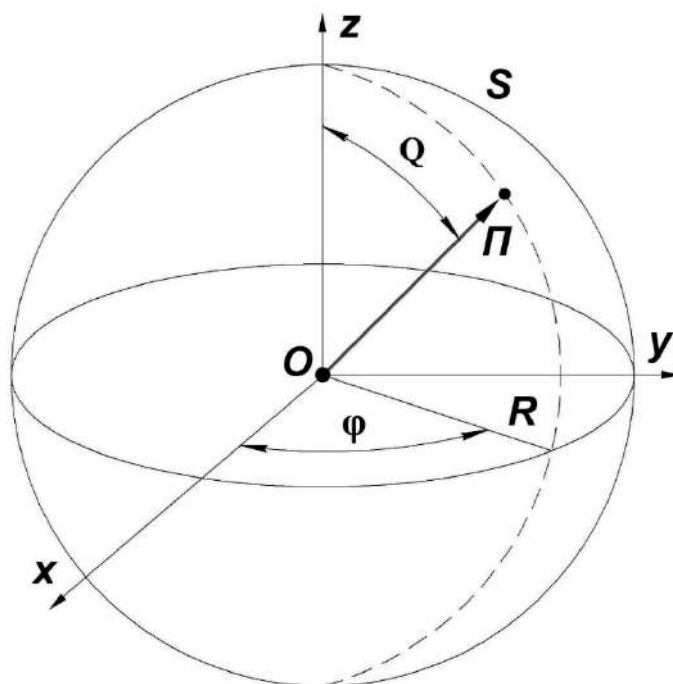


Рисунок 4.4 – ЭМП одиночного изотропного источника

Перейдем к более сложной системе, характеризующейся следующими условиями [83]:

- источник ЭМП обладает некоторыми направленными свойствами;
- источник излучает в верхней полусфере;
- АТС занимает на поверхности S некоторую площадь $S_{\text{АТС}}$;
- АТС полностью попадает в главный лепесток диаграммы направленности источника ЭМП и равен ее площади проекции;
- АТС находится в дальней зоне облучения источника.

Рассматриваемый случай демонстрирует рисунок 4.5.

Соответственно

$$E_{\max} = 7,75 \frac{\sqrt{DP_{\Sigma}}}{R}. \quad (4.15)$$

По аналогии с (4.12) заменив $E_{\max}$ на $E_{\lim.\min}$, а P_{Σ} на $P_{\Sigma \lim.\min}$ получим

$$E_{\lim.\min} = 7,75 \frac{\sqrt{DP_{\Sigma \lim.\min}}}{R}. \quad (4.16)$$

Создание минимальной напряженности поля, при которой происходит нарушения качества функционирования (поражаемость) АТС, зависит от направленных свойств источника ЭМП, усиливающих перенос энергии в заданном направлении и для достижения $E_{\lim.\min}$ требуется в $\sqrt{D}$ раз меньше мощности излучения, чем для изотропного излучателя [83].

Перейдем к практическим приложениям рассмотрения задачи определения мощностных показателей нарушения качества функционирования (поражаемости) АТС. На практике в большинстве случаев АТС взаимодействует лишь с некоторой частью плотности потока энергии излучателя, т.к. очевидно, что площадь, которую пронизывает поток электромагнитных волн, пропорционально увеличивается квадрату расстояния от источника. Конечно, имеют место быть ситуации, когда АТС находится в непосредственной близости от узконаправленного источника поля и попадает в его зону действия, но их процент очень мал. Соответственно можно говорить лишь о некоторой доле поглощаемой энергии.

С учетом того, что не существует изотропного излучателя, любой источник ЭМП имеет некоторый коэффициент усиления, который связан с КНД известным выражением

$$G = D\eta, \quad (4.17)$$

где η – КПД излучателя.

Зная эти параметры, можно найти мощность, затрачиваемую на излучение в основном лепестке диаграммы направленности.

Воспользовавшись формулами (4.9), (4.9) и (4.17), выразим плотность

потока мощности в главном лепестке диаграммы направленности излучателя.

$$P_{\max} = \frac{GP_{\Sigma}}{4\pi R^2 \eta}. \quad (4.18)$$

Зная площадь шарового сегмента главного лепестка диаграммы направленности источника $S_{\text{эл}}(R)$ на расстоянии R вычисляется мощность затрачиваемая на излучение в данном направлении

$$P_{\max} = \frac{GP_{\Sigma}}{4\pi R^2 \eta} S_{\text{эл}}(R). \quad (4.19)$$

Соотношение P_{Σ}/η есть выходная мощность усилительного каскада излучателя $P_{\text{И}}$. На практике $P_{\text{И}}$ и P_{Σ} взаимосвязаны через КСВ антенны, а если исследования проводятся в лабораторных условиях, то данные значения определяются измерениями поглощаемой и отраженной мощности.

Логично предположить, что проблемы ЭМС наиболее вероятны при попадании АТС в направление максимального излучения источника поля. При известной площади проекции АТС ($S_{\text{АТС}}$) на плоскость нормали к сфере распространения излучения, вычисляется отношение площади проекции АТС к площади шарового сегмента главного лепестка диаграммы направленности источника [83]

$$K = \left. \frac{S_{\text{АТС}}}{S_{\text{эл}}(R)} \right|_{R=R_{\text{АТС}}}, \quad (4.20)$$

где $R_{\text{АТС}}$ – расстояние от источника ЭМП до АТС.

Подставляя (4.20) в (4.19) и как ранее, по аналогии заменяя P_{Σ}/η на $P_{\text{И}.lim.min}$, получаем предельную минимальную поглощаемую мощность при которой происходит нарушение качества функционирования (поражаемость) АТС. Данный индикатор предлагается впервые, и его предлагается рассматривать как новый, дополнительный к ранее предложенному показателю качества. Дополнительный показатель качества отражает минимальную поглощаемую мощность при которой происходит нарушение качества функционирования АТС, с точки зрения ЭМС.

$$P_{\text{lim.min}} = \frac{KGP_{\text{И. lim.min}}}{4\pi R_{\text{ATC}}^2} S_{\text{эл}}(R_{\text{ATC}}). \quad (4.21)$$

Выражение (3.21) можно упростить, записав в виде:

$$P_{\text{lim.min}} = \frac{GP_{\text{И. lim.min}}}{4\pi R_{\text{ATC}}^2} S_{\text{ATC}}. \quad (4.22)$$

Соответственно предельная минимальная плотность потока энергии поражаемости равна

$$\Pi_{\text{lim.min}} = \frac{GP_{\text{И. lim.min}}}{4\pi R_{\text{ATC}}^2} (Bm / m^2). \quad (4.23)$$

В рамках работы были проведены исследования мощностных показателей электромагнитной поражаемости АТС. Эксперименты проводились на базе испытательного комплекса ЭМС АО «АВТОВАЗ». Исследования проходили в безэховой камере (рисунок 4.6) с габаритными размерами: 30×20×14,5 м и рабочим диапазоном частот 20 МГц - 18 ГГц, с применением полеобразующих систем (рисунки 4.7 и 4.8), параметры которых приведены в таблицах 4.1 и 4.2.



Рисунок 4.6 – Безэховая камера ЭМС лаборатории АО «АВТОВАЗ»

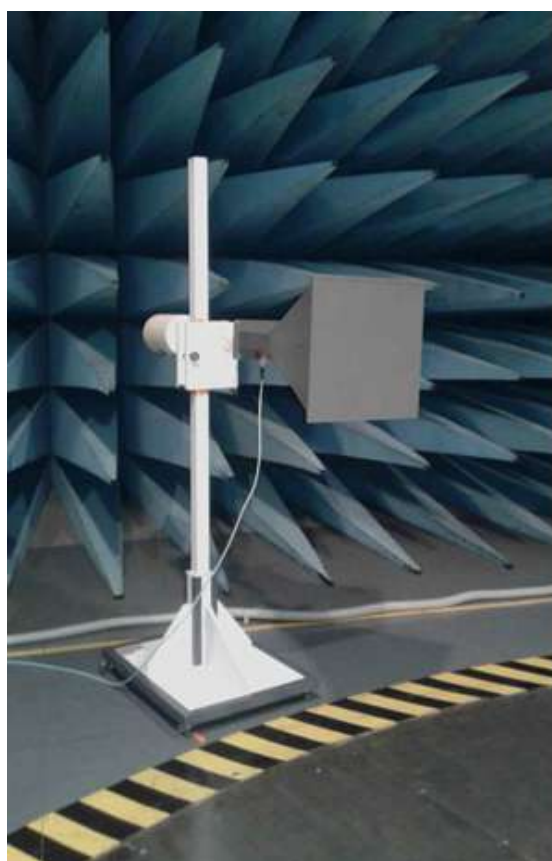


а)



б)

Рисунок 4.7 – Полеобразующая система диапазона частот 80 – 1000 МГц:
а) логопериодическая антенна АТ 1080; б) усилитель мощности АР 3000 W



а)



б)

Рисунок 4.8 – Полеобразующая система диапазона частот 1 – 2 ГГц:
а) рупорная антенна АТ 4510; б) усилитель мощности АР 500 TG 2

Таблица 4.1

Основные характеристики излучающих антенн

Антенна	Диапазон частот, ГГц	Импеданс, Ом	КСВ, max	Ширина ДН	Коэффициент усиления, dBi
АТ 1080	0,08-1	50	1.7:1	Е - 60° Н - 105°	6,5 – 80 МГц 7,2 – 100 МГц 8 – 200 МГц 8,2 – 600 МГц 8,1 – 1 ГГц
АТ 4510	1 – 4,2	50	1,6:1	Е - 25° Н - 26°	13 – 1 ГГц 14,5 – 1,25 ГГц 16 – 1,5 ГГц 17 – 1,75 ГГц 17,8 – 2 ГГц

Таблица 4.2

Основные характеристики радиочастотных усилителей мощности

Усилитель	Диапазон частот, ГГц	Номинальная мощность кВт	КСВ, max	Выходной импеданс, Ом
AR 3000 W	0,08-1	3	2:1	50
AR 500 TG 2	1 – 2,05	0,5	2:1	50

Для расчета дополнительного показателя качества по параметрам помехозащищенности, отражающего мощностные характеристики электромагнитной поражаемости воспользуемся результатами экспериментальных исследований, приведенными в разделе 3.6 и изложенными в [22]. На основании обработанных данных построен график частотной зависимости минимальных уровней помехоустойчивости (рисунок 4.9). Данная кривая обобщает все проведенные экспериментальные исследования, охватывая функциональные классы С, D и E.

Взаимосвязь выходной мощности усилителей и напряженности ЭМП в

зависимости от частоты была определена в процессе калибровки в соответствии с методикой, изложенной в ISO 11451-2 для расстояния 2 м от переднего края антенн до контрольной линии. Эти данные приведены в таблицах 4.3 и 4.4 и отображены на рисунках 4.10 и 4.11.

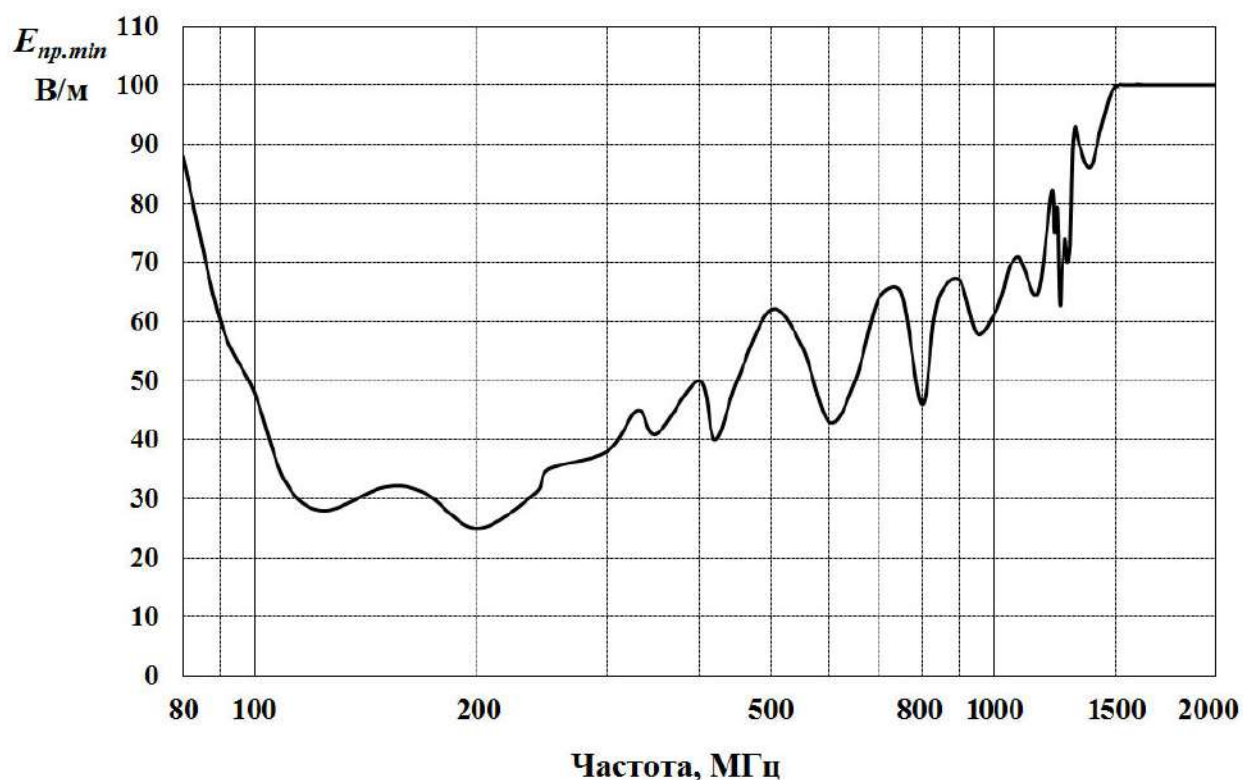


Рисунок 4.9 – Обобщенная экспериментальная зависимость минимального уровня электромагнитной поражаемости (показателя качества по параметрам ЭМС) автотранспортных средств

Таблица 4.3 – Выходная мощность усилителя AR 3000 W в диапазоне 80-1000 МГц

Частота, МГц	Мощность, Вт при напряженности 30 В/м	Мощность, Вт при напряженности 60 В/м	Мощность, Вт при напряженности 100 В/м
80	98	397	1304
86	98	392	1038
90	105	450	1234
94	104	458	1289
100	49	239	801
104	49	251	911
108	51	208	682
110	45	170	568

115	41	143	416
120	47	161	386
124	54	185	457
127	61	200	493
132	56	235	557
135	47	226	555
140	53	196	507
146	66	228	644
149	50	221	690
155	50	208	672
158	54	225	663
164	63	264	750
171	134	478	727
174	67	263	1288
181	65	256	689
188	53	239	681
192	55	251	687
200	60	247	691
204	64	263	749
212	72	296	668
221	70	307	689
230	65	261	679
234	59	203	469
244	47	228	581
249	41	216	534
259	45	180	436
269	48	190	523
280	34	146	384
291	31	126	315
303	33	126	327
309	35	138	351
322	43	182	449
335	29	130	373
341	33	132	353
355	29	122	291
369	40	147	384
377	39	152	464
392	33	115	488
400	34	122	357
416	37	141	428
424	44	176	484
442	31	140	471
450	29	130	332
469	38	130	408
488	29	134	375

497	29	126	356
517	23	114	294
528	25	102	317
549	23	107	240
560	25	119	258
583	20	88	195
606	25	106	222
631	23	86	266
656	21	71	264
669	24	101	285
696	24	90	261
710	17	81	197
739	22	92	223
769	20	88	227
800	18	98	236
816	21	86	266
849	25	96	291
883	29	96	337
901	40	138	391
937	41	129	336
975	26	146	298
1000	24	98	237

Таблица 4.4 – Выходная мощность усилителя AR 500 TG 2 в диапазоне 1 – 2 ГГц

Частота, МГц	Мощность, Вт при напряженности 30 В/м	Мощность, Вт при напряженности 60 В/м	Мощность, Вт при напряженности 100 В/м
1000	16	42	118
1020	17	50	126
1040	19	51	115
1061	19	48	119
1082	21	57	139
1104	23	57	148
1126	20	67	164
1149	16	61	132
1172	12	52	118
1195	12	46	134
1219	13	54	166
1243	11	44	103
1268	10	41	105
1294	9	37	109
1319	7	30	81
1346	7	33	89
1373	6	28	69

1400	6	24	63
1428	5	21	63
1457	5	18	50
1486	5	18	54
1516	4	17	46
1546	4	19	48
1577	5	29	58
1608	4	21	55
1641	5	19	55
1673	4	20	47
1707	4	20	41
1741	4	17	43
1776	4	18	40
1811	3	14	32
1848	3	13	31
1885	3	12	31
1922	4	16	39
1961	5	19	41
2000	4	16	38

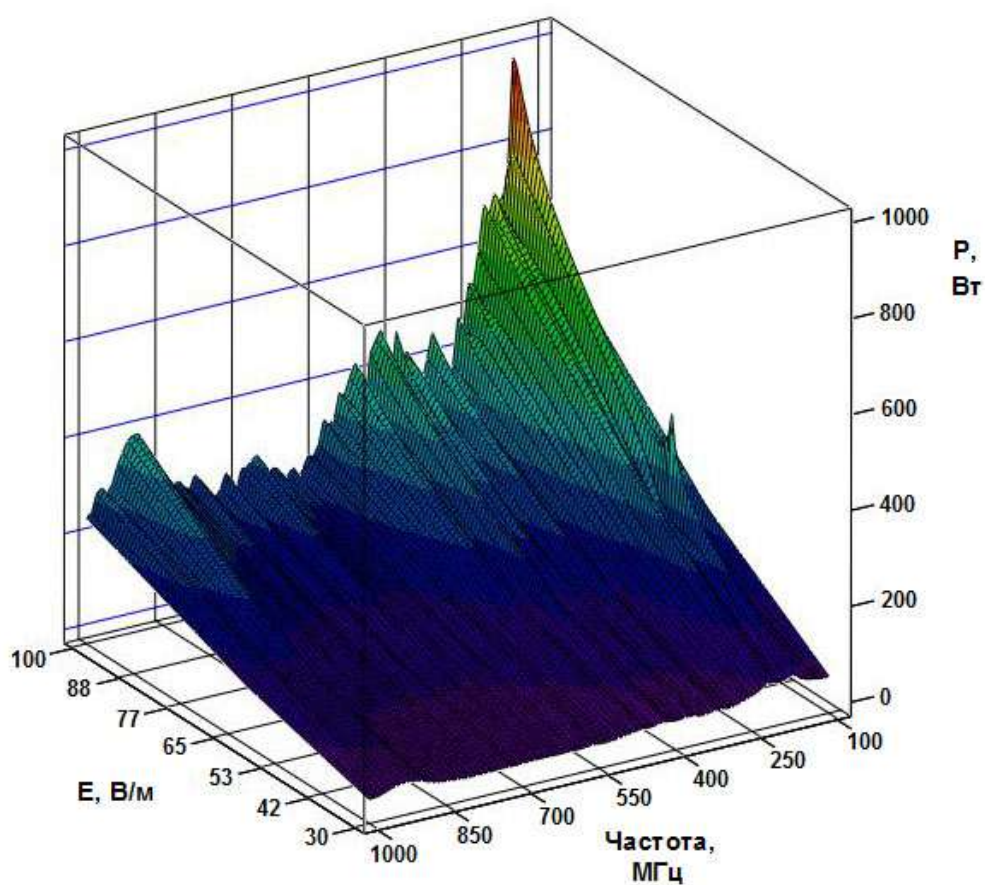


Рисунок 4.10 – Изменение выходной мощности усилителя AR 3000 W в диапазоне 80-1000 МГц

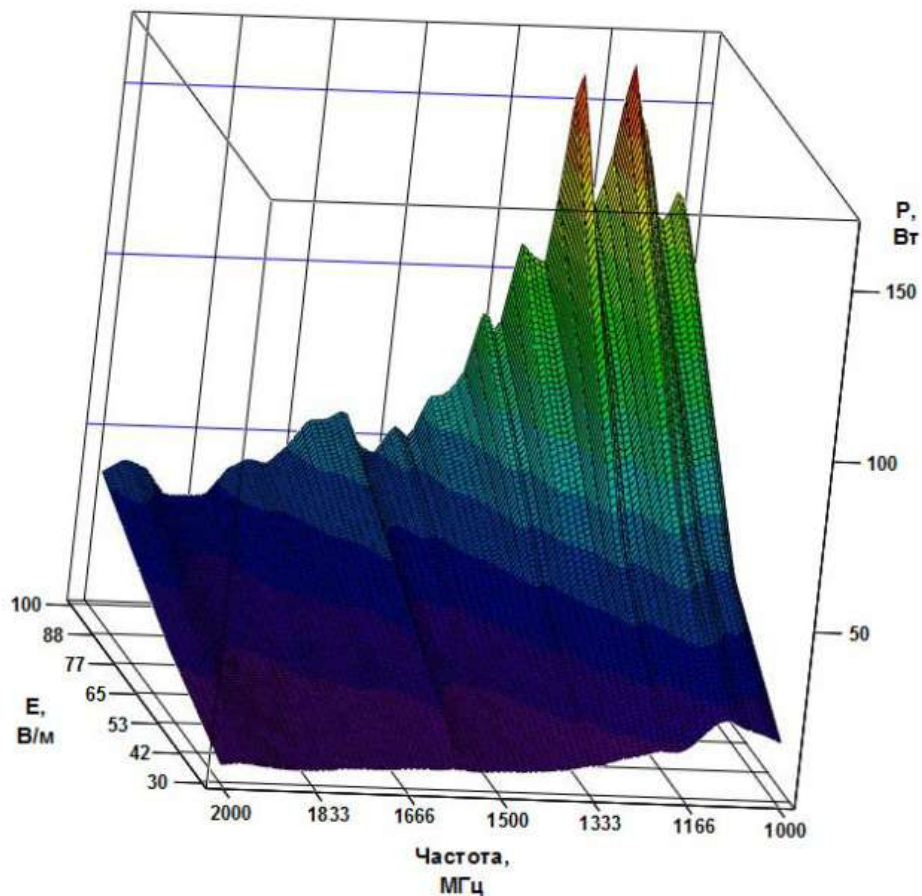


Рисунок 4.11 – Изменение выходной мощности усилителя AR 500 TG 2 в диапазоне 1 – 2 ГГц

Применяя данные калибровки мощности с учетом минимального уровня электромагнитной поражаемости АТС, по формулам (4.22) и (4.23) рассчитаны минимальные поглощаемая мощность (дополнительный индикатор качества АТС по параметрам помехозащищенности) и плотность потока энергии поражаемости для двух случаев: фронтальной и боковой ориентациях АТС по отношению к антенне. Типовые площади $S_{АТС}$ автомобилей LADA приведены в таблице 4.5. Для расчетов были использованы $S_{АТС}$ автомобилей участвующих в экспериментах раздела 3.6: LADA Granta и LADA Vesta SW, так как им соответствуют минимальная фронтальная и максимальная боковая площади. При расчетах расстояние от антенны до фронтальной поверхности АТС составляло 2 м, а до боковой - 3 м. Также учитывалась конструкция

логопериодической антенны АТ 1080, имеющей длину 1 м, что определяло характер изменения расстояния относительно излучающих элементов по отношению к АТС. Результаты расчетов приведены на рисунке 4.12.

Таблица 4.5 – Площадь поверхностей автомобилей LADA

№	Модель LADA	Площадь фронтальной поверхности, м ²	Площадь боковой поверхности, м ²
1	Vesta SW	2,2	5,45
2	Granta	2,08	5,21
3	Niva Legend	2,35	5,23
4	Niva Trevel	2,54	5,51
5	Largus	2,37	6,05

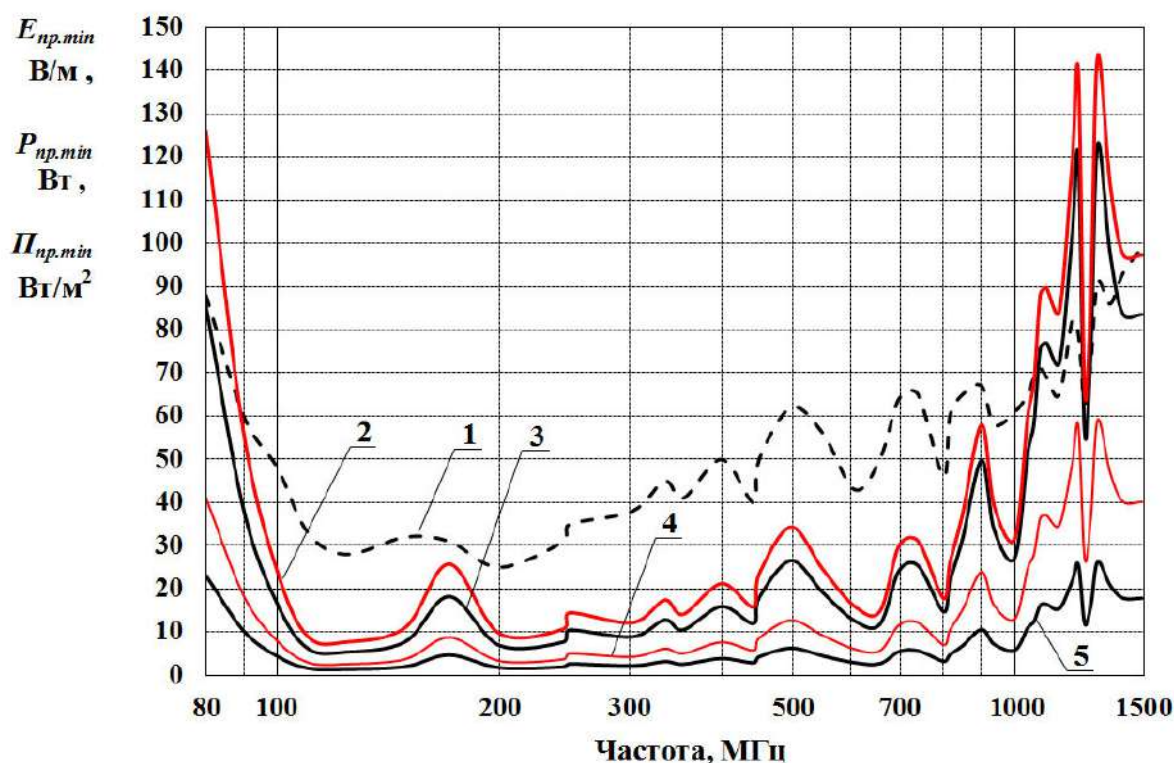


Рисунок 4.12 – Экспериментальные уровни минимальной электромагнитной поражаемости АТС: 1 – напряженность E , В/м; 2 – мощность, проходящая через фронтальную поверхность; 3 – мощность, проходящая через боковую поверхность; 4 – плотность потока мощности, проходящая через фронтальную поверхность; 5 – плотность потока мощности, проходящая через боковую поверхность

По результатам расчетов, определено, что минимальные мощностные параметры электромагнитной поражаемости соответствуют частоте 124 МГц и уровню помехоустойчивости 28 В/м. Для фронтальной поверхности площадью $2,08 \text{ м}^2$ плотность потока энергии равна $2,6 \text{ Вт/м}^2$, а мощность 5,4 Вт. Соответствующие параметры для боковой поверхности площадью $5,45 \text{ м}^2$ равны $1,42 \text{ Вт/м}^2$ и 7,7 Вт. Из расчетов видно, что минимальный уровень поражаемости напряженности ЭМП (25 В/м на частоте 200 МГц) может не совпадать с мощностными минимумами. Связано это с такими причинами, как частотные характеристики мощность источника и его коэффициента усиления. Также в эксплуатации возможны случаи суперпозиции прямой и отраженных волн, когда на создание некоторого уровня ЭМП затрачивается больше или меньше излучаемой мощности.

Полученные данные мощностных показателей поражаемости (дополнительный показатель качества автомобилей по параметрам помехоустойчивости) сравнимы с значениями, характеризующими внешнюю сложную ЭМО. Это доказывает актуальность решения вопросов обеспечения параметрам ЭМС в эксплуатации.

4.4 Реализация предложенных показателей качества по параметрам помехоустойчивости посредством оценки влияния внешней обстановки на качество функционирования электротехнических систем автотранспортных средств

На практике реальная ЭМО постоянно изменяет свои параметры. На АТС в конкретной области, в конкретный временной интервал воздействует некоторая группировка источников ЭМП. Помимо этого важным фактором, определяющим качество функционирования по параметрам помехозащищенности, является дорожная обстановка. Сюда относиться то, что способно отражать и перенаправлять электромагнитные волны. Это различные здания и сооружения, дорожное покрытие, эстакады, ограждения, транспорт, и т.п. [85].

Рассмотрим простейшую систему взаимодействия «АТС – дорога – источник ЭМП» (рисунок 4.13). По аналогии с выражением (3.37) раздела 3.4, здесь напряженность поля в некоторой точке есть суперпозиция прямой и отраженной волн от источника излучения

$$E_{\Sigma} = E_{np} + E_{omp}, \quad (4.24)$$

где E_{np} и $E_{отр}$ – прямая и отраженная составляющие электромагнитной волны.

В рассматриваемой системе параметры отраженной волны зависят от электромагнитных свойств поверхности, на которую она падает. Коэффициент отражения от границы двух сред определяется известным выражением [136]:

$$k_{omp} = \frac{Z_2 - Z_1}{Z_2 + Z_1}, \quad (4.25)$$

где Z_1 – характеристическое сопротивление воздуха, равное 120π или 377 Ом, а Z_2 – характеристическое сопротивление поверхности (дороги), равное

$$Z_2 = \sqrt{\frac{\mu}{\varepsilon + \frac{\sigma}{j\omega}}}, \quad (4.26)$$

где σ – проводимость, $\omega = 2\pi f$ – частота.

Как видно, параметры отраженной волны зависят от электромагнитных свойств дороги, которые определяются проводимостью грунта и применимыми в дорожном строительстве материалами.

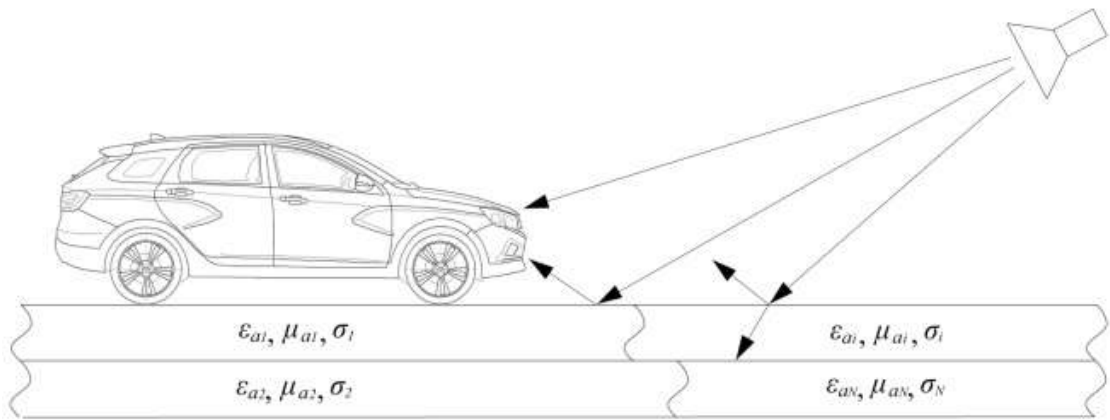


Рисунок 4.13 – Система взаимодействия «АТС – дорога – источник ЭМП»

По классификации дороги подразделяются на следующие основные типы: капитальные, облегченные, переходные и низшие. Строительство первых двух осуществляется с применением цементных конструкций или асфальта. Конкретная технология строительства выбирается из учета весовой нагрузки на дорожное полотно. Магистрали, основные городские улицы и развязки должны быть рассчитаны на большой поток автотранспорта различного тоннажа. Из-за этого их технология строительства подразумевает армирование металлической сеткой. Поэтому большая часть энергии ЭМП отражается от металлических конструкций, а коэффициент отражения в идеальном случае можно принять равным -1.

Переходные и низшие дороги строятся из щебня, гравия или прочих грунтов и их электромагнитные параметры сильно зависят от состава. У сухой почвы средняя проводимость составляет 10^{-3} См/м, а у глины - 0,1 См/м. Сильное влияние на электромагнитные свойства грунта оказывают осадки. Максимальная проводимость влажной почвы составляет 2×10^{-2} См/м, а у глины 1 См/м. Расчеты по (4.24) и (4.26) показывают, что коэффициент отражения у этих типов дорог может достигать -0,2.

При отражении волны от дороги ее путь больше прямой волны на величину Δ . Если в Δ будет укладываться целое n число полуволн, то в зависимости от поляризации ЭМП и числа n в точке схождения лучей на данной частоте будет наблюдаться соответствующий экстремум амплитуды. Очевидно, что сумма амплитуд прямой и отраженной волн в фазе больше, чем амплитуда прямой волны. Отсюда вытекает вывод, что на дорогах, где в строительстве применялось армирование металлическими сетками, АТС будет находиться в более сложной ЭМО. Соответственно, вероятность появления ЭМС проблем возрастает на магистралях и городских улицах. Эксперимент по исследованию характера распределения напряженности ЭМП в подкапотном пространстве автомобиля LADA NIVA в зависимости от расстояния до источника излучения подтвердил данный вывод (рисунки 4.14, 4.15). Условия

эксперимента, поставленного в лаборатории ЭМС АО «АВТОВАЗ» были следующие: максимальная дистанция АТС до излучающей антенны составляло 6 м, а минимальная – 1,2 м, а шаг уменьшения расстояния - 0,6 м. В каждой позиции проводились измерения напряженности поля в диапазоне частот 100 МГц - 1 ГГц с шагом перестройки 50 МГц при двух различных электромагнитных состояниях пола: металлический и покрытый радиопоглощающим материалом (РПМ) (рисунок 4.16), которые имитировали два типа дорожных покрытия: с металлической сеткой и сухой грунт. Измерения ЭМП высокочастотным датчиком поля ЕМС-20 проводились в подкапотном пространстве.

В эксперименте с металлическим полом (рисунок 4.14) распределение ЭМП в зависимости от расстояния имеет более выраженные экстремумы, чем в эксперименте с РПМ. И соответственно в позициях, где происходит суммирование поля прямой и отраженной волны в фазе, уровень поля больше, чем уровень с поглощенной РПМ отраженной составляющей.

При движении АТС с некоторой скоростью на источник ЭМП, из-за изменения разности хода лучей, оно попадает в минимумы и максимумы излучения и наведенные в бортовой цепи помехи модулируются по амплитуде [85]. Глубина модуляции зависит от коэффициента отражения. В предельном случае полного отражения $M = 1$. Частота модуляции наведенной помехи зависит от скорости АТС и равна:

$$\Omega = \frac{2\nu}{\lambda}, \quad (4.27)$$

где ν – скорость АТС, а λ – длина волны.

Из выражения (4.27) видно, что чем выше скорость АТС и частота излучения ЭМП, тем выше частота модуляции. Расчеты показывают, что при частоте ЭМП 2 ГГц и скорости АТС 100 км/ч $\Omega=370$ Гц.

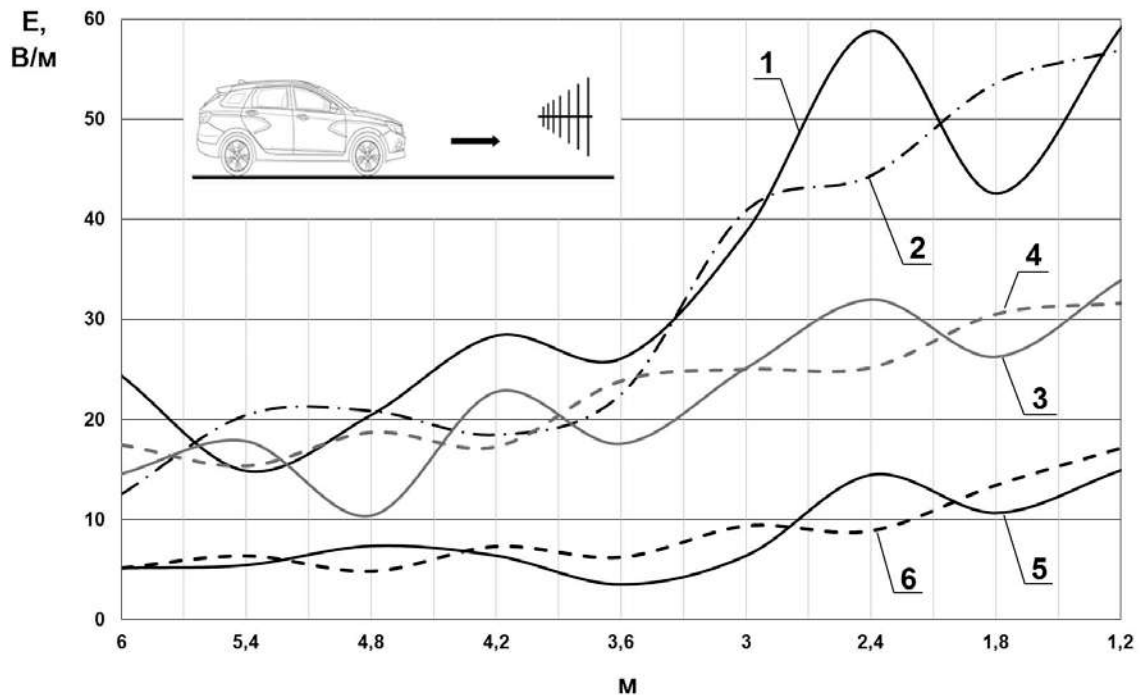


Рисунок 4.14 – Кривые распределения напряженности поля в подкапотном пространстве LADA NIVA в зависимости от расстояния до источника ЭМП: 1 – 200 МГц, металлический пол; 2 – 200 МГц, пол покрыт РПМ; 3 – 650 МГц, металлический пол; 4 – 650 МГц, пол покрыт РПМ; 5 – 1 ГГц, металлический пол; 6 – пол покрыт РПМ

Если источник создает непрерывное ЭМП, то ЭМП проблемы в бортовых электротехнических системах проявляются в виде подавления наведенными помехами полезных сигналов из-за превышения порогового значения сигнал/шум. Данный вид помех имеет узкий спектр, поэтому для нарушения качества функционирования необходимо совпадение частот излучателя с резонансами АТС. При импульсном воздействии ЭМС проблемы связаны с искажением информации в период времени действия помехи. В этом случае воздействие имеет частотный спектр, который обратно пропорционален длительности импульса [22]. Соответственно, вероятность совпадения с резонансными частотами АТС у импульсного сигнала выше, чем у узкополосного.

Большой практический интерес импульсное воздействие представляет для случая сложения прямого и отраженного сигналов при временной задержке

меньше половины длительности импульса (рисунок 4.17), а также при большой задержке отраженного сигнала, когда корреляционная функция стремиться к нулю (рисунок 4.18).

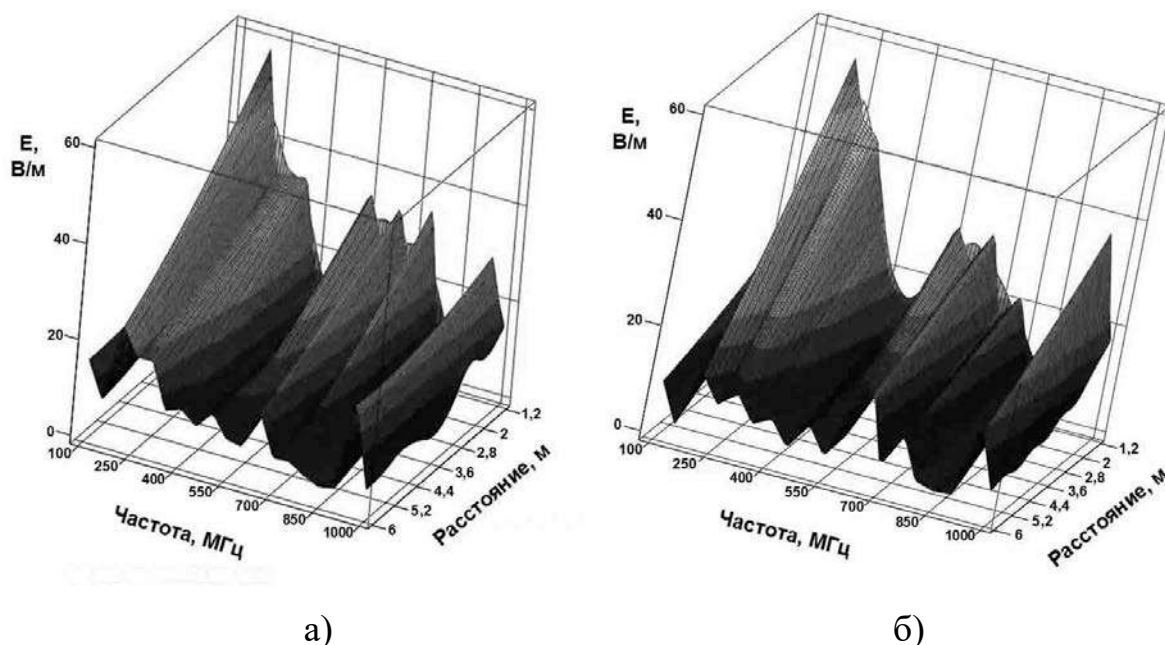


Рисунок 4.15 – Трехмерное распределение напряженности поля в подкапотном пространстве LADA NIVA в зависимости от расстояния до источника ЭМП:
а) металлический пол; б) пол покрыт РПП

При первом случае, вследствие свойства линейности преобразования Фурье, на АТС осуществляется воздействие с суммарной спектральной плотностью энергии большей, чем у прямого сигнала. Суммарная мощность равна

$$P_{\Sigma} = \sum_{n=-\infty}^{\infty} \left| S_{np}(\omega_n) + S_{omp}(\omega_n) \right|^2, \quad (4.28)$$

где S_{np} и S_{omp} - спектры прямого и отраженного сигналов соответственно.

При коэффициенте отражения от дороги близком к $k_{omp} = -1$, когда можно принять $S_{np} = S_{omp}$

$$P_{\Sigma} = \sum_{n=-\infty}^{\infty} \left| S_{np}(\omega_n) + S_{omp}(\omega_n) \right|^2 = 4 \sum_{n=-\infty}^{\infty} \left| S_{np}(\omega_n) \right|^2. \quad (4.29)$$

Из (4.29) видно, что в предельном случае при полном отражении от дороги

мощность суммарного сигнала в 4 раза больше, чем прямого. Данный вывод подтверждается результатами измерений (рисунок 4.17). В эксплуатации, при наступлении данного случая при совпадении резонансных частот АТС со спектром суммарного воздействия, вероятность нарушения работоспособности АТС возрастает.

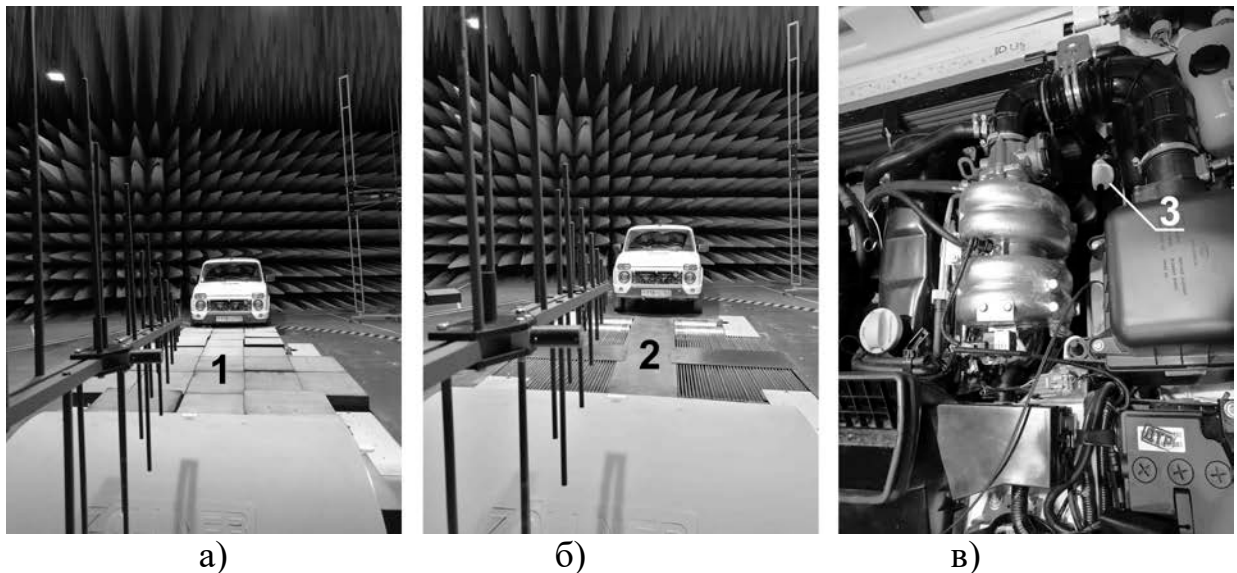
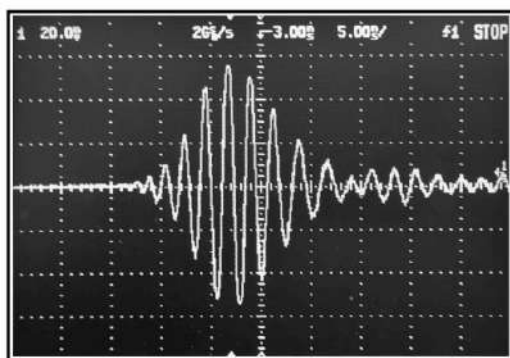


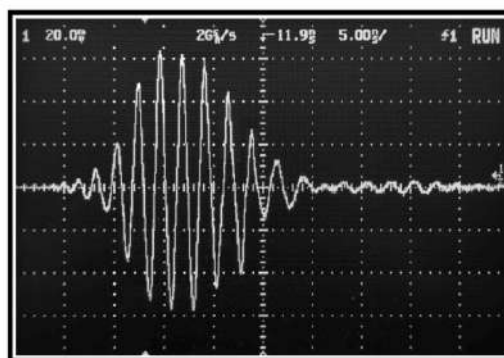
Рисунок 4.16 – Внешний вид условий эксперимента по исследованию влияния дорожного покрытия на уровень поля: а) пол с РПМ; б) металлический пол; в) датчик ЭМП в подкапотном пространстве; 1 – РПМ; 2 – металлический пол; 3 – датчик

Рассматривая второй случай большой задержки отраженной волны относительно прямой, (рисунок 4.18) наблюдается удвоение частоты следования импульсов. Это увеличивает вероятность искажения полезной информации в бортовых цепях АТС [85, 90, 101].

Вышеописанные исследования проводились в безэховой камере ОА «АВТОВАЗ». В качестве излучателя была применена широкополосная антенна Schwarzbeck 420NJ, а в качестве приемной - логопериодическая антенна ЕМСО 3142. Импульсный сигнал имел следующие параметры: несущая частота – 450 МГц, а длительность - 10 нс. Отраженная составляющая волны от металлического пола минимизировалась применением РПМ (рисунок 4.19).



а)



б)



в)



г)

Рисунок 4.17 – Импульсные сигналы: а) прямой; б) сумма прямого и отраженного; в) спектр прямого сигнала; г) суммарный спектр прямого и отраженного сигналов

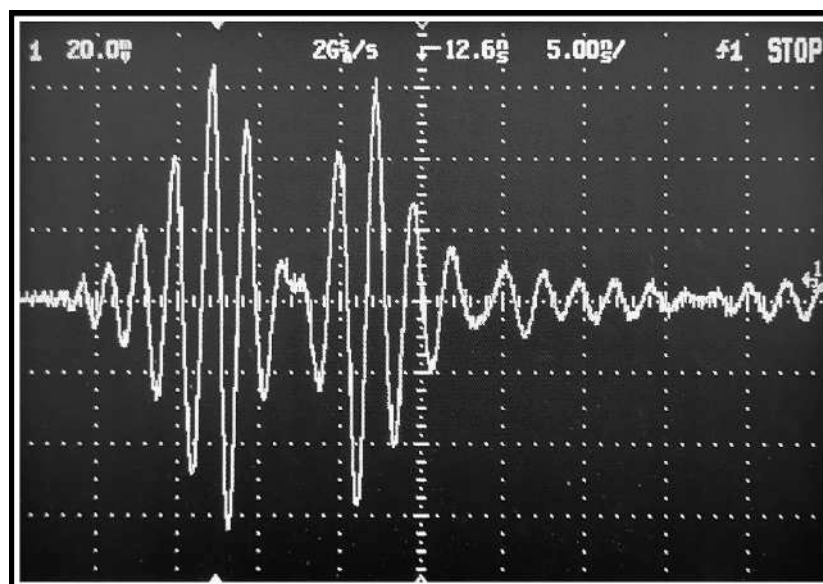


Рисунок 4.18 – Разнесенные во времени прямой и отраженный сигналы



Рисунок 4.19 – Конфигурация объектов в экспериментальных исследования параметров импульсных сигналов: 1 – излучающая антенна Schwarzbeck 420NJ

В эксплуатации взаимная конфигурация АТС относительно внешней окружающей обстановки более сложная, чем рассмотренная модель «АТС – дорога – источник внешнего излучения» [242]. Реальная ситуация наиболее сложная в крупных городах и автомагистралях, где добавляются дополнительные отражатели ЭМП, такие как движущийся автотранспорт, линии электропередач, металлические дорожные ограждения, эстакады, и т.п. Модель уже включает в себя множество отражателей, часть из которых не зависимо от рассматриваемого АТС, динамически изменяют свое координатное положение в пространстве. С учетом сказанного обобщенное выражение воздействующего ЭМП в области пространства, куда попадает АТС, можно представить в виде

$$E_{\Sigma} = \sum_{i=1}^N E_{i\max} e^{j(\omega t - kr_i - \varphi_i)}, \quad (4.30)$$

где $E_{i\max}$ – амплитуда i -ой составляющей ЭМП;

k – волновое число;

r_i – модуль радиуса-вектора ЭМП, пришедшего с некоторого конкретного направления. Очевидно, что для прямой волны r равно расстоянию от АТС до внешнего излучателя ЭМП, а для отраженных сигналов – сумме расстояний от излучателя до отражающей поверхности и от отражающей поверхности до АТС;

φ_i – изменение фазы при падении ЭМП на отражающую поверхность. Для прямой волны $\varphi_1 = 0$. Для отраженных составляющих если электрический вектор поля перпендикулярен плоскости падения отражающей поверхности, то $\varphi_i = \pi$, а если параллелен, то $\varphi_i = 0$. Усиление уровня воздействия происходит при условии равенства всех фазовых набегов $kr_i + \varphi_i$, т.е. когда происходит сложение составляющих поля.

Из (4.30) следует, что при динамически изменяемой ЭМО в зависимости от взаимного расположения объектов, ЭМП может самофазироваться [242]. Для случая когда пространство в некоторый момент времени ограничивается с различных сторон большими по площади отражающими поверхностями, сформированными, например, большегрузными АТС, сетью троллейбусных или трамвайных проводов, дорожными ограждениями, армированной дорогой, то могут образовываться динамические объемные резонаторы. На практике расстояния между параллельными отражающими объектами составляют как минимум несколько метров. Соответственно низшие частоты образованных резонаторов лежат в коротковолновом диапазоне.

Проведенные исследования доказали принципиальную возможность формирования динамических резонаторов в эксплуатации. Исследуемый автомобиль LADA Granta (№1) находился в ЭМП, созданном суперпозицией прямой и отраженных от пола и рядом стоящего АТС-отражателя (№2) волн (рисунок 4.20). Калибровка электромагнитного излучения с заданным уровнем 10 В/м проводилась в соответствии с методикой [197]. В дальнейшем при расположении АТС №1 в зоне воздействия, уровень ЭМП измерялся в подкапотном пространстве с помощью датчика EMC-20. Как видно из

экспериментов (рисунок 4.21), в зависимости от набега фаз имеются экстремумы ЭМП по отношению к двум вариациям: «прямая волна» и «суперпозиция прямой и отраженной от поверхностей волн». Наибольшее усиление напряжённости излучения наблюдалось в частотных диапазонах 130 – 275 МГц и 950 МГц – 1 ГГц и составило 18 дБ, а ослабление в областях с центральными частотами 350 МГц и 825 МГц.



Рисунок 4.20 – Эксперимент по исследованию влияния на параметры ЭМС дорожной обстановки: 1 – исследуемый автомобиль (LADA Granta); 2 – АТС-отражатель (LADA X-RAY); 3 – источник излучения

Если в эксплуатации в конкретный момент времени произойдет формирование, за счет отражающих дорожных объектов, резонатора, настроенного на частоту излучения, а также попадание в его объем АТС, то вероятность возникновения ЭМС проблем бортового электрооборудования возрастает.

Очевидно, т.к. параметры динамического резонатора изменяются во времени, то в одном и том же месте в разные временные промежутки реакция АТС на ЭМП будет различна. Помимо прочего, учитывая ранние исследования помехоустойчивости в азимутальной плоскости, направление прихода отраженной волны может совпасть с направлением максимума диаграммы

направленности АТС, что соответственно и будет причиной нарушения его функционирования.

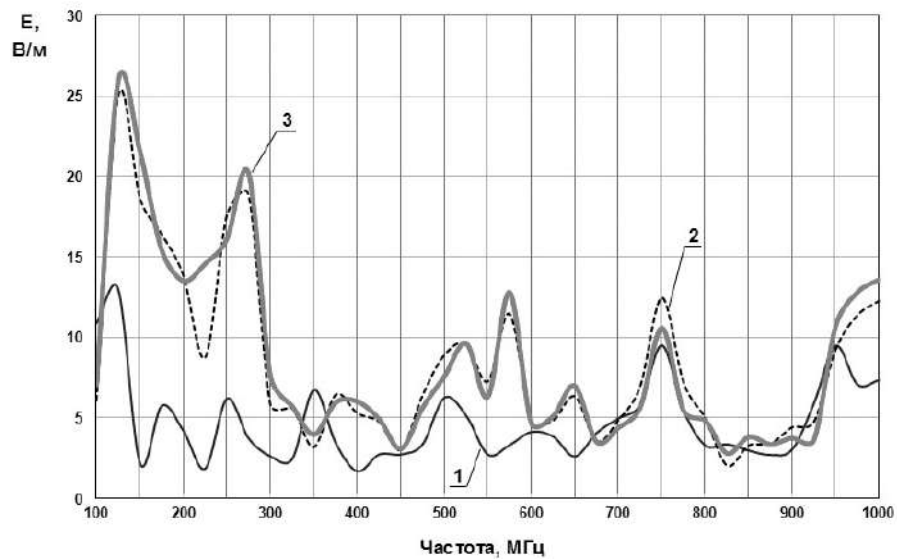


Рисунок 4.21 – Результаты исследования влияния дорожной обстановки на уровень ЭМП подкапотном пространстве АТС: 1 – уровень прямой волны; 2 – суперпозиция прямой и отраженной от металлического пола волн; 3 – суперпозиция прямой и отраженных от металлического пола и АТС-отражателя волн

Проведенные исследования подтвердили влияние сторонних отражающих поверхностей на помехоустойчивость АТС (рисунок 4.22). Эксперимент был проведен в соответствии с взаимной конфигурацией автомобилей, представленной на рисунке 4.20. При размещении в испытательной зоне размещен автомобиля-отражателя на частотах 120 - 245 МГц при воздействии помех искажался сигнал в канале датчика положения коленчатого вала, что приводило к остановке двигателя. Минимальный уровень помехоустойчивости зафиксирован на частоте 215 МГц и составил 103 В/м. При отсутствии автомобиля отражателя тестируемый автомобиль №1 выдержал воздействие 110 В/м во всем диапазоне частот 100 – 1000 МГц.

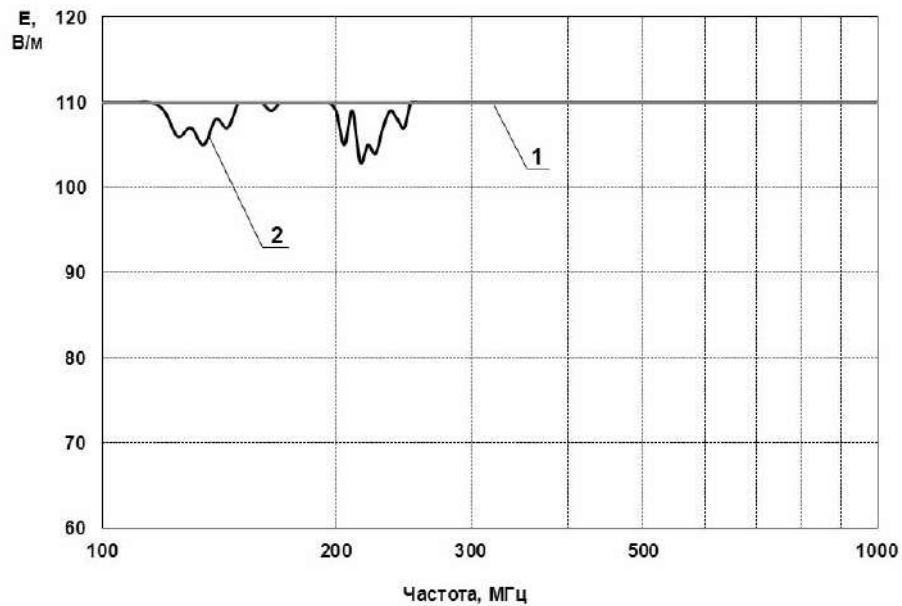


Рисунок 4.22 – Нарушение работоспособности контроллера системы управления двигателем АТС: 1 – без АТС-отражателя; 2 – с АТС отражателем

На основании проведенных исследований показано, что ЭМО в заданной области при одинаковой мощности стороннего источника динамически меняется из-за влияния погодных условий, электромагнитных свойств дороги и взаимной конфигурации дорожных объектов. При движении АТС по направлению к источнику излучения из-за отражения от дороги в бортовой сети наводятся помехи с частотой и глубиной модуляции, зависящей от скорости, длины волны и проводимости дороги. Наиболее сложная ЭМО создается при равенстве фаз приведенных волн от всех окружающих отражающих поверхностей. В этом случае вероятность нарушения работоспособности АТС максимальна.

4.5 Основные проблемы качества автомобилей по параметрам помехоустойчивости в эксплуатации

По сравнению с процессом испытаний, где можно сопоставить электромагнитное воздействие и нарушение работоспособности, а после провести доработку АТС, в эксплуатации возникают определенные трудности идентификации проблем ЭМС. Во-первых, крайне редко можно сопоставить

нарушение качества функционирования бортового электротехнического комплекса с ЭМП. Во-вторых, из-за отсутствия соответствующих компетенций персонала и специального оборудования выявление и диагностику ЭМС проблем достаточно затруднительно сделать на станциях технического обслуживания. В-третьих, АТС с законченной гарантией, в большинстве своем не обслуживаются у официальных дилеров, и соответственно информация о неисправностях от них не попадает в системы учета и анализа. Все это обуславливает очень низкий процент выявления и диагностики ЭМС проблем в эксплуатации, который в соответствии с [112] составляет 0,1% при надежности оценки $P = 0,5$ от всех случаев.

Согласно статистике [112, 114], из всех однозначно идентифицированных случаев ЭМП проблем в 40% обратная связь была получена от водителей, у которых получилось однозначно сопоставить нарушение функционирования бортовых систем с ЭМП, а в 60% соответствующие выводы были сделаны на основании глубокого всестороннего анализа. Характерно, что данная статистика в более чем 80% относится к АТС, находящихся на гарантийном обслуживании и исследования велись на основании запроса служб качества по рекламациям от потребителей. Как видно, имеющаяся низкая статистика, очень мало охватывает АТС с истекшим гарантийным периодом эксплуатации. Хотя согласно нескольким независимым экспертным оценкам приблизительно 58% автомобильного парка в стране составляют АТС старше 10 лет. Тем не менее, по имеющейся информации достаточно сделать объективные выводы об ухудшении помехозащищенности, а соответственно и помехоустойчивости автомобильного транспорта в процессе эксплуатации.

Обобщенный характер изменения помехоустойчивости приведен на рисунке 4.23. Линия 1 есть предельно-допустимый уровень помехоустойчивости. Очевидно, что с позиции качества требования ЭМС должны обеспечиваться в течении некоторого периода времени или пробега. Данный постулат можно описать следующими выражениями:

$$\begin{aligned} \lim_{t \rightarrow T_{lim}} E_{ATC}(t) &= E_{lim} \Big|_{E_{ATC}(t_0) \geq E_{lim}} \\ \lim_{S \rightarrow S_{lim}} E_{ATC}(S) &= E_{lim} \Big|_{E_{ATC}(S_0) \geq E_{lim}} \end{aligned} \quad , \quad (4.31)$$

где $E_{ATC}(t)$ и $E_{ATC}(S)$ – функция изменения показателя качества по параметрам помехоустойчивости АТС в зависимости от времени t и расстояния S ; E_{lim} – предельно-допустимый уровень, который задается заводом изготовителем или международными стандартами, например 30 В/м [254]; T_{lim} и S_{lim} – минимальные предельные параметры времени и расстояния, до наступления которых помехоустойчивость АТС должна быть не ниже предельно-допустимого уровня. Типовые значения T_{lim} и S_{lim} выбираются по критерию гарантийного срока, например, 5 лет или 120 тыс.км.

На рисунке 4.23 кривая 2 представляет собой типовую усредненную эксплуатационную характеристику изменения показателя качества по параметрам помехоустойчивости АТС. Ее пересечение в t_4 с кривой 1, отображающей предельно-допустимый уровень E_{lim} , есть временной предел T_{lim} , который соответствует заявленному сроку гарантии или эксплуатации относительно времени t_0 выпуска нового АТС. Кривая 3 есть максимум функции помехоустойчивости. Каждый автопроизводитель стремится обеспечить выпуск продукции, которая по показателю качества соответствует минимальным международным требованиям. Но ведущие компании применяют более жесткие внутренние стандарты, варьирующиеся в пределах 50-100 В/м для функционального класс А, обеспечивая тем самым более высокую надежность [92, 94], что и объясняет максимум E в t_0 . Ограничение максимального предела кривой 3 исходит из экономического подхода к решениям задач обеспечения ЭМС [69]. Тем не менее она также через некоторый длительный период времени пересекает предельно-допустимый уровень в точке t_8 .

Любая большая партия новых АТС имеет разброс по показателю качества

по параметрам помехоустойчивости, в которой будет выборка, не соответствующая требованиям (кривая 4), которая обусловлена отклонениями от технических требований и процессов сборки и является браком, который не всегда можно выявить методами производственного контроля. В [69] рассмотрен случай, когда у автомобиля Chevrolet Aveo при воздействии ЭМП уровнем 30 В/м вышел из строя драйвер управления топливной форсункой, что является показателем очень низкого качества ЭМС. Основываясь на опыте ведущих автопроизводителей, применяющих к своей продукции жесткие внутренние стандарты обеспечения качества ЭМС, вероятность несоответствия международным требованиям АТС в момент времени t_0 составляет $P \leq 0,053$ [114].

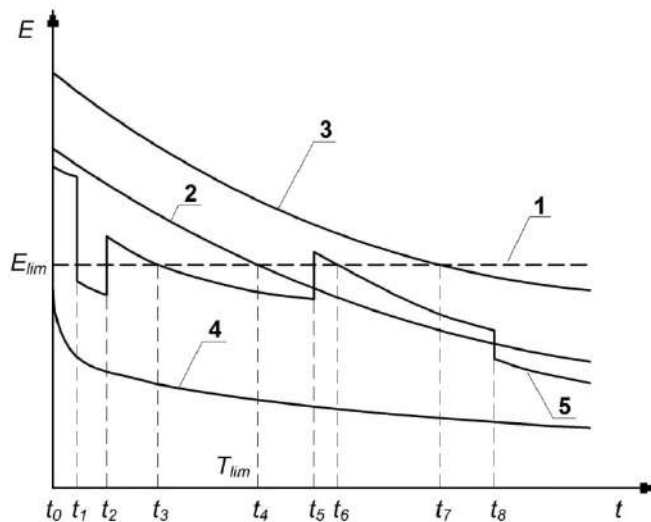


Рисунок 4.23 – Эксплуатационная характеристика помехоустойчивости АТС: 1 – предельно-допустимый уровень; 2 – типовая характеристика; 3 – максимальный предел; 4 – минимальный предел; 5 – пример частной реализации

Кривая 5 (рисунок 4.23) отображает частный случай функции помехоустойчивости АТС, в общем случае являясь кусочно-непрерывной [112]. Она вне точек разрыва является монотонно-убывающей. Такая зависимость обусловлена процессами старения, приводящих к уходу различных параметров по отношению к номинальным, например, увеличивается сопротивление контактов, ухудшаются свойства помехоподавляющих фильтров и

эффективность экранирования. Точки разрыва первого рода характерны событий, при которых параметры помехоустойчивости изменяют мгновенно (t_1 , t_2 , t_5 и t_8). Примерами этого являются внесение изменений в конструкцию или программное обеспечение АТС, а также процессы старения. Данные явления могут появляться во всем периоде эксплуатации, в том числе начиная уже с момента покупки АТС [92]. Так владелец уже на начальном этапе может несанкционированно поставить не сертифицированное устройство или систему, или сделать чип-тюнинг. В большинстве случаев подобные вмешательства ухудшают показатель качества по параметрам помехоустойчивости. Но в ряде случаев может происходить и улучшение ЭМС параметров. Например, навесная защита дна подкапотного пространства будет играть роль экрана, или замена вышедшего из строя электрооборудования на новое, имеющее сертификат соответствия.

На основании анализа обобщённого опыта проблемы качества ЭМС можно классифицировать по признаку их распознавания: явно идентифицируемые однократно или систематически, косвенно идентифицируемые однократно или систематически и гипотетические [112, 114].

Однократные или систематически идентифицируемые нарушения качества функционирования однозначно сопоставляются с ЭМП в самом процессе эксплуатации АТС. Иногда ЭМС проблемы очевидны даже человеку, не имеющему соответствующие компетенции. Наглядным примером является последствие попадания молнии в АТС (рисунок 4.24), где видно термические повреждения радиоприемной и навигационной антенн. Видно, что канал распространения тока проходит через радиоприемную вибраторную антенну, послужившей громоотводом. При таких ситуациях разрядный ток протекал как по металлическому корпусу АТС, так и в бортовой сети, выводя из строя даже наиболее помехозащищенные системы, такие как заменять ABS, электромеханический усилитель рулевого управления, контроллер системы управления двигателем и генератор напряжения. Эффективным решение

снижения вероятности прямого попадания молнии в АТС, является применение на крыше антенны типа «акулий плавник», имеющей малые габариты и более диэлектрически прочный корпус.

Из опыта наиболее часто в эксплуатации однозначно удается сопоставить проблему с воздействующим ЭМП, если источник является стационарным, а нарушение качества функционирования АТС происходит систематически рядом с источником. К таким примерам относятся ЛЭП, энергетические подстанции или различные радиоэлектронные системы [94].

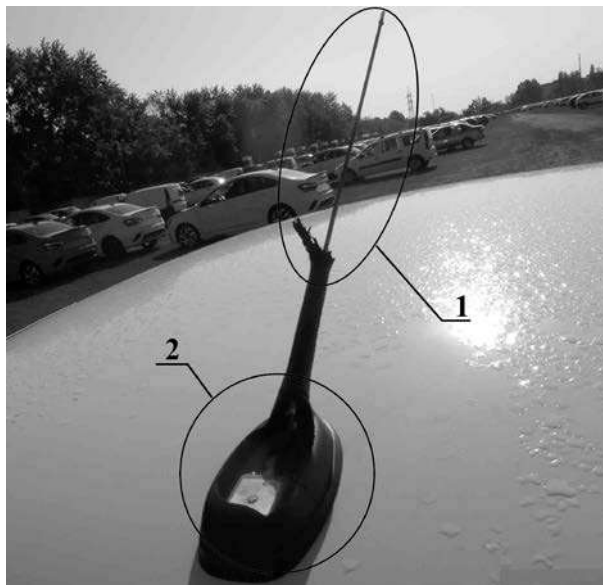


Рисунок 4.24 – Последствия прямого попадания молнии в автомобильную антенну: 1 - термическое повреждение радиоприёмной антенны; 2 – термическое повреждение навигационной антенны

К косвенно идентифицируемым проблемам качества ЭМС относятся те, где случившееся событие по ряду признаков с высокой вероятностью сопоставляется с воздействующим ЭМП. В этом случае для анализа привлекаются ЭМС специалисты, имеющие соответствующие знания и опыт. Они делают выводы и заключения на основываясь на данных изучения снятых проблемных образцах бортового электрооборудования и анализа сопутствующих событию обстоятельств, или повторении аналогичного проявления эффекта в лабораторных условиях. В соответствии со статистикой. наиболее характерными являются гарантийные случаи систематического выхода из строя конкретных систем, когда не добросовестные владельцы,

пользуясь законом о потребителях, пытаются вернуть обратно АТС производителю и получить деньги назад. Здесь применяются мощные преднамеренные электромагнитные воздействия, например, высоковольтные импульсные разряды.

К гипотетическим проблемам качества ЭМС относят такие, которые по отношению к случившемуся событию являются одной из равноправных версий из выдвинутого ряда равновероятных гипотез. Характерной особенностью является то, что в процессе проводимых исследований характер нарушения качества функционирования АТС невозможно полностью повторить. На практике это самые сложные случаи, т.к. очень высокая вероятность ошибки окончательного заключения. Это еще одна существенная причина низкого процента выявления эксплуатационных проблем качества ЭМС. Наглядным примером сказанного является ситуация, когда при движении АТС наблюдаются пропуски искрообразования в цилиндрах двигателя внутреннего сгорания. Причиной этому может быть возникновение коллизии в выполняемой программе контроллера системы управления, или проблема с элементами системы зажигания или не качественного состава топливно-воздушной смеси, или из-за воздействия ЭМП. Здесь все события случайны, а гипотезы равновероятны. Даже если в процессе исследования из рассмотрения исключаться одна или две версии, оставшиеся имеют одинаковую вероятность достоверности.

Систематизация имеющегося объема данных эксплуатационных проблем качества позволяет выделить три основных фактора, влияние которых определяет наибольшее количество нарушений функционирования АТС. Это отклонения от документации и техпроцесса при изготовлении продукции, процессы старения и нерегламентированное вмешательство в конструкцию электротехнических систем. При нормальной ЭМО АТС, с высокой вероятностью, будет в эксплуатации работать без нарушений работоспособности, но при более жестких параметрах электромагнитных воздействий будут возникать проблемы.

Отклонения от документации и нарушения техпроцесса при изготовлении автомобильной продукции равновероятно на всех этапах и наблюдается как у производителя автокомпонентов, так и у конечного автопроизводителя. Минимизация этих явлений заключается в соблюдении стандартов качества и периодических аудитах. Исследования и анализ данных показывают, что если АТС произведено в соответствии с регламентированными требованиями, а владелец не осуществляет несанкционированного вмешательства в его конструкцию электрооборудования, то в течении гарантийного срока автотранспортное средство будет соответствовать требованиям ЭМС с вероятностью $P \geq 0,8$.

На рисунке 4.25 показан пример нарушения работоспособности системы безопасной парковки вследствие плохого контакта провода заземления, проявляющийся в виде прерывания во время ЭМП акустической сигнализации наличия препятствий, что по классификации ISO 16750-1 соответствует функциональному классу помехоустойчивости С.

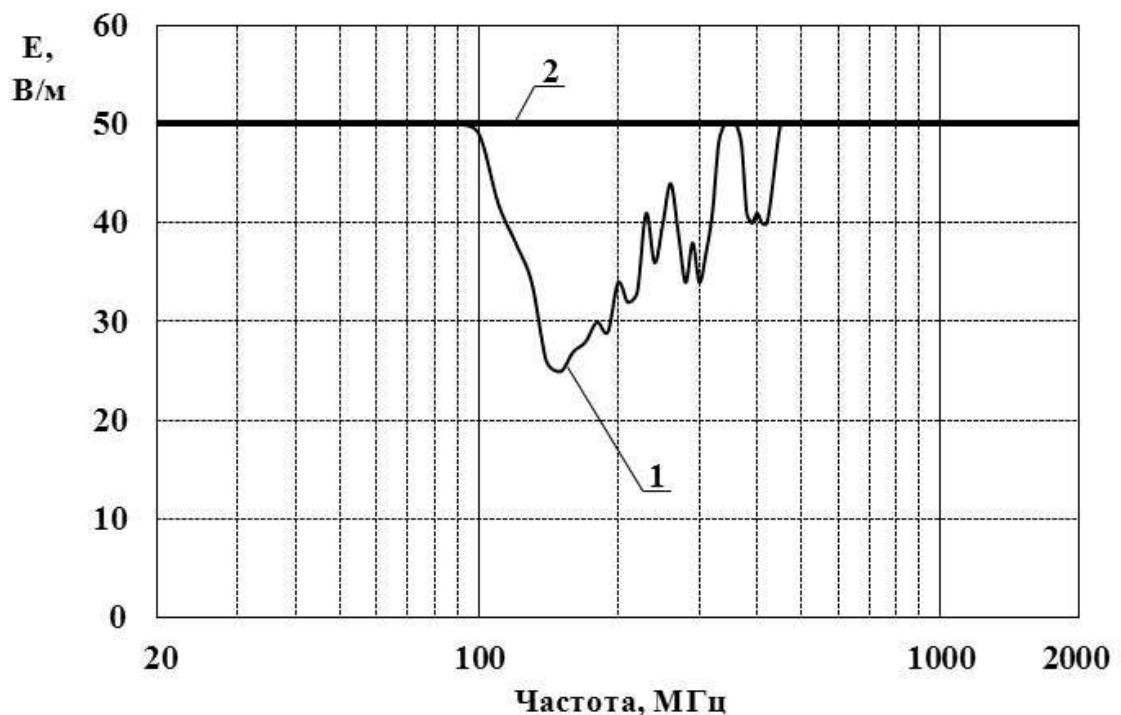


Рисунок 4.25 – Помехоустойчивость системы безопасной парковки АТС:
1 – плохой контакт провода заземления (класс С); 2 – предъявляемый по техническим требованиям уровень функционального класса А

Процессы старения протекают из-за воздействия агрессивных сред, термических и механических нагрузок. В общем на электрооборудование они в совокупности оказывают комплексное влияние. В зависимости от условий конкретный фактор в некоторый временной интервал может быть преобладающим и ускорять общий процесс деградации. Наглядным примером сказанному является эксплуатация АТС в холодное зимнее время года, когда бортовое электрооборудование подвергается постоянному многократному воздействию термоциклов. Из-за периодического расширения и сжатия материалов происходит их деградация и как следствие нарушение контактов элементов электрических схем.

На рисунке 4.26 приведен пример нарушения качества функционирования контроллера системы управления двигателем вследствие потери контакта фильтрующего входного конденсатора с печатной платой информационного канала датчика положения коленчатого вала. Из-за чего уровень наводимых помех при воздействии ЭМП превышал требуемое соотношение сигнал/шум и двигатель останавливался (класс D). В соответствии с внутренними техническими требованиями автопроизводитель для контроллера системы управления двигателем предъявлял до уровня 50 В/м функциональный класс А, а с 50 В/м до 100 В/м – класс В. Данная ЭМС проблема проявилась при пробеге АТС более 100 тыс.км.

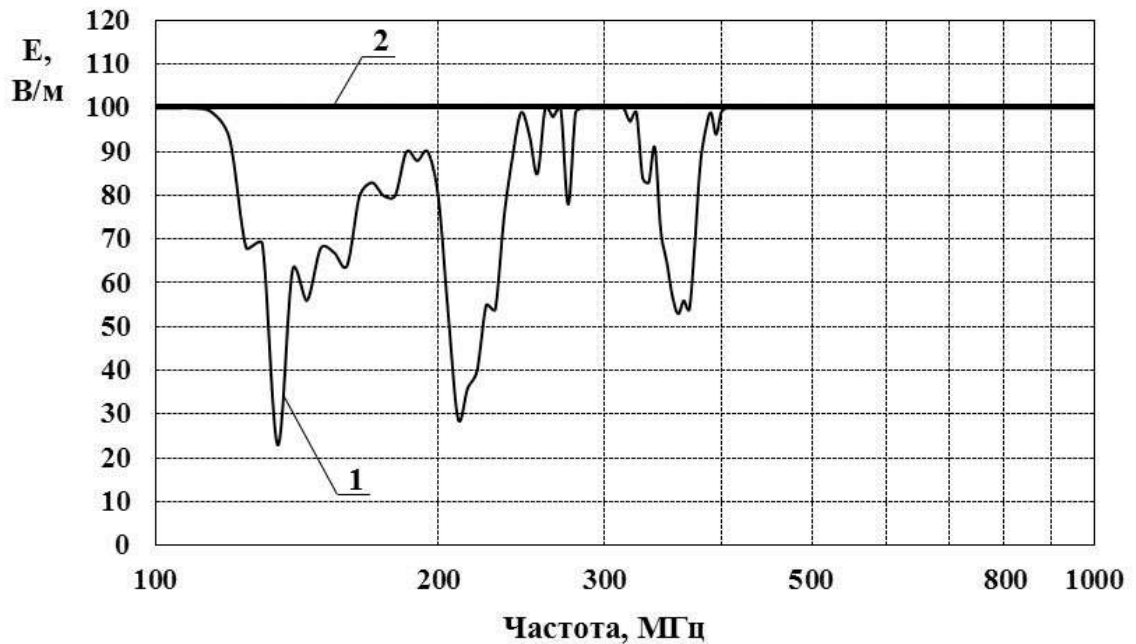


Рисунок 4.26 – Помехоустойчивость контроллера системы управления двигателем АТС: 1 – отсутствие контакта фильтрующего конденсатора с печатной платой по каналу датчика положения коленчатого вала (класс D); 2 – требуемый по техническим требованиям уровень функционального класса В

Третьим фактором управляют владельцы, внося преднамеренные сознательные изменения в конструкцию АТС, и тем самым повышая ЭМС риски. Сюда входит как нерегламентированное подключение в бортовую сеть сертифицированных, так и несертифицированных устройств и систем, а также чип-тюнинг.

Нерегламентированная установка сертифицированного электрооборудования, имеющего сертификаты, характерна в основном для случаев неполных комплектаций АТС «норма» и «стандарт». Владелец, после приобретения автомобиля, доукомплектовывает его через некоторое время, приобретая необходимое устройство или систему на вторичном рынке. Если это производится не на станции техобслуживания официального дилера, то высока вероятность подключения в бортовую сеть не в соответствии с технической документацией. Наиболее характерна и распространена ошибка подключения проводов заземления, когда по одноточечной последовательной схеме соединяют слаботочные и силовоточные устройства. Второй по

частотности типовой ошибкой является подключение мультимедийной системы к CAN шине. Здесь вместо регламентированной документацией, витой пары применяется двухпроводная линия с зачастую необоснованно длинной проводов. Соответственно данная цепь обладает малой помехозащищённостью и наведенные помехи искажают информацию в CAN-шине, нарушая обмен данных между бортовыми системами, что влияет на функционирование. Нагляден пример, рассмотренный в [69], когда во время воздействия ЭМП при переполнении внутреннего счетчика количества «Error frame» система ABS преогромно отключалась от CAN-шины.

Установка несертифицированных устройств нашло широкое применение из-за их доступной цены, которая обусловлена применением к конструкции недорогой элементной базы и технологий. Номенклатура данной продукции достаточно широка и включает системы видеорегистрации, мультимедиа, зарядки, охраны, парковки и т.п. Экономия на производстве, как правило, сказывается на параметрах ЭМС. Данные устройства обладают низкой помехоустойчивостью (рисунок 4.27) и высоким уровнем помехоэмиссии (рисунок 4.28). Электромагнитные помехи от подключенных в АТС несертифицированных устройств в совокупности с внешним ЭМП могут нарушить нормальное функционирование штатного электрооборудования. В большинстве случаев такие ЭМС проблемы по классификации относятся к гипотетическим. Достаточно сложно их исследовать в лабораторных условиях из-за того, что владельцы не передают на исследования свои несертифицированные устройства, за редким исключением. Наглядным примером является случай зависания штатной мультимедийной системы при включении в бортовую сеть несертифицированного зарядного USB устройства. Анализ статистических данных, поступающих в службу качества АО «АВТОВАЗ» от официальных дилеров, показал, что в 34% случаев проблемы происходили на тех автомобилях, где осуществлялось подключение несертифицированных устройств в штатную бортовую розетку.

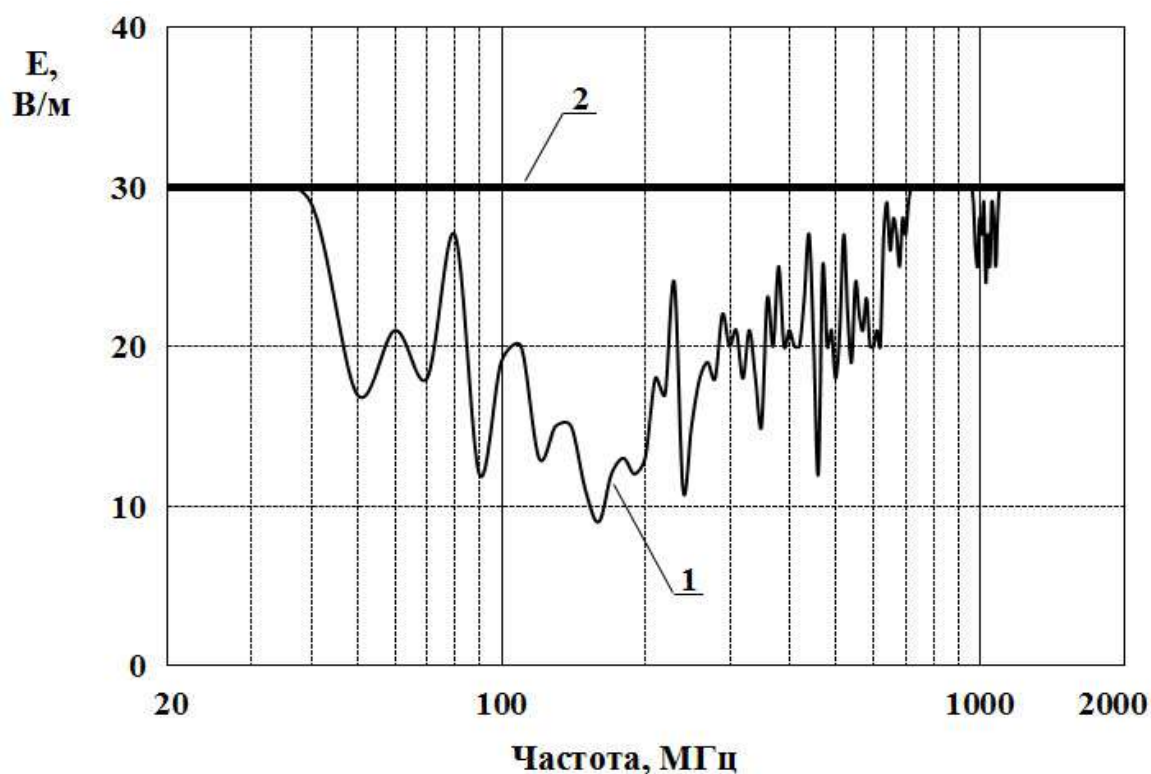


Рисунок 4.27 – Помехоустойчивости видеорегистратора (пр-ва Китай):
 1 – прекращение записи (класс С); 2 – требуемый уровень функционального класса А (международные Правила R10-06)

Чип-тюнинг есть несанкционированное программное вмешательство утвержденное заводом-изготовителем программное обеспечение АТС с целью настройки специальных режимов работы электротехнических систем под конкретного пользователя. В измененных алгоритмах и настройках, которые не проверяются всесторонне на работоспособность, появляются тупиковые ветви. При воздействии ЭМП возникают коллизии в программе, что ведет к ее зависанию или не корректной работе. В соответствии с классификацией эти ЭМС проблемы также относятся к гипотетическим, потому что владельцы, сделавшие чип-тюнинг, не обращаются по вопросам гарантии или скрывают данный факт. На сегодняшний день единственным путем исследования это сбор информации из всевозможных доступных источников, ее анализ и сопоставление с базой знаний ЭМС специалистов.

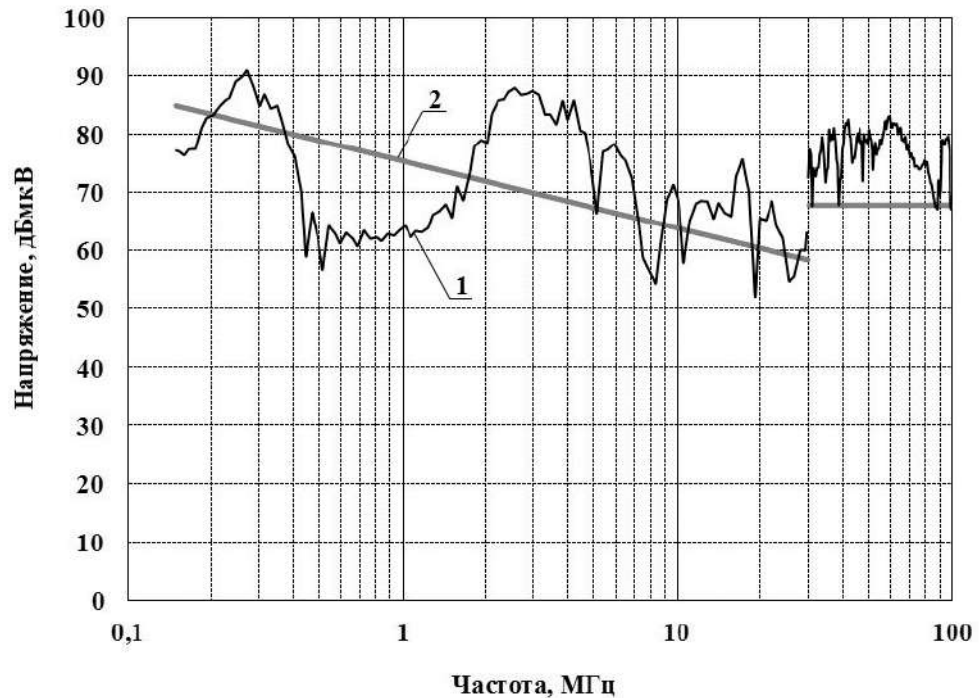


Рисунок 4.28 – Электромагнитные помехи в сети электропитания АТС:
1 – от видеорегистратора; 2 – предельно-допустимый уровень

Исследование практического опыта имеющихся проблем качества ЭМС автотранспортных средств в эксплуатации показывает актуальность его изучения. Сложность выявления влияния ЭМП на работоспособность АТС непосредственно в эксплуатации определяют актуальность разработки новых подходов решения данной задачи. Исследования в данном направлении являются перспективным, так как разработанные инструменты повысят статистику, и дадут обратную связь разработчикам об эффективности заложенных ЭМС решений, а также по дальнейшим действиям, направленным на повышение помехоустойчивости и помехозащищенности АТС в эксплуатации.

4.6 Выводы по четвертой главе

Разработаны и реализованы усовершенствованные инструменты оценки качества автомобилей по параметрам электромагнитной совместимости на эксплуатационном этапе жизненного цикла, включающие:

- вероятностную математическую модель нарушения качества

функционирования автомобилей в эксплуатации, нацеленную на получение вероятностной оценки критерия нарушения качества. Доказано, что при попадании автомобиля в сложную электромагнитную обстановку вероятность нарушения качества функционирования определяется параметрами воздействия, взаимного ориентирования источника поля и автомобиля, помехозащищенности и режимов работы бортового электротехнического комплекса;

- матрицу нарушения качества функционирования автотранспортного средства, направленную на получение множества состояний помехоустойчивости для оценки качества, заложенных при проектировании и обеспеченных в производстве решений и ранжирования режимов функционирования по группам помехоустойчивости. Сформулировано правило: при заданном уровне напряженности электромагнитного воздействия для любого члена матрицы нарушения качества функционирования существует свой класс помехоустойчивости. Установлено, что при прочих равных условиях автомобиль с развитой архитектурой электрооборудования, более подвержен влиянию электромагнитных помех;

- предложение по введению нового количественного показателя качества продукции, отражающего предельную минимальную поглощаемую мощность при которой происходит нарушение качества функционирования автомобиля. Получено выражение для предельно-минимальной поглощаемой мощности поражаемости. Определены минимальные мощностные параметры качества (поражаемости) соответствующие частоте 124 МГц и уровню помехоустойчивости 28 В/м. Для фронтальной поверхности площадью 2,08 м² плотность потока энергии равна 2,6 Вт/м², а мощность 5,4 Вт. Соответствующие параметры для боковой поверхности площадью 5,45 м² равны 1,42 Вт/м² и 7,7 Вт. Показано, что помимо некоторой группировки источников помех, на формирование электромагнитной обстановки влияет дорожная инфраструктура. Систематизирован имеющийся объем данных и

выделены три основных фактора, влияние которых определяет наибольшее количество нарушений качества функционирования автомобилей: отклонения от документации и техпроцесса при изготовлении продукции, процессы старения и нерегламентированное вмешательство в конструкцию электротехнических систем.

Глава 5. РАЗРАБОТКА НАУЧНО-ИНЖЕНЕРНЫХ МЕТОДОВ И ИНСТРУМЕНТОВ УПРАВЛЕНИЯ И УЛУЧШЕНИЯ КАЧЕСТВА АВТОМОБИЛЕЙ ПО ПАРАМЕТРАМ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ СОВМЕСТИМОСТИ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ

5.1 Разработка метода активной защиты качества автомобилей по параметрам помехозащищенности

В подавляющем большинстве случаев все заложенные в конструкцию АТС ЭМС решения реализуются по отношению к типовым регламентированным электромагнитным воздействиям. В эксплуатации структура электромагнитного поля может быть намного сложнее и соответственно, можно ожидать событий нарушения качества функционирования. Источник излучения в части позиционирования по отношению к АТС может быть как стационарным, так и подвижным, динамически меняющим свое положение. Во времени электромагнитная помеха может воздействовать постоянно, т.е. в соответствии со стандартной классификацией подразделяться на непрерывную, длительную, непродолжительную, кратковременную, регулярную и не регулярную, а также однократно, что характеризует ее как случайную.

Ориентация излучателя помех по отношению к АТС зависит от ряда факторов. Если все объекты системы «АТС-источник излучения» неподвижны, то воздействию подвергается только некоторая поверхность, площадь которой определяется проекцией диаграммы направленности источника. Но, тем не менее, это будет локально облучение. Если хотя бы один из объектов системы «АТС-источник излучения» подвижен, то облучаемая поверхность определяется от характера траектории движения. В азимутальной плоскости в пределах облучаются все стороны, т.к. АТС может объезжать вокруг источника ЭМП. Зенитные углы зависят от конструкции АТС – его возможности подниматься или спускаться по максимально возможному склону. В этом случае корректно ориентироваться на типовые значения углов подъема/спуска,

задаваемые заводами изготовителями, которые составляют 45 град (рисунок 5.1).

Исходя из этих данных, несложно рассчитать телесный зенитный угол, в котором может происходить воздействие на АТС

$$\alpha = 180^0 + 45^0 + 45^0 = 270^0 .$$

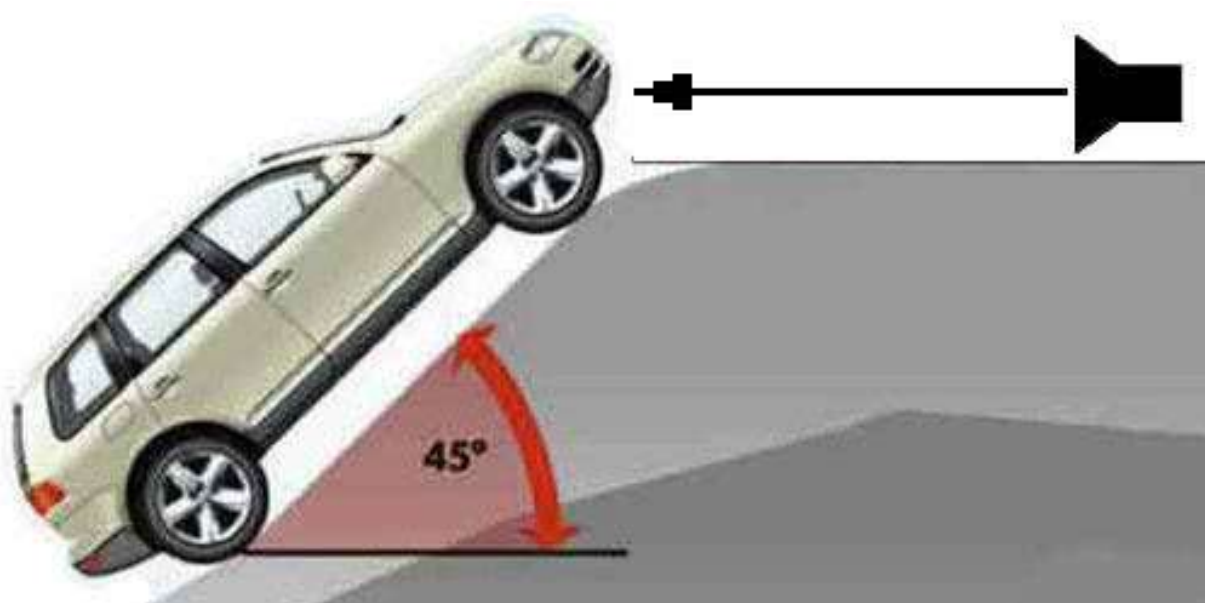


Рисунок 5.1 – Графическая иллюстрация преодолеваемых углов подъема АТС для оценки зенитных углов электромагнитных воздействий

Многовариантность позиционирования системы «АТС-источник излучения», позволяет предположить, что АТС, как приемная антенна, с вероятностью отличной от нуля, будет в направлении воздействия сориентирован максимумом диаграммой направленности, что определит наибольшую мощность проникновения ЭМП во внутрь кузова, и соответственно наводимый в электронных схемах критический уровень помех.

Наиболее типовой опасный вариант взаимодействия, это когда АТС движется в сторону излучателя, проезжает его и удаляется. Здесь максимальное воздействие осуществляется в секторе 180 град. Вероятность ориентации максимума приема АТС для одного источника равна 1/2. При более сложном случае, когда источники расположены в противоположных относительно

направления движения АТС секторах данная вероятность равна 1.

Предлагаемый активный метод базируется на управлении матрицей нарушения качества функционирования автотранспортного средства (поражаемости) электрооборудования АТС, которая рассматривалась в разделе 4.2. Как известно, качество по параметрам помехозащищенности и соответственно помехоустойчивость ухудшаются в процессе эксплуатации из-за процессов старения, поэтому они являются функциями времени. Соответственно динамика их изменения должна учитываться для корректного управления качеством помехозащиты. Для начального анализа возьмем такой интервал времени эксплуатации АТС, в течении которого процессами старения можно пренебречь.

В идеализированном предельном случае, если определены все режимы работы или функционал бортовой системы a_i , и исследовано их влияние для каждого электромагнитного воздействия b_j , то соответственно известны все члены $a_i b_j$ матрицы (4.3), а значит, сопоставлены им состояния помехоустойчивости z_q матрицы (4.5). В соответствии с градациями классов помехоустойчивости по [207], рассмотренными в разделе 2.6 наилучшим является класс «А», характеризующий отсутствие проблем качества ЭМС при нахождении АТС в некоторой ЭМО. Класс «В» также приемлем, ввиду незначительных отклонений от штатных параметров. Критичным является уже класс «С», т.к. характеризует нарушение качества функций. Концепция метода сводится к недопущению проявления классов «С», «D» и «Е». Отсюда при электромагнитном воздействии b_j , значение соответствующих членов a_i устанавливается равным нулю. Тогда $a_i b_j = 0$, что физически означает отсутствие влияния ЭМП на данный канал, и матрица нарушения качества функционирования автотранспортного средства (поражаемости) уменьшается. Тогда для конкретного воздействия b_j (4.3) запишется в виде:

$$F_{II} = \begin{pmatrix} a_1 b_j \\ 0 \\ \dots \\ a_i b_j \\ 0 \\ 0 \\ \dots \\ a_N b_j \end{pmatrix}. \quad (5.1)$$

Если для воздействия b_j количество равных нулю членов $a_i b_j$ составляет M , то помехозащищенность АТС возрастает в N/M раз.

На практике в АТС для решения данной задачи необходимо наличие сложного бортового комплекса, определяющего все параметры ЭМП: амплитуду, частоту, модуляцию, фазу, длительность и т.д. Такое возможно только на АТС, в функции которых входит мониторинг ЭМО и радиоэлектронная борьба. Для массового применения легче реализовать вариант с датчиком, определяющим только напряженность воздействующего ЭМП.

$$F_{II} = \begin{pmatrix} a_1 b_1, a_1 b_2, \dots a_1 b_j, \dots a_1 b_M \\ 0, 0, \dots 0, \dots 0 \\ \dots \\ 0, 0, \dots 0, \dots 0 \\ a_{i-1} b_1, a_{i-1} b_2, \dots a_{i-1} b_j, \dots a_{i-1} b_M \\ a_i b_1, a_i b_2, \dots a_i b_j, \dots a_i b_M \\ 0, 0, \dots 0, \dots 0 \\ a_{i+2} b_1, a_{i+2} b_2, \dots a_{i+2} b_j, \dots a_{i+2} b_M \\ 0, 0, \dots 0, \dots 0 \\ \dots \\ a_N b_1, a_N b_2, \dots a_N b_j, \dots a_N b_M \end{pmatrix}. \quad (5.2)$$

В этом случае количество строк с членами $a_i b_j = 0$ будет больше, чем в (5.1), т.к. измерительная бортовая система менее информативна.

Очевидно, что ограничением метода является недопущение отключения наиболее важных режимов и функций, определяющих движение и управление АТС.

Физическую реализацию предлагаемого метода можно осуществить временным принудительным переходом в специальный помехозащищенный режим работы, отключив ряд функций и устройств бортового электрооборудования, а также уменьшив объем передаваемой и обрабатываемой информации [109]. Недостатком является некоторое снижение эксплуатационных свойств АТС, однако повышение вероятности функционирования АТС в условиях сложной ЭМО является оправданным.

1. *Временное принудительное отключение функций и устройств.* Целесообразно применять только к тем функциям и устройствам, без которых водителю принципиально длительное время можно обойтись. В качестве примеров можно привести функцию круиз-контроля, электромеханический усилитель рулевого управления и ABS.

2. *Временное принудительное уменьшение объема обрабатываемой информации.* Прекращается опрос информационных шин, или если это невозможно, то получаемые с них данные не применяются в управлении. Используется только та информация, которая позволяет обеспечивать функционирование систем с приемлемым качеством.

В современных системах АТС, для многокритериального управления и достижения заданных показателей качества функционирования, используется большое количество датчиков. Искажение данных приводит к нарушению выходных функций. Как пример, можно привести остановку двигателя внутреннего сгорания (ДВС) вследствие увеличения дозирования топлива из-за неправильной интерпретации данных с датчика массового расхода воздуха [66]. В тоже время для работы ДВС, хоть и не на оптимальных режимах, достаточно одного датчика положения коленчатого вала. Исходя из этого, данные по другим информационным каналам, до выхода АТС из сложной ЭМО, можно не

применять в управлении. Конечно, увеличится расход топлива, а динамические показатели изменятся в худшую сторону, но при этом по отключенным каналам система управления будет не восприимчива к ЭМП.

Рассматриваемый метод подразумевает наличие обратной связи по каналу измерения уровня ЭПМ [79]. Перевод в помехозащищенный режим бортового электрооборудования, за счет уменьшения вариантов нарушения качества функционирования автотранспортного средства (поражаемости), осуществляется программным способом. По признаку наличия ЭМП соответствующего уровня $E_{lim.min}$, формируется соответствующий управляющий сигнал, который запускает у подпрограммы принудительного отключения соответствующих функций или самих устройств, а также уменьшения объема обрабатываемой информации. В современных АТС такой сигнал можно реализовать как помехозащищенный высокоприоритетный фрейм.

В тоже время с позиции обеспечения нормального качества функционирования АТС не корректно осуществлять принудительный переход электрооборудования в специальный помехозащищенный режим при достижении некоего уровня основного показателя качества $E_{lim.min}$, т.к. в этом случае ЭМП может повлиять на функционирование какого-либо бортового модуля. Поэтому целесообразно осуществлять управление качеством на основе прогнозирования [79], до наступления события $E_{lim.min}$ в соответствии с условием

$$E_{акт} \geq E_{lim.min} - E_{\sigma max} , \quad (5.3)$$

где $E_{акт}$ – измеренный бортовым датчиком в процессе эксплуатации уровень ЭМП, при котором оставляется активная помехозащита АТС;

$E_{\sigma max}$ – максимальное среднеквадратичное отклонение ЭМП, определенное на основании накопленных текущих измерений ЭМП в процессе эксплуатации АТС до момента перехода его в помехоустойчивый режим.

В эксплуатации любой a_i является функцией времени и в общем случае его помехозащищенность ухудшается. Соответственно необходимо корректировать уровни по параметрам $E_{акт}$ и $E_{lim.min}$. Если в эксплуатации у АТС обнаружались проблемы качества ЭМС при $E_{ЭМС} \leq E_{акт}$, то данному уровню присваивается статус $E_{lim.min}$ (фактический уровень показателя качества). Последующие переходы в помехозащищенный режим происходят при $E_{lim.min} = E_{ЭМС}$.

Возврат в штатный режим работы электрооборудования будет производиться по выходу АТС из области сложной ЭМО.

5.2 Разработка программного метода игнорирования электромагнитных помех

Рассмотренный в предыдущем параграфе метод активной защиты качества по параметрам помехозащищенности уменьшает матрицу нарушения качества функционирования автотранспортного средства (поражаемости), что существенно снижает количество взаимосвязей между бортовым электрооборудованием. Тем не менее, для маневрирования АТС, в том числе ухода из зоны сложной ЭМО необходима работа определенного количества функций, которые реализуются определенным количеством блоков и устройств. Очевидно, что исключить все взаимосвязи и свести все члены матрицы нарушения качества функционирования автотранспортного средства (поражаемости) к нулю не представляется возможным. Всегда будет осуществляться внутри и внешнесистемные взаимодействия, которые невозможно исключить. Соответственно остается некоторая вероятность нарушения качества работоспособности электрооборудования.

В подавляющем большинстве случаев физически проблемы качества ЭМС возникают из-за изменения какого-либо параметра электрического сигнала. Исключения составляют тепловые разрушения от прямого удара молнии или эффекты магнитострикции. Задача сводится к тому, чтобы при изменении параметров сигнала вследствие воздействия ЭМП, приводящего к проблемам

качества ЭМС, использовать алгоритмы, игнорирующие изменение параметров сигналов и сохраняющие нормальное функционирование электрооборудования.

Предлагаемый метод игнорирования электромагнитных помех применим для систем, в которых имеются параллельные независимые идентичные каналы входных данных. Его суть заключается в том, что если по двум или более входам одновременно происходит отклонение значений за пределы допусков, то исходя из заданной вероятности невозможности реализации таких событий, данная информация считается искаженной внешним электромагнитным воздействием и она игнорируется. При этом выходная функция реализуется из учета неискаженных входных данных.

Для обобщённого описания метода корректно применить Булеву алгебру. Пусть система имеет N идентичных входных каналов. Множество значений каждого канала X может принимать только два значения: 0 и 1. Где «0» - область значений, входящих в пределы допусков и «1» - область значений, выходящих за пределы допусков. Соответственно сама выходная функция системы φ также принимает два значения: 0 и 1. Где «0» - функция управления по входящим в допуски данным, и «1» - функция управления по отклоняющимся от допусков данным.

Для каждой суммы входных каналов X_1, X_2, X_i, X_N определяется расчетным или опытным путем вероятность реализации выхода данных за пределы допусков:

$$\sum_{i=1}^N X_i \rightarrow P_{N-1} . \quad (5.4)$$

Очевидно, что $P_1 > P_2 > P_j > P_{N-1}$. Выбранная вероятность является критерием игнорирования неверных данных и присвоения значения выходной функции соответствующей электротехнической системы

$$\varphi(X) = 1.$$

Построим для примера таблицы истинности для различных вероятностей P_j для системы с тремя входными каналами (таблицы 5.1, 5.2).

Таблица 5.1 – Таблица истинности выходной функции $\varphi(X)$ при P_1

X_1	X_2	X_3	$\varphi(X_1, X_2, X_3)$
0	0	0	1
0	0	1	0
0	1	0	0
1	0	0	0
0	1	1	1
1	0	1	1
1	1	0	1
1	1	1	1

Таблица 5.2 - Таблица истинности выходной функции $\varphi(X)$ при P_2

X_1	X_2	X_3	$\varphi(X_1, X_2, X_3)$
0	0	0	1
0	0	1	0
0	1	0	0
1	0	0	0
0	1	1	0
1	0	1	0
1	1	0	0
1	1	1	1

Методом математической индукции строятся таблицы истинности для любого N .

Рассмотрим реализацию рассматриваемого метода в контексте его применения в системе управления зажиганием, имеющей некоторое количество катушек зажигания. В штатном режиме бортовая диагностика определяет

работоспособность каждой катушки зажигания по измеренной величине тока в течение нескольких циклов работы ДВС и сравнивает ее с пороговыми значениями. Предельными состояниями катушки является обрыв или короткое замыкание.

Событие, соответствующее обрыву или повышенному сопротивлению, диагностируется, если

$$\begin{cases} I_{\kappa 3}(\tau_{ij}) < I_{\min}, & i = 1, j = 1, 2, \dots, M; \\ I_{\kappa 3}(\tau_{ij}) \geq I_{\min}, & i = 2, j = 1, 2, \dots, M; \\ \dots & \\ I_{\kappa 3}(\tau_{ij}) \geq I_{\min}, & i = N, j = 1, 2, \dots, M, \end{cases} \quad (5.5)$$

где $I_{\min}$ – минимальный ток накопления в первичной обмотке катушки, необходимый для формирования электрического разряда;

$I_{\kappa 3}$ – ток накопления в первичной обмотке катушки;

$i = 1, 2, 3 \dots N$ – количество катушек зажигания в ДВС;

$j = 1, 2, 3 \dots M$ – количество циклов работы ДВС;

τ – время накопления энергии;

$I_{\kappa 3}(\tau_{ij})$ – ток, протекающий в первичной обмотке, в момент времени накопления энергии в i^{oi} катушке в j^M цикле работы ДВС.

Событие, соответствующее короткому замыканию, диагностируется, если

$$\begin{cases} I_{\kappa 3}(\tau_{ij}) > I_{\max}, & i = 1, j = 1 \text{ и } M + 1; \\ I_{\kappa 3}(\tau_{ij}) \leq I_{\max}, & i = 2, j = 1, 2, \dots, M; \\ \dots & \\ I_{\kappa 3}(\tau_{ij}) \leq I_{\max}, & i = N, j = 1, 2, \dots, M, \end{cases} \quad (5.6)$$

где $I_{\max}$ – максимальный ток накопления в первичной обмотке катушки.

Количество циклов работы ДВС M отсчитываться с момента обнаружения первого нарушения функционирования катушки и выбирается из условия не

превышения некоторой пороговой вероятности нарушения работоспособности как минимум двух катушек за интервал времени, соответствующий M циклов.

Исходя из сущности предлагаемого метода в течении периода времени, равному нескольким циклам работы ДВС, вероятность выхода из строя хотя бы двух катушек зажигания мала и на практике составляет не более $P = 0,001$ (пороговая вероятность).

Превышение максимально или минимально допустимого тока накопления в части диагностики интерпретируется как нарушением работоспособности катушки. Если за временной интервал, соответствующий M циклам в других катушках зажигания не выявилось проблем, а диагностика неисправности в этой же катушке повторяется, то значит это обусловлено истинным нарушением работоспособности катушки. При возникновении данной проблемы контроллер системы управления ДВС переходит в аварийный режим, отключая ток накопления в катушке, а также соответствующую форсунку, перекрывая топливоподачу в цилиндр.

В условиях сложной ЭМО при нормально работающей катушке в измерительном канале может навестись электромагнитная помехи и исказить сигнал таким образом, что его значение будет интерпретироваться как состояние повышенного сопротивления, обрыва или короткого замыкания обмотки. В случае диагностирования данного факта неисправности в какой-либо катушке производится сравнительный анализ по всем катушкам за M циклов. На основании статистического анализа определяется итоговый результат диагностики. Если за временной интервал, соответствующий M циклам в других катушках зафиксировано хотя бы одно аналогичное событие нарушения функционирования, то считается, что все катушки зажигания исправны, а зафиксированные нарушения работоспособности являются ложными, обусловленными воздействием ЭМП на каналы измерения и соответственно игнорируются. Графическое представление алгоритмов

диагностики и принятия решения для различных ситуаций рассматриваемого метода приведено на рисунках 5.2 – 5.7.

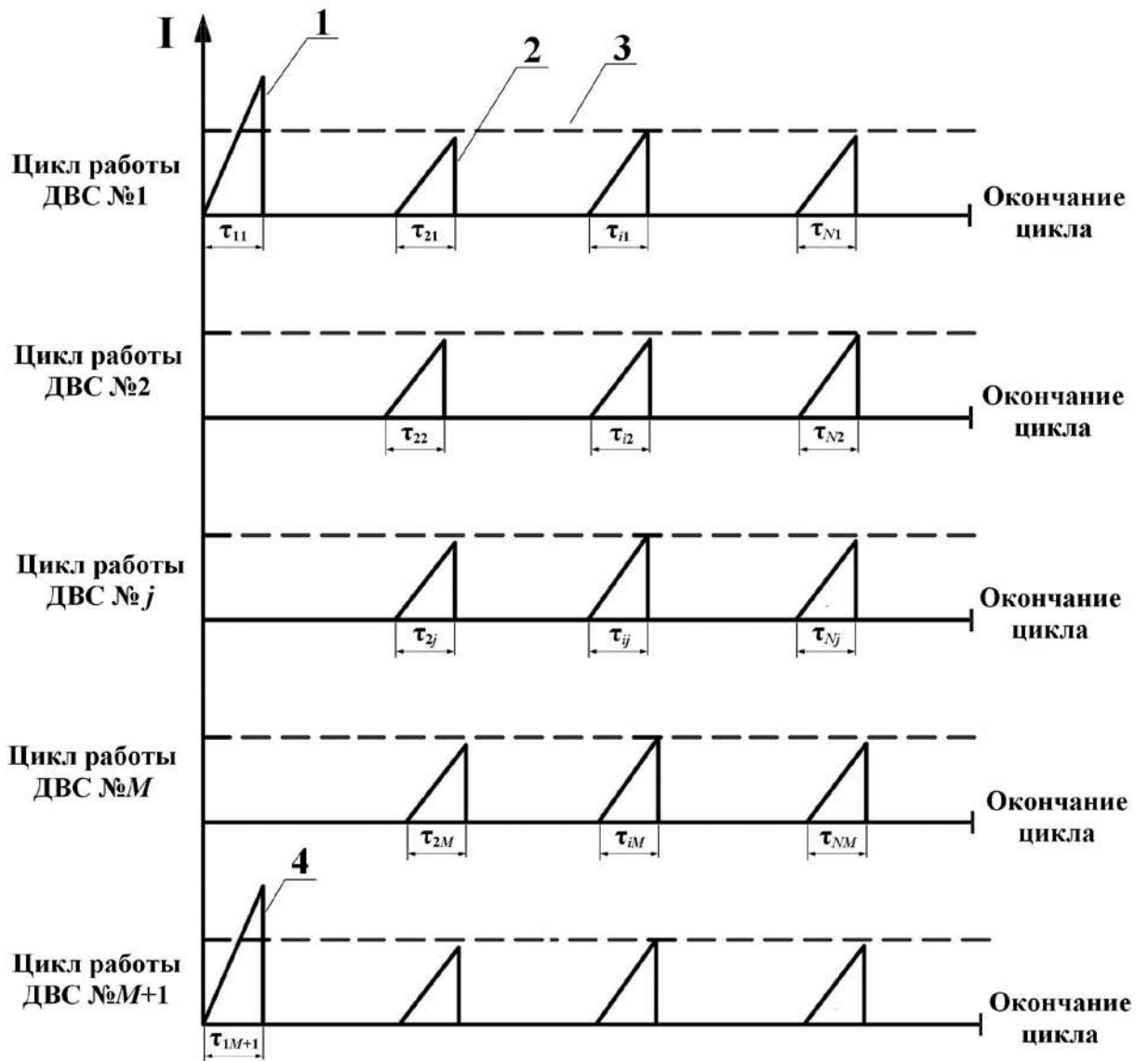


Рисунок 5.2 – Алгоритм диагностики короткого замыкания первичной обмотки катушки зажигания при: 1 – ток накопления в первичной обмотке при коротком замыкании; 2 – ток накопления в первичной обмотке работоспособной катушки; 3 – максимально предельно-допустимый ток накопления; 4 – контрольный импульс тока накопления в катушке в $M+1$ цикле, для подтверждения короткого замыкания

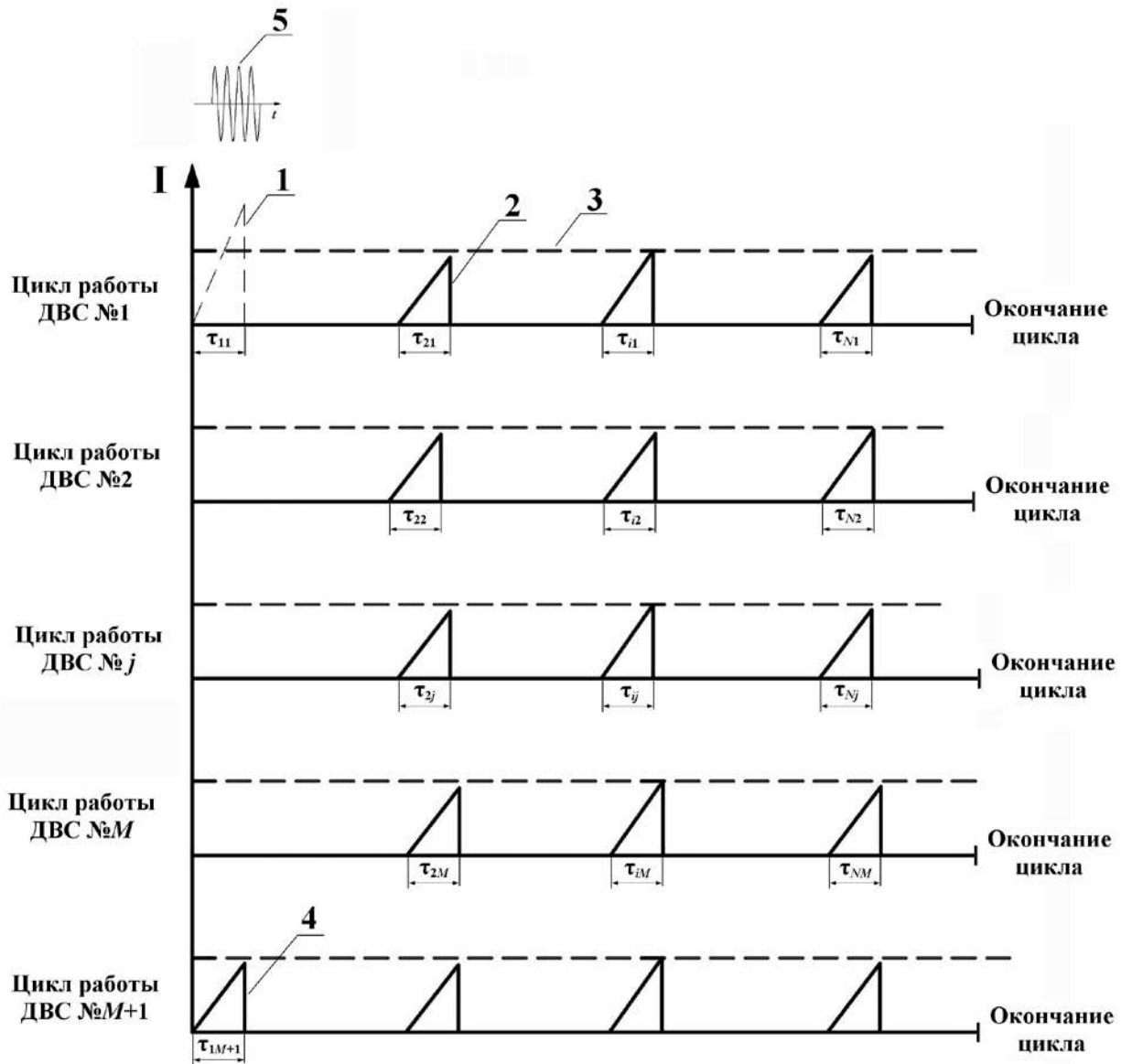


Рисунок 5.3 – Алгоритм диагностики катушки зажигания при ложном коротком замыкании первичной обмотки, из-за воздействия кратковременной ЭМП:

1 – ложная диагностика тока короткого замыкания электрической цепи, вызванная влиянием ЭМП; 2 – ток в первичной обмотке работоспособной катушки; 3 – максимально предельно-допустимый ток; 4 – контрольный импульс тока, диагностирующий состояние отсутствия короткого замыкания первичной обмотки; 5 – кратковременная ЭМП

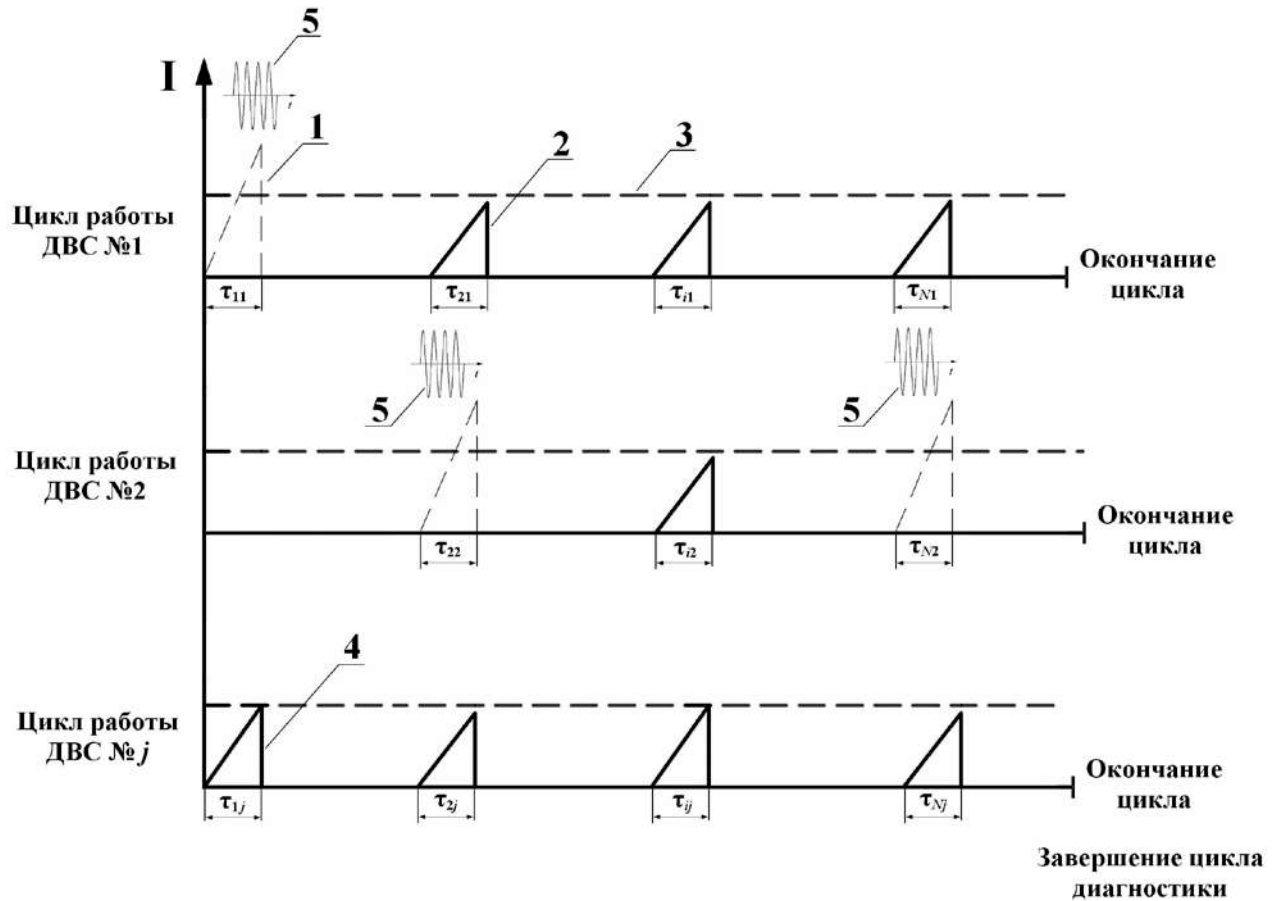


Рисунок 5.4 – Алгоритм диагностики катушки зажигания при ложном коротком замыкании первичной обмотки, из-за воздействия длительной ЭМП:

1 – ложная диагностика тока короткого замыкания электрической цепи, вызванная влиянием ЭМП; 2 – ток в первичной обмотке работоспособной катушки; 3 – максимально предельно-допустимый ток; 4 – контрольный импульс тока, диагностирующий состояние отсутствия короткого замыкания первичной обмотки; 5 – длительная ЭМП

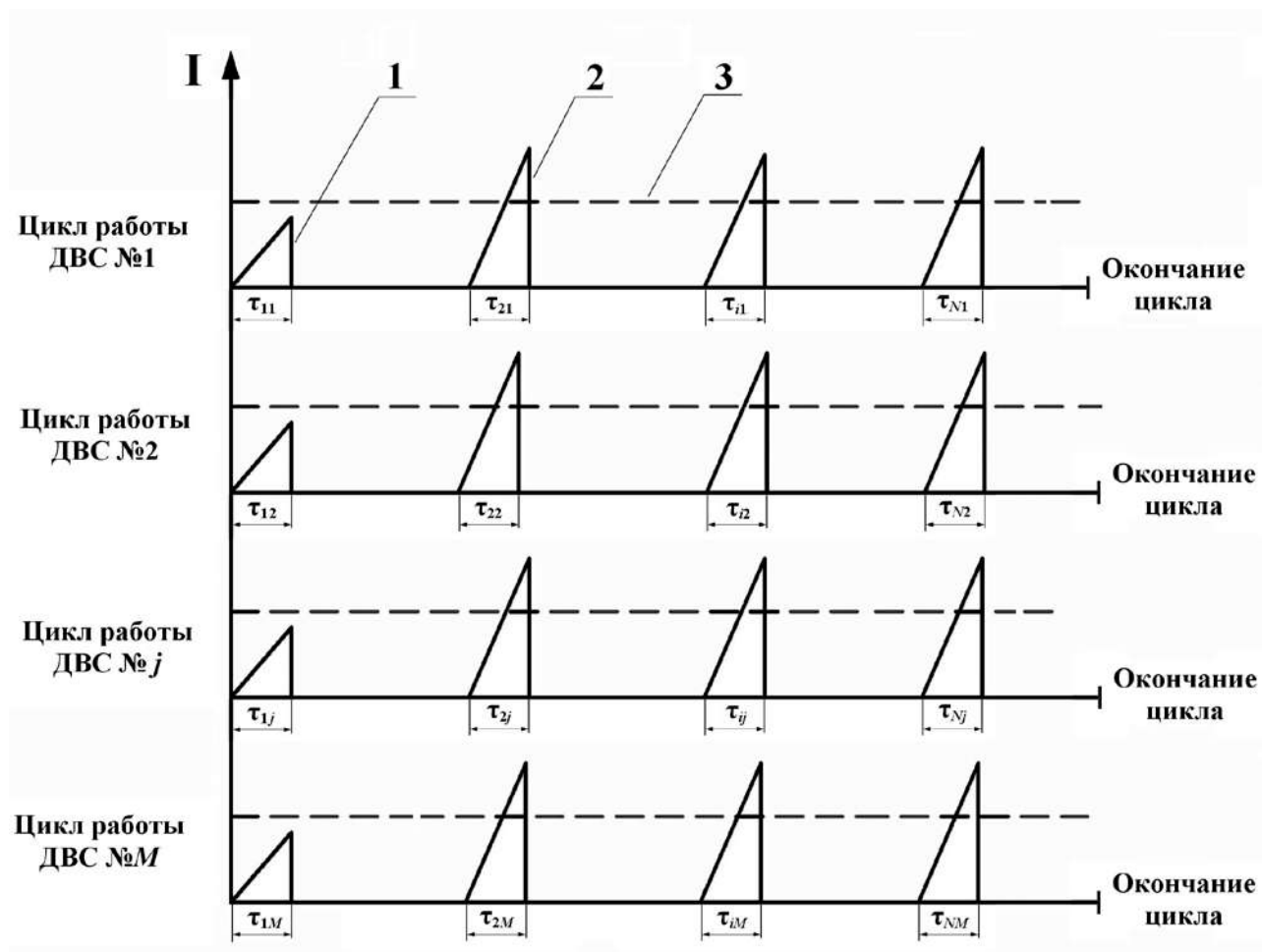


Рисунок 5.5 – Алгоритм диагностики повышенного сопротивления электрической цепи первичной обмотки катушки зажигания: 1 – ток при повышенном сопротивлении; 2 – ток накопления работоспособной катушки; 3 – минимально предельно-допустимый ток накопления

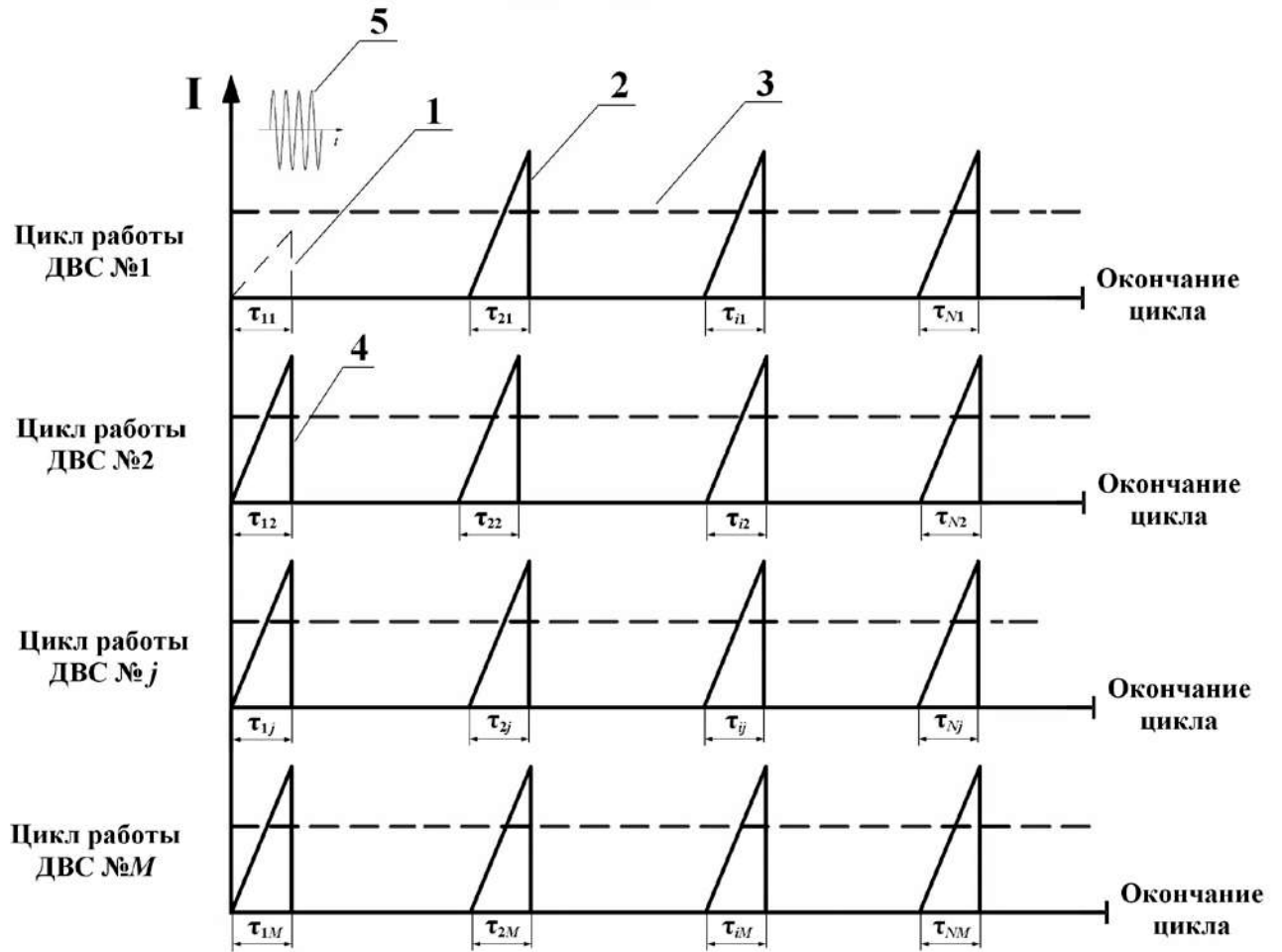


Рисунок 5.6 – Алгоритм диагностики повышенного сопротивления первичной обмотки катушки зажигания при ложном обрыве из-за воздействия кратковременной ЭМП: 1 – ложная диагностика тока повышенного сопротивления электрической цепи, вызванная влиянием ЭМП; 2 – ток в первичной обмотке работоспособной катушки; 3 – минимально предельно-допустимый ток накопления; 4 – ток в катушке, диагностирующий отсутствие повышенного сопротивления; 5 – кратковременная ЭМП

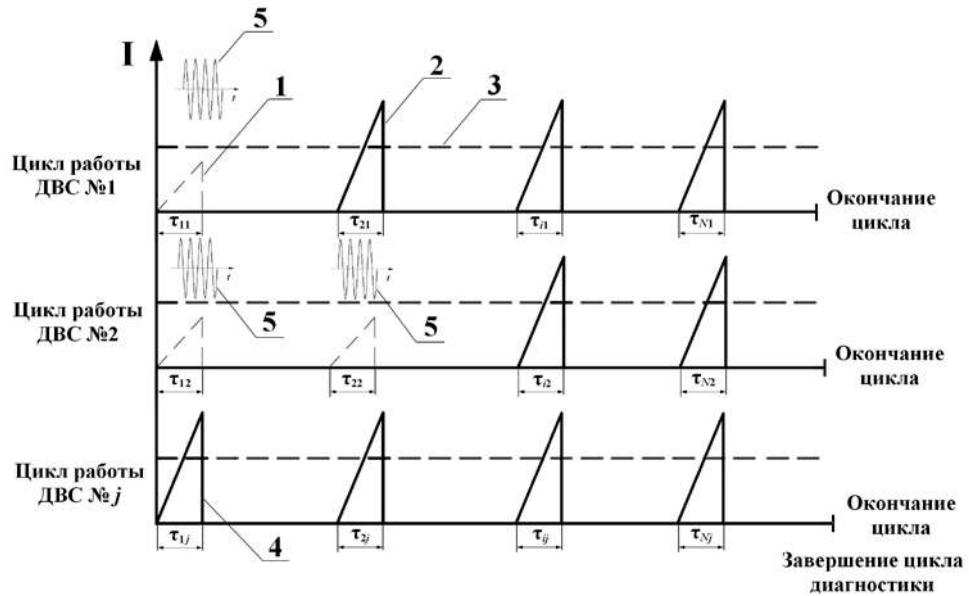


Рисунок 5.7 – Алгоритм диагностики повышенного сопротивления первичной обмотки катушки зажигания при ложном обрыве из-за воздействия длительной ЭМП: 1 – ложная диагностика тока повышенного сопротивления электрической цепи, вызванная влиянием ЭМП; 2 – ток в первичной обмотке работоспособной катушки; 3 – минимально предельно-допустимый ток накопления; 4 – ток в катушке, диагностирующий отсутствие повышенного сопротивления; 5 – длительная ЭМП

5.3 Обеспечение качества автомобилей по параметрам ЭМС

с помощью инструментов резервирования и рационализацией выбора бортовых систем

При электромагнитном воздействии на АТС в его электрических контурах в соответствии со вторым законом Максвелла и законом электромагнитной индукции Фарадея наводится ЭДС, которая в общем виде записывается в виде известного выражения:

$$\varepsilon = \int_l E dl, \quad (5.7)$$

где l – контур, который пронизывает ЭМП с напряженностью E .

Соответственно ток, протекающий в данном контуре будет определяться согласно закону Ома

$$I = \frac{\varepsilon}{Z}, \quad (5.8)$$

где Z – комплексное сопротивление контура, включающее в себя сопротивление проводов и подключенных нагрузок бортовых электротехнических систем.

Для задач обеспечения качества по параметрам помехоустойчивости приведенные выражения позволяют сделать ключевые выводы, касаемые резервирования и рационализации выбора бортовых систем электрооборудования. В физической реализации контура l , имеют разную геометрию, ориентацию в пространстве относительно друг друга и соответственно относительно электромагнитного поля. Так как ранее было доказано, что распределение ЭМП во внутреннем пространстве АТС неравномерно. Соответственно, первый вывод, вытекающий из формулы (5.7), говорит о применении структурного резервирования, позволяющего повысить надежность и качество АТС, за счет использования избыточных элементов, при условии разнесения их во внутреннем пространстве.

Несмотря на историческую фундаментальность закона Ома, из второго выражения вытекает целесообразность реализации функционального резервирования, при котором различные блоки, имеющие отличающиеся комплексные друг от друга сопротивления, ввиду специфических особенностей схемотехнического и топологического построения, позволяют выполнять одинаковые функции.

Вопросы резервирования систем следует рассматривать в контексте попадания АТС в сложную ЭМО. Нарушение качества работоспособности бортовых систем электрооборудования на ЭМП может оказаться различной [106]. Критичней всего, если реакция выражается в изменении характера и траектории движения АТС. В целом АТС должен сохранить свою работоспособность в условиях электромагнитного воздействия в течение некоторого минимального заданного периода времени. Оно должно быть рассчитано из условия быстрого покидания зоны сложной ЭМО, чтобы обеспечить сохранность людей. Это значит, что основные системы АТС

должны функционировать в соответствии с установленными требованиями по качеству. Допускается отказ любого вида не основных систем.

К основным системам относятся те, которые прямо или косвенно определяют характер и траекторию движения АТС. Нормальная работоспособность других систем, например, комбинации приборов, систем климат-контроля, безопасной парковки или мультимедийной системы при воздействии на них электромагнитного воздействия принципиально не важна. При их сбое или отказе это конечно вызовет определенные проблемы эксплуатации АТС или снизит условия комфорта, но управление автотранспортным средством все же будет находиться под контролем.

К основным относятся системы: управления двигателем, трансмиссией, рулевым управлением, электроснабжения, тормозная, освещения, стеклоочистки и климат-контроля.

Системы обеспечения обзорности и освещения не во всех случаях важны, но при определенных погодных условиях или времени суток их отказ может определить характер и траекторию движения АТС.

Накопленный опыт испытаний говорит о том, что во время электромагнитного воздействия могут проявляться нарушения качества функционирования различного характера – от незначительных параметрических отклонений, до физического выхода из строя элементов. Воздействие на АТС может осуществляться с любыми параметрами, которые заранее нельзя предсказать. Соответственно невозможно проверить при испытаниях показатели качества помехоустойчивости АТС ко всему множеству вероятных электромагнитных воздействий и дать заключение о том, как конкретное электрооборудование будет функционировать. Поэтому в процессе разработки необходимо учитывать следующее правило: *если на какой-либо бортовой системе наблюдалось нарушение качества работоспособности определенного характера, то подобное может проявиться на другой сходной по признакам системе.* Например, если устройство реализовано на

микропроцессоре, то есть вероятность, что оно «зависнет», т.к. такого рода проблемы присущи схемам с микропроцессорным управлением.

Система управления двигателем из всех выше перечисленных является самой важной. Если она отказала, то водитель уже не сможет полностью контролировать АТС и покинуть зону мощного электромагнитного воздействия будет затруднительно.

В основе большинства АТС заложен двигатель внутреннего сгорания, работающий на углеводородном топливе. Постоянно включенная резервная система, в случае нарушения качества функционирования основной, должна обеспечивать запас хода для выхода АТС из зоны электромагнитного воздействия. Под это требование подходит гибридный двигатель, где в качестве второго силового агрегата применяется электродвигатель.

Каким образом должны быть интегрирована система управления гибридным силовым агрегатом в АТС, что бы иметь максимальную надежность и качество функционирования в условиях сложной ЭМО? Анализ будет вестись из условия одинаковой реализации мероприятий по обеспечению качества по параметрам помехозащищенности каждой подсистемы, отвечающей за управление конкретным двигателем. Поэтому в первом приближении можно считать, что их вероятности нарушения качества функционирования при электромагнитном воздействии с заданными параметрами одинаковы. Тогда при реализации системы управления гибридным силовым агрегатом в едином корпусе ее вероятность нарушения качества будет равна

$$P_{ГСА} = P_{ДВС} = P_{Э}, \quad (5.9)$$

где $P_{ДВС}$ и $P_{Э}$ – вероятности нарушения качества подсистем управления ДВС и электродвигателем.

На практике равенство (5.9) будет выполняться в случае если блок и общие жгуты проводов двух подсистем находятся в зоне наиболее мощного локального электромагнитного воздействия.

Если подсистемы реализованы в виде отдельных блоков и

пространственно разнесены в кузове, то они будут находиться в различающейся по амплитудным параметрам ЭМО, потому что распределение электромагнитного поля во внутреннем пространстве АТС неравномерно [67]. В этом случае вероятность нарушения качества функционирования всей системы будет равна

$$P_{ГСА} = P_{ДВС} \times P_{\Sigma}. \quad (5.10)$$

Сравнивая (5.9) и (5.10) видно, что вариант реализации системы управления гибридным двигателем в виде отдельных блоков и разнесением их в пространстве кузова АТС менее восприимчив к электромагнитному воздействию. При сбое одной подсистемы, имеющей меньшую вероятность, другая будет работать и АТС продолжит движение. Это подтверждают эксперименты [69]. В них АТС, установленный на динамометрическом роликовом стенде и движущийся со скоростью 50 км/ч, подвергался электромагнитному воздействию. При сбое ДВС дальнейшее движение осуществлял электродвигатель. В момент перехода на резервное управление изменения скорости не наблюдалось.

Другим достоинством пространственного разнесения является возможность самовосстановления подсистем. Если нарушено качество функционирования одной системы, а другая работает, то АТС имеет возможность продолжать движение. Маневрируя, он ориентируется к источнику воздействия неким случайным образом. Соответственно будет изменяться локальная ЭМО в зонах расположения блоков и их трасс жгутов. Если, вследствие совершения маневра, уровень электромагнитного поля в области расположения неработоспособной подсистемы управления снизится до значения меньше критического, то она, при условии реализации в ней алгоритмов автоматической перезагрузки, восстановит свои функции.

Не резервируемым в системе управления двигателем остается канал акселератора. В современных АТС применяется электронная педаль акселератора. С ее помощью достигаются высокие показатели управления

двигателем. В том числе также легко реализуется интеллектуальное управление.

Современная типовая конструкция электронной педали состоит из двух переменных резисторов. Это делается для диагностики ее работоспособности. Разностный сигнал с двух резисторов не должен превышать заданного порога. В противном случае система управления будет считать, что произошла неисправность педали газа и перейдет в режим «LIMP HOME», который характеризуется тем, что обороты двигателя нельзя увеличить больше чем 2000 мин^{-1} .

Принцип построения электронной педали акселератора делает ее уязвимой к электромагнитному воздействию. Кроме превышения разностного сигнала заданного порога, могут исказиться данные о положении педали таким образом, что система управления будет интерпретировать команду к увеличению или уменьшению скорости АТС (рисунок 5.8).

Уязвимость электронной педали акселератора является серьезной проблемой, поэтому при проявлении проблем качества ЭМС по данному каналу, переход в режим «LIMP HOME» позволяет АТС маневрировать и уходить из под воздействия ЭМС на малой скорости.

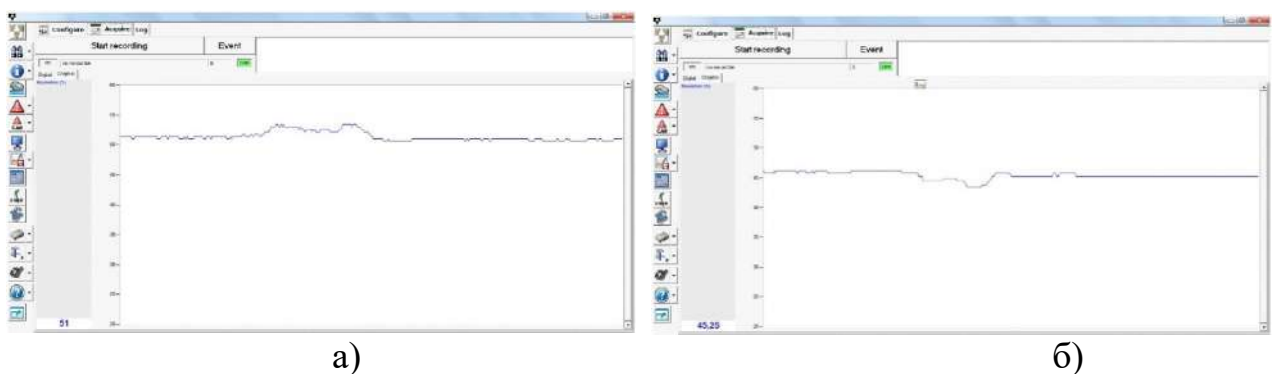


Рисунок 5.8 – Изменение положения электронной педали акселератора из-за электромагнитного воздействия, отслеживаемое по CAN-шине при помощи помехозащищенного оптоволоконного диагностического тестера:

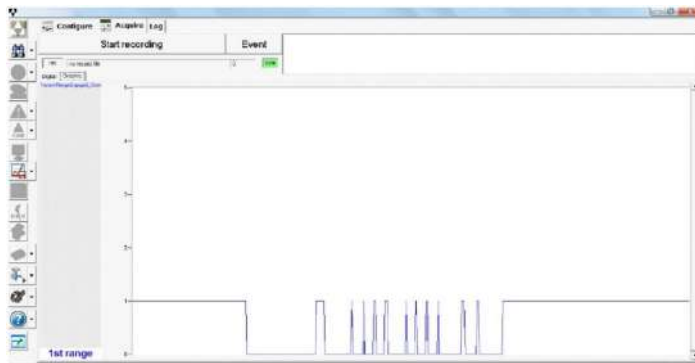
а) увеличение; б) уменьшение

Если АТС предназначено для выполнения специальных задач, то здесь достаточно обеспечить жесткую кинематическую связь педали акселератора с дроссельной заслонкой, при помощи тросикового привода. Такой канал управления не восприимчив к электромагнитному воздействию.

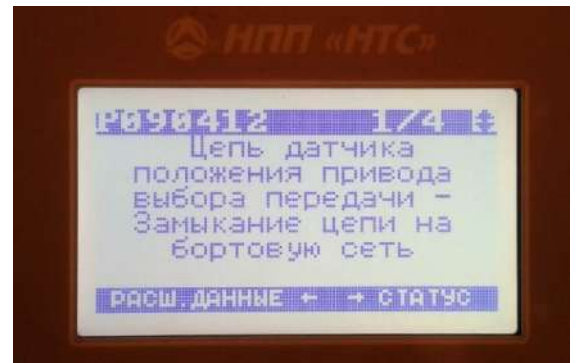
Систем управления трансмиссией. В настоящее время электронные системы массово используются в АТС. Конкретная реализация включает в себя автоматическую или роботизированную коробку передач. Их внедрение позволяет повысить условия комфорта при вождении за счет исключения постоянного ручного выбора передачи. На их базе несложно реализовать интеллектуальную систему управления АТС и функцию круиз-контроля.

В процессе экспериментальных исследований при воздействии ЭМП наблюдалось самопроизвольное переключение на другую передачу и сбой цепи датчика положения привода выбора передач (рисунок 5.9). В первом случае при переключении на низшую передачу АТС замедлял скорость, а при переключении на нейтральную передачу – останавливался. Во втором случае переключение передач было невозможно, из-за перехода системы в аварийный режим. В эксплуатации при наличии подобного рода проблемы качества, останется включена та передача, которая была включена до момента нарушения работоспособности. Принципиально АТС будет иметь возможность двигаться, но заметно ухудшаются его динамические характеристики.

Для исключения нарушений качества функционирования системы управления трансмиссией АТС специального назначения, необходимо применение абсолютно надежной системы. Здесь данный термин применен исключительно в рамках вопросов ЭМС. Согласно [134], абсолютно надежная система в течении времени выполнения задания должна иметь вероятность безотказной работы должна быть не менее 0,997. Этому условию удовлетворяет механическая трансмиссия, которая и может выступать как резервная при реализации комбинированной трансмиссии. При этом выбор типа трансмиссии должен быть реализован как автоматическим, так и ручным способом.



а)



б)

Рисунок 5.9 – Нарушение работоспособности роботизированной коробки передач: а) самопроизвольное переключение на нейтральную передачу; б) диагностика кода ошибки «сбой цепи датчика положения привода выбора передач»

Система электроснабжения. В АТС параллельно генератору напряжения включен постоянный резерв в виде аккумуляторной батареи (АКБ). В случае прекращения при электромагнитном воздействии выработки генератором электроэнергии АКБ полностью берет на себя функцию электроснабжения. При степени заряженности более 70% АТС ночью будет работать более часа, а при рациональном энергопотреблении – более 2^х часов. Если напряжение с генератора под воздействием ЭМП повышается, то в этом случае должно быть защищено электрооборудование. К гражданским АТС должны предъявляться требования обеспечения нормального качества функционирования при удвоенном напряжении бортовой сети в течение пяти минут. За это время АТС, движущееся со скоростью 60 км/ч, пройдет расстояние 6 км. Это является достаточным, чтобы уйти из зоны воздействия источника излучения. Для того, чтобы АКБ имел степень заряженности более 70%, необходимо вводить соответствующую электронную систему контроля и управления с возможностью вывода индикации заряда и предупреждения деградации АКБ, вследствие внутренних процессов его старения.

Решение проблем функционала регулятора напряжения в части начального пуска возбуждения генератора достигается введением способности самовозбуждения генератора за счет подмагничивания его магнитной системы.

В этом случае, при нарушении качества функционирования регулятора напряжения из-за воздействия ЭМП, генератор будет самовозбуждаться и выдавать электроэнергию в бортовую сеть.

Рулевое управление. Современные АТС в подавляющем большинстве оборудованы усилителями рулевого управления, обеспечивающими комфортное управление. Среди них выделяют три основных типа: электромеханические, электрогидро и гидроусилители. С позиции ЭМС первые являются менее надежными, т.к. его работу определяет электронная система управления. Как было показано в [68], нарушение качества функционирования электромеханического усилителя при воздействии ЭМП сводится к: ухудшению управляемости; самопроизвольному вращению рулевого колеса при движении автомобиля по прямолинейному пути и сложности осуществления требуемого маневра. Наиболее критичными являются два последних случая, т.к. к рулевому валу дополнительно прикладывается некоторая паразитная величина компенсирующего момента, действующая в зависимости от совокупности факторов в одном из двух направлений. Вследствие чего АТС либо самопроизвольно может повернуть в сторону, либо невозможно будет совершить маневр поворота из-за равнозначного создаваемого системой управления противоположного компенсирующего момента. Первый случай менее критичен, поскольку отключенная электроника не блокирует управление водителем в целом и контроль над транспортным средством остается.

Более надежен электрогидроусилитель. У него электромагнитное воздействие может нарушить качество работы только гидронасоса, т.к. это единственный элемент, управляемый электроникой. Нарушение работоспособности может выразиться только в отключении гидронасоса. В этом случае водитель почувствует ухудшение управляемости, вследствие отсутствия компенсирующего момента. Однако он сможет осуществлять

маневрирование. Водитель будет прикладывать к рулевому колесу немного большее усилие.

С позиции ЭМС абсолютно надежной системой является гидроусилитель рулевого управления, т.к. из-за отсутствия электроники ЭМП никак не влияет на управление [250].

Тормозная система, построенная по классической гидравлической схеме с позиции ЭМС достаточно надежна. Единственным уязвимым к электромагнитному воздействию узлом является антиблокировочная система (ABS). По сути тормозная и ABS являются относятся к разным системам, но в контексте данной работы корректно рассматривать их как единое целое, т.к. в совокупности они определяют общий процесс торможения.

Последние версии ABS имеют развитую диагностику. Аварийные алгоритмы работы ABS реализованы таким образом, что при возникновении ошибки отключается управление, и торможение АТС происходит без нее. Тем не менее, обобщение опыта испытаний показывает, что из-за сбоя ABS у АТС может измениться характер и траектория движения. Процесс торможения будет невозможен только в случае прекращения создания давления рабочим телом на тормозные механизмы колес. Такое событие может произойти при перекрытии трубопровода или перенаправлении тормозной жидкости в отводную магистраль. Это возможно при нарушении функции управления электромагнитными клапанами ABS, когда система управления из-за сбоя или отказа, вызванного электромагнитным воздействием, изменит текущее нормальное положение электроклапанов на противоположное.

Дублирующая тормозная система всегда присутствует в любых АТС и реализована в виде стояночного ручного тормоза. Однако он может гарантированно остановить АТС только при малых скоростях.

Продвинутое резервирование также реализует функции торможения с минимизацией последствий столкновения. Оно базируется на комплексном взаимодействии систем ADAS, управления двигателем, трансмиссией, и

электромеханическим стояночным тормозом. В АТС премиум класса может применяться также аэродинамический тормоз, реализованный в виде управляемого спойлера [250].

Алгоритм работы соответствующих систем и устройств зависит от режима и скорости АТС. Система начинает работать по совокупности событий, включающих в себя информацию о факте и скорости нажатия на педаль тормоза и отсутствия соответствующего изменения скорости АТС. Система ADAS, оценивает параметры внешних дорожных объектов, такие как: направление их движения, скорость сближения, дистанция, а также их размеры. После чего выдает информацию для реализации алгоритма торможения.

Аэродинамический тормоз наиболее эффективно работает на высоких скоростях. На малых скоростях его тормозная сила значительно снижается, уменьшаясь до пренебрежимо малых значений.

До диапазона скоростей 5 – 10 км/ч снижение скорости и ускорения эффективно осуществляется за счет торможения двигателем, реализуемое, в зависимости от информации о параметрах внешних дорожных объектов, переключением на соответствующую более низшую передачу трансмиссии и уменьшением момента на валу двигателя. Обе функции реализуются по информации приходящей на контроллер системы управления двигателем от педали тормоза и ADAS. Максимальное отрицательное ускорение осуществляется переключением на первую передачу, а снижение момента двигателя происходит за счет управления положением электромеханической дроссельной заслонкой и углом опережения зажигания.

На малых скоростях АТС производится торможение электромеханическим стояночным тормозом, управление которого осуществляется в зависимости от идеологии архитектуры бортового электрооборудования, но в основном эту функцию реализует блок кузовной электроники.

Нормальное качество функционирования светотехнических систем важна на не освещенных участках в темное время суток. В современных конструкциях

АТС имеется как минимум четыре типа независимых осветительных светотехнических приборов: ходовые огни, фары ближнего и дальнего света и противотуманные фары. Однако последние три по законодательным требованиям могут работать только после включения передних габаритных огней. Специальное допущение вводится только для дальнего света. Он может кратковременно включаться как сигнальный при неработающих передних габаритных огнях [250].

Ходовые огни и противотуманные фары являются маломощными источниками света. Они способны осветить дорожное полотно на расстоянии нескольких метров. Но при выходе из строя других источников, ходовые огни или противотуманные фары останутся единственными источниками, по освещению которых можно ориентироваться при движении.

Как видно, в самой конструкции светотехнических систем заложено структурное резервирование. Важной особенностью здесь является независимое управление каждым дублирующим каналом. С учетом разных вероятностей нарушений качества функционирования разнесенных в пространстве каналов, при нарушении работоспособности одного канала, второй может еще выполнять свои функции.

Одним из вероятных вариантов нарушения работоспособности микропроцессорной системы управления при электромагнитном воздействии может быть самопроизвольное включение дальнего света. В тумане или сильном дожде, этом случае маневрирование АТС будет сильно затруднено из-за плохой видимости, вызванной рассеянием света на влажном воздухе. Отсюда следует, что хотя бы для АТС специального назначения, канал включения дальнего света нецелесообразно реализовывать через микропроцессорную систему управления. С позиции ЭМС для обеспечения высокой надежности он должен быть выполнен по релейной схеме (рисунок 5.10).

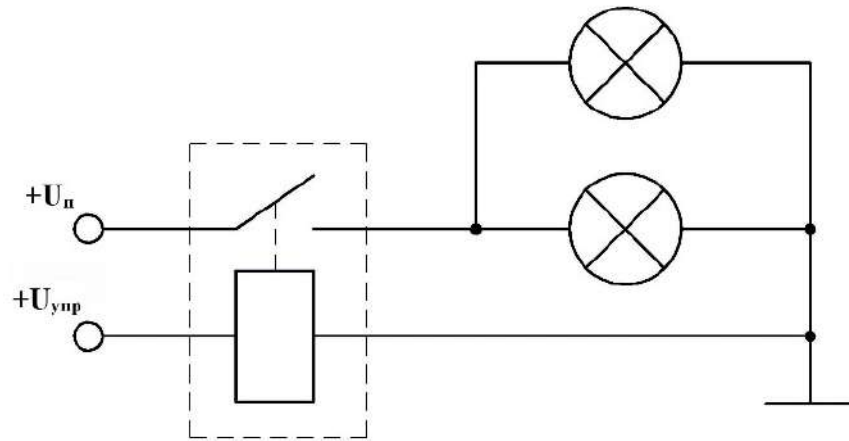


Рисунок 5.10 – Схема релейного управления дальним светом

Какой должен быть источник света? Газоразрядные лампы в своей основе имеют электронный преобразователь, работоспособность которого под воздействием мощного электромагнитного излучения может нарушиться. Лампы накаливания достаточно надежны. Они способны работать длительное время в условиях сложной ЭМО. Единственным их недостатком является сильное снижение ресурса при повышенном напряжении бортовой сети. Лампы накаливания способны выдержать более 5 минут напряжение только в полтора раза превышающее номинальное. При более высоких значениях они быстро перегорают.

Более высокой надежностью и качеством обладают фары на светодиодах. Они обеспечивают работу в течение пяти минут при напряжении питания в два раза превышающее номинальное. Даже если выйдет из строя несколько элементов, но фара, хоть и уменьшится ее световой поток, будет продолжать светить.

Функциональное резервирование осуществляется на базе системы ночного видения (рисунок 5.11). С одной стороны, она, реализованная на микропроцессорной системе, менее помехоустойчива, чем релейная схема управления светом фар. Однако, если произойдет сбой генератора, приводящий к повышению напряжения бортовой сети и перегоранию источников света, то

система ночного видения будет, единственной позволяющей ориентироваться в темное время суток.

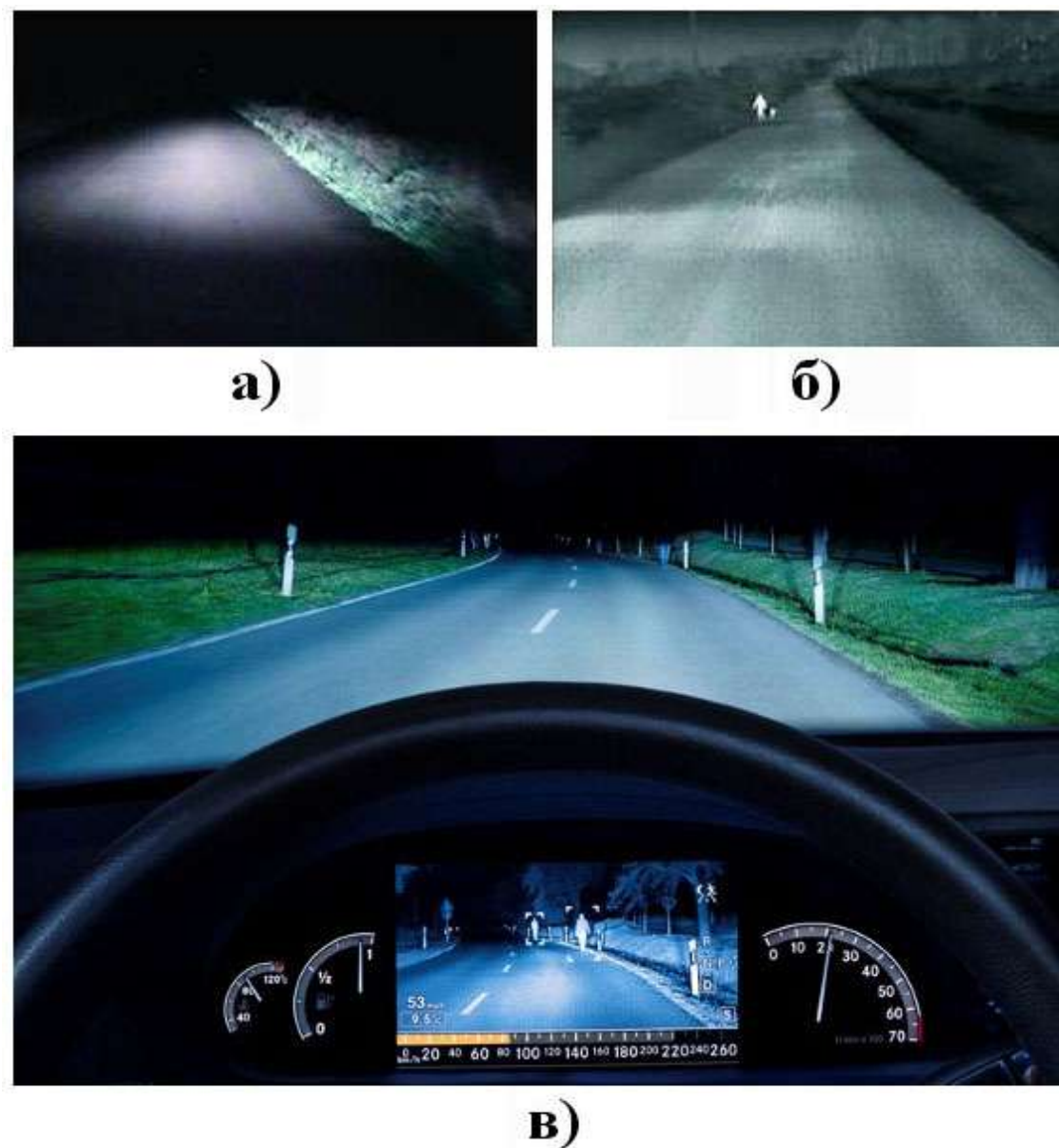


Рисунок 5.11 – Система ночного видения: а) видимость дороги при свете фар; б) видимость дороги при работе системы ночного видения; в) вариант реализации вывода изображения

Системы стеклоочистки и климат-контроля должны создавать приемлемую видимость внешней обстановки при атмосферных осадках и повышенной влажности в салоне. Управление первой системой как правило осуществляется блоком кузовной электроники. Функции климат-контроля в салоне реализуются контроллером системы автоматического управления

климатической установкой [250].

Самыми критичным случаем являются самопроизвольное прекращение стеклоочистки во время обильных атмосферных осадков и вентиляции салона при высокой влажности. Это может быть следствием ряда причин. Наиболее типичные из них: функциональный сбой, вызванный распространением помех по какому-нибудь информационному каналу или нарушение качества функционирования всей системы управления из-за «зависания» микропроцессора или отказа электронной схемы.

Другие ситуации, не приводящие к полному прекращению выполнения функций системы, не являются критическими, т.к. обзорность, пусть даже и ухудшенная, сохраняется. Такими примерами являются: самопроизвольное начало работы системы, изменение скорости стеклоочистки, потока, направления и температуры воздуха.

Для повышения надежности системы обеспечения обзорности необходимо применять раздельное резервирование с замещением. Это достигается введением релейного управления на самой большой скорости работы каждой функции системы, в обход микропроцессорному управлению, по аналогии со схемой, приведенной на рисунке 5.10. Дополнительным резервом для предотвращения запотевания лобового стекла здесь является система обогрева ветрового стекла.

Из вышеописанного следует, что при решении задач обеспечения качества по параметрам помехоустойчивости, в ряде приложений, особенно касаемых АТС специального назначения, целесообразно реализовывать некоторые каналы без применения микропроцессорной техники. Системы, работающие на микропроцессорах, для повышения надежной работы АТС, как сложного электротехнического комплекса, в условиях сложной ЭМО необходимо обязательно выполнять с применением структурного и функционального резервирования.

5.4 Решения компоновки и конструкции кузова ЭМС защищенного автотранспортного средства

При современном развитии электронной высокочастотной техники существует вероятность как случайная, так и преднамеренное формирование локальных областей со сложной ЭМО. В первом случае данные области обусловлены различными техногенными событиями, например, авариями на предприятиях, электростанциях, прочих крупных энергетических объектах и т.п. Во втором случае возможно преднамеренное воздействие с целью нарушения работоспособности АТС. Отсюда возникает вопрос – как эффективно будут выполнять задачи типовые гражданские АТС в областях сложной ЭМО? Как было показано ранее, ЭМС проблемы проявляются как в виде незначительных сбоев, так и критических нарушений качества функционирования, при которых АТС становится неуправляемым.

Очевидно, что для работы в условиях сложной ЭМО, с уровнями электромагнитных воздействий более 100 В/м применение типовых решений, реализуемых в гражданской автомобильной промышленности, недостаточно. Для решения различных специальных задач необходимо создание АТС, в концепции которых заложена специальная ЭМС конструкция, способная эффективно ослаблять электромагнитные поля. В тоже время помехозащищенность АТС в условиях эксплуатации сложной ЭМО должна быть одним из основных дополнительных свойств, расширяющих сферу применимости. В совокупности классов транспортных средств специального назначения должны обладать мобильностью и проходимостью. Исходя из сказанного, в параграфе дополнительно рассматриваются решения, которые комплексно совместно с ЭМС защитой определяют multifunctionality АТС.

В [109] показано, что сложная ЭМО характеризуется электромагнитными полями напряженностью более 100 В/м. Наиболее уязвимо АТС в диапазоне от 100 МГц до 1,5 ГГц [69]. На частотах соизмеримых с геометрическими

размерами кузова, щелей и отверстий кузова, электромагнитные волны проникают внутрь АТС с меньшим затуханием. Согласно исследованиям, для легкового автотранспорта низшей частотой, при которой кузов перестает быть эффективным экраном является 8 МГц (рисунок 5.12).

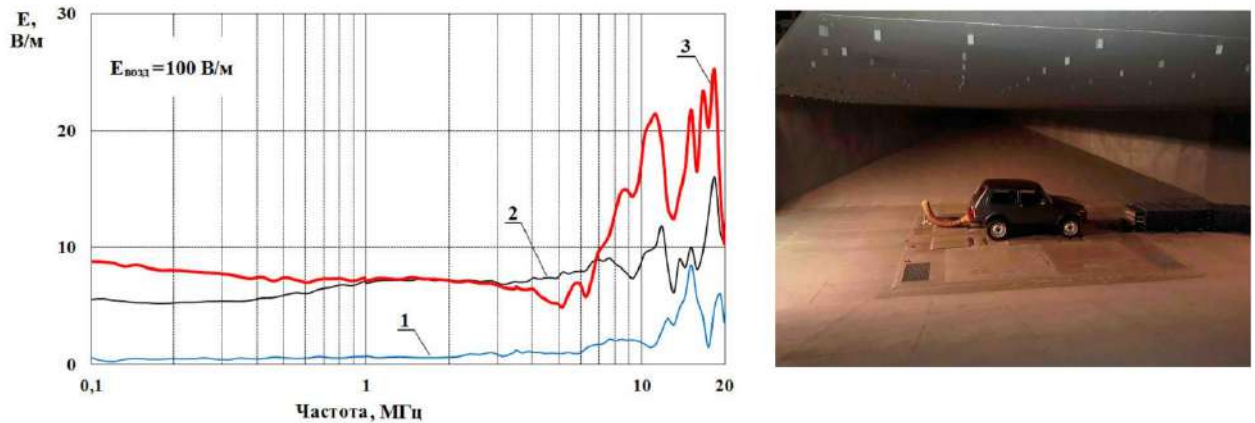


Рисунок 5.12 – Измерение электромагнитного поля внутри автомобиля LADA 21214: а) уровни поля в автомобиле; б) расположение LADA 21214 в ТЕМ камере; 1 – нижняя часть центральной консоли; 2 – средняя часть центральной консоли; 3 – подкапотное пространство

В эксперименте автомобиль LADA 21214, устанавливался в ТЕМ камеру, где на него в диапазоне частот от 100 кГц до 20 МГц воздействовало излучение напряженностью 100 В/м. Шаг перестройки по частоте составлял 10%. Измерения в АТС проводились в трех зонах: средней части центральной консоли, нижней части центральной консоли и подкапотном пространстве. Измерения (рисунок 5.12) проводились изотропным датчиком Е-поля ЕМС-20, («Narda», Германия), с рабочей полосой от 100 кГц до 3 ГГц.

Согласно данным эксперимента, максимальная эффективность экранирования кузова составила 53,9 дБ на 120 кГц, а минимальная – 3,97 дБ на частоте 18,4 МГц. Расчеты проводились по типовой формуле

$$S_E = 20 \lg \left(\frac{E_0}{E_э} \right) \text{ дБ}, \quad (5.11)$$

где E_0 – напряженность поля до установки АТС в заданной точке, $E_э$ – напряженность электрического поля в той же точке после установки АТС.

В сложной ЭМО автомобиль должен, как минимум, выполнять свои основные функции передвижения и маневрирования. Отсюда вытекает очевидное решение, рассмотренное в параграфе о резервировании, применения двух двигателей. Для работы в условиях сложной ЭМО рациональным компоновочным вариантом является их размещение в передней и задней частях АТС. В этом случае элементы и блоки систем управления каждого двигателя будут находиться в разных электромагнитных средах, что повышает вероятность работоспособности хотя бы одного двигателя. В тоже время такое расположение негативно сказывается на других свойствах. Ухудшение эргономики является главным недостатком. Невозможность доступа в салон сзади создает неудобства разгрузки/погрузки различных грузов, высадку/посадку группы спасателей или пострадавших. Следующие недостатки обусловлены увеличением длины кузова из-за второго моторного отсека. В этом случае ухудшается геометрическая проходимость АТС, а также повышается заметность в оптическом диапазоне, что негативно может сказаться при проведении операций против незаконных формирований. Поэтому для реализации инструментов рационализации, наилучшей компоновкой служит переднее расположение двигателя. При таком расположении силового агрегата достигается наиболее рациональная конфигурация полезного внутреннего пространства кузова, обеспечивающая наилучшую эргономику. Реализуется возможность обеспечения мест для укладки различных грузов, размещения людей и в том числе тяжело пострадавшего человека, с возможностью доступа через заднюю дверь (рисунок 5.13).

Для повышения надежности работы АТС в сложной ЭМО, наиболее рациональным является вариант с комбинированным силовым агрегатом (гибридный двигатель), объединяющий в единой целостной конструкции электродвигатель и двигатель внутреннего сгорания (ДВС). Исходя из ранее сделанных выводов о неравномерном распределении ЭМП во внутреннем

пространстве кузова, очевидно, что наиболее рационально реализовать системы управления каждого двигателя в виде отдельных блоков с их пространственным разнесением в моторном отсеке. Понятно, что данная схема наименее восприимчива к воздействию вследствие неравномерности амплитуд, проникшего во внутреннее пространство АТС излучения. С учётом резонансных свойств в одних зонах будет наблюдаться усиление ЭМП, а в других ослабление (рисунок 5.14). При прочих равных условиях пространственное разнесение систем позволяет получить различающиеся вероятности нарушения работоспособности. При сбое одного двигателя, другой будет работать и АТС будет продолжать движение и маневры. Также если одна система управления под воздействием излучения «зависнет» с переходом в функциональный класс D, то вторая автоматически ее перезагрузит, т.е. будет реализовываться режим взаимного восстановления.

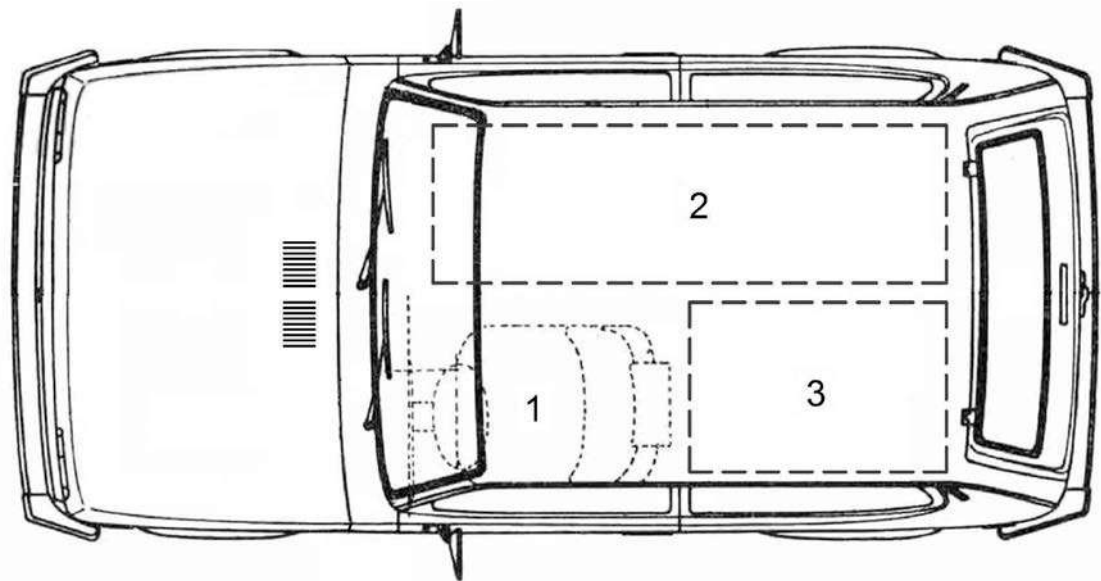


Рисунок 5.13 – Пример внутренней компоновки АТС: 1 – место водителя; 2 – место для размещения крупногабаритных грузов, нескольких людей, или тяжело пострадавшего человека; 3 – место для размещения небольших грузов или одного человека

Дополнительным достоинством применения гибридного силового агрегата при работе на электротяге является исключение двух источников

собственного теплового излучения: ДВС и выхлопной системы (рисунок 5.15), что повышает малозаметность АТС в инфракрасном диапазоне.

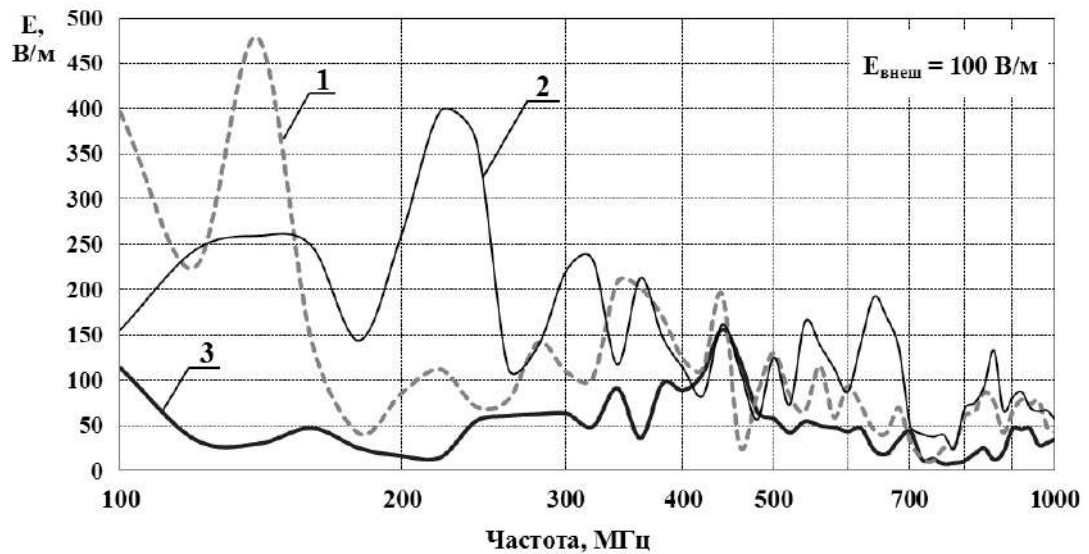


Рисунок 5.14 – Уровни ЭМП в моторном отсеке АТС: 1 – электромеханическая дроссельная заслонка; 2 – генератор напряжения; 3 – ABS

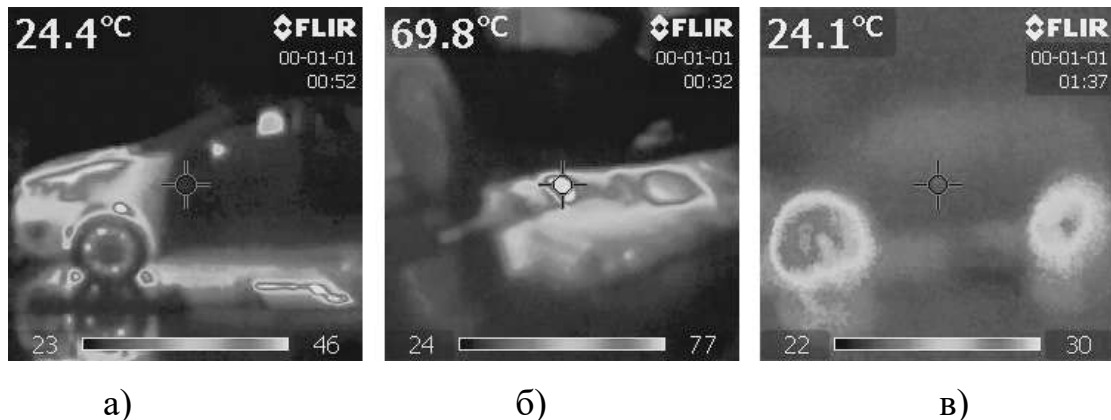


Рисунок 5.15 – Тепловые портреты: а) LADA Kalina, работа ДВС; б) LADA Kalina, выхлопная система; в) электромобиль LADA Ellada (40 км/ч)

Другим дополнительным, не относящимся к ЭМС, достоинством применения электродвигателя является меньший уровень собственных акустических шумов, по сравнению с ДВС, что наглядно демонстрируется на рисунке 5.16. Что снижает акустическую малозаметность.

Как видно, электродвигатель снижает акустическую и инфракрасную заметность АТС. В дополнение, тяговая аккумуляторная батарея является еще и резервным источником электрической энергии и при нарушении

работоспособности генератора напряжения, обеспечивает электропитание бортовой сети.

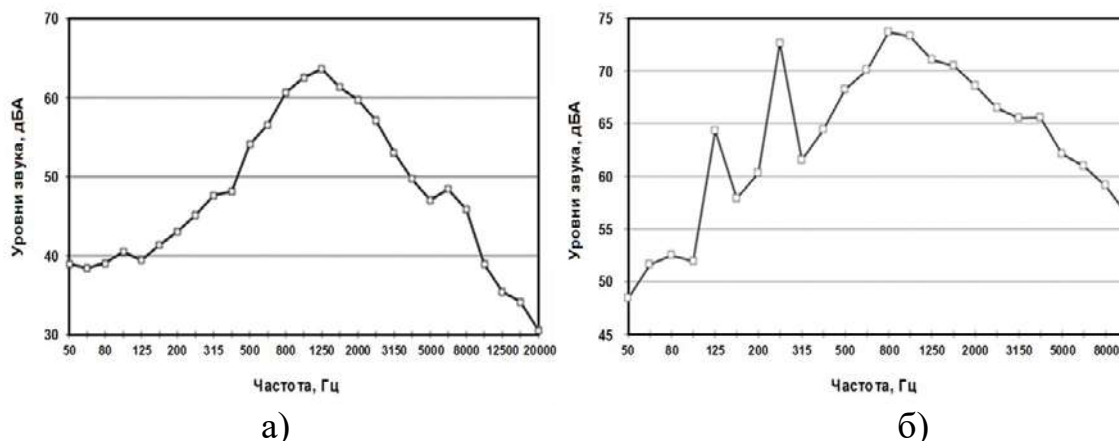


Рисунок 5.16 – Акустические шумы АТС при 40 км/ч: а) электромобиль LADA Ellada; б) LADA Kalina с ДВС

Для уменьшения проникновения ЭМП во внутреннее пространство, необходимо минимизировать размеры щелей и отверстий, т.е. конструкция кузова должна представлять собой электромагнитный экран, имеющий высокую эффективность экранирования. Для обеспечения экранирующей конструкции рациональным является применение решений, реализуемых в концепции автомобилей-амфибий (рисунок 5.17). В соответствии с данным подходом все стыки кузова, включающие боковые и нижние поверхности моторного отсека свариваются друг с другом [97].



Рисунок 5.17 – Прототип ЭМС защищенного автомобиля: а) ВАЗ-2122 проекта «Река»; б), в) реализация защиты моторного отсека

Снижение проникновения ЭМП через каналы, образованные за счет подвижных частей автомобиля, такие как воздухозаборники и щели, образованных капотом и кузовом АТС (рисунок 5.18), достигается за счет применения фильтрации на основе запердельных волноводов. В этом случае обеспечиваются разъединяющиеся электрические соединения по всему периметру щели с шагом, рассчитываемый по формуле [49]

$$h = \frac{1,5 \times 10^5}{f_{кр}}, \quad (5.12)$$

где $f_{кр}$ (МГц) – критическая частота.

Минимальный шаг выбирается с учетом учета технологических возможностей изготовления АТС.

Круглые отверстия, например воздухозаборники или элементы охлаждения, выполняются с радиусом [49]

$$r_{отв} = \frac{1,75 \times 10^5}{f_{кр}}, \quad (5.13)$$

Количество определяется круглых отверстий выбирается из учета необходимого объема пропускаемого через них воздуха.

В определенных случаях для рационализации конструкции каналы проникновения поля в моторный отсек такие как воздухозаборники и щель, образованная капотом и кузовом АТС (рисунок 5.18) можно выполнить направленными вверх, т.к. электромагнитное воздействие с данного направления менее ожидаемо и соответственно является наименее опасным, чем в воздействие в горизонтальной плоскости. Их диаграмма направленности не превышает в диапазоне зенитных углов ± 30 град.

Из приведенного анализа видно, что дополненная решениями экранирования и волноводной фильтрацией, концепция автомобилей-амфибий удачно реализует защиту подкапотного пространства от ЭМП и дополнительно позволяет преодолевать водные преграды.

Экранирование моторного отсека позволяет эффективно защитить данную область, но не достаточным мероприятием по комплексному обеспечению помехозащищенности АТС. ЭМП может нарушить качество функционирования электрооборудования, проникнув в салон через стекла, наведя помехи в электрических схемах [243]. Салон является самым большим резонатором, и соответственно имеет наименьшую рабочую частоту, что делает его самой широкополосной объемной областью пространства АТС. Из-за его резонансных свойств, ЭМП может усиливаться в 3,7 раз (рисунок 5.19).



Рисунок 5.18 – Каналы проникновения ЭМП сверху: 1 – щель, образованная капотом и кузовом; 2 – воздухозаборники

Снижение проникновения в салон уровня электромагнитного поля, осуществляется экранировкой окон. Наибольшее подавление достигается сплошным экранированием поверхности (рисунок 5.19). Проведенные экспериментальные измерения показали, что эффективность экранирования при сплошной металлизации окон достигает 30 дБ. В этом случае необходимо выбирать компромисс между светопропусканием и эффективностью экранирования. Так для обеспечения светопропускания не менее 75 % металлическая пленка должна быть тонкая, не более 20 мкм. В этом случае минимизируется составляющая затухания в толще коэффициента

экранирования и экран работает в основном за счет составляющей отражения [243].

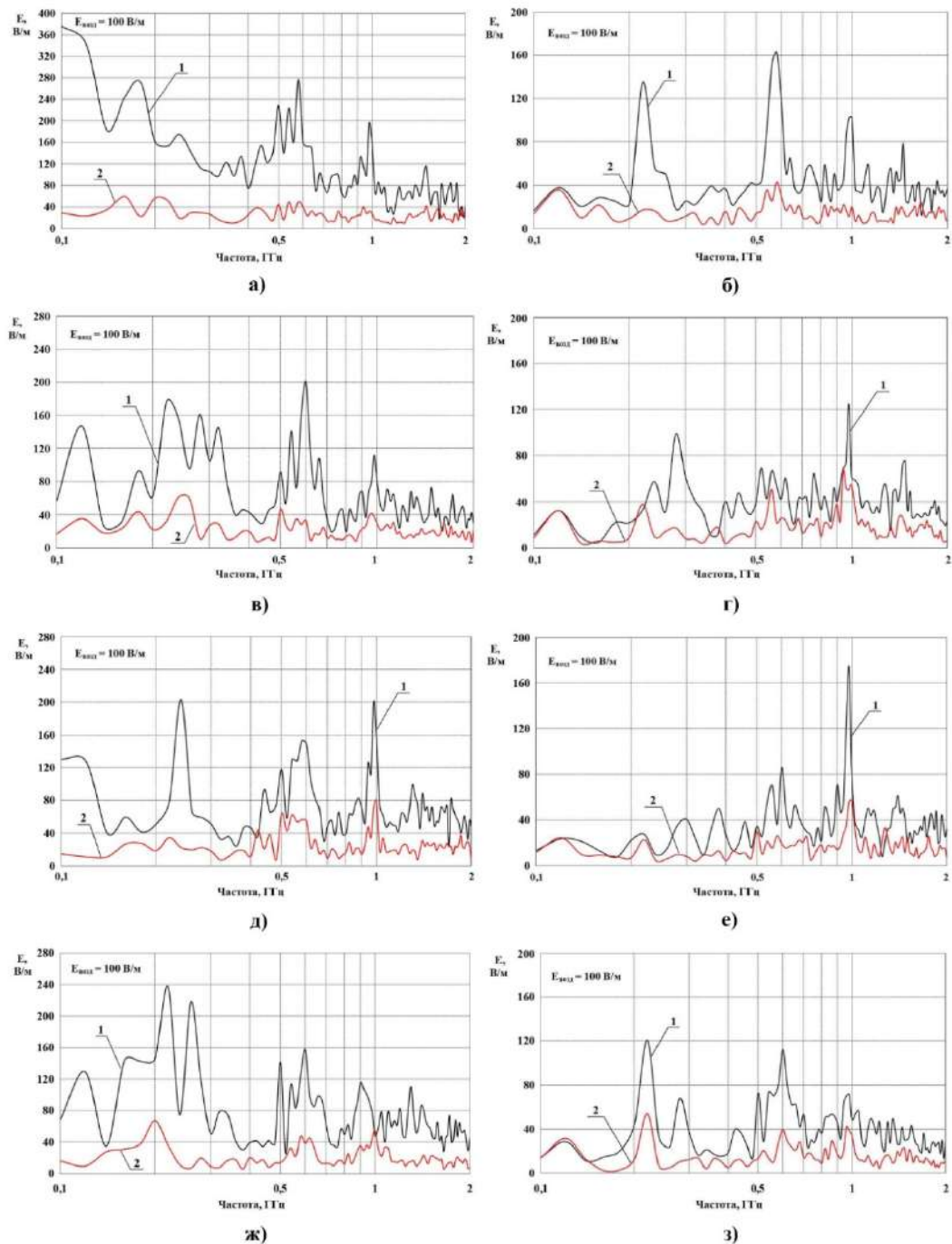


Рисунок 5.19 – ЭМП во внутреннем пространстве автомобиля LADA 21214: а) комбинация приборов (фронтальная позиция); б) КСУД (фронтальная позиция); в) комбинация приборов (левосторонняя позиция); г) КСУД (левосторонняя позиция); д) комбинация приборов (АТС повернут задней частью к антенне); е) КСУД (АТС повернут задней частью к антенне); ж) комбинация приборов (правосторонняя позиция); з) КСУД (правосторонняя позиция); 1 – окна не экранированы; 2 – сплошное экранирование окон

В эксперименте, результаты которого приведены на рисунке 5.19, автомобиль LADA 21214, располагался в безэховой камере (рисунок 4.20), где на него в диапазоне частот от 100 МГц до 2 ГГц воздействовало узкополосное электромагнитное излучение напряженностью электрической составляющей 100 В/м. Шаг перестройки по частоте задавался 5%. Измерения уровня ЭМП проводились около комбинации приборов и контроллера системы управления двигателем (КСУД) при неэкранированных и экранированных окнах с металлизацией всей поверхности. При измерениях использовался датчик Е-поля EMC-20 (Narda). В процессе эксперимента АТС поэтапно ориентировался к излучающей антенне передом, обеими бортами и задней частью.

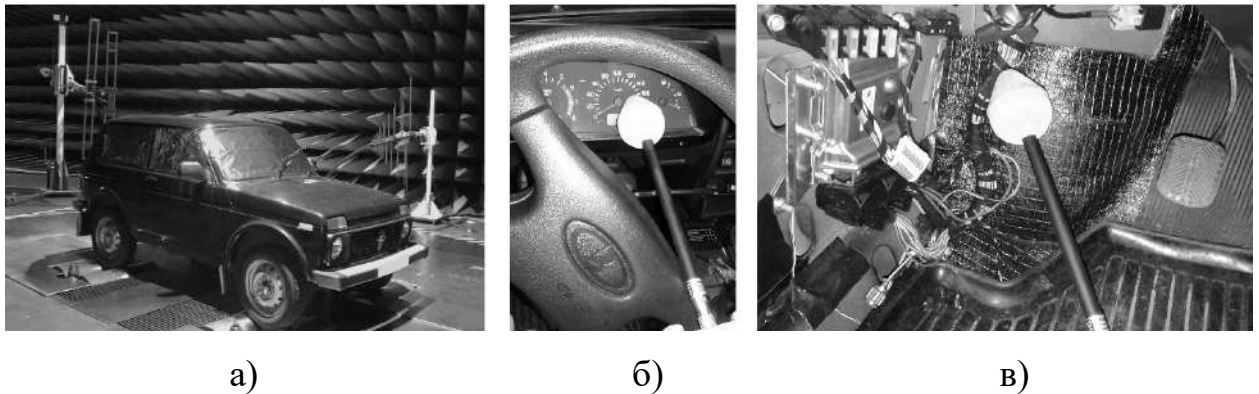


Рисунок 5.20 – Эксперимент по измерению эффективности экранирования стекол автомобиля LADA 21214: а) автомобиль LADA 21214; б) измерение ЭМП в зоне комбинации приборов; в) измерение ЭМП в области КСУД

Для минимизации проникновения ЭМС через щели между экранированными стеклами и кузовом АТС необходимо обеспечить соединение экранирующей пленки с кузовом по всему периметру с шагом, рассчитанным в соответствии с выражением (5.12). Из практической целесообразности шаг выполняется не более 10 см.

Экранирование оконных стекол придает АТС дополнительное свойство, позволяя снизить заметность в радиодиапазоне. Металлический экран препятствует прохождению ЭМП внутрь салона и последующий его возврат, обусловленный внутренними многократными отражениями.

Как видно, рассмотренная концепция построения кузова и компоновки позволяет создать не только помехозащищённое АТС, но и придает дополнительные свойства проходимость и малозаметности, позволяющие эффективно решать широкий круг задачи, работая в том числе и в сложной ЭМО, а рациональные решения компоновки позволяют реализовать эргономичное внутреннее пространство, адаптируемое под перевозку различных грузов или людей с возможностью их быстрой погрузки/разгрузки.

5.5 Выводы по пятой главе

Предложены методы и инструменты повышения качества автомобилей по параметрам электромагнитной совместимости в процессе проектирования, включающие:

- метод активной защиты качества автомобилей по параметрам помехозащищенности, в основе которого лежит отключение бортового электрооборудования при уровне воздействия, соответствующего функциональному классу «С». Метод, при отключении К каналов, позволяет уменьшить матрицу нарушения качества (поражаемости) функционирования автотранспортного средства в М/К раз, что снижает вероятность нарушения работоспособности автомобиля. Физическая реализация предлагаемого метода осуществляется временным принудительным переходом в специальный помехозащищенный режим работы, за счет отключения ряда функций и устройств бортового электрооборудования, а также уменьшения объема передаваемой и обрабатываемой информации;
- программный метод игнорирования электромагнитных помех, обеспечивающий косвенную идентификацию и игнорирование внешнего электромагнитного воздействия. Принцип метода заключается в том, что если по двум или более входам одновременно происходит отклонение значений сигналов за пределы допусков, то исходя из заданной вероятности невозможности реализации таких событий, данная информация считается

искаженной внешним электромагнитным воздействием и она игнорируется. При этом выходная функция реализуется из учета неискаженных входных данных;

- инструменты резервирования и рационализации выбора бортовых систем, решения по компоновки и конструкции кузова защищенного автотранспортного средства. Представлены примеры реализации структурного и функционального резервирования для систем управления двигателем, трансмиссией, рулевым управлением, электроснабжения, тормозной, освещения, стеклоочистки и климат-контроля;

- на основании анализа требований выполнения различных специальных задач в условиях сложной электромагнитной обстановки, с уровнями электромагнитных воздействий более 100 В/м, показана целесообразность проработки автомобилей, в концепции в рамках которой заложены решения, способные эффективно ослаблять помехи. Предложены конкретные решения по компоновке узлов и агрегатов и экранированной конструкции кузова защищенного автотранспортного средства, позволяющие улучшить качество по параметрам помехозащищенности. Проведены экспериментальные исследования предлагаемых решений по оценке вносимого ими улучшения качества, и показано что эффективность экранирования достигает 30 дБ.

Глава 6. КОНЦЕПЦИЯ ПОВЫШЕНИЯ КАЧЕСТВА АВТОМОБИЛЕЙ ПО ПАРАМЕТРАМ ПОМЕХОЗАЩИЩЕННОСТИ В ПРОЦЕССЕ ЭКСПЛУАТАЦИИ

6.1 Модернизация архитектуры бортового электрооборудования с формированием интегрированного модуля обеспечения качества по параметрам электромагнитной совместимости

Современные реализации архитектурных построений бортового электрооборудования определяют многообразность функциональных взаимосвязей и имеют, как было показано ранее, сложную матрицу нарушения качества функционирования автотранспортного средства (поражаемости). С учетом комплексного взаимодействия в эксплуатации АТС и электромагнитной среды предсказание и учет всевозможных ЭМС эффектов на этапе проектирования не являются полным и достаточным. Соответственно отсюда исходит необходимость применения нового подхода, позволяющего решать частные задачи электромагнитной совместимости в отношении индивидуальных АТС, а также общие в части конкретных модельных рядов и семейств транспортных средств. В своей концепции он базируется на построении архитектуры бортового электрооборудования, включающей систему, имеющей назначение оценки помехоустойчивости и обеспечение соответствия параметрам качества ЭМС. Касаясь отдельных АТС, это делает возможным получить адаптивность бортового электротехнического комплекса при его работе в изменяющейся электромагнитной среде. В рамках решения общих задач появляется обратная связь, позволяющая иметь статистику и характер проблем в эксплуатации. Соответственно на основании ее анализа, можно обеспечивать доработку и внедрение новых ЭМС решений.

В соответствии с указанным назначением бортовая ЭМС система должна выполнять следующие функции: измерение, получение, обработка, хранение, обмен и отображение информации, а также управление. Исходя из

определяемого назначения, очевидно, что ее базовая реализация должна выполняться как отдельный модуль ЭМС, осуществляющий взаимодействие с другими бортовыми системами. Такое исполнение позволяет предъявить соответствующие требования и обеспечить высокое качество помехозащищенности систем. В расширенной конфигурации ЭМС система может реализовываться в совокупности с существующей на современном этапе развития техники типовой архитектурой бортового электротехнического комплекса, включающей законодательно обязательные штатно применяемые навигационную и инфокоммуникационную системы. В этом случае они обеспечивают резервирование соответствующего функционала [98, 245]. Тогда с учетом рассмотренного, модернизированную архитектуру бортового электрооборудования, содержащую интегрированный модуль обеспечения качества по параметрам электромагнитной совместимости, можно представить в виде схемы, приведенной на рисунке 6.1.

Обеспечение текущей оценки качества помехоустойчивости накладывает неотъемлемое условие реализации функции измерения ЭМП, которые могут проводиться прямым, косвенным или комбинированным методами.

Для регистрации электромагнитного воздействия и измерения его параметров при использовании прямого метода, наиболее оптимально применение широкополосных изотропных датчиков. Наилучшими вариантами компоновки является расположение их в открытых незатенённых конструкциями АТС зонах. Для данных условий наиболее приемлема установка датчиков на крыше в составе штатной радиоприёмной антенны или проблескового маяка. При таком компоновочном решении влияние различных поверхностей АТС на форму диаграмм направленности не приводит к сильно изломанному виду с характерно выраженными экстремумами, что наглядно показывают экспериментальные исследования в диапазоне частот 0,1 – 2 ГГц с применением датчика RadiSense 4, ф.DARE (рисунок 6.2). Это позволяет реализовать измерительную систему кругового обзора с заданной погрешностью.



Рисунок 6.1 – Модернизированная архитектура бортового электрооборудования с интегрированным модулем обеспечения качества по параметрам ЭМС

Очевидно, что наибольшая точность измерений для текущей оценки качества по параметрам помехоустойчивости бортовых электротехнических систем достигается применением комбинированного метода.

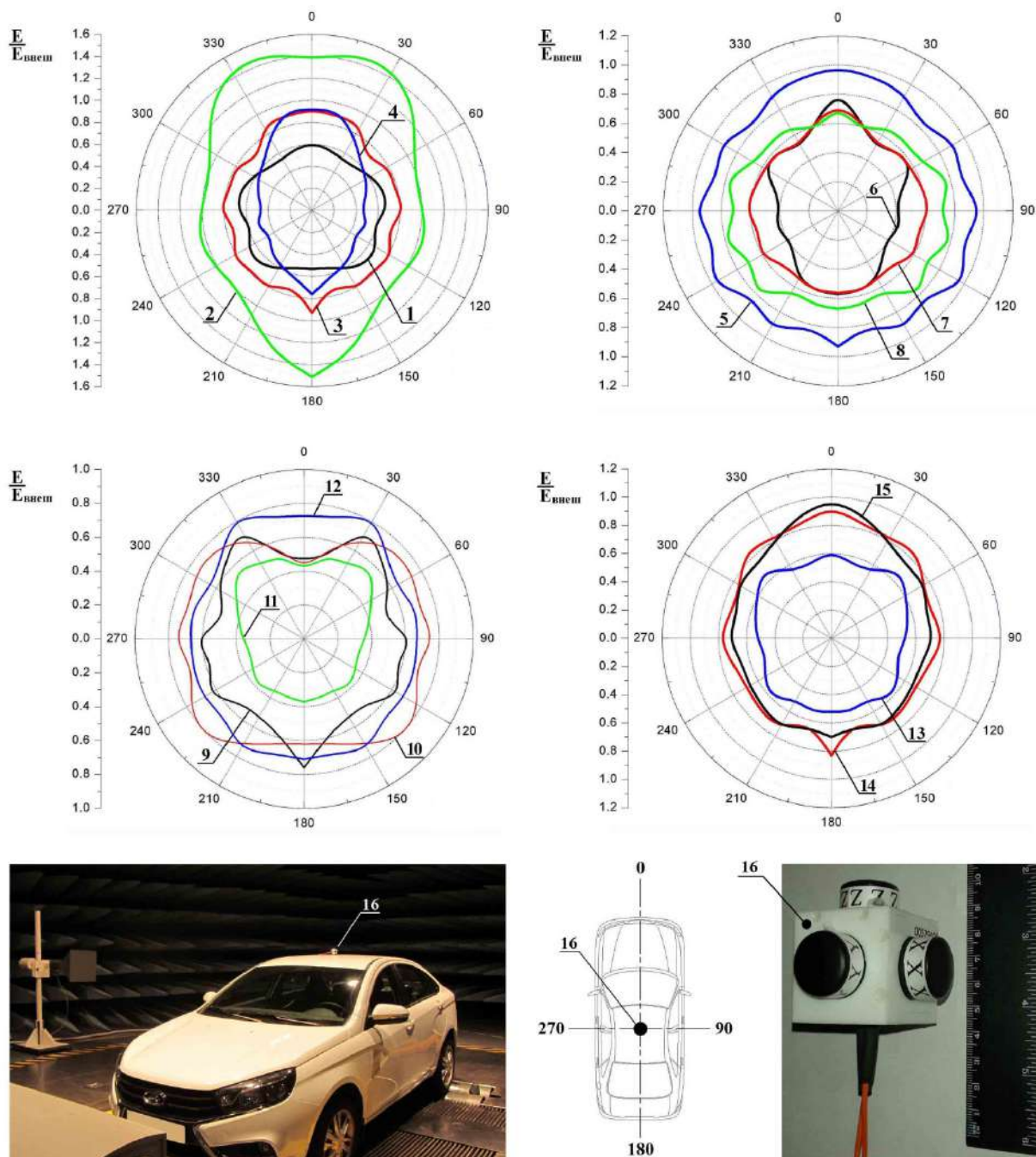


Рисунок 6.2 – Диаграммы направленности трехкоординатного датчика электромагнитного поля: 1 – 100 МГц; 2 – 200 МГц; 3 – 300 МГц; 4 – 400 МГц; 5 – 500 МГц; 6 – 600 МГц; 7 – 700 МГц; 8 – 800 МГц; 9 – 900 МГц; 10 – 1 ГГц; 11 – 1,2 ГГц; 12 – 1,4 ГГц; 13 – 1,6 ГГц; 14 – 1,8 ГГц; 15 – 2 ГГц; 16 – датчик RadiSense 4

Применение косвенного метода базируется на общем подходе оценки уровня электромагнитного воздействия по измерению наведенного напряжения помех в бортовой сети (рисунок 6.3), которое во временной области

описывается обобщенным выражением

$$U_{BC}(t) = \frac{1}{2} \int_{-\infty}^{\infty} E_{ex}^*(\omega) K^*(\omega) e^{j\omega t} d\omega, \quad (6.1)$$

где $E_{ex}^*(\omega)$ - спектральная функция внешнего воздействия; $K^*(\omega)$ - комплексный коэффициент передачи АТС.

В этом случае в качестве датчиков выступают провода АТС. Достоинством такого подхода является возможность проведения интегральных измерений в пространственно-разветвленной бортовой сети. В тоже время для его применения необходимо детальные исследования комплексного коэффициента передачи конкретных моделей АТС [98, 245].

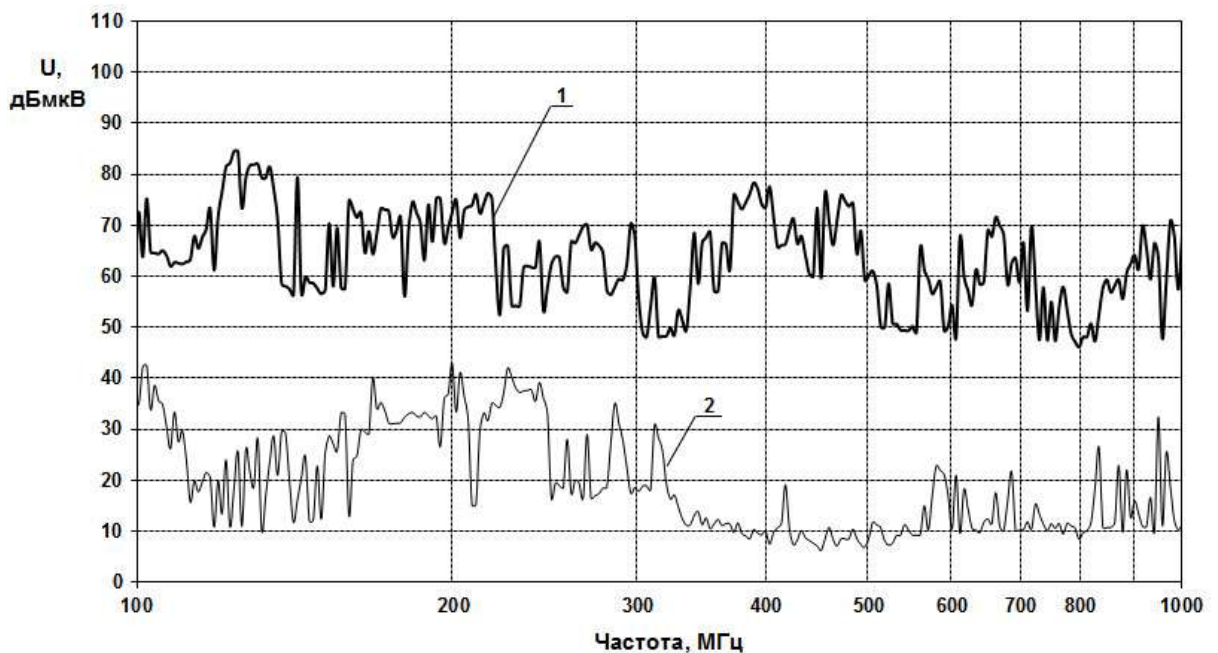


Рисунок 6.3 – Напряжение помех в бортовой сети автомобиля LADA Vesta:
1 – наведенные внешним электромагнитным воздействием 30 В/м;
2 – собственные

Во время эксплуатации АТС модуль ЭМС производит постоянный мониторинг электромагнитной обстановки (ЭМО). В общем случае если воздействует ЭМП, уровень которого превышает типовой электромагнитный фон, то данное событие синхронизируется по времени и пространственным

координатам. Параллельно производится диагностический запрос о возникших на данный момент нарушениях качества функционирования бортового электрооборудования. При их наличии производится обработка информации. Проблемы качества ЭМС ранжируются по критериям безопасности АТС, систематизируются по нарушаемому функционалу и характеру проявления, а также соотносятся к уровню воздействия и к соответствующему электрооборудованию. Производится привязка к месту, и времени, а также сопоставляется пробег АТС. Корректируется текущий порог помехоустойчивости, по отношению к которому производится управление бортовым электрооборудованием. Итоговый массив данных записывается в память модуля.

Непосредственные измерения позволяют прямым путем оценить качество по параметрам помехоустойчивости АТС. При построении внутренней архитектуры модуля ЭМС на высокопроизводительной микропроцессорной базе осуществима реализация функционала прогнозирования показателя качества по параметрам помехоустойчивости в зависимости от времени или пробега. По заложенной соответствующей математической модели осуществляется расчет, а на основании получаемых в процессе эксплуатации измеряемых данных производится корректировка применяемых коэффициентов, определяемых скорость изменения функции помехоустойчивости.

Следующим шагом рассмотрим ключевые особенности обеспечения управления модуля при обеспечении качества по ЭМС. Соответствующий реализуемый им алгоритм работы зависит от характера проявления помех во времени.

Для начала, с учетом возможности оценки ЭМО введем классификацию воздействий по вероятностному признаку. При таком подходе электромагнитные помехи корректно разделить на две группы: предсказуемые и непредсказуемые. К предсказуемым относятся такие воздействия, у которых

динамику изменения параметров с течением времени можно прогнозировать с некоторой заданной вероятностью. В этом случае необходимая информация получается либо путем непосредственных измерений, либо через бортовую инфокоммуникационную систему от внешних баз данных. В качестве примеров можно привести движение АТС в зоне действия стационарно работающего источника помех или систематически наблюдаемого изменения ЭМО по определённому или случайному законам. К непредсказуемым электромагнитным помехам относятся такие воздействия, у которых динамику изменения параметров нельзя спрогнозировать. Примером этому является включившийся на передачу в некоторый момент времени подвижный радиотехнический комплекс. Причем молниевые разряды при определенных условиях можно отнести к обеим группам. К предсказуемым воздействиям они относятся в том случае, когда от внешних информационных систем приходят данные о прогнозируемом изменении погоды. Причисление молниевых разрядов к группе непредсказуемых воздействий производится при условии отсутствия связи с внешними информационными системами, ввиду чего невозможно предвидеть изменение ЭМО.

В случае, когда динамика изменения электромагнитных помех предсказуема, то для уменьшения вероятности возникновения ЭМС проблем реализуются алгоритмы управления, основанные на активных методах обеспечения помехоустойчивости. Общие принципы активных методов были рассмотрены в четвертой главе. Применительно к практической области, конкретное управление, ввиду заложенного функционала, обеспечивает модуль ЭМС.

Реализация алгоритмов базируется на получаемой модулем ЭМС данных о параметрах электромагнитной среды. Определяется градиент увеличения уровня электромагнитных помех воздействия и рассчитывается, с учетом текущего порога помехоустойчивости АТС, время наступления критического воздействия. На основании получаемой информации, модулем ЭМС

превентивно осуществляется управление.

В основе первого алгоритма лежит принцип сокращения взаимосвязей между бортовыми электротехническими системами и диагностических запросов. Это уменьшает матрицу электромагнитной поражаемости. Восстановление штатного функционирования производится по выходу АТС из зоны сложной ЭМО, по команде модуля ЭМС.

Второй алгоритм активного управления применим к беспилотным транспортным средствам. Исходя из имеющихся данных об уровне электромагнитных помех, производится корректировка траектории движения АТС. Оптимизация производится по времени достижения требуемой точки маршрута и безопасным параметрам ЭМО.

В случае непредсказуемого воздействия управление осуществляется только по факту наступлению события электромагнитного воздействия. При этом помеха может превышать порог помехоустойчивости, а ее влияние сразу же обуславливать некоторую реакцию бортовых систем, определяющую снижение безопасности АТС. В этих условиях в задачи модуля ЭМС входит блокирование проявившейся реакции.

При «зависании» бортового электрооборудования из-за электромагнитного воздействия в задачи модуля ЭМС входит обеспечение восстановления его функционирования. Подобного рода нарушения работоспособности происходят из-за алгоритмических коллизий или тиристорного эффекта. По результатам диагностики, в случае отсутствия соответствующего ответа, модуль ЭМС выдает команду на перезагрузку соответствующего блока или узла.

Исходя из заложенного функционала управления, модуль ЭМС в априори является неподчинённым устройством. В условиях нормального электромагнитного фона он работает с другими системами только в части осуществления сервисных коммуникационных функций. По прогнозированию или непосредственному факту попадания в сложную ЭМО, модуль ЭМС приобретает статус «мастер», позволяющий обеспечивать диагностику и

управление.

В части реализации сервисного функционала модуль ЭМС посылает сообщения, выводимые на бортовых информационных устройствах, о попадании АТС в сложную ЭМО, появившихся сопутствующих нарушениях качества функционирования, предлагаемом или уже скорректированном маршруте движения, а также о наступлении времени проведения планового или экстренного технического ЭМС обслуживания.

Посредством связи через бортовые инфокоммуникационные системы выполняется запрос и получение данных из внешних баз, на основании которых по пути следования оцениваются электромагнитные параметры среды. Осуществляется передача накопленной во внутренней памяти модуля ЭМС информации, содержащей сведения о бортовых ЭМС проблемах АТС, текущем уровне качества помехоустойчивости и ее прогнозируемой динамике, рассчитанной на основании заложенной математической модели. Обеспечивается сервисная коммуникация с автопроизводителем.

Рассмотренный функционал накладывает соответствующие требования на помехозащищённость и помехоустойчивость интегрированного модуля ЭМС, которые должны быть в априори больше, чем у любого другого бортового электрооборудования. Учитывая то, что модуль ЭМС определяет безопасность АТС, необходима реализация в нем элементов резервирования. Оптимально, дублирующие блоки должны находиться в нерабочем режиме. В случае прекращения функционирования основной части, следящая система, построенная на базе сторожевого таймера, будет автоматически запускать резервную.

Реализуемые решения должны обеспечивать качество функционирования модуля ЭМС в условиях сложной ЭМО. Определим его минимально требуемую помехоустойчивость. Базируясь на результатах исследований раздела 3.1, для расчетов возьмем среднюю величину отношения между максимальными и минимальными значениями диаграммы направленности АТС в диапазоне

азимутальных углов 0 – 360 град. В относительном выражении она составляет 27,7 дБ, а в абсолютном – 24,3 раза. Из ИЕС 61000-4-3 [190] известно, что уровень электромагнитной среды для типовой индустриальной обстановки составляет 10 В/м. Отсюда минимальный уровень показателя качества по параметрам помехоустойчивости интегрированного модуля ЭМС при любом пространственном направлении воздействия должна составлять

$$E = 24,3 \times 10 \text{ В/м} = 243 \text{ В/м}.$$

Применяя метод математической индукции и базируясь на рекомендациях ISO 11451-1 [196], рассчитанный уровень показателя качества по параметрам помехоустойчивости корректно распространить на диапазон частот 10 кГц – 18 ГГц.

6.2 Модель обеспечения качества автомобилей по параметрам помехоустойчивости на основе обратной связи «АТС - автопроизводитель»

Существующий подход, применяемый ведущими автопроизводителями, основан на изначальном введении в конструкцию АТС некоторого запаса помехоустойчивости, который должен обеспечить соответствие требованиям качества ЭМС как минимум в течение гарантийного срока. Как видно, существующая концепция электромагнитной безопасности лишь косвенно учитывает многофакторное влияние эксплуатации. В соответствии с теорией управления, применяемая модель не имеет каналов регулирования выходной функции, иными словами, отсутствует управление помехоустойчивостью на данном этапе жизненного цикла. С течением времени под действием различных факторов окружающей среды происходит старение бортовых узлов и элементов. Так как эти процессы имеют случайный характер, то очевидно имеет место возрастающая со временем дисперсия помехоустойчивости при уменьшении математического ожидания. Отсюда видно, что достаточно сложно произвести надежную оценку параметрам качества ЭМС, ввиду объективных трудностей получения автопроизводителем эксплуатационных данных.

Соответственно тяжело формулировать и реализовывать, помимо уже базовых заложенных в конструкцию АТС мероприятий, направленных на обеспечение качества по параметрам электромагнитной совместимости.

Обозначенная проблема решается на базе модели обеспечения качества по параметрам помехоустойчивости на основе обратной связи «АТС - автопроизводитель». Ее обобщенная структурная схема представлена на рисунке 6.4. В качестве объекта управления выступает АТС, а управляющей системой является автопроизводитель [102, 249].

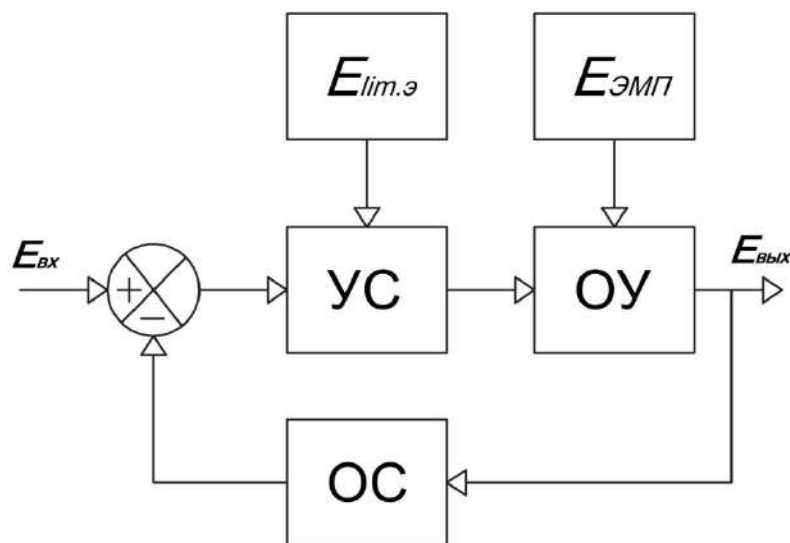


Рисунок 6.4 – Модель обеспечения качества АТС по параметрам помехоустойчивости на основе обратной связи «АТС - автопроизводитель», где: УС – управляющая система; ОУ – объект управления; ОС – обратная связь; $E_{ЭМП}$ – внешнее электромагнитное воздействие; $E_{вх}$ – входная (исходная) функция помехоустойчивости; $E_{вых}$ – выходная функция помехоустойчивости; $E_{lim.э}$ – предельно-допустимый эксплуатационный уровень

Для обеспечения требуемых параметров качества ЭМС, в процессе эксплуатации постоянно производится оценка выходной функции качества помехоустойчивости $E_{вых}$ объекта управления и сравнение ее с некоторым заданным предельно-допустимым эксплуатационным уровнем $E_{lim.э}$. Общее условие, из которого вытекают критерии управления можно записать в виде

$$\lim_{\substack{t \rightarrow \infty \\ S \rightarrow \infty}} E_{вых}(t, S) = E_{lim.э}, \quad (6.2)$$

где, $E_{\text{вых}}(t, S)$ – выходная функция качества по помехоустойчивости, аргументами которой являются время или пробег в эксплуатации.

На практике $E_{\text{lim.э}}$ (оцениваемый показатель качества по параметрам помехоустойчивости) корректно сопоставлять с некоторыми конечными значениями времени $T_{\text{э}}$ или пробега $S_{\text{э}}$ эксплуатации АТС, определяемыми автопроизводителем, и которые должны быть не менее чем гарантийные сроки, например, 5 лет или 120 тыс.км.

Условие необходимого управления системы есть неравенства

$$E_{\text{вых}}(t) \leq E_{\text{lim.э}}, \quad (6.3)$$

или

$$E_{\text{вых}}(t) \leq E_{\text{lim.э}}. \quad (6.4)$$

Очевидно, что для обеспечения надежности и качества АТС в эксплуатации, уровень $E_{\text{lim.э}}$ должен соответствовать законодательным требованиям. Тогда, с учетом факта снижения с течением времени помехоустойчивости бортовых электротехнических систем, значение E_{ex} должно быть больше, чем $E_{\text{lim.э}}$. Поэтому автопроизводителям, для выполнения данного условия, изначально необходимо закладывать в конструкцию соответствующие ЭМС решения обеспечивающие требуемый уровень качества. Начальный коэффициент запаса равен

$$K_n = E_{\text{ex}}/E_{\text{lim.э}}. \quad (6.5)$$

Из сказанного следует, что те модели АТС, которые на этапе постановки в производство соответствовали только законодательным требованиям, в эксплуатации не будут иметь достаточный уровень качества по параметрам помехоустойчивости, без управления ею по цепи обратной связи.

При выполнении любого из неравенств (6.3) и (6.4) значительно возрастают риски возникновения последствий из-за нарушения работоспособности бортовых электротехнических систем. Поэтому до наступления условия $E_{\text{lim.э}}$ целесообразно проводить контроль, прогнозирование и также управление качеством по параметрам помехоустойчивости. Для

реализации этого необходимо применение математической модели адекватно описывающей динамику изменения помехоустойчивости АТС в эксплуатации. Рассмотрим функцию $E_{\text{блх}}$ в зависимости от времени. Очевидно, что в начальный момент времени эксплуатации

$$E_{\text{блх}}(t) = E_{\text{блх}}|_{t=0} \quad (6.6)$$

Базируясь на теории надежности электрических систем, учитывающей процессы старения и распространяя ее положения по отношению к ЭМС, корректно считать, что в общем случае помехоустойчивость АТС в эксплуатации снижается по экспоненциальному закону

$$E_{\text{блх}}(t) = E_{\text{блх}} e^{-\lambda t}, \quad (6.7)$$

где λ – коэффициент, определяющий изменение помехоустойчивости системы.

Зная типовое теоретическое значение λ на этапе постановки АТС в производство, можно прогнозировать помехоустойчивость в любой момент времени эксплуатации. Выразим его. Как было сказано выше, для реальных условий эксплуатации в момент времени $T_{\text{э}}$, задаваемого автопроизводителем, помехоустойчивость будет равна $E_{\text{lim.э}}$. Отсюда (6.7) запишется в виде

$$E_{\text{lim.э}} = E_{\text{блх}} e^{-\lambda T_{\text{э}}}. \quad (6.8)$$

Разделив обе части (5.8) на $E_{\text{блх}}$ и применив преобразование логарифмов, получим

$$\ln \left(\frac{E_{\text{lim.э}}}{E_{\text{блх}}} \right) = -\lambda T_{\text{э}}. \quad (6.9)$$

Как видно, отношение $E_{\text{lim.э}}/E_{\text{блх}}$ есть обратная величина коэффициента запаса $K_{\text{н}}$. С учетом этого

$$\lambda = -\frac{\ln \frac{1}{K_{\text{н}}}}{T_{\text{э}}}. \quad (6.10)$$

В этом случае прогнозируемая оценка качества по параметрам помехоустойчивости будет производиться в соответствии с выражением

$$E_{\text{блх}}(t) = E_{\text{блх}} e^{-\frac{\ln(1/K_H)}{T_{\text{э}}} t}, \quad (6.11)$$

При эксплуатации конкретный АТС может подвергаться более сильным влияниям дестабилизирующих факторов старения, что соответственно будет влиять на изменение λ и время достижения значения $E_{\text{lim.э}}$. Найдем их, предварительно обозначив $\lambda_{\text{э}}$ и $T'_{\text{э}}$. В соответствии с рассматриваемой моделью, постоянно производится оценка выходной функции помехоустойчивости $E_{\text{блх}}$. Тогда, если в некоторый момент времени эксплуатации t_i было зафиксировано значение $E_{\text{блх.э}}(t_i)$ менее, чем расчетное, то с учетом введенных обозначений запишем

$$E_{\text{блх.э}}(t_i) = E_{\text{блх}} e^{-\lambda_{\text{э}} t_i}. \quad (6.12)$$

Отсюда

$$\lambda_{\text{э}} = -\frac{\ln\left(\frac{E_{\text{блх.э}}(t_i)}{E_{\text{блх}}}\right)}{t_i}. \quad (6.13)$$

Подставляя $\lambda_{\text{э}}$ в (6.9), заменив при этом $T_{\text{э}}$ на $T'_{\text{э}}$ получим формулу для дальнейшего расчета времени выхода к предельно-допустимому эксплуатационному уровню помехоустойчивости

$$E_{\text{lim.э}} = E_{\text{блх}} e^{-\frac{\ln\left(\frac{E_{\text{блх.э}}(t_i)}{E_{\text{блх}}}\right)}{t_i} T'_{\text{э}}}. \quad (6.14)$$

Соответственно

$$T'_{\text{э}} = \frac{\ln \frac{1}{K_H}}{\ln\left(\frac{E_{\text{блх}}(t_i)}{E_{\text{блх}}}\right)} \times t_i = \log_{\left(\frac{E_{\text{блх}}(t_i)}{E_{\text{блх}}}\right)} \left(\frac{1}{K_H}\right) \times t_i. \quad (6.15)$$

Тогда прогнозируемый период времени, через который следует ожидать выход АТС на уровень помехоустойчивости $E_{\text{lim.э}}$ начиная с момента t_i текущей оценки $E_{\text{блх.э}}$ будет равен

$$\Delta t = T'_{\mathcal{E}} - t_i = t_i \left(\log_{\left(\frac{E_{\text{блх}}(t_i)}{E_{\text{вх}}} \right)} \left(\frac{1}{K_H} \right) - 1 \right). \quad (6.16)$$

Исходя из расчетов, полученных путем эксплуатационной оценки о динамике изменения помехоустойчивости можно делать выводы о необходимости управления.

Определим параметры управления. Рассмотрим случай достижения функции $E_{\text{блх}}(t)$ значения $E_{\text{lim.э}}$. Понятно, что уровень помехоустойчивости необходимо увеличить на такое минимальное значение ΔE_{min} , при котором, $E_{\text{блх}}(t)$ будет опять равна $E_{\text{lim.э}}$ через некоторое заданное минимально-допустимое время эксплуатации Δt_{min} . Тогда

$$\Delta t_{\text{min}} = T_{\mathcal{E}} - t_j, \quad (6.17)$$

где t_j – время, при котором управляемая функция $E_{\text{блх}}(t)$ достигнет требуемого значения $E_{\text{блх.j}}$. Выразим его из (6.7)

$$E_{\text{блх.j}} = E_{\text{вх}} e^{-\lambda t_j} \Rightarrow t_j = -\frac{\ln\left(\frac{E_{\text{блх.j}}}{E_{\text{вх}}}\right)}{\lambda}, \quad (6.18)$$

а $T_{\mathcal{E}}$ из (6.9)

$$T_{\mathcal{E}} = -\frac{\ln\left(\frac{E_{\text{lim.э}}}{E_{\text{вх}}}\right)}{\lambda}. \quad (6.19)$$

Подставляя (6.18) и (6.19) в (6.17) получим

$$\Delta t_{\text{min}} = \frac{1}{\lambda} \left(\ln\left(\frac{E_{\text{блх.j}}}{E_{\text{вх}}}\right) - \ln\left(\frac{E_{\text{lim.э}}}{E_{\text{вх}}}\right) \right) = \frac{1}{\lambda} \ln\left(\frac{E_{\text{блх.j}}}{E_{\text{lim.э}}}\right). \quad (6.20)$$

Выразим $E_{\text{блх.j}}$ относительно $E_{\text{lim.э}}$

$$E_{\text{блх.j}} = E_{\text{lim.э}} e^{\lambda \Delta t_{\text{min}}}. \quad (6.21)$$

Тогда требуемое минимальное значение, на которое при управлении необходимо увеличить помехоустойчивость, будет равно

$$\Delta E_{\min} = E_{\text{вых.}j} - E_{\text{lim.}9} = E_{\text{lim.}9} e^{\lambda \Delta t_{\min}} - E_{\text{lim.}9}.$$

$$\Delta E_{\min} = E_{\text{lim.}9} (e^{\lambda \Delta t_{\min}} - 1).$$
(6.22)

Для задач управления на практике корректно задавать $\Delta t_{\min}$ соизмеримым установленными регламентом периодами технического обслуживания АТС.

Аналогичные, приведенным выше, выражения получаются, если в качестве аргумента будет взят пробег АТС.

Раскрывая рисунок 6.4 в части практической реализации, очевидно, что рассматриваемая модель должна строиться на базе применения в архитектуре АТС специализированного бортового интегрированного ЭМС модуля обеспечения качества, реализующего обратную связь через внешнее буферное звено, которым является внешняя ЭМС база данных. Она же служит общим хранилищем информации сетевой структуры эксплуатируемых АТС. В качестве сравнивающего устройства выступают, взаимодействующие с автопроизводителем, конструкторские и испытательные ЭМС подразделения, производящие анализ, оценку и обеспечение показателей качества по параметрам помехоустойчивости эксплуатируемых АТС. Автопроизводитель является управляющей системой, работающий в связке с исполнительными устройствами в виде специализированных станций технического обслуживания (СТО) или информационных сетей удаленного доступа. В соответствии с этим, обобщенная структурная схема взаимодействия «АТС - автопроизводитель» для обеспечения качества по параметрам электромагнитной совместимости на основе обратной связи, имеет вид, представленный на рисунке 6.5 [102, 249].



Рисунок 6.5 – Обобщенная структурная схема взаимодействия «АТС - автопроизводитель» для обеспечения качества автомобилей по параметрам электромагнитной совместимости на основе обратной связи

В контексте раскрываемой задачи вопроса интегрированный бортовой ЭМС модуль обеспечивает измерение, сбор, обработку, отображение, накопление, хранение информации, а также ее передачу во внешнюю базу данных, которая в свою очередь выполняет следующие основные функции: сбор, хранение, защиту и передачу по запросу информацию. Наполнение базы данных может осуществляться за счет передачи информации по специализированному защищенному радиоканалу бортовых удаленных систем доступа, или транслированием скопированных на специализированных СТО log-файлов.

Функциональное назначение внешней ЭМС базы данных позволяет сделать принципиальный вывод от обратного. Рассматриваемая модель в предложенной структурной реализации позволяет обобщить полученные результаты на большие выборки АТС. Это вытекает из того, что помимо анализа индивидуальных данных конкретного АТС, для оценки параметров качества ЭМС возможно применять статистические методы обработки информации по отношению к хранящимся большим массивам.

ЭМС центр, по мере поступления и накопления информации во внешней

базе данных, во взаимодействии с автопроизводителем осуществляет выполнение полного спектра профильных задач. Структурно он может быть одним из подразделений автопроизводителя или отдельной организацией. На начальном этапе производится анализ исходного массива имеющейся информации. Производится систематизация данных с выделением ключевых признаков (рисунок 6.6).

Систематизация по времени и координатам производится с целью возможного осуществления радиомониторинга для оценки электромагнитной обстановки для возможного воссоздания в ЭМС лаборатории соответствующих воздействий для повторения и изучения проблем качества. Анализ частотности и группировка по моделям АТС, дают информацию о массовости проявляемых в эксплуатации ЭМС эффектов. Отсюда можно сделать первичные выводы о допущении ошибок ЭМС проектирования или о несоответствии технологии производства. Систематизация по характеру проблем качества ЭМС, типу электрооборудования и электромагнитного воздействия позволяет локализовать область исследования и сократить время нахождения решений [102, 249].

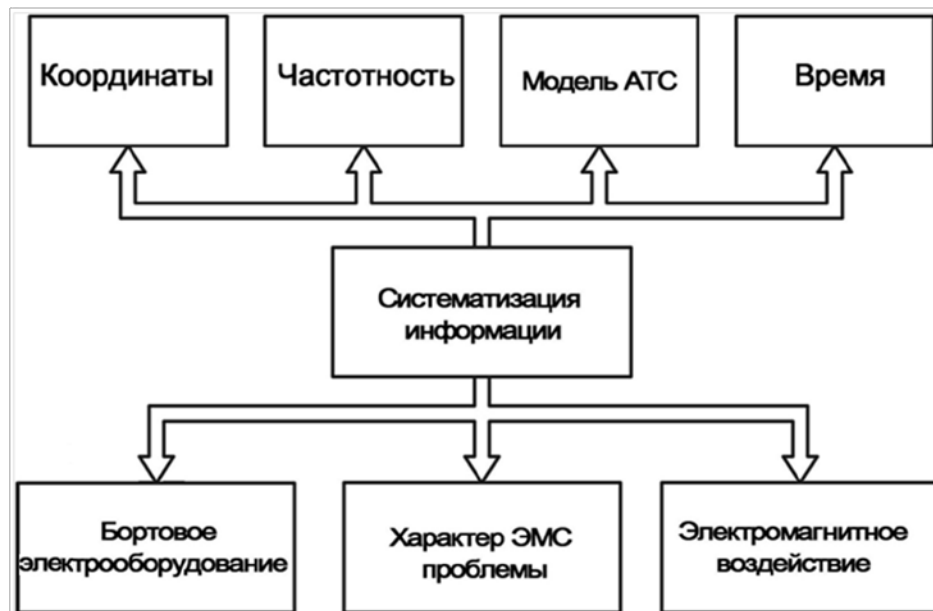


Рисунок 6.6 – Систематизация исходной информации в ЭМС центре

На основании полученных результатов анализируются возможные пути решения проблем качества. Составляется программа исследований. По необходимости производится испытание для нахождения и подтверждения ЭМС проблемы. Детально изучаются условия ее появления. Выбирается и реализуется оптимальное решение. Для оценки итогового результата проводятся контрольные испытания. Корректируются коэффициенты модели помехоустойчивости. В завершении выдается техническое заключение о применении выбранных ЭМС решений в эксплуатируемых и серийно выпускаемых АТС. Дополнительно, на основании проделанных исследований ЭМС центром, конструкторские подразделения автопроизводителя проводят оценку эффективности внедрения предложенных технических решений в конструкцию разрабатываемых новых моделей.

Обеспечение качества по параметрам помехоустойчивости АТС может осуществляться по взаимодополняющим друг друга косвенной и непосредственной обратным связям. В первом случае бортовой модуль ЭМС оценивает и прогнозирует помехоустойчивость на основании заложенной модели. По результатам расчета, измерений и анализа текущих данных при наступлении условий управления, в АТС активируется сервисный индикатор, информирующий необходимость обращения на СТО. При осуществлении непосредственной обратной связи автопроизводитель на основании полученных результатов от ЭМС специалистов и имеющейся статистики внешней ЭМС базы данных, принимает конкретные корректирующие и (или) предупреждающие меры. С учетом имеющейся информации текущего состояния, повышение качества по параметрам помехоустойчивости осуществляется как у единичных АТС, так и комплексно у больших партий. Реализация выработанных технических решений может производиться по информационной специализированной защищённой сети удаленного доступа, а также специализированных станций технического обслуживания (СТО).

Удаленно автопроизводитель осуществляет перепрошивку программного обеспечения, включающую усовершенствованные в части ЭМС алгоритмы или активацию сервисного индикатора, информирующего необходимость обращения на СТО. На специализированной СТО работы проводятся в соответствии с разработанной конструкторским подразделением процедурой, включающей замену проблемного электрооборудования, диагностику электрических контактов и также перепрошивку доработанного программного обеспечения. В обоих случаях в зависимости от характера и значимости ЭМС проблем, реализация разработанных мероприятий по повышению качества по параметрам помехоустойчивости осуществляется в рамках неотложных или регламентных работ, а также путем рекламационных отзывов.

6.3 Комплексная система мониторинга электромагнитной обстановки и предупреждения ЭМС конфликтов

Существующие подходы обеспечения качества АТС по параметрам ЭМС базируются на применении различного рода решений, направленных на увеличение помехозащищенности и помехоустойчивости бортового электротехнического комплекса. Даже если не рассматривать принцип экономического подхода, то все равно здесь есть одно существенное ограничение. Несмотря на то, что с развитием технологий повышается качество изготовления применяемых материалов и компонентов, возрастающее количество и сложность электронных узлов, в соответствии с теорией надежности, не позволяет обеспечить высокую вероятность безотказной работы в процессе длительной эксплуатации. Поэтому всегда будет некоторое, изменяющееся во времени расхождение между прогнозируемым и реальным состояниями помехоустойчивости. При рассмотрении АТС как полнофункциональной замкнутой системы с применением в архитектуре бортового электрооборудования ЭМС модуля, данное несоответствие можно

учесть только лишь в моменты наступления проблем. В нестационарной же электромагнитной среде предвидеть событие воздействия достаточно проблематично. Соответственно сам конфликт с высокой вероятностью сложно спрогнозировать.

Рассмотренная проблема показывает важность разработки подходов, позволяющих заранее оценивать и предсказывать влияние электромагнитной обстановки (ЭМО), с учетом ее трансформации во времени, на возможное развитие конфликтов и соответствующее нарушение работоспособности бортового электротехнического комплекса АТС. Очевидно, что решение должно базироваться на принципах постоянного мониторинга состояния внешней среды, набора статистики, обработке результатов и составлении соответствующих баз данных, доступных для прогноза и принятия решения с учетом состояния помехоустойчивости конкретного транспортного средства. С учетом сказанного корректно рассматривать задачу в контексте комплексного взаимодействия группировки АТС, оснащенной модулями ЭМС, с внешними инфокоммуникационными системами. В этом случае АТС уже рассматривается не как отдельно независимый функционально замкнутый объект, а как элемент, выполняющий измерительно-диагностические функции в комплексной системе мониторинга ЭМО и предупреждения ЭМС конфликтов, обобщенная структурная схема которой представлена на рисунке 6.7.

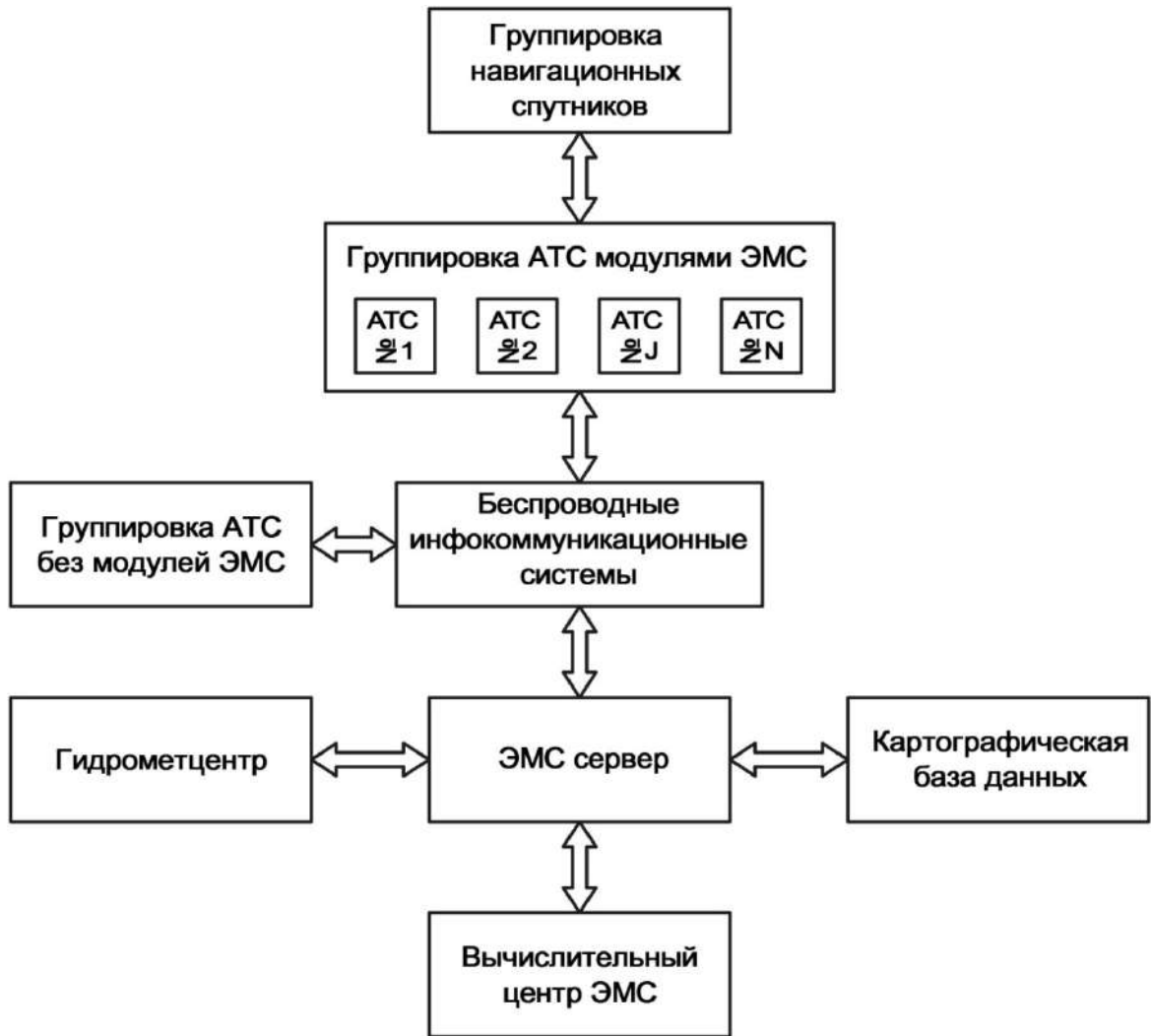


Рисунок 6.7 – Структурная схема комплексной системы мониторинга ЭМО и предупреждения ЭМС конфликтов

В основе идеи мониторинга лежит использование измерительно-диагностических функций модуля ЭМС. Обобщённый алгоритм сводится к тому, что АТС, выступая в качестве мобильного объекта, осуществляет взаимодействие с внешней средой, регистрируя текущие данные, и передает их в специализированный вычислительный центр ЭМС (рисунок 6.8).

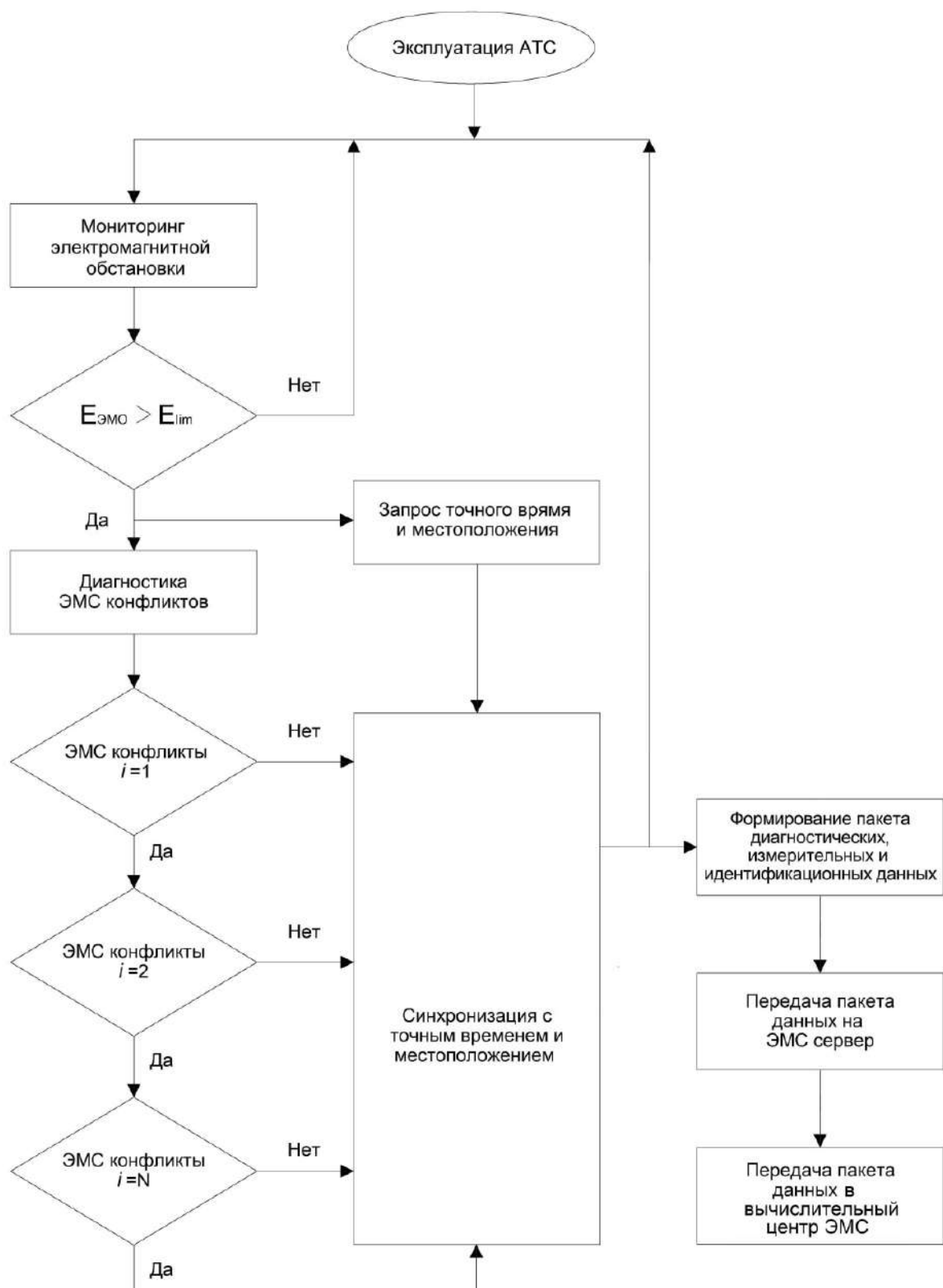


Рисунок 6.8 – Обобщённый алгоритм осуществления мониторинга и передачи данных единичного АТС

В процессе эксплуатации бортовой модуль ЭМС производит измерение уровня внешних электромагнитных помех ($E_{ЭМП}$) и сравнивает его с предельно-допустимым значением E_{lim} . При реализации условия

$$E_{ЭМП} > E_{lim}, \quad (6.23)$$

означающего изменение нормального электромагнитного фона, запускается внутренняя процедура диагностики ЭМС конфликтов, синхронизирующая событие наступления внешнего электромагнитного воздействия с точным временем и геопозицией АТС, а также возникшими в данный момент проблемами электрооборудования. Координатно-временная привязка к местности производится по получаемой информации от навигационной спутниковой системы. Затем бортовой ЭМС модуль формирует пакет диагностических, измерительных и идентификационных данных, который передается на вычислительный центр ЭМС. Процесс бортовой диагностики продолжается до тех пор, пока уровень внешних электромагнитных помех не будет меньше предельно-допустимого значения [78].

Осуществление масштабного мониторинга ЭМО будет проводиться глобальной группировкой АТС, объединенной в комплексную сетевую структуру, выполненную по наиболее оптимальной топологической схеме «активная звезда». От существующей группировки в вычислительном центре ЭМС в режиме реального времени производится обработка полученного информационного массива.

Независимость действий каждого в отдельности АТС по отношению к другим, выражающаяся в динамически изменяющихся случайным образом в пространстве и времени траекториях движения, определяет вероятностный подход к решению рассматриваемой задачи. Естественно, что точность проводимого мониторинга имеет пропорциональную зависимость от количества эксплуатируемых АТС в некоторой области пространства и трафика их движения. Также как и взаимное расположение каждого в отдельности АТС и группировки в целом, ЭМО тоже является нестационарной. Следовательно

итоговые результаты мониторинга релевантно представлять на электронных картах в виде рисков нахождения АТС в конкретном месте. Поэтому в процессе непрерывного систематического сбора и накопления статистических данных, вычислительный центр ЭМС определяет границы областей с заданным вероятностным диапазоном соответствующего градационного признака, характеризующего степень опасности в эксплуатации. Если зафиксировать некоторый момент времени, то для определенной области вероятностный диапазон соответствующего градационного признака в общем виде можно записать как

$$\Delta P_i = \frac{\Delta M_i}{K}, \quad (6.24)$$

где

$$\Delta M_i = M_{\max,i} - M_{\min,i}, \quad (6.25)$$

$M_{\max,i}$ и $M_{\min,i}$ – интервальные значения наступивших нежелательных ЭМС событий в некоторой области пространства; K – полное количество событий, присущих рассматриваемому градационному признаку; $i = 1, 2, 3, \dots, N$ – индекс градационного признака, наибольшее значение которого соответствует наибольшей критичности ЭМС событий.

Множество координатных точек спроецированные на плоскость образуют область $A_i(\Delta P_i)$, характеризующую наступление соответствующих ЭМС событий. В тоже время, с учетом того, что ЭМО постоянно трансформируется, интервальные значения параметров M_i являются переменными от времени и координат. Соответственно область $A_i(\Delta P_i)$ есть динамически изменяющаяся функция

$$A_i(\Delta P_i) = \Psi[E(x, y, z, t)]. \quad (5.26)$$

Построение областей, объединяющих множество точек соответствующего градационного признака, строится на основании полученных данных о:

- параметрах электромагнитных воздействий;
- характере возникающих проблем качества ЭМС;

- частотности проявления проблем качества ЭМС проблем;
- времени проявления проблем качества ЭМС проблем;
- типах и моделях АТС, имеющих конфликты с электромагнитной средой.

Важным фактором является учет метеообстановки. Погодные условия определяют ЭМС конфликты прямым и косвенным образом. В первом случае АТС может попасть под прямое, близкое или удаленное воздействие молнии. Во втором случае конкретное атмосферное явление формирует соответствующую электрическую проводимость подстилающей поверхности, влияя тем самым на уровень отражений и соответственно на суперпозицию электромагнитных полей в заданной области. Поэтому мониторинг ЭМО с привязкой к данным гидрометцентра позволяет набирать статистику ЭМС конфликтов в зависимости от погодных условий и учитывать ее при построении областей соответствующих градационных признаков. Также синхронизация процесса мониторинга с текущими параметрами метеообстановки дает возможность систематизировать нарушения работоспособности бортовых электротехнических систем в зависимости от природы происхождения электромагнитного воздействия (естественного или техногенного), и отображать на электронных картах с отметкой соответствующего идентификатора.

Результаты статистической обработки комплексного массива данных мониторинга проецируются на электронные карты, запрашиваемые в картографической базе данных, в виде соответствующих областей $A_i(\Delta P_i)$, которые отображаются исходя из условий

$$A_N(\Delta P_N) \subset A_i(\Delta P_i) \subset A_2(\Delta P_2) \subset A_1(\Delta P_1), \quad (6.27)$$

что является очевидным, так как при движении АТС в сторону к источнику ЭМП возрастают риски появления нарушений работоспособности из-за увеличения интенсивности воздействия. В предельном случае (6.27) преобразуется в вид

$$A_N(\Delta P_N) \subseteq A_i(\Delta P_i) \subseteq A_2(\Delta P_2) \subseteq A_1(\Delta P_1), \quad (6.28)$$

характерный для непредвиденного мгновенного воздействия, при котором изменение состояния электромагнитной среды описывается ступенчатой функцией первого рода.

На практике для адекватного и быстрого восприятия достаточно проецировать на электронные карты не более четырех областей (рисунок 6.9), для которых можно ввести классификацию в соответствии со следующими градационными признаками.

1. $A_1(\Delta P_1)$ – область с высокой неопределенностью присвоения статуса ЭМС конфликта при диагностировании в процессе эксплуатации нарушений работоспособности и в общем случае характеризующаяся типовой ЭМО.

2. $A_2(\Delta P_2)$ – область с повышенным электромагнитным фоном, характеризующая возможность появления незначительных нарушений работоспособности, не влияющих на безопасность АТС.

3. $A_3(\Delta P_3)$ – область со сложной ЭМО, характеризующейся высокой вероятностью появления нарушений работоспособности бортового электрооборудования АТС.

4. $A_4(\Delta P_4)$ – область опасной ЭМО, характеризующейся высокой вероятностью появления нарушений работоспособности бортового электрооборудования АТС, отвечающего за безопасность.

Очевидно, что электронные карты, отображающие ЭМС риски, уже являются средством для решения задач взаимодействия АТС и электромагнитной среды. Их применение позволяет прокладывать оптимальный маршрута движения в соответствии с критериями приемлемого риска, выбирая траекторию с учетом электромагнитной составляющей.

Ключевым показателем динамики изменения ЭМО для предупреждения ЭМС конфликтов является градиент параметра M . Его значение дает информацию об интенсивности воздействий, на основании которой можно проводить делать оперативный выбор наиболее безопасной траектории

движения конкретного АТС. С учетом всех переменных, в обобщенном виде градиент параметра M_i запишется в виде

$$\text{grad}M_i = \nabla M_i = \frac{\partial M_i}{\partial x} \vec{i} + \frac{\partial M_i}{\partial y} \vec{j} + \frac{\partial M_i}{\partial z} \vec{k} + \frac{\partial M_i}{\partial t} \vec{n} . \quad (6.29)$$

Данное выражение учитывает не только координаты местности, но и время, позволяя прогнозировать маршрут. На практике достаточно часто приходится решать частные задачи прокладки траектории для короткого временного интервала. Поэтому для двумерных карт для некоторого фиксированного момента времени $t=t_0$ выражение (6.29) упрощается

$$\text{grad}M_i = \nabla M_i = \frac{\partial M_i}{\partial x} \vec{i} + \frac{\partial M_i}{\partial y} \vec{j} \Big|_{t=t_0} . \quad (6.30)$$

Для беспилотных транспортных средств, градиент дает исходные данные автоматической корректировки маршрута. Для управляемых в ручном режиме АТС градиент является информационной составляющей, на основании значений которого делается индивидуальный выбор траектории движения.

Реализация концепции мониторинга ЭМО и построения на его статистических данных соответствующих электронных карт позволяет решить важную задачу предупреждения и минимизации ЭМС конфликтов при взаимодействии АТС с электромагнитной средой. В этом случае АТС, оснащенный бортовым ЭМС модулем, становится важным элементом в глобальной сетевой структуре, влияющим на электромагнитную безопасность. Практическое использование электронных карт возможно на базе как встроенного в программную среду АТС, так и мобильного IT приложений, что при внедрении позволит применять их широкому кругу пользователей.

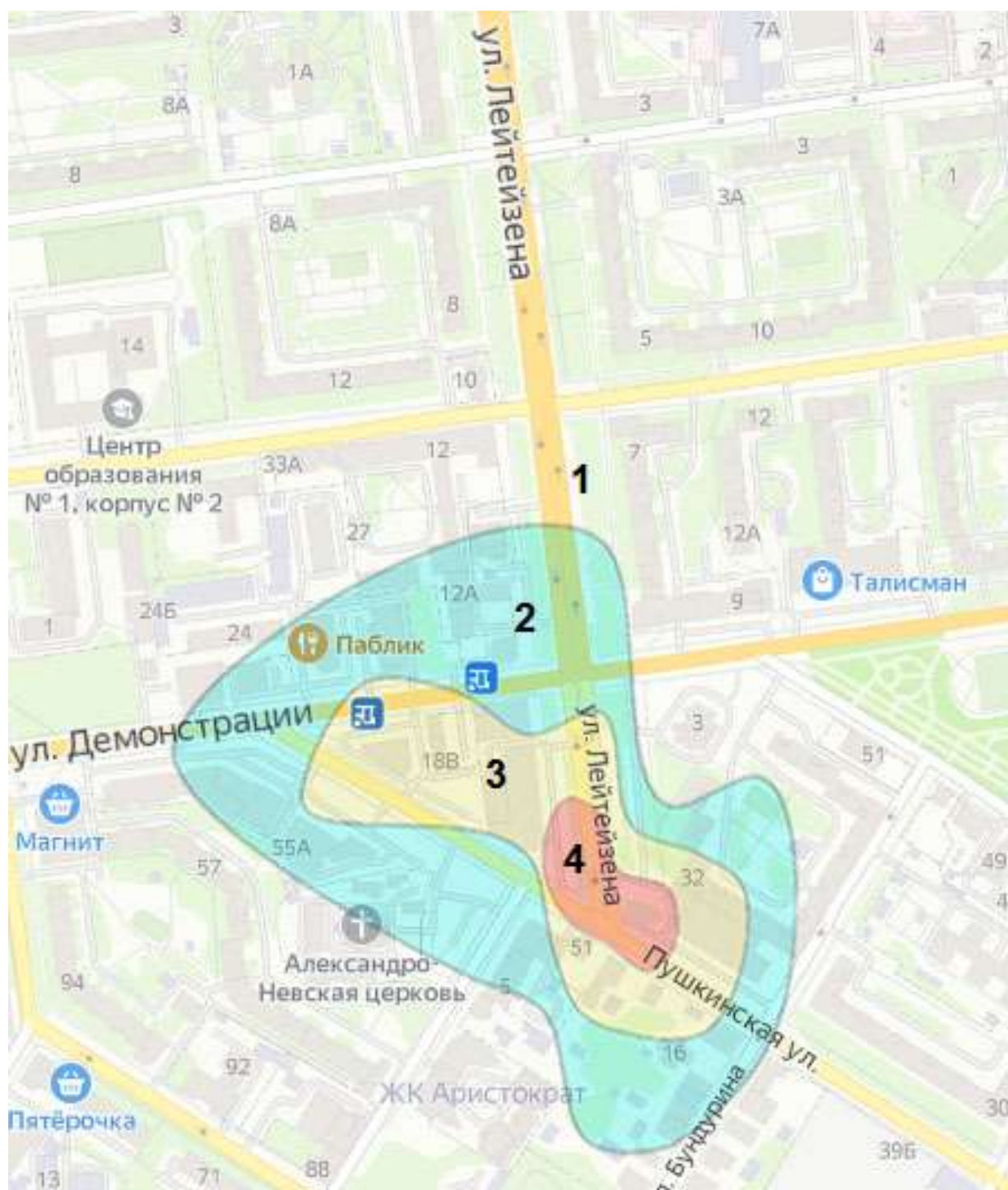


Рисунок 6.9 – Электронная карта с нанесенной градационной электромагнитной обстановкой, полученная на основе комплексного мониторинга АТС:
 1 – типовая ЭМО; 2 – область повышенного электромагнитного фона;
 3 – сложная ЭМО; 4 – опасная ЭМО

6.4 Обеспечение качества автомобилей по параметрам помехозащищенности на базе технического обслуживания

В предыдущих главах было отмечено, что сейчас все приемочные, сертификационные, периодические и ресурсные ЭМС испытания проводятся в специализированных лабораториях, что недостаточно для полноценного обеспечения электромагнитной безопасности до окончания срока эксплуатации или как минимум гарантийного срока. Отмечались соответствующие тому причины, вызванные процессами старения и заменой бортового электрооборудования на несертифицированную продукцию в том числе и программного обеспечения.

Внешние воздействия, такие как температурные, химические, электромагнитные и механические, приводят к нарушению характеристик материалов. В итоге уменьшается эффективность экранирования, возрастают переходные сопротивления или появляются обрывы в цепях и т.п. Из-за этого не обеспечивается требуемое подавление помех и снижается помехоустойчивость систем (рисунок 6.10).

Практические исследования в виде экспертной оценки показывают, что из-за ненадлежащего компетентного технического осмотра АТС, сделанного после случившегося дорожно-транспортного происшествия, начинают проявляться различного рода скрытые дефекты, например, обрыв проводов или микротрещины в платах. Некачественным образом сделанный ремонт приводит к быстрой коррозии в местах рихтовки и покраски. Определенный контингент автовладельцев, намеренно делает его тюнинг, устанавливая несертифицированное электрооборудование и программное обеспечение, которые однозначно не отвечает ЭМС требованиям (рисунок 6.11). Такая продукция, как правило, не совместима с штатными бортовыми системами. Часто из-за этого возникают программные конфликты, а их вероятность увеличивается при воздействии электромагнитных помех. Как следствие происходит нарушение работоспособности АТС.

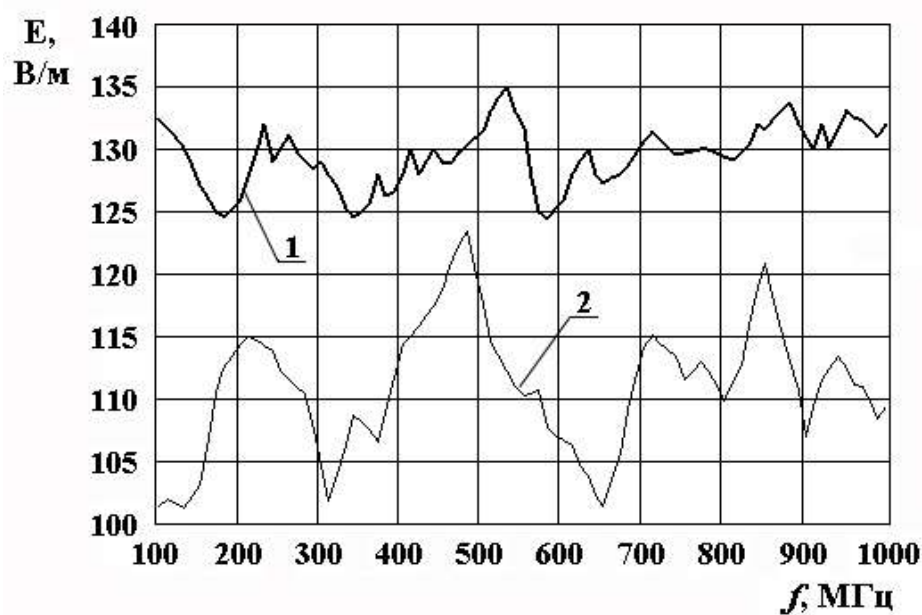


Рисунок 6.10 – Помехоустойчивость противоугонной системы АПС 6.1 автомобиля LADA Калина: 1 – пробег 10 км; 2 – пробег 140 тыс.км

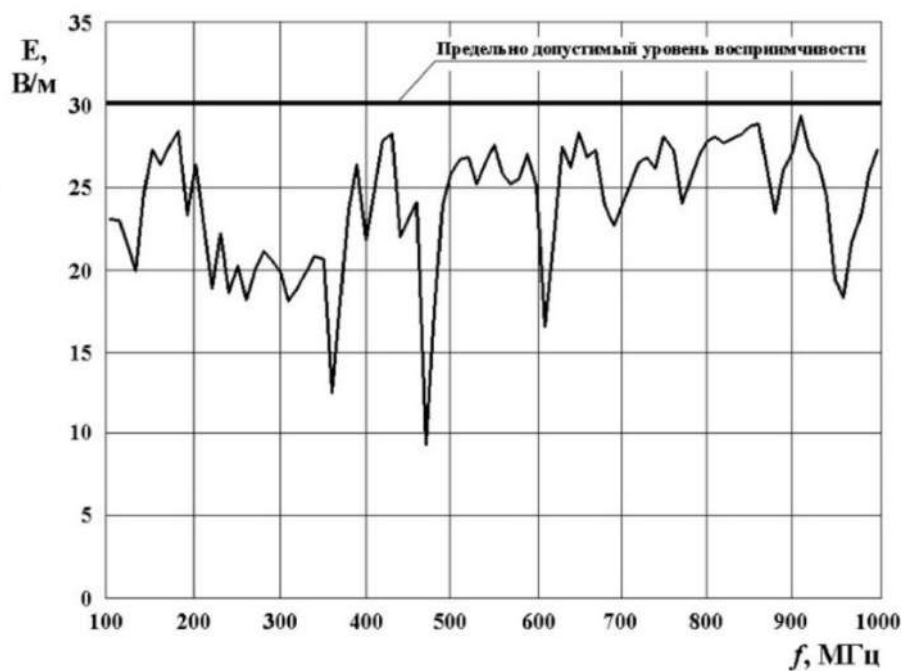


Рисунок 6.11 – Помехоустойчивость комбинации приборов несертифицированного производителя для семейства LADA Калина

Из рассмотренного вытекает вывод, что на электромагнитную безопасность АТС влияет не только внешняя среда, индивидуальный подход каждого автовладельца к состоянию своего транспортного средства. Именно поэтому, для предотвращения нежелательных последствий важны и актуальны

мероприятия, позволяющие уже непосредственно в эксплуатации обеспечить помехозащищенность АТС. И это должно быть выделено в одно из приоритетных направлений.

С учетом изложенных трудностей лабораторного контроля очевидно, что массовые проверки параметров ЭМС эксплуатируемых АТС необоснованны экономически. Исходя из этого, для решения осязаемой задачи, следует искать другие возможные реализуемые пути с использованием уже имеющейся технической базы, позволяющей технически осуществить ЭМС диагностику в части оценки и обеспечения помехозащищённости. Очевидно, что это адекватно периодически проводить в рамках планового или текущего технического осмотра на станциях технического обслуживания (СТО) [139, 141]. Во-первых, обоснованная с учетом среднестатистического ресурса и надежности АТС, периодичность проведения техосмотра позволит контролировать, учитывать и обеспечивать помехозащищённость на должном уровне, посредством выявления и замены неисправных элементов, узлов, систем и программного обеспечения. Во-вторых, технический осмотр дает документальное заключение и подтверждение надлежащего технического состояния АТС, что официально разрешает его дальнейшую эксплуатацию.

Изложенное показывает, что проведение плановой технической диагностики наиболее обоснованный путь обеспечения электромагнитной безопасности АТС [104, 247]. Предлагаемый подход должен охватывать как перспективные модели, штатно оснащаемые бортовыми ЭМС системами, а также эксплуатируемые на сегодняшний день АТС. Проведение технической диагностики последних представляется наиболее трудно. Это связано с отсутствием бортовых ЭМС данных. Поэтому в основе предлагаемого подхода лежит обязательная ЭМС сертификация изделий и АТС, как гарантия их безопасной эксплуатации.

Базовым критерием является то, что при отсутствии диагностических данных о наличии ЭМС проблем, полагается, что новое или не выработавшее

свой ресурс, но исправное штатное электрооборудование отвечает требованиям помехоустойчивости. При отклонениях же от заданных параметров, а также использовании не сертифицированных устройств, повышается вероятность нарушения работоспособности АТС при воздействии ЭМП.

Реализации механизмов проведения технической диагностики на электромагнитную безопасность эксплуатируемых АТС раскрывается в схеме, представленной на рисунке 6.12. Ее основы составляют законодательные и нормативные документы, определяют прохождение процедуры технического осмотра, взаимодействие между автопроизводителями, аттестованными ЭМС лабораториями, страховыми компаниями, аттестованными СТО и владельцами автотранспортных средств, а также регламентируют порядок достижения конечного результата [104, 247].

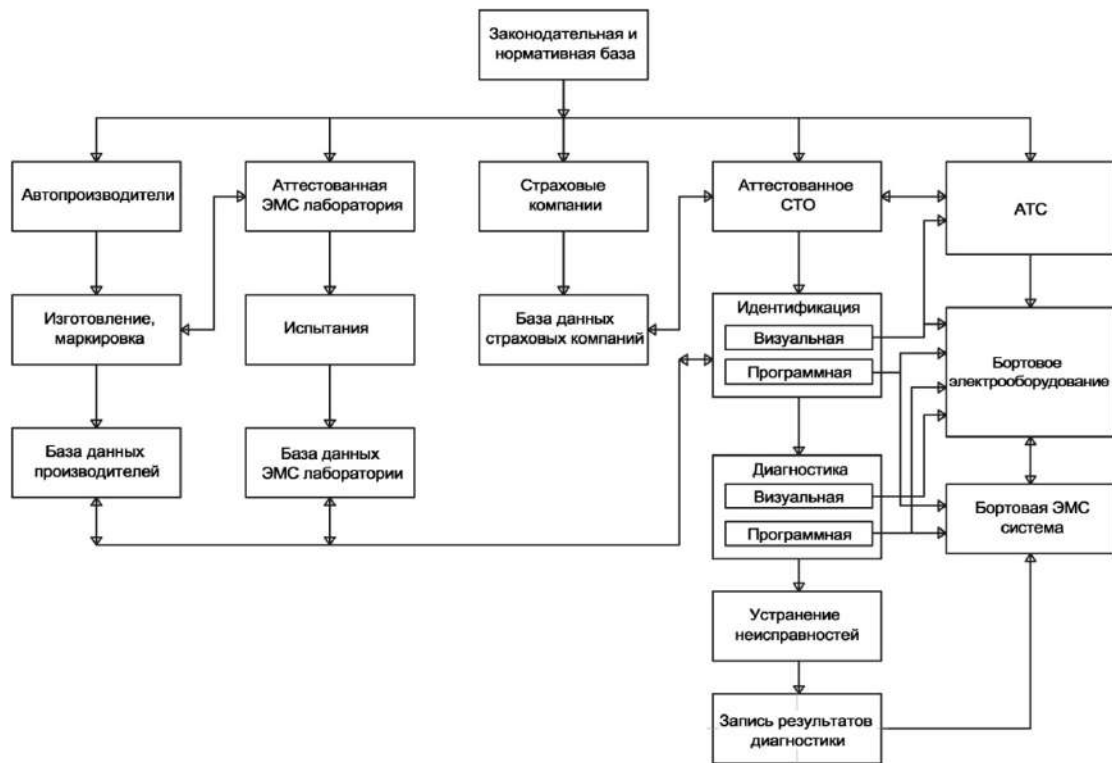


Рисунок 6.12 – Структурная схема проведения технической диагностики АТС на подтверждение качества по параметрам электромагнитной совместимости

С технической стороны ядром в структуре, обеспечивающим экспертную оценку АТС являются аттестованные СТО. Относительно них должно происходить создание специализированной технической базы, включающей

диагностическое оборудование, способное работать с любым автомобильным интерфейсом и перспективными бортовыми ЭМС системами, а также специализированную защищенную информационную среду, позволяющую обеспечить коммуникацию для получения необходимой информации от автопроизводителей, аттестованных ЭМС лабораторий и страховых компаний, позволяющей осуществить полную диагностику.

Для достижения высокой надежности экспертизы помехозащищенности АТС диагностика производится косвенным и прямым методами, а также их взаимной комбинаторикой. Косвенный подход сводится к идентификации АТС, а также бортового электрооборудования с последующим комплексным анализом, учитывающим полученную информацию из внешних баз данных касающейся конкретного транспортного средства. Он позволяет произвести априорную оценку помехозащищенности электротехнических систем.

На аттестованной СТО транспортное средство проходит идентификацию, в процессе которой эксперты получают информацию из внешних баз данных автопроизводителей, ЭМС лабораторий и страховых компаний.

Запрос в страховые компании дает сведения об имеющихся дорожно-транспортных происшествиях и появившихся после этого неисправностях. Информация, получаемая из баз данных автопроизводителей и аттестованных лабораторий ЭМС, позволяет идентифицировать подлинность электротехнических систем, актуальность программного обеспечения, а также соответствие продукции требованиям электромагнитной помехоустойчивости. Дополнительно, производители и лаборатории ЭМС могут являться справочными и консультационными центрами.

Следующий этап заключается в идентификации бортовых электротехнических систем. Его целью является проверка установленного на АТС сертифицированного бортового оборудования и программного обеспечения. Первоначально процедура проводится визуально, посредством считывания и отождествления заводской нанесенной графической маркировки.

Далее сверяются удаленно запрошенные заводские контрольные данные бортовых систем с соответствующей полученной по диагностической шине АТС информацией. Например, в качестве контрольных данных можно использовать PIN номер, где включена информация о производителе, принадлежности изделия к модели АТС, версия программного обеспечения, порядковый номер изделия в партии и его дата выпуска и т.п. Из баз данных ЭМС лабораторий запрашивается информация о прохождении всех необходимых испытаний и подтверждаемых сертификатом их соответствий требованиям ЭМС.

Процесс идентификации также позволит оценить риски помехозащищенности конкретного бортового электрооборудования, установленного в диагностируемом АТС. Анализ выполняется на основе имеющейся информации баз данных поставщиков и ЭМС лабораторий по статистическим данным проблем в эксплуатации аналогичного электрооборудования. При высоких рисках дополнительно проводится более глубокая взвешенная оценка с привлечением экспертов ЭМС.

Визуальная идентификация проводится с целью сверки графической нанесенной на изделия маркировки с программно зашитыми данными.

Критерием прохождения данного этапа является соответствие бортового электрооборудования и программного обеспечения требованиям к маркировке и идентификации изготовителя. При выявлении не сертифицированной продукции должна производиться ее замена или перепрошивка. Предотвращение подмены PIN номеров, или графической маркировки, с целью выдачи несертифицированных изделий за сертифицированные, должно регулироваться законодательно.

Следующим этапом проводится программная и визуальная диагностика АТС. В процессе считываются и расшифровываются коды ошибок аппаратной и функциональной бортовой самодиагностики систем АТС, выявившихся за определенный период эксплуатации. При наличии перспективных бортовых

ЭМС систем, у них запрашивается хранимая в памяти информация о проявившихся нарушениях работоспособности электрооборудования под воздействием ЭМП, а также уровни помехоустойчивости и изменение их динамики.

Изделия и элементы, не содержащие в своем составе микропроцессорной техники, из-за чего невозможно провести их программную диагностику, оцениваются визуально. В этом случае их диагностика проводится в соответствии со стандартным подходом и заключается в проверке различных эксплуатационных отклонений от требуемых параметров. Примерами этому являются нагар и сильная электроэрозия свеч зажигания, коррозия в местах коммутационных контактов, ослабление болтовых соединений клемм аккумуляторной батареи, проводов заземления и т.п.).

По результатам технической диагностики, на основании полученного массива данных о состоянии электротехнических систем, производится экспертная оценка их текущего состояния и делается заключение. При соответствии требованиям, АТС допускается к дальнейшей эксплуатации. В противном случае проводятся мероприятия по устранению причин. Вся информация касательно результатов диагностической проверки записывается в бортовую ЭМС систему, а также передается в базу данных автопроизводителя.

Рассмотренный и предложенный подход при дальнейшем развитии и внедрении, позволяет обеспечить электромагнитную безопасность эксплуатируемых АТС, и позволит снизить количество дорожно-транспортных происшествий, связанных с влиянием электромагнитных воздействий. В настоящее время для начала его практической реализации существует правовой фундамент в виде действующего Федерального закона «О государственном регулировании в области обеспечения электромагнитной совместимости технических средств» [141] и технического регламента таможенного союза ТР ТС 020/2011 «Электромагнитная совместимость технических средств» [139], а

современное внедрение повсеместной цифровизации и микропроцессорной техники в отраслях экономики позволяет внедрить предлагаемый подход.

6.5 Выводы по шестой главе

Предложен комплекс концептуальных решений направленных на повышение качества автомобилей по параметрам электромагнитной совместимости на эксплуатационном этапе жизненного цикла, включающий:

- подход по модернизации архитектуры бортового электрооборудования с формированием интегрированного модуля обеспечения качества по параметрам электромагнитной совместимости, позволяющего получить адаптивность при эксплуатации автомобиля в изменяющейся электромагнитной среде, а также обеспечивает снижение статистики проблем качества по параметрам помехоустойчивости в эксплуатации. Обоснован уровень помехоустойчивости модуля, который в диапазоне частот 10 кГц – 18 ГГц составляет 243 В/м;

- модель обеспечения качества автомобилей по параметрам помехоустойчивости на основе технических инструментов построения дистанционной обратной связи «автотранспортное средство – автопроизводитель», направленная на повышение качества как единичных так и групповых объектов. Сформулировано общее условие, связывающее выходную функцию помехоустойчивости, аргументами которой являются время или пробег в эксплуатации с предельно-допустимым эксплуатационным уровнем и определяющее критерии управления. Получено выражение, позволяющие рассчитать необходимое увеличение помехоустойчивости при управлении в соответствии с моделью, с учетом параметров эксплуатации автомобилей;

- систему мониторинга электромагнитной обстановки и предупреждения конфликтов. В части технической реализации осуществление масштабного мониторинга электромагнитной обстановки проводится глобальной группировкой автомобилей, оснащенных модулями и объединенной в комплексную сетевую структуру, выполненную по топологической схеме

«активная звезда». В специализированном вычислительном центре в режиме реального времени производится обработка полученного информационного массива. По результатам обработки на электронные карты проецируется множество координатных точек, образующих области, характеризующие наступление соответствующих событий связанных с возможным нарушением качества функционирования. Рассмотренный инструментарий корректно также применять для выявления и устранения ошибок проектирования автомобилей. В процессе анализа информации из базы данных выделяется массив однотипных проблем, и по результатам доработки реализуются и закладываются в конструкцию уже выпускаемых, а также разрабатываемых моделей новые решения, повышающие качество помехоустойчивости.

- подход по обеспечению качества автомобилей по параметрам помехозащищенности на базе реализации системы планового технического обслуживания автомобилей. Показано, что реализация механизмов проведения технической диагностики на электромагнитную безопасность эксплуатируемых автомобилей должна основываться на законодательных и нормативных документах, определяющих прохождение процедуры технического осмотра, взаимодействие между автопроизводителями, аттестованными лабораториями, страховыми компаниями, аттестованными дилерскими центрами и владельцами автотранспортных средств.

Глава 7. ВОПРОСЫ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ НОРМАТИВНОЙ БАЗЫ СТАНДАРТОВ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ КАЧЕСТВА АВТОТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ ПО ПАРАМЕТРАМ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ СОВМЕСТИМОСТИ

7.1 Нормативное обеспечение требованиям ЭМС автотранспортных средств

Очевидно, что основополагающим фундаментом для обеспечения электромагнитной безопасности АТС является нормативная база (НД). Именно она является ядром, относительно которого реализуются все остальные процессы, определяющие в итоге конечный результат. Для обеспечения требованиям ЭМС АТС должны функционировать с требуемым качеством не только в типовой, но и в сложной ЭМО. В части восприимчивости они должны иметь заданный уровень помехозащищенности и помехоустойчивости, что регламентируется государственными стандартами.

В Европейском союзе (ЕС) основным документом, регламентирующим обязательное выполнения требований ЭМС является Директива 2004/108/ЕС, принятая в 2004 года. Данный документ касается гармонизации законодательств государств-членов относительно ЭМС. Согласно Директиве, любое ТС, обязано пройти тестирование в сертифицированной европейской лаборатории на подтверждение соответствия требованиям ЭМС. Кроме этого Директива регламентирует, чтобы на любую техническую продукцию, при использовании на рынке стран Европейского Союза должна наноситься маркировка CE Mark. Соответственно продукция, которая не имеет данного знака, не может быть эксплуатироваться в странах Европейского Союза.

Базовые принципы Директивы 2004/108/ЕС основываются на концепции, сформулированной в Решении Совета от 7 мая 1985, касающейся технической гармонизации и стандартизации. На базе данного документа устанавливаются основополагающие требования к конструкции и изготовлению технических

средств относительно их ЭМС, в том числе и для АТС. Эти требования прописаны в европейских стандартах, а также утверждены европейскими органами Европейского Комитета по стандартизации (CEN) и Европейского Комитета по электротехнической стандартизации (CENELEC). В полномочия CEN и CENELEC входит утверждение гармонизированных нормативных документов в тех областях, на которые распространяется Директива 2004/108/ЕС. Также в зону компетенций CEN и CENELEC входит разработка ЭМС стандартов.

В Европейском Союзе гармонизированные стандарты показывают признанное состояние техники, в том числе и АТС, относительно ЭМС. Рассмотренное в Директиве 2004/108/ЕС оборудование, подразумевает наличие в своем составе, как различные аппараты, так и стационарные установки. Соответственно, для АТС на основании этой директивы были разработаны соответствующие стандарты. В результате выполнения данной директивы в ЕС развилась современная испытательная база, осуществляющая обязательное подтверждение соответствия АТС требованиям ЭМС и в частности на помехоустойчивость.

Основополагающим документом, который определяет регулирование технических средств в области ЭМС, является Федеральный закон «О техническом регулировании», принятый Государственной Думой 15 декабря 2002 года. На его базе был разработан, имеющий статус Закона РФ, технический регламент Таможенного союза ТР ТС 020/2011 «Электромагнитная совместимость технических средств» и утверждён решением Комиссии Таможенного союза от 9 декабря 2011 года №879. Данный документ определяет на всей таможенной территории Евразийского экономического союза единые обязательные для применения и исполнения требования по обеспечению ЭМС средств.

В Российской Федерации нормативная база, касающаяся автотранспортных средств, в настоящее время базируется на зарубежной

документации. Она либо полностью повторяет исходный документ, либо охватывает основные положения с некоторой трансформацией. Но при этом зачастую в ссылочных документах в подавляющих случаях прописаны оригинальные зарубежные стандарты. Исходя из чего, можно сделать вывод об отсутствии влияния отечественных исследований на нормативную ЭМС документацию.

Основополагающим документом в области ЭМС АТС являются Правила R10 [254], разработанные Европейской экономической комиссией ООН (ЕЭК ООН). В соответствии с данным техническим регламентом проводятся сертификационные испытания, как самих АТС, так и компонентов автомобильного электрооборудования. В них определены общие положения и порядок:

- подачи заявки на официальное утверждение;
- процедуры официального утверждения;
- маркировка;
- технические требования;
- изменения или распространения официального утверждения типа АТС после добавления или замены электрического компонента;
- соответствие производства;
- прекращение производства;
- методы испытаний.

Причем конкретный метод испытаний взят со ссылкой на другой международный стандарт. Касаясь восприимчивости данными базовыми стандартами являются: ISO 7637-2, ISO 10605, IEC 61000-4-2, IEC 61000-4-3, ISO 11451-1, ISO 11451-2, ISO 11451-3, ISO 11451-4, ISO 11452-1, ISO 11452-2, ISO 11452-3, ISO 11452-4, ISO 11452-8, ISO 11452-9, CISPR 16-1-2, CISPR 16-2-1 и ISO 16750-2.

Часть из этих стандартов прописывает параметры электромагнитных воздействий: диапазон частот, длительность и модуляцию воздействий, шаг перестройки по частоте, подстройку параметров поля под заданное

калибровочное значение послужит переходу на другую частоту воздействия. Другая часть НД определяет процедуры калибровки ЭМП и проверки неравномерности поля в испытательной зоне, а также диапазон линейности усилителей мощности и их коэффициент гармонических составляющих. Следующая часть стандартов определяет методы испытаний. В них регламентируется общая ориентация полеобразующей системы по отношению к подстилающей поверхности, позиционирование АТС по отношению к полеобразующей системе в процессе тестирования, и в частности расстояние АТС до излучающей антенны и его азимутальное позиционирование. В настоящее время в отраслевой НД используется только три положения: фронтальное боковое и заднее. Четвертая часть стандартов определяет требования к различным испытательным конфигурациям, формам полеобразующих систем, а также самих испытательных площадок.

В тоже время из выше перечисленной НД только в Правилах R10 прописан уровень помехоустойчивости – 30 В/м. Режим работы определяют Правила R10 (движение АТС во время испытаний со скоростью 50 км/ч), и Правила 116 [255] – пуск двигателя АТС под электромагнитным воздействием.

Классификация функционального состояния рассмотрена в ISO 16750-1, где приведены соответствующие классы: А, В, С, D, Е и дано их описание. При испытаниях нескольких образцов применяются критерии оценки соответствия по ГОСТ Р 51320-99, где изложены два метода: на основе нецентрального t -и биномиального распределений.

Также, Правила R10 определяют соответствие ЭМС требованиям АТС серийного производства. Согласно этому периодически, раз в год должен осуществляться контроль соответствия сертификационным требованиям. Также сертификационный орган в праве провести проверки находящихся в эксплуатации АТС ресурс которых находится в пределах гарантийного срока. Понятно, что это призвано осуществлять контроль достаточности заложенных ЭМС решений. На практике в России это не реализуется, а контроль

действующего производства осуществляется только на АО «АВТОВАЗ». Анализ зарубежного опыта показывает, что автопроизводители и сертификационные органы имеют определенные договоренности, касаемые периодических и эксплуатационных испытаний. Как правило, оговаривается как минимум двукратный запас помехоустойчивости. Если подтверждается соответствует данным требованиям, то считается, что АТС в течении всего гарантийного периода эксплуатации будет соответствовать международным требованиям.

Касаемо нормативной документации правил проектирования, то в отрасли автотранспортных средств, стандартов, регламентирующих определённые требования, не существует. В других областях разработаны документы, регламентирующие правила проектирования, содержащие требования к конструкции и программному обеспечению. Как примеры, можно привести отечественный комплекс государственных военных стандартов «Мороз-6» [35] и стандарты MIL-STD [223 – 228, 230, 231]. За рубежом ведущие автопроизводители на основе собственного опыта и знаний формируют внутренние документы, содержащие конкретные требования по схемотехнике, компонентной базе, топологии, конструкции и, в частности, к экранировке, к компоновке различных узлов, а также программным и алгоритмическим решениям. В качестве примера, можно привести документ альянса Рено-Ниссан АЕК-А-20224. Регламентированные в нем требования обязательны для выполнения поставщиками данных автопроизводителей. Данный документ периодически, по мере накопления очередного опыта, который берется не только по результатам испытаний, но и из эксплуатации АТС, обновляется и рассылается номинированным поставщикам электрооборудования.

Анализ показывает отсутствие развитой нормативной базы, регламентирующей обеспечение требованиям ЭМС в течение срока эксплуатации АТС. Полностью отсутствует требования периодического технического осмотра автомобилей. Это обуславливает соответствующие риски

обеспечения электромагнитной безопасности автотранспортных средств, которые возрастают пропорционально с увеличением количества эксплуатируемых АТС. Как видно, как в зарубежной, так и в российской НД, определяющей область ЭМС, достаточно путей развития и совершенствования каждого конкретного направления жизненного цикла АТС.

7.2 Направления совершенствования стандартов с точки зрения обеспечения количественных показателей качества по параметрам помехоустойчивости

Структура НД имеет ярко выраженный иерархический порядок. В вершине стоят документы, формирующие общую законодательную базу, обязывающую реализовывать соответствующую деятельность. Это могут быть государственные законы или межгосударственные соглашения (рисунок 7.1). Следующий нижний уровень нормативной документации, включающий подзаконные акты, указы, распоряжения и технические регламенты, определяет более конкретные задачи, относящиеся к решению конкретных вопросов в соответствующих ведомствах. На третьем уровне начинается работа технических комитетов, которые, основываясь на советующей регламентирующей их деятельности законодательной базе, формируют соответствующую техническую НД. На данном этапе создаются новые или дополняются существующие технические стандарты, или выпускаются к ним пояснения по формулировкам и уточнения. В настоящее время, для обеспечения мировой стандартизации, за базу, как правило, берутся международные стандарты, которые либо принимаются в полном объеме, или перерабатываются с учетом определенных законодательных особенностей. В случае отсутствия международной практики ведущих стран создается национальная нормативная документация, базирующаяся на собственном опыте.

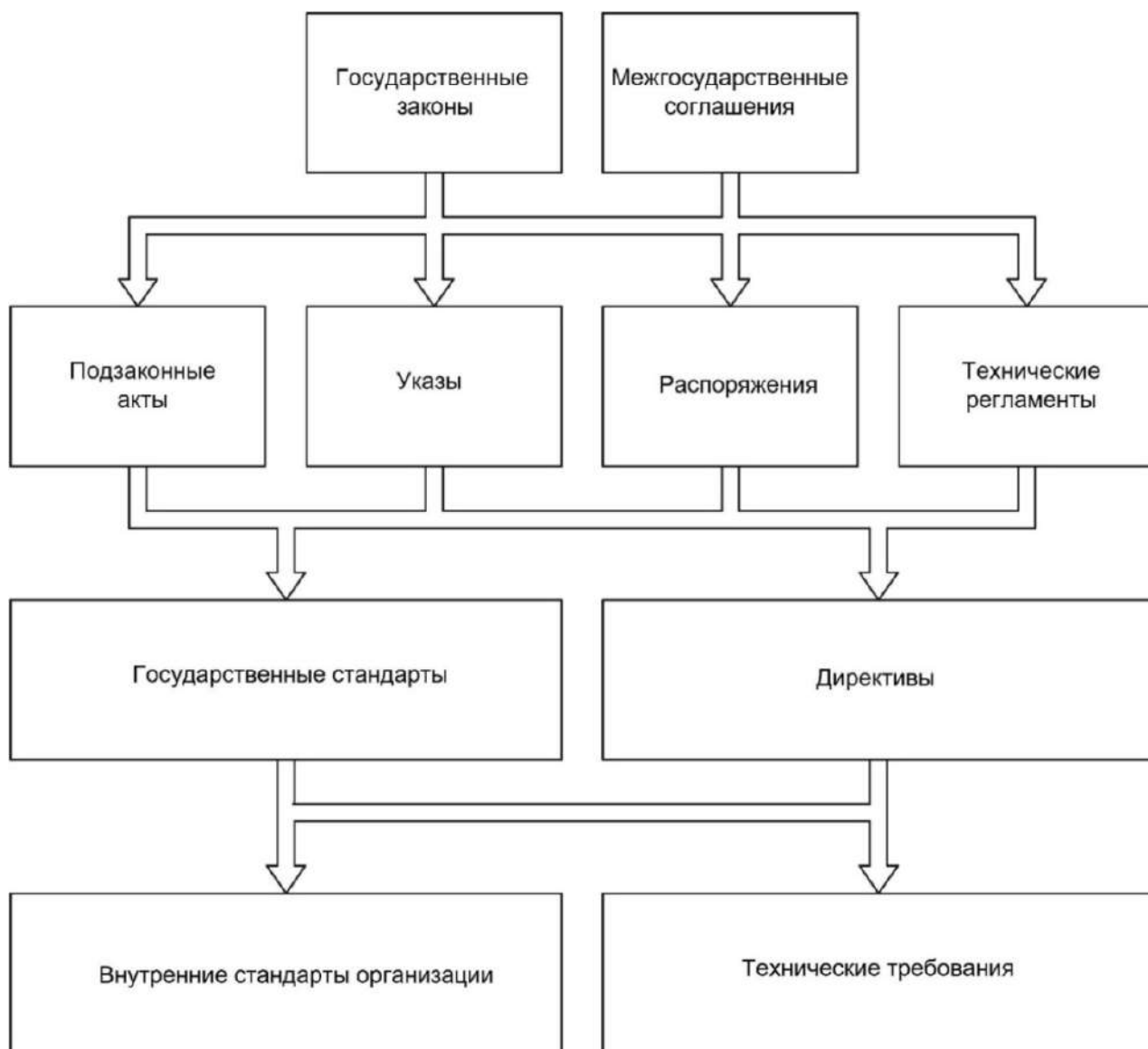


Рисунок 7.1 – Обобщённая иерархия нормативной документации

При наработке определенных знаний в рамках научных исследований, профильные национальные технические комитеты выходят со своими предложениями на соответствующие международные комиссии, где рассматриваются вопросы внесения поправок.

Низший уровень иерархии НД в обязательном порядке базируется на регламентирующих технических стандартах, но допускает формирование расширенных требований, учитывающих определённую специфику выпускаемой продукции. Сюда относятся стандарты организаций и технические требования на продукцию. Касательно направления ЭМС

автотранспортных средств, анализируя практику ведущих мировых и отечественных производителей, данный уровень НД является наиболее расширенным и определяет более высокий запас по требованиям.

Рассматривая НД в контексте системы управления качеством параметров ЭМС, то очевидно, что она является тем самым базовым звеном, определяющим выходные показатели на всех этапах жизненного цикла АТС. В обобщающем виде комплексный процесс управления можно представить в виде схемы, показанной на рисунке 7.2.

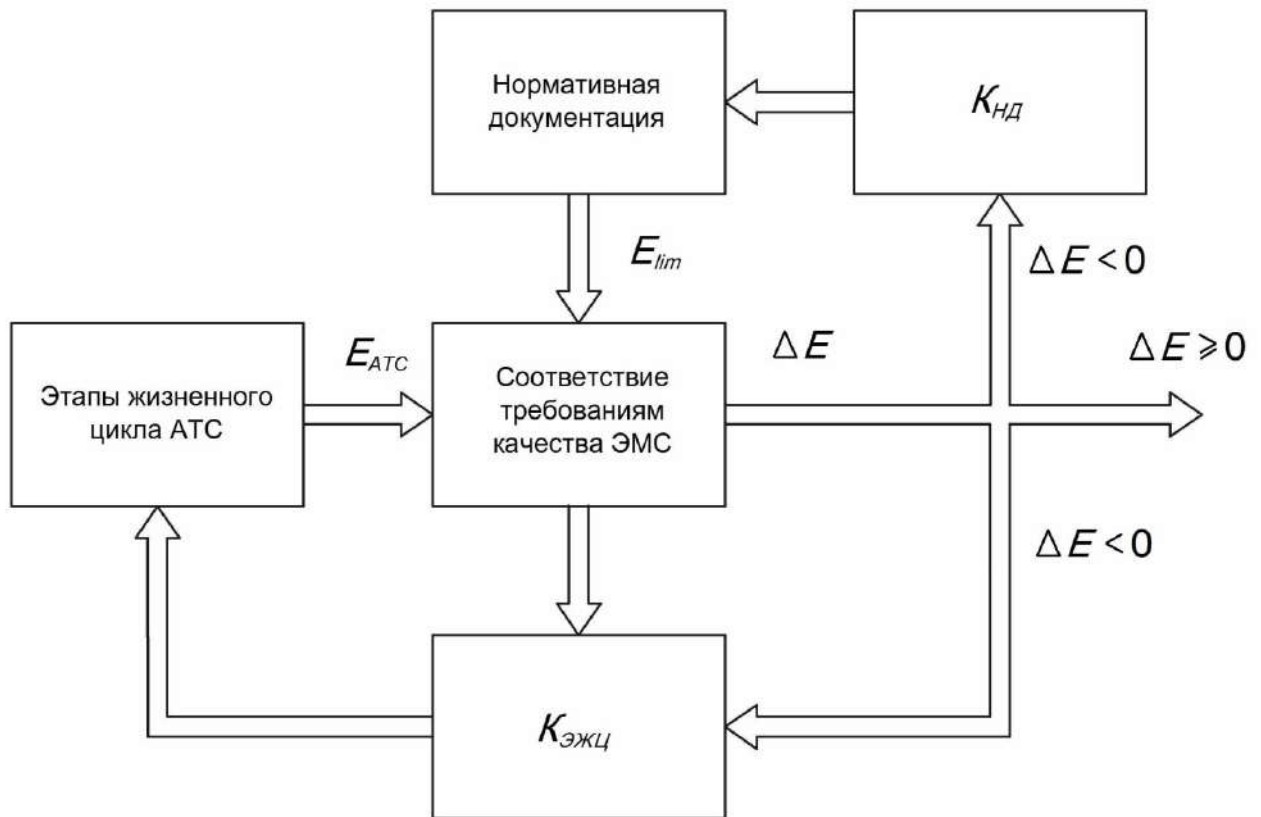


Рисунок 7.2 – Комплексный процесс управления качеством параметров ЭМС на базе нормативной документации

На каждом этапе жизненного цикла АТС, нормативная документация предъявляет соответствующие требования, в общем случае определяет соответствие некоторому предельному уровню E_{lim} . При этом АТС имеет соответствующие некие параметры помехоустойчивости $E_{АТС}$. Их разница на конкретном этапе жизненного цикла является изменением показателя качества

$$\Delta E = E_{АТС} - E_{lim}. \quad (7.1)$$

Если $\Delta E \geq 0$, то АТС соответствует текущим требованиям, если $\Delta E < 0$, то АТС не удовлетворяет действующим стандартам, или появились новые условия, которые не определены в НД и соответственно для конкретного случая E_{lim} не определен достаточно корректно.

По условию $\Delta E < 0$ начинается производство управление качеством по цепи обратной связи и производится коррекция E_{lim} и E_{ATC} , которую в обобщенном виде можно представить в виде выражений

$$\Delta E_{ATC} = |\Delta E| \times K_{ЭЖЦ}, \quad (7.2)$$

где $K_{ЭЖЦ}$ – коэффициент передачи конкретного этапа жизненного цикла.

$$\Delta E_{lim} = |\Delta E| \times K_{НД}, \quad (7.3)$$

$K_{НД}$ – коэффициент передачи конкретной нормативной документации соответствующего этапа жизненного цикла.

На практике это осуществляется доработкой АТС и совершенствованием требований НД.

Исходя из рассмотренного видно, что выходные показатели помехоустойчивости являются функцией от требований, заложенных в нормативной документации.

Коэффициенты передачи являются многофакторными функциями:

$$K_{НД} = \varphi(x_1, x_2, x_3, \dots, x_{i-1}, x_i, x_{i+1}, \dots, x_N), \quad (7.4)$$

$$K_{ЭЖЦ} = \varphi(y_1, y_2, y_3, \dots, y_{j-1}, y_j, y_{j+1}, \dots, y_K), \quad (7.5)$$

где x_i и y_j – соответствующие составляющие, определяющие требования к различным параметрам помехоустойчивости и помехозащищенности.

После введения коррекции во второй итерации выражение (7.1) запишется в виде

$$\Delta E = E_{ATC} + \Delta E_{ATC} - (E_{lim} + \Delta E_{lim}) \geq 0. \quad (7.6)$$

Заменим в (7.2) и (7.3) ΔE на ΔE_1 , что означает выходное значение помехоустойчивости первой итерации.

Подставим, с учетом введенной замены, (7.2) и (7.3) в (7.6). Тогда

$$\Delta E = E_{ATC} + |\Delta E_1| \times K_{ЭЖЦ} - E_{lim} - |\Delta E_1| \times K_{НД}, \quad (7.7)$$

или

$$\Delta E = \Delta E_1 + |\Delta E_1| (K_{ЭЖЦ} - K_{НД}). \quad (7.8)$$

Так как во второй итерации достигается условие $\Delta E \geq 0$, то

$$\Delta E_1 + |\Delta E_1| \times (K_{ЭЖЦ} - K_{НД}) \geq 0. \quad (7.9)$$

По условию $\Delta E_1 < 0$, поэтому

$$(-1) \times |\Delta E_1| + |\Delta E_1| \times (K_{ЭЖЦ} - K_{НД}) \geq 0. \quad (7.10)$$

Преобразовав (7.10), получим

$$K_{ЭЖЦ} \geq 1 + K_{НД}. \quad (7.11)$$

Из (7.11), с учетом (7.4) и (7.5), вытекает принципиальный вывод – любое изменение x_i в нормативной документации в сторону ужесточения требований помехоустойчивости, линейно влияет на соответствующие параметры u_j конструкции АТС, касательно обеспечения параметров ЭМС.

Рассмотрим следующую, более конкретизированную структуру – взаимосвязь НД с этапами жизненного цикла АТС (рисунок 7.3).



Рисунок 7.3 – Структурная схема взаимосвязи нормативной документации с этапами жизненного цикла АТС

В обобщенном виде выделяются четыре этапа жизненного цикла АТС: научно-исследовательские работы (НИР), разработка, производство и эксплуатация. Причем подразумевается, что внедрение какой-либо новой бортовой системы определяет создание нового автомобиля или его модификации с соответствующими функциями.

На этапе НИР формируется концепция, закладывается необходимый функционал, рассчитываются и определяются основные характеристики, создается ходовой макет для отработки и подтверждается принципиальная реализуемость проекта. Параллельно с этим производится оценка параметров ЭМС. Анализируется влияние новых свойств и функционала АТС на безопасность. Соответственно, изначально производится оценка ЭМС в соответствии с действующими требованиями. В случае их недостаточности, очевидно, что при соответствии АТС текущим требованиям существуют риски возникновения проблем в эксплуатации. Поэтому уже на этом этапе формируются дополнения к действующей НД или разрабатывается новая нормативная база.

Этап «НИР» является основополагающим в части формирования НД на базе новых проектов. От того насколько полно будет все учтено зависит дальнейшее качество АТС. В общем, на этом этапе должны быть проработаны все аспекты, касающиеся влияния на параметры ЭМС: параметры воздействующих сигналов, режимы работы бортовых систем, испытательные конфигурации, критерии оценки, а также правила ЭМС проектирования. Последние, наряду с прочими являются не менее важными, учитывая то, что в части ЭМС АТС нормативной документации на уровне государственных стандартов не существует. Тем не менее, правила ЭМС проектирования достаточно значимы. В данную НД должны входить требования к конструкции, схемотехнике и алгоритмам.

Наглядным примером можно привести беспилотные транспортные средства на базе искусственного интеллекта (ИИ). Здесь принятия решений осуществляется сугубо программой, которая хоть в процессе работы и адаптируется под различные условия эксплуатации, но при этом имеет в своем тексте заложенные неучтенные ошибки [7]. Как поведет себя система, если в момент времени воздействия ЭМП будет характеризоваться, для реализуемой ИИ функцией, точкой разрыва первого или второго рода? Поэтому в условиях высокой неопределённости принятия решения, беспилотный АТС является источником повышенной опасности. Соответственно на уровне государственных стандартов должны сформироваться документы, регламентирующие помехозащищённую конструкцию и алгоритмы.

Из рассмотренного видно, что этап НИР в равной степени завязан в каналы управления новой и действующей нормативной документацией.

На этапе разработки АТС, по сравнению с НИР, появляется возможность работы с большим числом объектов. При этом создание образцов базируется на применении действующей НД. Поэтому, на основании появившейся некоторой статистике, осуществляется выход на комитеты стандартизации по корректировке и дополнению действующей НД по направлениям параметров воздействующих сигналов, режимов работы бортовых систем, испытательных конфигураций и критериев оценки. Если автопроизводитель имеет в своем составе ЭМС центр, то он имеет возможность совмещать этапы НИР и разработки. В большинстве случаев первый плавно переходит во второй или они в определенных случаях они идут одновременно. В этом случае автопроизводитель не зависимо от международных и государственных стандартов, может вводить свои внутренние стандарты организаций и технические требования на продукцию, где определяет оригинальные более расширенные требования, в том числе и правила проектирования, обязывая своих поставщиков выполнять их.

На этапе «Производство» в основном осуществляется работа с серийной

партией продукции. Производится ее оценка на соответствие базовым сертификационным критериям. В этом случае управление нормативной документацией осуществляется по критериям оценки.

Этапы «Разработка» и «Производство» касательно взаимосвязи с НД рассмотрены в обобщённом виде. Существуют еще различные модификации. Связанные с переработкой конкретных блоков либо по обратной связи с эксплуатации, либо в связи с применением новой компонентной базы более дешевой или производительной. В этом случае, в зависимости от объема изменений, принимается решение касательно применения действующей или новой НД.

Этап эксплуатации более детально раскрывается на рисунке 7.4. Практическая реализация его модели позволит обеспечить принципиально новый уровень качества АТС по параметрам ЭМС. Потому что данный этап является последним в общей цепи системы управления качеством и охватывает многовариантность реализаций взаимодействия АТС с ЭМО в течении длительного времени.

Уже изначально встает вопрос о создании НД по формированию инфраструктуры, реализующей внешнюю базу данных, содержащую информацию о зафиксированных ЭМС проблемах и каким образом предоставлять к ней доступ соответствующих заинтересованных подразделений. Очевидно, что это возможно реализовать только на государственном уровне, на основании исследований и предложений соответствующих организаций, выраженных в виде подготовленных законопроектов, распоряжений и стандартов.

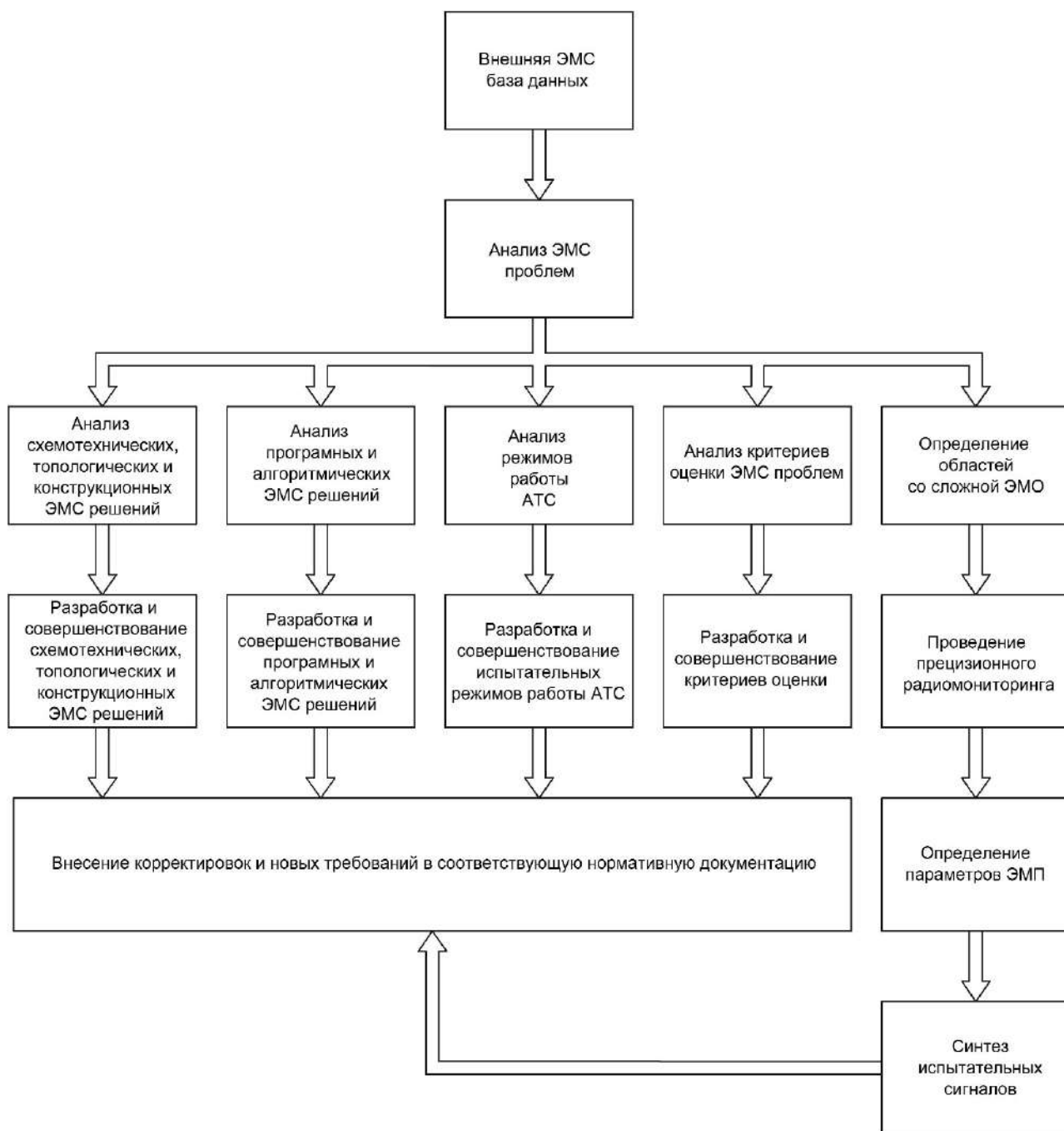


Рисунок 7.4 – Графическая интерпретация связей и влияния этапа «Жизненный цикл АТС» на формирование нормативной документации

При техническом решении создания соответствующей инфраструктуры, ЭМС конструкторские службы будут иметь возможность анализировать, до этого недоступный массив ЭМС проблем. Поэтому этап «Жизненный цикл» является важным с точки зрения получения обратной связи по качеству и надежности обеспечения параметров ЭМС. По аналогии этот этап сопоставим с этапом «НИР», только с более большим объемом исследуемых данных.

В процессе анализа возможно будет произвести систематизацию по наиболее проблемным системам и выявить уязвимые каналы. Соответственно на основании полученной информации произвести корректировку нормативной документации в части правил проектирования схмотехники, конструкций программ и применяемых алгоритмов.

Анализ режимов работы АТС позволит в перспективе выделить характерные проблемные режимы, как минимум для систем безопасности, с внесением их в регламент обязательной сертификацией.

Ожидается, что исследование массива эксплуатационных ЭМС проблем даст новые или как минимум уточнение существующих критериев оценки. Уже на данном этапе имеется достаточное количество случаев, не попадающих под стандартную классификацию в соответствии с ISO 16750-1 [207]. Наибольшее количество примеров связано с применением в схмотехнике КМОП технологий. Эффекты обусловлены установкой, под воздействием высокоэнергичного ЭМП, неизменяемого состояния полупроводникового элемента в течении длительного времени (от нескольких часов, до недели). Вследствие чего пока не произойдет рассасывание заряда бортовая система, даже после сброса питания, не будет должным образом функционировать.

Этап «Эксплуатация» должен развиваться с учетом расширения нормативной базы по применяемым испытательным воздействиям, приближенным к реальной ЭМО. Во внешнюю ЭМС базу данных появившаяся ЭМС проблема поступает с соответствующей геопозицией. В процессе обработки накопленного массива, выделяются области с наиболее сложной ЭМО, характеризующиеся наибольшей частотностью проблем. После чего производится радиомониторинг данных областей, где определяются, с учётом статистических распределений, параметры электромагнитных воздействий в частотных и временных областях. Затем производится синтез сигналов помех. По проведенным исследованиям в части подтверждения корректного синтеза тестовых воздействий, в рамках которых должны проявиться аналогичные, как

на этапе «Эксплуатация» ЭМС проблемы, параметры электромагнитных воздействий вводятся в регламентирующую проведение испытания нормативную документацию.

Не менее важным вопросом является разработка нормативной документации в части законодательно обязательного прохождения ЭМС технического обслуживания на СТО, а также создания методологии диагностики и решения вопросов ЭМС у АТС, находящихся в эксплуатации. Эти задачи, должны быть научно проработаны и обоснованы в рамках государственного заказа по обеспечению электромагнитной безопасности АТС.

7.3 Рекомендации по созданию новой и корректировке существующей базы стандартов в области обеспечения качества автомобилей по параметрам электромагнитной совместимости

С учётом развития перспективных направлений, где бортовые системы берут частично или полностью управление вместо водителя на себя необходимо глубоко модернизировать имеющуюся НД. Развитие беспилотного транспорта уже приобрело масштабы не только ездовых прототипов, но и мелких серий, выводит предмет обсуждения обеспечения электромагнитной безопасности АТС на новый уровень. Применение элементов систем искусственного интеллекта для решения задач управления уже само подразумевает внедрения, законодательно утвержденных новых подходов обеспечения требованиям ЭМС.

В рамках работы, учитывая вышеописанные проблемы стандартизации, были рассмотрены и решены вопросы, позволяющие, в том числе усовершенствовать или стать базой для создания соответствующей нормативной документации. Изложенные в диссертации решения задач помехоустойчивости для всех этапов жизненного цикла АТС являются основополагающими и служат основой дальнейшего развития направления стандартизации.

Важным базовым элементом, касающимся успешной реализации этапа НИР, должны выступать соответствующие законодательные документы, регламентирующие обязательное сотрудничество предприятий автомобильной отрасли и профильных научно-исследовательских институтов. Опуская вопросы финансовых взаимоотношений и льготное налогообложение, их взаимодействие подразумевает под собой комплексное партнерство, основанное на объединении интеллектуально-производственных ресурсов. Такая система позволит организовать платформу, где будут отрабатываться перспективные прорывные жизнеспособные идеи и наукоемкие решения с направленным вектором внедрения в производство. Важным аспектом данного взаимодействия будет обеспечение высокого качества выпускаемой продукции.

В рамках этапа жизненного цикла «Разработка» создание нормативной базы, регламентирующей правила проектирования, по аналогии государственным военным стандартам «Мороз-6» и стандартам MIL-STD, должна включать в себя схемотехнические, топологические, информационные и конструкционные направления. Каждое направление должно регламентировать обязательное применение обобщающих типовых решений с приведением в приложениях ссылок на соответствующую документацию или методик расчетов для реализации разработчиками защиты от помех под конкретный случай. В параграфе 2.5 были кратко рассмотрены известные методы, применяемые для обеспечения помехоустойчивости АТС, которые и должны быть положены в основу предлагаемых принципиально новых стандартов по правилам проектирования по обеспечению ЭМС.

По итогам проделанной работы предложены прогрессивные подходы повышения помехоустойчивости и помехозащищенности АТС, расширяющие базу знаний в части информационного, топологического и конструкционного направлений. Предлагаемые методы в нормативной документации должны стать фундаментальными положениями при проектировании беспилотных АТС и АТС для выполнения специальных задач в сложной ЭМО.

Программный метод игнорирования электромагнитных помех строго вписывается в информационное направление, т.к. для его реализации не требуется применение каких либо дополнительных аппаратных средств. Функционал в данном случае определяется только вычислительными ресурсами системы. Метод активной помехозащиты следует рассматривать несколько в ином контексте. Для его реализации требуется, по меньшей мере, применение датчиковой аппаратуры, регистрирующей электромагнитное воздействие и измеряющей его параметры. Здесь происходит взаимосвязанное объединение информационного и конструкционного направлений.

Охватывая шире, рассматриваемую тематику стандартизации, особое внимание следует уделить ЭМС модулю, который в соответствии с предложенной концепцией, выполняет функции измерения, получения, обработки, хранения, обмена и отображения информации, а также управления. Исходя из рассмотренного его спектра назначения, нормативная документация должна охватывать множество аспектов, затрагивающих общий порядок функционирования, методы соответствующих испытаний, протокольный обмен данными и взаимодействие с внешними серверами. Опыт в отечественной практике в формировании подобного объемного свода стандартов уже существует. Наглядным примером этому является НД для уже применяемой системы ЭРА ГЛОНАСС, в части которых разработано тринадцать стандартов.

Из рассмотренного видно, что нормативная база, регламентирующая правила проектирования АТС должна представлять если не один документ, то как минимум, быть единым комплексом стандартов, имеющих между собой перекрестные ссылки. В этом случае на выходе будет достигаться максимальная реализация защиты от электромагнитных воздействий.

Значимыми разделами предлагаемых регламентирующих ЭМС правил проектирования являются резервирование бортовых электротехнических систем их компоновка и комплексное экранирование кузова АТС. Результаты диссертационной работы охватывают фундаментальные ЭМС основы данных

направлений. Касательно резервирования и компоновки, в НД должны быть прописаны все системы, определяющие безопасность АТС. Рекомендованы типовые варианты структурного и функционального резервирования, оптимальный выбор избыточных элементов и топологию их расположения в кузове АТС.

В части экранирования кузова требования следует акцентировать на:

- ориентации щелей и отверстий по отношению к наиболее вероятным направлениям электромагнитного воздействия;
- базовом расчете размеров щелей и отверстий, исходя из рабочего диапазона частот АТС;
- типовых вариантов подвижных металлических конструкций и их состава для реализации заградительных волноводов с целью недопущения окисления и потери контактов между поверхностями;
- способах металлизации оконных стекол.

Касаемо корректировки существующих международных стандартов, в работе исследованы и рассмотрены вопросы, охватывающие область испытаний для этапов жизненного цикла «Разработка» и «Производство». Разработаны рекомендации к применению в нормативной документации позволяющие улучшить качество проводимых испытаний, что на выходе будет давать более надежный продукт. Их статусы могут быть установлены как основные или альтернативные, дополняющие и расширяющие существующие методы.

В диссертации доказано, что АТС является сложной антенной, соответственно, исходя из данного положения, предложен оптимальный угол позиционирования АТС, составляющий 15^0 , а также оптимальная угловая скорость поворота платформы, равная 5 град/с. При внедрении этих научно-обоснованных величин в стандартах, они должны быть рекомендованы к применению в испытаниях пространственной оценки помехоустойчивости АТС.

Рекомендован шаг перестройки по частоте электромагнитного воздействия, позволяющий гарантировано исключить пропуски частотных диапазонов с низкой помехоустойчивостью бортовых электротехнических систем.

В части совершенствования испытательных конфигураций доказано и предложено к внедрению в стандарты обязательное условие снижения отражения электромагнитной волны между излучающей антенной и АТС при испытаниях на импульсное воздействие, реализуемое применением радиопоглощающих материалов.

Рассмотренные вопросы мощностных показателей электромагнитной поражаемости АТС должны быть отражены в стандартах как дополнительный энергетический критерий оценки помехоустойчивости. В итоге по результатам испытаний можно будет соотносить уровни восприимчивости с типовыми характеристиками эксплуатируемых излучателей различного назначения, и прогнозировать возможные риски нарушения работоспособности на этапе жизненного цикла «Эксплуатация».

Необходимо в НД ввести раздел, где в обобщенном виде регламентируется, в рамках масштабной проверки функционирования, проводить испытания бортового электрооборудования на установившихся и динамических режимах или выбирать, в соответствии с техническим описанием, а также режим максимальной нагрузки.

Предложен к внедрению альтернативный критерий оценки соответствия АТС, на базе вероятностной модели, позволяющий по отношению к существующим, более экспертно подходить к анализу помехоустойчивости и обеспечения требованиям ЭМС больших партий АТС однотипных моделей и комплектаций. В рамках диссертационной работы обоснован выбор значений предельно-допустимого уровня показателя качества, который для АТС различного назначения лежит в диапазоне от 0,8 до 0,98.

Достаточно большой объем создания нормативной документации

требуется в части обеспечения требованиям ЭМС транспортных средств на этапе жизненного цикла «Эксплуатация». В этой части полностью отсутствуют какие-либо специализированные регламентирующие документы. Чтобы урегулировать вопросы электромагнитной безопасности в правовом поле, необходимо разработать и внедрить как специализированную законодательную базу, так и соответствующую стандарты. Во-первых, как было показано в пятой главе, необходимо реализовать обязательное прохождение технического осмотра АТС на предмет контроля текущей помехоустойчивости. Для этого нужны соответствующие законы, на основе которых будут разработаны стандарты, упорядочивающие конкретные процедуры аттестации станций технического обслуживания, касающиеся норм обучения персонала, методик проверки, диагностического оборудования, самой процедуры технического осмотра и выдачи окончательного заключения.

Дальнейшее обязательное параллельное направление этапа «Эксплуатация» является формирование нормативной базы взаимодействия СТО со страховыми компаниями, автопроизводителями и ЭМС лабораториями, регламентирующей обмен соответствующими данными, позволяющими СТО получать необходимую информацию о проходящем техосмотр АТС, а с другой стороны передавать полученную информацию для наполнения базы знаний производителям для дальнейшего ее анализа и применения в последующих разработках или текущих модернизациях.

Комплексный подход совершенствования нормативной документации, охватывающий все этапы жизненного цикла, позволяет создать правовой фундамент для обеспечения электромагнитной безопасности АТС.

7.4 Выводы по седьмой главе

Предложен комплексный инструментарий направленный на совершенствование нормативной базы стандартов устанавливающих требования в области качества автомобилей по параметрам электромагнитной

совместимости. Предложен подход по которому, выходные показатели помехоустойчивости автомобилей являются функцией от требований, заложенных в нормативной документации, а для их обеспечения, требуется адекватный инструментарий управления на всех этапах жизненного цикла автомобилей. При этом выявлено полное отсутствие нормативных документов определяющих международные и национальные регламенты обеспечения требований по электромагнитной совместимости в эксплуатационный период жизненного цикла автомобилей. Также выявлено, что любое изменение требований к параметрам помехоустойчивости и помехозащищенности в сторону ужесточения, линейно влияет на соответствующие параметры всей конструкции автомобилей. Доказано, что практическая реализация модели управления качеством автомобилей по параметрам электромагнитной совместимости позволит обеспечить высокий уровень электромагнитной безопасности. Даны конкретные рекомендации, направленные на совершенствование нормативной базы стандартов обеспечения качества в области электромагнитной совместимости автомобилей на этапах жизненного цикла.

Показано, что развитие нормативной базы является важным для обеспечения электромагнитной безопасности АТС и особенно перспективных направлений, таких как беспилотные транспортные средства. Проанализированы существующие международные и национальные регламентирующие документы, и сделан вывод о необходимости постоянного совершенствования действующих и разработке новых стандартов по всем направлениям жизненного цикла АТС. Выявлено отсутствие зарубежной и российской нормативных баз, регламентирующих обеспечение требованиям ЭМС в течение срока эксплуатации АТС. Рассмотрена структура нормативной документации и показан ее иерархический характер, в вершине которой стоят государственные законы или межгосударственные соглашения, формирующие узаконивающие основы, для создания обязательных государственных

стандартов и отраслевых требований. Произведено исследование нормативной документации в контексте системы управления качеством параметров ЭМС. На основании анализа нормативной документации в контексте системы управления качеством, сделан принципиальный вывод о том, что любое изменение, определяющее требования к различным параметрам помехоустойчивости и помехозащищенности в сторону ужесточения требований, линейно влияет на соответствующие параметры конструкции АТС, касательно обеспечения параметров ЭМС. Рассмотрена взаимосвязь нормативной документации с этапами жизненного цикла АТС и показана детальная взаимосвязь конкретного этапа на соответствующие разделы нормативной документации. Особо важным как наиболее емким по получаемой ЭМС информации по цепи обратной связи, является этап «Эксплуатация». Доказано, что практическая реализация его модели позволит обеспечить принципиально новый уровень качества АТС в части обеспечения электромагнитной безопасности.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате работы над диссертацией решена важная отраслевая проблема в области управления конкурентоспособностью и качеством в машиностроении. Интегральный результат работы заключается в обеспечении развития конкурентоспособности продукции на основе разработки и реализации методологии управления качеством автомобилей по параметрам электромагнитной совместимости, охватывающей все основные этапы жизненного цикла продукции от проектирования до эксплуатации, учитывающей тренды научно-технического прогресса в области развития конструкций автотранспортных средств (современные автомобили классической конструкции с двигателем внутреннего сгорания, электромобили, автомобили с комбинированной энергоустановкой, беспилотные автотранспортные комплексы). В работе предложен комплекс научно-технических решений направленных на повышение качества продукции машиностроения (автомобилестроения).

По итогам работы сделаны следующие выводы.

1. Текущее содержание научно-прикладного методологического обеспечения процессов системы менеджмента качества машиностроительных (автосборочных) предприятий, с точки зрения его полноты и достаточности, актуализирует проблему улучшения качества автомобилей по параметрам электромагнитной совместимости. Исходя из анализа, применяемого в настоящее время инструментария контроля качества автомобилей и достигнутого уровня научно-технического прогресса, просматриваются возможности по совершенствованию и развитию комплексных инструментов управления качеством, направленных на устранение недостатков традиционных конструкций и новых типов автотранспортных средств: отсутствие твердой концептуальной позиции определяющей развитие вопросов качества с учетом усложнения внешних факторов эксплуатации и конструкции автомобилей; фрагментарность применяемых инструментов управления, реализация

инструментария только на отдельных этапах проектирования и производства, а также практически полное отсутствие охвата инструментами управления качеством эксплуатационного этапа жизненного цикла; несовершенство применяемых организационно-технических методов и подходов при проведении испытательного процесса по оценке качества продукции; недостаточность базы количественных критериев оценки качества автомобилей и инструментов их реализации. Наличие выделенных проблем предопределяет необходимость создания, встраивания в систему существующих инструментов управления и реализации научно-технической методологии управления качеством автомобилей на этапах жизненного цикла по параметрам электромагнитной совместимости направленной на преодоление выделенных проблем.

С учетом сказанного, предложена концепция методологии управления качеством автомобилей по параметрам электромагнитной совместимости, сформированная на основе перекрестного анализа стандартов (ISO 9001:2015, IATF 16949:2016, и т.д.), современных методологий управления качеством (APQP, PPAP, FMEA, SPC, MSA, Control Plan, QFD, QRQC и т.д.) и требований ведущих автопроизводителей (ANPQP, VDA MLA и т.д.).

2. Предложен модернизированный инструментарий организации методов испытаний, в процессах проектирования и производства продукции, с развитием количественных показателей экспериментальной оценки качества автомобилей, включающий:

- технические решения по дискретному угловому позиционированию, изменению азимутальной направленности автомобиля по отношению к источнику помех, импульсному электромагнитному воздействию на автомобиль во время экспериментов. Предложен метод испытаний автомобилей на оценку качества по параметрам помехоустойчивости в диапазоне азимутальных углов его позиционирования от 0 до 360 град по отношению к излучающей антенне. Найден рациональный угол при дискретном

позиционировании автомобиля, равный 15^0 . Для непрерывного позиционирования предлагается угловая скорость равная 5 град/с. Разработан инструментарий определения минимального уровня качества по параметрам помехоустойчивости, реализация которого позволила повысить точность и достоверность результатов испытаний на оценку качества по параметрам электромагнитной совместимости автомобилей как минимум на 30 %. Предложен метод анализа нарушений качества функционирования бортовых автомобилей для обеспечения помехозащищенности. В его основе, для поиска уязвимого узла проводится испытания тремя типами сигналов: немодулированным гармоническим, амплитудно-модулированным и импульсно-модулированным, а затем сравнивается реакция на них бортового электрооборудования. По характеру воздействия производится анализ и локализуется наименее помехоустойчивая система и осуществляется ее дополнительная защита от помех. Предложено внести поправку в международный стандарт ISO 11451-2, в части применения радиопоглощающих материалов на полу, для исключения некорректной интерпретации результатов испытаний автомобилей на восприимчивость к электромагнитному воздействию на частотах свыше 2 ГГц. Выявлены две главных группы факторов, определяющих разброс уровней помехоустойчивости автомобилей – нестабильность параметров испытательного теста и разброс конструкторско-технологических параметров автомобилей. На основании проведенных экспериментов установлено, что у автомобилей одной модели и одинаковой комплектации разброс уровней помехоустойчивости может достигать 30%. Распределение минимальных уровней показателя качества по параметрам помехоустойчивости партии автомобилей одной модели и комплектации подчиняется нормальному закону распределения.

- математическую модель оценки качества автотранспортных средств по параметрам помехоустойчивости, направленную на совершенствование методов оценки качества новых конструкций автомобилей при испытаниях в

процессе проектирования и производства. Выбраны и обоснованы значения предельно-допустимого уровня показателя качества. Для автомобилей гражданского назначения они лежат в диапазоне $P_{np}=0,8 - 0,9$, а для автомобилей специального назначения $P_{np}=0,95...0,98$. С применением предложенного инструментария, найдены уровни и области частот электромагнитного воздействия, при котором происходила нарушение качества функционирования автомобилей. Экспериментальные исследования выявили проблемы качества в диапазоне 85 – 1400 МГц. Наибольшая вероятность проявления проблем принадлежит области 90 - 1160 МГц. Минимальные значения, имеющие нижний предел 25 В/м, что ниже регламентированного международными требованиями, принадлежат диапазону частот 124 - 597 МГц.

3. Разработаны и реализованы усовершенствованные инструменты оценки качества автомобилей по параметрам электромагнитной совместимости на этапах жизненного цикла, включающие:

- вероятностную математическую модель нарушения качества функционирования автомобилей в эксплуатации, нацеленную на получение вероятностной оценки критерия нарушения качества. Доказано, что при попадании автомобиля в сложную электромагнитную обстановку вероятность нарушения качества функционирования определяется параметрами воздействия, взаимного ориентирования источника поля и автомобиля, помехозащищенности и режимов работы бортового электротехнического комплекса;

- матрицу оценки нарушения качества (поражаемости) функционирования автотранспортного средства, направленную на получение множества состояний помехоустойчивости для оценки качества, заложенных при проектировании и обеспеченных в производстве решений и ранжирования режимов функционирования по группам помехоустойчивости. Сформулировано правило: при заданном уровне напряженности электромагнитного воздействия для любого члена матрицы нарушения качества функционирования существует

свой класс помехоустойчивости. Установлено, что при прочих равных условиях автомобиль с развитой архитектурой электрооборудования, более подвержен влиянию электромагнитных помех;

- предложение по введению нового количественного показателя качества продукции, отражающего предельную минимальную поглощаемую мощность при которой происходит нарушение качества функционирования автомобиля. Получено выражение для предельно-минимальной поглощаемой мощности поражаемости. Определены минимальные мощностные параметры качества (поражаемости) соответствующие частоте 124 МГц и уровню помехоустойчивости 28 В/м. Для фронтальной поверхности площадью 2,08 м² плотность потока энергии равна 2,6 Вт/м², а мощность 5,4 Вт. Соответствующие параметры для боковой поверхности площадью 5,45 м² равны 1,42 Вт/м² и 7,7 Вт. Показано, что помимо некоторой группировки источников помех, на формирование электромагнитной обстановки влияет дорожная инфраструктура. Систематизирован имеющийся объем данных и выделены три основных фактора, влияние которых определяет наибольшее количество нарушений качества функционирования автомобилей: отклонения от документации и техпроцесса при изготовлении продукции, процессы старения и нерегламентированное вмешательство в конструкцию электротехнических систем.

4. Предложены научно-инженерные методы и инструменты управления и улучшения качества автомобилей по параметрам электромагнитной совместимости в процессе проектирования, включающие:

- метод активной защиты качества автомобилей по параметрам помехозащищенности, в основе которого лежит отключение бортового электрооборудования при уровне воздействия, соответствующего функциональному классу «С». Метод, при отключении К каналов, позволяет уменьшить матрицу нарушения качества (поражаемости) функционирования автотранспортного средства в М/К раз, что снижает вероятность нарушения

работоспособности автомобиля. Физическая реализация предлагаемого метода осуществляется временным принудительным переходом в специальный помехозащищенный режим работы, за счет отключения ряда функций и устройств бортового электрооборудования, а также уменьшения объема передаваемой и обрабатываемой информации;

- программный метод игнорирования электромагнитных помех, обеспечивающий косвенную идентификацию и игнорирование внешнего электромагнитного воздействия. Принцип метода заключается в том, что если по двум или более входам одновременно происходит отклонение значений сигналов за пределы допусков, то исходя из заданной вероятности невозможности реализации таких событий, данная информация считается искаженной внешним электромагнитным воздействием и она игнорируется. При этом выходная функция реализуется из учета неискаженных входных данных;

- инструменты резервирования и рационализации выбора бортовых систем, решения по компоновки и конструкции кузова защищенного автотранспортного средства. Представлены примеры реализации структурного и функционального резервирования для систем управления двигателем, трансмиссией, рулевым управлением, электроснабжения, тормозной, освещения, стеклоочистки и климат-контроля;

- на основании анализа требований выполнения различных специальных задач в условиях сложной электромагнитной обстановки, с уровнями электромагнитных воздействий более 100 В/м, показана целесообразность проработки автомобилей, в концепции в рамках которой заложены решения, способные эффективно ослаблять помехи. Предложены конкретные решения по компоновке узлов и агрегатов и экранированной конструкции кузова защищенного автотранспортного средства, позволяющие улучшить качество по параметрам помехозащищенности. Проведены экспериментальные исследования предлагаемых решений по оценке вносимого ими улучшения

качества, и показано что эффективность экранирования достигает 30 дБ.

5. Предложен комплекс концептуальных решений направленных на повышение качества автомобилей по параметрам электромагнитной совместимости на эксплуатационном этапе жизненного цикла, включающий:

- подход по модернизации архитектуры бортового электрооборудования с формированием интегрированного модуля обеспечения качества по параметрам электромагнитной совместимости, позволяющего получить адаптивность при эксплуатации автомобиля в изменяющейся электромагнитной среде, а также обеспечивает снижение статистики проблем качества по параметрам помехоустойчивости в эксплуатации. Обоснован уровень помехоустойчивости модуля, который в диапазоне частот 10 кГц – 18 ГГц составляет 243 В/м;

- модель обеспечения качества автомобилей по параметрам помехоустойчивости на основе технических инструментов построения дистанционной обратной связи «автотранспортное средство – автопроизводитель», направленная на повышение качества как единичных так и групповых объектов. Сформулировано общее условие, связывающее выходную функцию помехоустойчивости, аргументами которой являются время или пробег в эксплуатации с предельно-допустимым эксплуатационным уровнем и определяющее критерии управления. Получено выражение, позволяющие рассчитать необходимое увеличение помехоустойчивости при управлении в соответствии с моделью, с учетом параметров эксплуатации автомобилей;

- систему мониторинга электромагнитной обстановки и предупреждения конфликтов. В части технической реализации осуществление масштабного мониторинга электромагнитной обстановки проводится глобальной группировкой автомобилей, оснащенных модулями и объединенной в комплексную сетевую структуру, выполненную по топологической схеме «активная звезда». В специализированном вычислительном центре в режиме реального времени производится обработка полученного информационного массива. По результатам обработки на электронные карты проецируется

множество координатных точек, образующих области, характеризующие наступление соответствующих событий связанных с возможным нарушением качества функционирования. Рассмотренный инструментарий корректно также применять для выявления и устранения ошибок проектирования автомобилей. В процессе анализа информации из базы данных выделяется массив однотипных проблем, и по результатам доработки реализуются и закладываются в конструкцию уже выпускаемых, а также разрабатываемых моделей новые решения, повышающие качество помехоустойчивости.

- подход по обеспечению качества автомобилей по параметрам помехозащищенности на базе реализации системы планового технического обслуживания автомобилей. Показано, что реализация механизмов проведения технической диагностики на электромагнитную безопасность эксплуатируемых автомобилей должна основываться на законодательных и нормативных документах, определяющих прохождение процедуры технического осмотра, взаимодействие между автопроизводителями, аттестованными лабораториями, страховыми компаниями, аттестованными дилерскими центрами и владельцами автотранспортных средств.

6. Комплексный инструментарий направленный на совершенствование нормативной базы стандартов устанавливающих требования в области качества автомобилей по параметрам электромагнитной совместимости. Предложен подход по которому, выходные показатели помехоустойчивости автомобилей являются функцией от требований, заложенных в нормативной документации, а для их обеспечения, требуется адекватный инструментарий управления на всех этапах жизненного цикла автомобилей. При этом выявлено полное отсутствие нормативных документов определяющих международные и национальные регламенты обеспечения требований по электромагнитной совместимости в эксплуатационный период жизненного цикла автомобилей. Также выявлено, что любое изменение требований к параметрам помехоустойчивости и помехозащищенности в сторону ужесточения, линейно влияет на

соответствующие параметры всей конструкции автомобилей. Доказано, что практическая реализация модели управления качеством автомобилей по параметрам электромагнитной совместимости позволит обеспечить высокий уровень электромагнитной безопасности. Даны конкретные рекомендации, направленные на совершенствование нормативной базы стандартов обеспечения качества в области электромагнитной совместимости автомобилей на этапах жизненного цикла.

7. Все полученные технические решения прошли успешную апробацию и внедрены в автомобильное производство. Так в практику производства внедрены: инженерные инструменты вероятностного моделирования нарушения качества бортовых электротехнических систем при электромагнитном воздействии в условиях эксплуатации; количественные критерии мощностных показателей качества (поражаемости) автотранспортных средств; статистические инструменты выборочного контроля качества по параметрам электромагнитной совместимости; технические решения направленные на повышение качества автомобилей.

Полученные в диссертационной работе результаты вошли в устойчивую отраслевую практику крупных машиностроительных предприятий и организаций: ПАО «КАМАЗ», АО «АВТОВАЗ», НПК «ЗАО «УНИВЕРСАЛ».

При внедрении результатов научной работы в практику предприятий машиностроения получен экономический эффект в размере 16,5 млн. руб.

Направления дальнейших исследований лежат в области наращивания полученного в работе научно-прикладного инструментария управления качеством на этапах жизненного цикла автомобилей, с получением инструментов информатизации и цифровизации управления качеством по параметрам электромагнитной совместимости. Также существенным направлением улучшения по результатам диссертационного исследования является совершенствование стандартов управления качеством автомобильной техники по параметрам помехоустойчивости.

СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ И УСЛОВНЫХ ОБОЗНАЧЕНИЙ

ЭМС - электромагнитная совместимость

АТС - автотранспортное средство,

ЭМО - электромагнитная обстановка

ЭМП - электромагнитные помехи

РПМ – радиопоглощающий материал

P_{Σ} – суммарная мощность (излучаемая источником и в точке приема)

E_{lim} - предельно-допустимый уровень помехоустойчивости

P_{ATC} – вероятность сбоя АТС,

P_{lim} – вероятность (предельно-допустимым показатель качества).

E_{ATC} - некоторая текущая помехоустойчивость АТС.

ДВС - двигатель внутреннего сгорания (ДВС)

$E_{акт}$ – уровень ЭМП активного управления

АКБ – аккумуляторная батарея

СТО - станция технического обслуживания

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Автин, А.А. Проникновение электромагнитных импульсов в сетчатые экраны. / А.А. Автин, А.А. Любомудров – Текст : непосредственный // Технологии электромагнитной совместимости. – 2020. – №2. – С.3-12.
2. Агапов, Е.В. Испытания крупногабаритных систем на совместное действие вертикальной и горизонтальной составляющих электромагнитного импульса / Е.В. Агапов, А.Б. Алгашев, Н.В. Балюк [и др.]– Текст : непосредственный // Технологии электромагнитной совместимости. – 2021. – №1. – С.3-13.
3. Акиншин, И.В. Исследование влияния подстилающей поверхности на параметры электромагнитного поля, формируемого методом связанных несинфазных антенн / И.В. Акиншин, Н.В. Балюк, О.Л. Бобровник [и др.]. – Текст : непосредственный // Технологии электромагнитной совместимости. – 2020. – №2. – С.13-21.
4. Акиншин, И.В. Исследование способов формирования протяженных зон однородного электромагнитного поля с использованием вибраторных антенн / И.В. Акиншин, Н.В. Балюк, Д.И. Крохалев [и др.]. – Текст : непосредственный // Технологии электромагнитной совместимости. – 2019. – №1 (68). – С. 17–29.
5. Акиншин, И.В. Методы и средства испытаний технических средств на помехоустойчивость в условиях воздействия мощных радиочастотных электромагнитных полей / И.В. Акиншин, Н.В. Балюк, В.М. Жихарев [и др.]. – Технологии электромагнитной совместимости. – 2020. – №1 (72). – С. 77–88.
6. Анисимов, А.В. Зарубежный опыт решения проблемы молниестойкости авиационной техники / А.В. Анисимов. – Текст : непосредственный // Технологии электромагнитной совместимости. – 2010. – №1 (32) – С.89-98.
7. Арбатов, А.Г. Космическое оружие: дилемма безопасности / А.Г. Арбатов, А.А. Васильев, Е.П. Велихов [и др.] – М.: Мир, 1986. – 182 с. – Текст : непосредственный.

8. Атражев, М.П. Борьба с радиоэлектронными средствами / М.П. Атражев, Ильин В.А., Марьин Н.П. - М.: Воениздат, 1972. - 272 с. - Текст : непосредственный.

9. Балюк, Н.В. Мощный электромагнитный импульс: воздействия на электронные средства и методы защиты / Н.В. Балюк, Л.Н. Кечиев, П.В. Степанов. - М.: Издательский Дом «Технологии», 2007. - 478 с. - Текст : непосредственный.

10. Балюк, Н.В. Электромагнитные факторы среды и научно-методическое обеспечение испытаний образцов ВВТ / Н.В. Балюк, С.Ф. Перцев, С.Д. Орлов. - Текст : непосредственный // Технологии электромагнитной совместимости. - 2020. - №1 (72). - С. 31-38.

11. Бармаков, Ю.Н. Резонансные явления при взаимодействии высокочастотных электромагнитных полей с аппаратурой в электропроводящих корпусах / Ю.Н. Бармаков, В.И. Бутин, П.Я. Кундышев [и др.]. - Текст : непосредственный // Технологии электромагнитной совместимости. - 2020. - №1 (72). - С. 39-48.

12. Батулин, А.Г. Электромагнитные эффекты среды и функциональная безопасность радиоэлектронных систем вооружения / А.Г. Батулин, Н.В. Балюк, Л.Н. Кечиев - Текст : непосредственный // Технологии электромагнитной совместимости. - 2010. - №1. - С. 3-27.

13. Белоконь, И.Н. Оценка защищенности информационных инфраструктур от воздействия сверхкороткоимпульсных электромагнитных излучений техногенного происхождения / И.Н. Белоконь, А.Н. Гончаров, С.Н. Долбня [и др.]. - Текст : непосредственный // Технологии электромагнитной совместимости. - 2010. - №1 (32). - С.58-65.

14. Бессонов, Л.А. Теоретические основы электротехники / Л.А. Бессонов - М.: Высшая школа, - 1996. - 638 с. - Текст : непосредственный.

15. Вентцель Е.С. Теория вероятностей и ее инженерные приложения. [Текст] / Е.С. Вентцель, Л.А. Овчаров. - М.: Наука. - 1988. - 480 с. - Текст : непосредственный.

16. Володина, Н.А. Основы электромагнитной совместимости / Н.А. Володина. – Барнаул: ОАО «Алтайский полиграфический комбинат», 2007 – 480 с. – Текст : непосредственный.
17. Володина, Н.А. Проблемы электромагнитной совместимости электронной аппаратуры и электрооборудования автотранспортных средств. [Текст] / Н.А. Володина, А.К. Старостин. – М.: НИИАЭ, 1996. – 260 с. – Текст : непосредственный.
18. Газизов, Т.Р. Преднамеренные электромагнитные помехи и авионика / Т.Р. Газизов. – Текст : непосредственный // Успехи современной радиоэлектроники. – 2004. - №2. – С.37-51.
19. Газизов, Т.Р. Электромагнитный терроризм на рубеже тысячелетий / Под ред. Т.Р. Газизова [Текст] – Томск: Томский государственный университет, 2002. – 206 с. – Текст : непосредственный.
20. Гальперин, Ю.И. Электромагнитная совместимость научного космического комплекса АРКАД-3 / Ю. И. Гальперин, В.А. Гладышев, А.И. Козлов – М.: Наука, 1984. – 196 с. – Текст : непосредственный.
21. Гетманец, А.Н. Передача наведенных электромагнитными полями токов и напряжений по цепям связи / А.Н. Гетманец, Н.А. Прудкой, В.Б. Прозоров [и др.] – Текст : непосредственный // Технологии электромагнитной совместимости. – 2020. – №3. – С.3-24.
22. Гоноровский, И.С. Радиотехнические цепи и сигналы: Учебник для вузов / Гоноровский И.С./ – М.: Радио и связь, 1986. – 512 с. – Текст : непосредственный.
23. ГОСТ 12.1.002-84. Электрические поля промышленной частоты. Допустимые уровни напряженности и требования к проведению контроля на рабочих местах. – М.: Изд-во стандартов, 1986. – 8 с. – Текст : непосредственный.
24. ГОСТ Р 50648-94. Устойчивость к магнитному полю промышленной частоты. Технические требования и методы испытаний.– М.: Изд-во стандартов, 1994. – 16 с. – Текст : непосредственный.

25. ГОСТ Р 51320-99. Совместимость технических средств электромагнитная. Радиопомехи промышленные. Методы испытаний технических средств – источников промышленных радиопомех.– М.: Изд-во стандартов, 1999. – 39 с. – Текст : непосредственный.

26. ГОСТ Р 52230-2004 Электрооборудование автотракторное. Общие технические условия. – М.: Стандартинформ, 2004. – 27 с. – Текст : непосредственный.

27. ГОСТ Р 52863-2007. Автоматизированные системы в защищенном исполнении. Испытания на устойчивость к преднамеренным силовым электромагнитным воздействиям. – М.: Стандартинформ, 2008. – 33 с. – Текст : непосредственный.

28. ГОСТ Р МЭК 61508-1-2012. Функциональная безопасность систем электрических, электронных, программируемых электронных, связанных с безопасностью. Часть 1. Общие требования. – М.: Стандартинформ, 2013. – 53 с. – Текст : непосредственный.

29. ГОСТ Р МЭК 61508-2-2012. Функциональная безопасность систем электрических, электронных, программируемых электронных, связанных с безопасностью. Часть 2. Требования к системам. – М.: Стандартинформ, 2013. – 87 с. – Текст : непосредственный.

30. ГОСТ Р МЭК 61508-3-2012. Функциональная безопасность систем электрических, электронных, программируемых электронных, связанных с безопасностью. Часть 3. Требования к программному обеспечению. – М.: Стандартинформ, 2013. – 133 с. – Текст : непосредственный.

31. ГОСТ Р МЭК 61508-4-2012. Функциональная безопасность систем электрических, электронных, программируемых электронных, связанных с безопасностью. Часть 4. Термины и определения. – М.: Стандартинформ, 2013. – 45 с. – Текст : непосредственный.

32. 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. – М.: Стандартинформ, 2013. – 62 с. – Текст : непосредственный.

33. 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. – М.: Стандартинформ, 2013. – 60 с. – Текст : непосредственный.

34. ГОСТ Р МЭК 61508-7-2012. Функциональная безопасность систем электрических, электронных, программируемых электронных, связанных с безопасностью. Часть 7. Методы и средства.– М.: Стандартинформ, 2013. – 177 с. – Текст : непосредственный.

35. ГОСТ РВ 20.39.301-98. Комплекс государственных военных стандартов «Мороз-6». – Текст : непосредственный.

36. Давыдов, А.А. Электромагнитные факторы природного и техногенного происхождения и способы их воспроизведения при испытаниях объектов вооружения и военной техники /А.А. Давыдов. – Текст : непосредственный // Технологии электромагнитной совместимости. – 2010. – №1 (32) – С.38-48.

37. Джонсон, Г. Конструирование высокоскоростных цифровых устройств: начальный курс черной магии.: Пер. с англ. // Джонсон Г., Грэхем М. – М.: Издательский дом «Вильямс», 2006. – 624 с. – Текст : непосредственный.

38. Добыкин, В.Д. Радиоэлектронная борьба. Силовое поражение радиоэлектронных систем / В.Д. Добыкин, А.И. Куприянов, В.Г. Пономарев [и др.]. – М.: Вузовская книга, 2007. – 468 с. – Текст : непосредственный.

39. Дьяков, А.Ф. Электромагнитная совместимость в электроэнергетике и электротехнике / А.Ф. Дьяков, Б.К. Максимов, Р.К. Борисов [и др.]. – М.: Энергоатомиздат, 2003. – 768 с. – Текст : непосредственный.

40. 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). – Текст : непосредственный.

41. Кечиев, Л.Н. Обеспечение целостности сигнала при проектировании печатных плат / Л.Н. Кечиев, А.В. Алешин, В.И. Шнейдер. – Текст : непосредственный // Сборник докладов VIII НТК по ЭМС и электромагнитной безопасности. ЭМС-2004.– СПб.: ВИТУ, 2004. – С.331-336.

42. Кечиев, Л.Н. Предотвращение катастроф электромагнитного характера в информационных системах / Л.Н. Кечиев, П.В. Степанов, О.Н. Арчаков. - Технологии электромагнитной совместимости. – 2005. – 478 с. - Текст : непосредственный.

43. Кечиев, Л.Н. Предотвращение катастроф электромагнитного характера в информационных системах/Л.Н. Кечиев. – Текст : непосредственный // Технологии электромагнитной совместимости. – 2005. – №4(15). – С. 7–19.

44. Кечиев, Л.Н. Проблемы конструирования электронной аппаратуры с учетом электромагнитной совместимости / Л.Н. Кечиев, А.А. Любомудров, М.В. Сахаров [и др.]. – Текст : непосредственный // Технологии электромагнитной совместимости. – 2020. – №1 (72). – С. 18–30.

45. Кечиев, Л.Н. Проектирование печатных плат для цифровой быстродействующей аппаратуры /Л.Н. Кечиев – М.: Издательский Дом «Технологии», 2007. – 660 с. – Текст : непосредственный.

46. Кечиев, Л.Н. Проектирование системы распределения питания /Л.Н. Кечиев – М.: Грифон, 2016. – 400 с. (Библиотека ЭМС). – Текст : непосредственный.

47. Кечиев, Л.Н. Современные проблемы обеспечения ЭМС и целостности сигналов электронных модулей быстродействующих цифровых электронных средств /Л.Н. Кечиев, В.И. Шнейдер. – Текст : непосредственный // Технологии электромагнитной совместимости. – 2004. – №4. – С.50-59.

48. Кечиев, Л.Н. Стандартизация в области ЭМС для военных и гражданских систем / Л.Н. Кечиев, Н.В. Балюк – Текст : непосредственный // Технологии электромагнитной совместимости. – 2014. – №3. – С. 45-58.

49. Кечиев, Л.Н. Экранирование технических средств и экранирующие системы / Л.Н. Кечиев, Б.Б. Акбашев, П.В. Степанов. – М.: ООО «Группа ИДТ», 2010. – 469 с. - (Серия «Библиотека ЭМС»).– Текст : непосредственный.

50. Кириллов, В.Ю. Электромагнитная совместимость бортовой кабельной сети летательных аппаратов / В.Ю. Кириллов, М.В. Марченко, М.М. Томилин. – М.: Издательство МАИ, 2014. – 172 с. – Текст : непосредственный.

51. Князев, А.Д. Конструирование радиоэлектронной и электронно-вычислительной аппаратуры с учетом электромагнитной совместимости. / А.Д. Князев, Л.Н. Кечиев, Б.В. Петров. – М.: Радио и связь. – 1989. – 224 с. – Текст : непосредственный.

52. Ковнеристый, Ю.К. Материалы, поглощающие СВЧ-излучения / Ковнеристый Ю.К., Лазарева И.Ю., Раваев А.А. – М.: Наука, 1982. – 165 с. – Текст : непосредственный.

53. Комягин, С.И. Основы методологии электромагнитной стойкости беспилотных летательных аппаратов / С.И. Комягин. – М.: МИЭМ, 2007. – 150 с. – Текст : непосредственный.

54. Комягин, С.И. Электромагнитная стойкость беспилотных летательных аппаратов. / С.И. Комягин. – М.: КРАСАНДР, 2015. – 432 с. – Текст : непосредственный.

55. Кубышкин, А.В. Разработка оружия направленной энергии за рубежом / А.В. Кубышкин, И.Н. Белоконь, В.М. Степанов. – Текст : непосредственный // Технологии электромагнитной совместимости. – 2021. – №2. – С.44-55.

56. Кувшинников, В.М. ЭМИ наземного ЯВ / В.М. Кувшинников, В.И. Паньков, А.А. Шведов. – Текст : непосредственный. Физика ядерного взрыва, Т.1. – М.: Физматлит, 1997. – С. 85–104.

57. Ларионенко, А.В. Результаты экспериментальных исследований воздействия сверхширокополосных электромагнитных импульсов на элементы телекоммуникационных систем / А.В. Ларионенко, С.В. Симакин – Текст : непосредственный // Технологии электромагнитной совместимости. – 2009. – №3. – С. 33-37.

58. Лоборев, В.М. Физика ядерного взрыва, Т.1. Развитие взрыва / В.М. Лоборев, Б.В. Замышляев, Е.П. Маслин [и др.]. – М.: Физматлит, 1997. – 528 с. – Текст : непосредственный.

59. Максимов, М.В. Защита от радиопомех / М.В. Максимов. – М.: Советское радио, 1976. – 496 с. – Текст : непосредственный.

60. Марков, Г.Т. Антенны / Г.Т. Марков, Д.М. Сазонов – М.: Энергия, 1975. – 528 с. – Текст : непосредственный.

61. Маслов, О.Н. Направленные свойства системы случайных излучателей импульсного сигнала без несущей / О.Н. Маслов, А.С. Раков. – Текст : непосредственный // Инфокоммуникационные технологии. Приложение «Методы и средства обеспечения безопасности в инфокоммуникациях». – 2006. – №6. – С. 105-119.

62. Маслов, О.Н. Экологический риск и электромагнитная безопасность. [Текст] / О.Н. Маслов. – М.: ИРИАС, 2004. – 330 с. – Текст : непосредственный.

63. Медведев, А.М. Печатные платы. Конструкции и материалы /А.М. Медведев. – М.: Техносфера, 2005. – 304 с. – Текст : непосредственный.

64. Мицмахер М.Ю. Безэховые камеры СВЧ. [Текст] / М.Ю. Мицмахер, В.А. Торгованов. – М.: Радио и связь, 1982. – 129 с. – Текст : непосредственный.

65. Нгуен, Ван Тай. Проектирование трасс электрических жгутов бортовой сети с учетом электромагнитной совместимости /Нгуен Ван Тай, Кириллов В.Ю. – Текст : непосредственный // Технологии электромагнитной совместимости. – 2020. – №2. – С.29-35.

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

67. Николаев, П.А. Измерение мощности радиопомех от системы зажигания автомобилей при работе двигателя на холостом ходу/ П.А. Николаев – Текст : непосредственный // Измерительная техника. Приложение «Метрология». – 2004. – №8. – С. 20-24.

68. Николаев, П.А. Испытания электромеханического усилителя рулевого управления автомобиля к электромагнитному воздействию / П.А. Николаев – Текст : непосредственный // Технологии ЭМС. – 2015. – № 2(53). – С. 38–41.

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

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

71. Отт, Г. Методы подавления шумов и помех в электронных системах / [Под редакцией М.В. Гальперина]. – М.: Мир. – 1979. – С. 317. – Текст : непосредственный.

72. Палий, А.И. Радиоэлектронная борьба: Средства и способы подавления и защиты радиоэлектронных систем/ А.И. Палий. - М.: Воениздат, 1981. – 320 с. – Текст : непосредственный.

73. Панюков, Д.И. Фундаментальные основы FMEA для автомобилестроения : монография / Д.И. Панюков, В.Н. Козловский – Самара: Издательство СамНЦ РАН, 2014. – 150 с. – Текст : непосредственный.

74. Панюков, Д.И. Эффективное применение метода анализа видов, последствий и причин потенциальных дефектов (FMEA) в автомобилестроении

: монография / Д.И. Панюков, В.Н. Козловский – Самара: АНО «Издательство СНЦ», 2016. – 202 с. – Текст : непосредственный.

75. Парфёнов, Ю.В. О возможных ошибках, возникающих в результате использования униполярных электромагнитных импульсов для оценки помехоустойчивости электронных устройств / Ю.В. Парфёнов, О.А. Тарасов, Б.А. Титов [и др.] – Текст : непосредственный // Технологии электромагнитной совместимости. – 2020. – №2. – С.22-28.

76. Пат. № 2640376 Российская Федерация. Способ испытаний электрооборудования автотранспортных средств на восприимчивость к электромагнитному полю / 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. – Текст : непосредственный.

77. Пат. № 2642024 Российская Федерация. Способ оценки технических средств на соответствие нормативным требованиям на помехоустойчивость / П.А. Николаев, Т.Г. Герасимов, А.С. Подгорний; заявитель и патентообладатель Публичное акционерное общество «АВТОВАЗ». Опубл. 23.01.18, Бюл. №3. – Текст : непосредственный.

78. Пат. № 2781760 Российская Федерация. Способ мониторинга внешней электромагнитной обстановки / А.С. Подгорний, А.Н. Платицын, П.А. Николаев, В.Н. Козловский; заявитель и патентообладатель Научно-производственное коммерческое закрытое акционерное общество «Универсал». Опубл. 17.10.22, Бюл. № 29. – Текст : непосредственный.

79. Пат. № 2804918 Российская Федерация. Способ повышения помехозащищенности автотранспортных средств / А.С. Подгорний, А.Н. Платицын, П.А. Николаев, В.Н. Козловский; заявитель и патентообладатель Научно-производственное коммерческое закрытое

акционерное общество «Универсал». Оpubл. 09.10.23, Бюл. № 28. – Текст : непосредственный.

80. Пат. № 2815009 Российская Федерация. Способ адаптивного обеспечения помехозащищенности автотранспортных средств / А.С. Подгорний, А.Н. Платицын, П.А. Николаев, В.Н. Козловский; заявитель и патентообладатель Научно-производственное коммерческое закрытое акционерное общество «Универсал». Оpubл. 11.03.24, Бюл. № 8. – Текст : непосредственный.

81. Подгорний, А.С. Автотранспортное средство в условиях воздействия гармонических электромагнитных полей / А.С. Подгорний, П.А. Николаев, Л.Н. Кечиев [и др.]. – Текст : непосредственный // Технологии электромагнитной совместимости. – 2016. № 2(57). – С.5-14.

82. Подгорний, А.С. Актуализация проблемы управления качеством автомобилей по параметрам электромагнитной совместимости / А.С. Подгорний – Текст : непосредственный // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. - 2025. - Т. 27, № 2. - С. 27-33.

83. Подгорний, А.С. Актуальные вопросы испытаний автотранспортных средств на помехоустойчивость/ А.С. Подгорний, П.А. Николаев, А.В. Афанасьев. – Текст : непосредственный // Технологии электромагнитной совместимости. – 2023 – №3(86). – С.44-53.

84. Подгорний, А.С. Вероятностная модель нарушения качества функционирования бортовых электротехнических систем при электромагнитном воздействии в условиях эксплуатации/ А.С. Подгорний, П.А. Николаев, В.Н. Козловский. – Текст : непосредственный // Электротехника, производство. – 2023. – №7. – С.14-17.

85. Подгорний, А.С. Влияние дорожной обстановки на ЭМС автотранспортных средств в процессе эксплуатации/ А.С. Подгорний, П.А. Николаев. – Текст : непосредственный // Технологии электромагнитной совместимости. – 2021. – №3 (78). – С.39-48.

86. Подгорний, А.С. Выбор шага перестройки по частоте при испытаниях электромобилей на внешнее электромагнитное воздействие / А.С. Подгорний, П.А. Николаев, А.Д. Николаев. – Текст : непосредственный // Электроэнергетика глазами молодежи – 2017: материалы VIII Международной молодёжной научно-технической конференции. – Самара: СамГТУ, 2017. – Том №1. – С. 162-163.

87. Подгорний, А.С. Инженерные решения, применяемые для обеспечения качества новых автомобилей по параметрам электромагнитной совместимости. Часть 1/ А.С. Подгорний, П.А. Николаев, В.Н. Козловский. – Текст : непосредственный // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. – 2024. – №2. т.26. - С.13–20.

88. Подгорний, А.С. Инженерные решения, применяемые для обеспечения качества новых автомобилей по параметрам электромагнитной совместимости. Часть 2/ А.С. Подгорний, П.А. Николаев, В.Н. Козловский. – Текст : непосредственный // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. – 2024. – №2. т.26. - С.21–30.

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

90. Подгорний, А.С. Испытания автотранспортных средств на устойчивость к внешним электромагнитным воздействиям / А.С. Подгорний, П.А. Николаев, В.Н. Козловский. – Текст : непосредственный // Электроника и электрооборудование транспорта. – 2017. – № 5. – С. 43-46.

91. Подгорний, А.С. Испытания на восприимчивость к электромагнитному излучению гибридных автомобилей / А.С. Подгорний, П.А. Николаев – Текст : непосредственный // Материалы докладов XX аспирантско-магистерского

научного семинара, посвященного Дню энергетика, 6-7 декабря 2016 г., Казань. – Том №1. –Казань: КГЭУ, 2016. –С.186-187.

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

93. Подгорний, А.С. Исследование нарушений работоспособности электротехнических систем автотранспортных средств от внешних электромагнитных воздействий. / А.С. Подгорний, П.А. Николаев, В.Н. Козловский [и др.]. – Текст : непосредственный // Электроника и электрооборудование транспорта. – 2020. – №5. – С.11-16.

94. Подгорний, А.С. Источники электромагнитных помех, формирующие внешнюю электромагнитную обстановку, негативно влияющую на эксплуатационную эффективность автомобилей / А.С. Подгорний, П.А. Николаев, В.Н. Козловский [и др.]. – Текст : непосредственный // Электроника и электрооборудование транспорта. – 2020. – №6. – С.16-22.

95. Подгорний, А.С. Ключевые характеристики и критические элементы продуктов в проектах машиностроительного производства /И.А. Беляева, А.С. Подгорний, А.С. Клентак, В.Н. Козловский. – Текст : непосредственный // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. - 2024. - Т. 26, № 6. -С. 47-55.

96. Подгорний, А.С. Конечно-элементное моделирование как компонент обеспечения качества электромобиля в процессе проектирования / И.А. Беляева, В.Н. Козловский, А.С. Подгорний, Е.В. Пантюхина – Текст : непосредственный// Известия ТулГУ. Технические науки. - 2025. Вып. 1. - С. 289-296.

97. Подгорний, А.С. Концепция автотранспортного средства, способного работать в условиях сложной электромагнитной обстановки/ А.С. Подгорний,

П.А. Николаев. – Текст : непосредственный // Технологии электромагнитной совместимости. – 2018 – №2 (65) – С. 51-61.

98. Подгорний, А.С. Концепция обеспечения качества бортового электрооборудования автомобилей по параметрам электромагнитной совместимости/ А.С. Подгорний, П.А. Николаев, В.Н. Козловский. – Текст : непосредственный // Электротехника. Электроэнергетика. – 2024. – №5. – С.10-12.

99. Подгорний, А.С. Матрица электромагнитной поражаемости автотранспортного средства/ А.С. Подгорний, П.А. Николаев, В.Н. Козловский [и др.]. – Текст : непосредственный // Электротехника, производство. – 2023. – №7. – С.17-19.

100. Подгорний, А.С. Методология APQR в автомобильном производстве / А.С. Подгорний, В.Н. Козловский, Д.И. Панюков – Текст : непосредственный // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. - 2025. - Т. 27, № 2. - С. 43-54.

101. Подгорний, А.С. Многофакторная оценка влияния дорожной обстановки на помехоустойчивость бортового электротехнического комплекса автомобилей/ А.С. Подгорний, П.А. Николаев, В.Н. Козловский [и др.]. – Текст : непосредственный // Электроника и электрооборудование транспорта. – 2022. – №1. – С.36-41.

102. Подгорний, А.С. Модель обеспечения качества электрооборудования автомобилей по параметрам помехоустойчивости на основе обратной связи «автомобиль - автопроизводитель» / А.С. Подгорний, П.А. Николаев, В.Н. Козловский. – Текст : непосредственный // Электротехника. Электроэнергетика. – 2024. – №5. – С.13-16.

103. Подгорний, А.С. Направления развития стандартизации в вопросах обеспечения качества автомобилей по параметрам электромагнитной совместимости / А.С. Подгорний. – Текст : непосредственный // Известия

Самарского научного центра Российской академии наук. - 2025. - Т. 27., № 1 - С. 105-111.

104. Подгорний, А.С. Обеспечение качества автомобилей по параметрам электромагнитной совместимости при техническом обслуживании/ А.С. Подгорний, П.А. Николаев, В.Н. Козловский. – Текст : непосредственный // Электротехника. Электроэнергетика. – 2024. – №5. – С.7-9.

105. Подгорний, А.С. Обеспечение параметрам электромагнитной совместимости гибридных автомобилей / А.С. Подгорний, П.А. Николаев. – Текст : непосредственный // Тинчуринские чтения: Материалы докладов XII международной молодежной научной конференции. - Том №1.– Казань: КГЭУ, 2017. — С.317.

106. Подгорний, А.С. Общие принципы обеспечения качества при построении основных систем автотранспортных средств, учитывающие вопросы электромагнитной совместимости/ А.С. Подгорний, П.А. Николаев, В.Н. Козловский [и др.]. – Текст : непосредственный // Электротехника. Электроэнергетика. – 2024. – №5. – С.2-7.

107. Подгорний, А.С. Организация деятельности операционного комитета по продуктам в машиностроительном производстве / И.А. Беляева, А.С. Подгорний, В.Г. Мосин, В.Н. Козловский – Текст : непосредственный // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. - 2024. - Т. 26, № 6. - С. 38-46.

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

109. Подгорний, А.С. Повышение устойчивости автотранспортных средств в условиях сложной электромагнитной обстановки / А.С. Подгорний, П.А. Николаев, Л.Н. Кечиев [и др.]. – Текст : непосредственный // Технологии электромагнитной совместимости. – 2017. – №1 (60). – С.3-12.

110. Подгорний, А.С. Позиционирование автотранспортного средства при испытаниях на устойчивость к электромагнитному воздействию / А.С. Подгорний, П.А. Николаев – Текст : непосредственный // Наука и творчество: взгляд молодых профессионалов: IX Международная научно-практическая конференция студентов, аспирантов и молодых специалистов, 14 мая 2015 года: сборник статей. – Тольятти: ПВГУС, 2015. – С.138-141.

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

112. Подгорний, А.С. Помехоустойчивость автотранспортных средств в условиях эксплуатации/ А.С. Подгорний, П.А. Николаев. – Текст : непосредственный // Технологии электромагнитной совместимости. – 2020. – №4 (75). – С.42-49.

113. Подгорний, А.С. Проблема помехоустойчивости бортового электротехнического комплекса автотранспортных средств к электромагнитным воздействиям / А.С. Подгорний, А.П. Новикова, В.Н. Козловский [и др.]. – Текст : непосредственный // Электроника и электрооборудование транспорта. – 2020. – №3. – С.22-27.

114. Подгорний, А.С. Проблема помехоустойчивости бортового электротехнического комплекса легковых автомобилей в процессе эксплуатации/ А.С. Подгорний, П.А. Николаев, В.Н. Козловский [и др.]. – Текст : непосредственный // Электроника и электрооборудование транспорта. – 2023. – № 1-3. – С.37-42.

115. Подгорний, А.С. Проблемы испытаний автотранспортных средств на восприимчивость к электромагнитному воздействию. / А.С. Подгорний, П.А. Николаев. – Текст : непосредственный // Технологии, измерения и

испытания в области электромагнитной совместимости: труды III Всероссийской НТК «Техно-ЭМС 2016». – М.: Грифон, 2016. – С.136-138.

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

117. Подгорний, А.С. Проблемы электромагнитной безопасности электромобилей / А.С. Подгорний, П.А. Николаев – Текст : непосредственный // Материалы докладов XII международной молодежной научной конференции «Тинчуринские чтения», 26-28 апреля 2017 г., Казань. – Том №1.– Казань : Казанский гос. энергетический ун-т, 2017. – С. 3–6.

118. Подгорний, А.С. Разработка вероятностно-статистической математической модели и критерия оценки соответствия бортового электрооборудования партии автомобилей по параметрам помехоустойчивости / А.С. Подгорний, П.А. Николаев, В.Н. Козловский [и др.]. – Текст : непосредственный // Известия ТулГУ. Технические науки. – 2021. – №2. – С. 28-34.

119. Подгорний, А.С. Разработка инструментов оценки электромагнитной поражаемости электротехнических систем легковых автомобилей/ А.С. Подгорний, П.А. Николаев, В.Н. Козловский. – Текст : непосредственный // Вопросы электротехнологии. – 2023. – №1(38). – С.57-60.

120. Подгорний, А.С. Разработка тестового инструментария оценки устойчивости к электромагнитным помехам электромобилей и автомобилей с комбинированной энергоустановкой / А.С. Подгорний, П.А. Николаев, В.Н. Козловский [и др.]. – Текст : непосредственный // Грузовик. – 2020. - №9. – С. 32-38.

121. Подгорний, А.С. Роль методологического инструментария FMEA в рамках реализации APQP / А.С. Подгорний, В.Н. Козловский, Д.И. Панюков –

Текст : непосредственный // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. – 2025. - Т. 27, № 2. - С. 34-42.

122. Подгорний, А.С. Система контроля помехоустойчивости бортового электротехнического комплекса автомобилей к электромагнитным воздействиям [Текст] / Подгорний А.С., Николаев П.А., Козловский В.Н/ – Тула: ТулГУ, 2022. – 180 с. – Текст : непосредственный.

123. Подгорний, А.С. Совершенствование испытаний автотранспортных средств на восприимчивость к электромагнитному излучению / А.С. Подгорний, П.А. Николаев. – Текст : непосредственный // Технологии электромагнитной совместимости. – 2022. – №2 (81). – С.37-48.

124. Подгорний, А.С. Совершенствование метода испытаний бортового электротехнического комплекса автомобилей на помехоустойчивость к электромагнитным воздействиям/ А.С. Подгорний, П.А. Николаев, В.Н. Козловский. – Текст : непосредственный // Электроника и электрооборудование транспорта. – 2023. – №1-3. – С.30-36.

125. Подгорний, А.С. Совершенствование методики испытаний на помехоустойчивость электротехнических систем для случая неопределенной ориентации автомобиля по отношению к источнику излучения/ А.С. Подгорний, П.А. Николаев, В.Н. Козловский [и др.]. – Текст : непосредственный // Грузовик. – 2020. - №4. – С. 24-29.

126. Подгорний, А.С. Совершенствование методики испытаний электротехнических систем автотранспортного средства для случая широкополосного электромагнитного воздействия / А.С. Подгорний, П.А. Николаев, В.Н. Козловский [и др.]. – Текст : непосредственный // – Грузовик. – 2020. – №5. – С.17-22.

127. Подгорний, А.С. Стандартизация при обеспечении требований качества в области электромагнитной совместимости автотранспортных средств / А.С. Подгорний. – Текст : непосредственный // Известия Самарского научного центра Российской академии наук.- 2024. - Т. 26., № 6. - С. 34-37.

128. Подгорний, А.С. Типовые решения, применяемые для обеспечения электромагнитной совместимости автотранспортного средства/ А.С. Подгорний, П.А. Николаев, В.Н. Козловский. – Текст : непосредственный // Электротехника, производство. – 2023. – №7. – С.13–14.

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

130. Подгорний, А.С. Экспериментальная база для исследований помехоустойчивости электрооборудования современных автомобилей / А.С. Подгорний, П.А. Николаев, В.Н. Козловский [и др.]. – Текст : непосредственный // Известия ТулГУ. Технические науки. – 2021. – №2. – С. 75-83.

131. Подгорний, А.С. Экспериментальные исследования помехоустойчивости электронных систем управления двигателем внутреннего сгорания и управления автоматизированной коробкой передач / А.С. Подгорний, У.В. Брачунова, П.А. Николаев [и др.]. – Текст : непосредственный // Электроника и электрооборудование транспорта. – 2020. – №1. – С. 26-32.

132. Подгорний, А.С. Экспериментальные исследования помехоустойчивости канала управления скоростью, CAN-шины современного автомобиля и электронного реле указателей поворота/ А.С. Подгорний, П.А. Николаев, В.Н. Козловский [и др.]. – Текст : непосредственный // Известия ТулГУ. Технические науки. – 2021. – №2. – С. 84-91.

133. Подгорний, А.С. Электромагнитная совместимость бортового электротехнического комплекса как ключевой фактор обеспечения эксплуатационной безопасности автомобилей/ А.С. Подгорний, П.А. Николаев,

В.Н. Козловский [и др.]. – Текст : непосредственный // Электроника и электрооборудование транспорта. – 2020. – №5. – С.17-22.

134. Половко, А.М. Основы теории надежности / А.М. Половко, С.В. Гуров/ – СПб.: БХВ-Петербург, 2006. – 704 с. – Текст : непосредственный.

135. Рикетс, Л.У. Электромагнитный импульс и методы защиты: Пер. с англ. [Под ред. Н.А. Ухина] / Л.У. Рикетс, Дж. Э. Бриджес, Дж. Майлетта /– М.: Атомиздат, 1979 – 327 с. – Текст : непосредственный.

136. Сахаров, К.Ю. Влияние сверхкоротких электромагнитных импульсов на исполнение информационной функции цифровых устройств с энергонезависимой памятью / К.Ю. Сахаров, Б.Д. Янковский, М.Ю. Едлин. – Текст : непосредственный // Технологии электромагнитной совместимости. – 2009. – №3. – С. 47-54.

137. Слюсар, В.И. Генераторы супермощных электромагнитных импульсов в информационных войнах. Обзор. /В.И. Слюсар – Текст : непосредственный // Электроника: наука, технология, бизнес. – 2002. – №5. – 2002. – С. 60–67.

138. Смит, Д.Д. Электромагнитные факторы природного и техногенного происхождения и способы их воспроизведения при испытаниях объектов вооружения и военной техники / Д.Д. Смит, А.А. Давыдов, В.А. Плыгач [и др.]. – Текст : непосредственный // Технологии электромагнитной совместимости. – 2010. – №1. – С. 38-48.

139. Технический регламент Таможенного союза ТР 020/2011 «Электромагнитная совместимость технических средств». – Таможенный союз, 2011. – Текст : непосредственный.

140. 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 /Д. Уайт.– М.: Советское радио, 1977. – 352 с. – Текст : непосредственный.

141. Федеральный закон «О государственном регулировании в области обеспечения электромагнитной совместимости технических средств» / СЗ РФ. – 1999. – Текст : непосредственный.

142. Феоктистов, Ю.А. Теория и методы оценки электромагнитной совместимости радиоэлектронных средств. /Ю.В. Феоктистов, В.В. Матасов, Л.И. Башурин, В.И. Селезнев / [под ред. Ю.А.Феоктистова] – М.: Радио и связь, 1988. – 216 с. – Текст : непосредственный.

143. Хаббигер, Э. Электромагнитная совместимость. Основы ее обеспечения в технике: Пер. с нем. / И.П. Кужекин; Под ред. Б.К. Максимова.– М.: Энергоатомиздат, 1995.- 304 с. – Текст : непосредственный.

144. Ховах М.С. Автомобильные двигатели / М.С. Ховах, Г.С. Маслов. – М.: «Машиностроение», 1971. – 456 с. – Текст : непосредственный.

145. Шапиро, Д.Н. Основы теории электромагнитного экранирования / Д.Н. Шапиро – Л.: Энергия. 1975. – 109 с. – Текст : непосредственный.

146. Шашков, В.В. Новые ссылочные руководства AIAG: «Перспективное планирование качества продукции» (APQP) и «План управления» /В.В. Шашков, М.И. Розно, Г.А. Тюленева – Текст : непосредственный // Методы менеджмента качества. – 2024. -№2. -С.32-37.

147. 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. – Текст : непосредственный.

148. 2016 Automotive EMC guide. Interference technology guide series. - 2016. - 33 p.

149. 2017 Automotive EMC guide. Interference technology guide series. - 2017. - 38 p.

150. 2019 Automotive EMC guide. Interference technology guide series. - 2017. - 32 p.

151. 2020 Automotive EMC guide. Interference technology guide series. - 2020. - 26 p.

152. 2021 Automotive EMC guide. Interference technology guide series. - 2021. - 29 p.
153. Advanced Product Quality Planning. APQP. Reference manual. 3d ed. AIAG, 2024.
154. Ali H. TLK6002 Board Design Guide. Application Report. SLLA307. – October 2010. – 10 p.
155. An Introduction to Jitter in Communication System. Maxim, AN 1916, Mar. 06, 2003. – P.8.
156. An Overview of Automotive EMC Standards & Emerging Requirements. Korea Automobile Testing & Research Institute (KATRI), 2015. - 43 p.
157. AN-1398. Printed Circuit Board Design Techniques for DS40MB200. SNLA07A – October 2005-Revised April 2013. – 7 p.
158. Application Report. SNLA027B – May 2004 – Revised May 2004. AN-807 Reflections: Computations and Waveforms. – 31 p.
159. Application Report. SNLA034B – August 1993 – Revised April 2013. AN-903. A Comparison of Differential Termination Techniques. – 13 p.
160. Application Report. SPRAAR7F – August 2014 – Revised September, 2016. High-Speed Interface Layout Guidelines. – 22 p.
161. Armstrong K. Advanced PCB design and Layout for EMC. Part 6 – Transmission Lines – 3rd. – EMC&Compliance Journal. – 2001 – № 58. – pp. 1–30.
162. Armstrong K. Design Techniques for EMC Part 3 – Filtering and Suppressing Transients. – EMC&Compliance Journal. – 2006. – № 66. – pp. 34–44.
163. Armstrong K. Design Techniques for EMC. Part 5 – Printed Circuit Board (PCB) Design and Layout. – EMC&Compliance Journal. – 2007. – № 73. - p. 34–42.
164. Aufwendige Messungen und Schutzmaßnahmen für Sicherheit und Komfort. [Текст] ATZ. – 1999. – № 5. – pp. 302–305.
165. 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, 1999, pp.189-190.

166. Bogatin E. Signal Integrity – Simplified. – Prentice Hall PTR, 2003. – 608 p.
167. Brooks D. PCB Impedance Control: Formulas and Resources. Printed Circuit Design Magazine, 1998, March. – P.4-6.
168. Brooks D. Signal Integrity Issues and Printed Circuit Board Design. – Prentice Hall PTR. 2003 – 432 p.
169. Chi, Q.-L., H. Liu, and Y.-Y. Zhao. Technical analysis of automotive electromagnetic compatibility. Journal of Heilongjiang Institute of Technology, 2006. – №3. – pp. 38-40.
170. Chun-Chih Lin, Jason Chiang. EMC Simulation of Automotive Safety System. Asia-Pacific International Symposium on Electromagnetic Compatibility. - 2015.
171. CISPR 12. Vehicles, boats and internal combustion engines – Radio disturbance characteristics – Limits and methods of measurement for the protection of off-board receivers. Sixth edition. - Geneva, 2009. - 11 p.
172. CISPR 16-1-2. Specification for radio disturbance and immunity measuring apparatus and methods. Part 1-2: Radio disturbance and immunity measuring apparatus – Coupling devices for conducted disturbance measurement. Second edition. - Geneva, 2014. - 188 p.
173. CISPR 16-2-1. Specification for radio disturbances and immunity measuring apparatus and methods. Part 2-1: Methods of measurement of disturbances and immunity – Conducted disturbances measurement. Third edition. Geneva, 2014. 230 p.
174. CISPR 25. Vehicles, boats and internal combustion engines – Radio disturbance characteristics – Limits and methods of measurement for the protection of on-board receivers. Fourth edition. - Geneva, 2016. - 156 p.
175. Cole E. Reducing Electromagnetic Interference (EMI) With Low Voltage Differential signaling (LVDS). Application Report. SLLA030C. – September, 2000. – Revised June 2002. – 6 p.

176. Compatibilite electromagnetique Connaitre l'environnement electromagnetique pour bien se proteger. – Electronic AUTO VOLT. – 2003. – № 796. – P. 14–19.

177. Control Plan. Reference manual. 1d ed. AIAG, 2024.

178. Coonrod John. Impact of Final Plated Finish on MPP Loss. – The MPP Design Magazine. – October 2015. – P. 52-54.

179. Edward Brorein. Mathematically Defining Test Pulse 2b of the ISO-7637-2 Section 5.6.2 Automotive Test Standard. In Compliance. 2018.

180. Electromagnetic susceptibility measurements of vehicle components using TEM cells (14 kHz – 200 MHz). – SAE. – 1984. – June. – P. 130–136.

181. Failure Mode and Effects Analysis. FMEA Handbook. - First Edition. - Michigan: AIAG, 2019. - 236 c.

182. Garat G., Bogatin E. Determining Deterministic Jitter. Mentor Graphics. February 2004.

183. Guiles Ch. Everything You Wanted to Know About Laminates. ARLON Electronic Materials. – 2013. - 77 p.

184. Hietl H. Vernetzte Elektronik im Audi A4 der Produktentstehungsprozess. [Текст] / H.Hietl, J.Zehentbauer, H.Bierer, R.Fuchs. / ATZ/MTZ, 2000. – November – P.141-147.

185. High Frequency Circuit Materials Properties Guide. ROGERS CORPORATION. – 2015. – 12 p.

186. ICNIRP guidelines. For limiting exposure to time-varying electric, magnetic and electromagnetic fields. Health physics 74 (4), 1998, pp. 494-522.

187. IEC 61000-2-13: Electromagnetic compatibility (EMC) – Part 2-13: Environment – Highpower electromagnetic (HPEM) environments – radiated and conducted.

188. IEC 61000-2-9: Electromagnetic compatibility (EMC) – Part 2: Environment – Section 9: Description of HEMP environment – Radiated disturbance.

189. IEC 61000-4-2. Electromagnetic compatibility (EMC). Part 1: Testing and

measurement techniques – Electrostatic discharge immunity test. Second edition. - Geneva, 2008. - 65 p.

190. IEC 61000-4-3. Electromagnetic compatibility (EMC). Part 4-3: Testing and measurement techniques – Radiated, radio-frequency electromagnetic field immunity test. Fourth edition. - Geneva, 2020. - 81 p.

191. IEC 62226-2-1. Exposure to electric or magnetic fields in the low and intermediate frequency range - Methods for calculating the current density and internal electric field induced in the human body - Part 2-1: Exposure to magnetic fields - 2D models. - 2004. - 116 p.

192. IPC-2251. Design Guide for the Packaging of High Speed Electronic Circuits. November 2003. – 90 p.

193. IPC-4101B. Specification for Base Materials for Rigid and Multilayer Printed Boards. – 2006. – 109 p.

194. ISO 7637-2. Road vehicles – Electrical disturbances from conduction and coupling. Part 2: Electrical transient conduction along supply lines only. Third edition. - Geneva, 2011. -48 p.

195. ISO 10605. Road vehicles. Test methods for electrical disturbances from electrostatic discharge. Second edition. - Geneva, 2008. - 50 p.

196. ISO 11451-1. Road vehicles. Vehicle test methods for electrical disturbances from narrowband radiated electromagnetic energy. Part 1: General principles and Terminology. Third edition. - Geneva, 2015. - 25 p.

197. ISO 11451-2. Road vehicles. Vehicle test methods for electrical disturbances from narrowband radiated electromagnetic energy. Part 2: Off-vehicle radiation sources. Third edition. - Geneva, 2015. - 25 p.

198. ISO 11451-3. Road vehicles. Vehicle test methods for electrical disturbances from narrowband radiated electromagnetic energy. Part 3: On-board transmitter simulation. Third edition. - Geneva, 2015. - 54 p.

199. ISO 11451-4. Road vehicles. Vehicle test methods for electrical disturbances from narrowband radiated electromagnetic energy. Part 4: Bulk current

injection (BCI). Third edition. - Geneva, 2013. -8 p.

200. ISO 11452-1. Road vehicles. Component test methods for electrical disturbances from narrowband radiated electromagnetic energy. Part 1: General principles and terminology. Fourth edition. - Geneva, 2015. - 40 p.

201. ISO 11452-2. Road vehicles. Component test methods for electrical disturbances from narrowband radiated electromagnetic energy. Part 2: Absorber-lined shielded enclosure. Third edition. - Geneva, 2019. - 43 p.

202. ISO 11452-3. Road vehicles. Component test methods for electrical disturbances from narrowband radiated electromagnetic energy. Part 3: Transverse electromagnetic (TEM) cell. Third edition. - Geneva, 2016. - 28 p.

203. ISO 11452-4. Road vehicles. Component test methods for electrical disturbances from narrowband radiated electromagnetic energy. Part 4: Harness excitation methods. Fourth edition. - Geneva, 2015. - 35 p.

204. ISO 11452-8. Road vehicles. Component test methods for electrical disturbances from narrowband radiated electromagnetic energy. Part 8: Immunity to magnetic fields. Second edition. - Geneva, 2015. - 26 p.

205. ISO 11452-9. Road vehicles. Component test methods for electrical disturbances from narrowband radiated electromagnetic energy. Part 9: Portable transmitters. First edition. - Geneva, 2012. - 55 p.

206. ISO 14229-1. Road vehicles. Unified diagnostic services (UDS). Part 1: Specification and requirements. - Geneva, 2006. - 12 p.

207. ISO 16750-1. Road vehicles. Environmental conditions and testing for electrical and electronic equipment. Part1: General. Third edition. - Geneva, 2018. - 13 p.

208. ISO 16750-2. Road vehicles – Environmental conditions and testing for electrical and electronic equipment. Part 2: Electrical loads. Fourth edition. - Geneva, 2012. - 28 p.

209. ISO/IEC 17025. General requirements for the competence of testing and calibration laboratories (ITD). - 2005.

210. 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. - 2015.

211. Kaufer S., Crisafalu K. Terminating Differential Signal on PCBs. – Printed Circuit Design magazine. – March 1999. – P.25.

212. Kohlmeier D. Via Modeling - Printed Circuit Design&Manufacture. – 2005. - №12. – P.26-28.

213. Leadless Leadframe Package (LLP). Application Report SNOA401R. September, 2000. Revised May 2013. AN-1187. – 33 p.

214. Lindl B., Scheyhing J. EMV – die Entstörung von Kraftfahrzeugen. [Текст] – ATZ. – 1999. – № 5. – P. 292–300.

215. Low-Voltage Differential Signaling (LVDS). SLLA014A. Texas Instruments, Design Notes AN-1398, 2000. – 7 p.

216. LVDS Owner's Manual. A General Design Guide for National's Low Voltage Differential Signaling (LVDS) and Bus LVDS Products. National Semiconductor. 2nd Edition, 2000. – 101 p.

217. LVDS Owner's Manual. Texas Instruments, 2012. - 111 p.

218. Ma J. Termination Schemes and Design Guidelines for 3.3V LVPECL Driver. – Ppericom Semiconductor Corp. / AN 73, 2004. – 2 p.

219. 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.

220. McMorro S. Handling Signal Return Current. – Printed Circuit Design. – 2002. - №9. - P.12-16.

221. Mears J. Transmission Line RAPIDESIGNER. Operation and Applications Guide/AN-905, National Semiconductor Corporation, 1996. – 28 p.

222. Microwave test facility. / Ericsson Saab Avionics, Electromagnetic Technology Division. Linkoping, Sweden. – S.581-588.

223. MIL-HDBK-235-1B. DoD. Handbook. Hazards of Electromagnetic Radiation to Ordnance (HERO) Test Guide. – 2002. – 121 p.
224. MIL-HDBK-235-1C. DoD. Handbook. Military Operational Electromagnetic Environment Profiles. Part 1C. – 2000. – 39 p.
225. MIL-HDBK-237D. DoD. Handbook. Electromagnetic Environment Effects and Spectrum Supportability Guidance for Acquisition Process. – 2005. – 172 p.
226. MIL-HDBK-454B. DoD. Handbook. General Guideline for Electronic Equipment. – 15 Apr. 2007. – 208 p.
227. MIL-STD-331C, Military Standard. Test Method Standard. Fuze and Fuze Components, Environmental and Performance Tests for. – 5 Jan. 2005. – 295 p.
228. MIL-STD-461F, Military Standard. Department of Defense. Interface Standard. Requirements for the Control of Electromagnetic Interference Characteristics of Subsystems and Equipment. – 10 Dec. 2007. – 269 p.
229. MIL-STD-464, Military Standard. Department of Defense. Electromagnetic Environmental Effects Requirements for Systems. – 18 Mar. 1997. – 116 p.
230. MIL-STD-464A, Military Standard. Electromagnetic Environment Effects. Requirements for Systems. – 17 Dec. 2002. – 116 p.
231. MIL-STD-704F, Military Standard. Department of Defense Interface standard: Aircraft Electric Power Characteristics. – 12 Mar. 2004. – 25 p.
232. Open field whole-vehicle radiated susceptibility 10 KHz – 18 GHz, Electric field. – SAE. – 1981. – June. – P. 115–125.
233. Ott H.W. Electromagnetic Compatibility Engineering. New Jersey: John Wiley & Sons. 2009. 844 p.
234. Patel G., Rothstein K. Signal Integrity Characterization of Printed Circuit Board Parameters. – TERADYNE, 2002. – 8 p.
235. PCB Fabrication. Embadded Passive. – Buried Capacitance. – Sanmina-SCI, 2009. – 2 p.

236. PCB Stackup Design Considerations for Alter FPGAs. AN-613-1.0.-2010. – 26 p.

237. Peffers M. Introduction to M-LVDA (TIA/EIA-899) Texas Instruments Incorporated Application Report. SLLA108A – February 2002. – Revised January 2013. – 10 p.

238. Podgorniy A., Nikolaev P., Brachunova Y, Efimov-Soini N, Kozlovsky V. Performance analysis of electrical systems of vehicles under the external electromagnetic exposure. – IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering 986 (2020) 012048 IOP Publishing doi:10.1088/1757-899X/986/1/012048.

239. Podgorniy A., Nikolaev P., Kritskiy A., Shamina L., Kozlovsky V. Experimental studies of a hybrid car and electric car interference immunity. – E3S Web of Conferences 221, 01001 (2020) ESEI 2020. (<https://doi.org/10.1051/e3sconf/202022101001>).

240. Podgorniy A., Nikolaev P., Saksonov A., Shamina L., Kozlovsky V. Algorithm development for finding the minimum level of noise immunity of an onboard electrical complex during control tests. – E3S Web of Conferences 221, 01005 (2020) ESEI 2020 (<https://doi.org/10.1051/e3sconf/202022101005>).

241. Podgorniy A.S., Nikolaev P.A., Kritskiy A.V, Shamina L., Zhmaylo M.A., Kozlovsky V.N. Electromagnetic compatibility of the on-board electrical complex as a key factor in ensuring the operational safety of vehicles. – IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering 986 (2020) 012049. IOP Publishing doi:10.1088/1757-899X/986/1/012049.

242. Podgorny A., Aydarov D., Nikolaev P., Shalda A, Kozlovsky V. Electromagnetic Compatibility-a New Reality of Car Quality. – IEEE Conference of Russian Young Researchers in Electrical and Electronic Engineering, ElConRus. – 2021. (Номер категории CFP21A11-ART; Код 168373).

243. Podgorny A., Brachunova U., Nikolaev P., Blagoveshchensky D, Shalda A., Kozlovsky V. Influence of Vehicles Design and Engineering Parameters on the Onboard Electrical Complex Interference Immunity. – 2021 IEEE Conference of

Russian Young Researchers in Electrical and Electronic Engineering, ElConRus. – 2021. (Номер категории CFP21A11-ART; Код 168373).

244. Podgorny A.S., Kozlovskii V.N., Nikolaev P.A. Disruption of an Operational Vehicles Electrical Systems by Electromagnetic Interference: A Probabilistic Model. – Russian Engineering Research. – 2023. – №8. – pp. 997 – 999.

245. Podgorny A.S., Nikolaev P.A., Kozlovskii V.N. Approach to Ensuring the Electromagnetic Compatibility of Automobile Components. – Russian Engineering Research. – 2024. – №6. – pp. 843–845.

246. Podgorny A.S., Nikolaev P.A., Kozlovskii V.N. Electromagnetic Susceptibility Matrix of a Vehicle. – Russian Engineering Research. – 2023. – №8. – pp. 1000 – 1002.

247. Podgorny A.S., Nikolaev P.A., Kozlovskii V.N. Ensuring Electromagnetic Compatibility of Automobiles by Routine Maintenance. – Russian Engineering Research. – 2024. – №6. – pp. 840–842.

248. Podgorny A.S., Nikolaev P.A., Kozlovskii V.N. Standard Approaches to Ensuring the Electromagnetic Compatibility of Vehicles. – Russian Engineering Research. – 2023. – №8.- pp. 991 – 996.

249. Podgorny A.S., Nikolaev P.A., Kozlovskii V.N., Ibragimov O.D. Vehicle–Manufacturer Feedback in Ensuring the Electromagnetic Compatibility of Automobile Components. – Russian Engineering Research. – 2024. – №6. – pp. 846–849.

250. Podgorny A.S., Nikolaev P.A., Kozlovskii V.N., Saksonov A.S. Electromagnetic Compatibility as an Aspect of Quality Assurance in Designing Vehicle Systems. – Russian Engineering Research. – 2024. – №6. – pp. 835–839.

251. Procurement specification 9.90110. Automotive electric and electronic devices. Fiat Group Automobiles. 2007. 56 p.

252. Product specification 36-00-808. Resistance to electrical disturbances and electromagnetic compatibility instructions concerning electrical, electronic and pyrotechnic equipment. RENAULT. 2008. 124 p.

253. Rakouth, H., C. Cammin, L. Comstock, and J. Ruiz, Automotive EMC:

Key concepts for immunity testing, 2007 IEEE International Symposium on Electromagnetic Compatibility. 2007.

254. Regulation No. 10. Uniform provisions concerning the approval of vehicles with regard to electromagnetic compatibility. Addendum 9. Revision 6. UNITED NATIONS. Geneva, 2017. 170 p.

255. Regulation No. 116. Anti-theft and alarm systems. Addendum 115. Revision 6. UNITED NATIONS. Geneva, 2019. 95 p.

256. RF testing facility. [Текст] – – Automotive engineering. – 2000. – № 3. – P. 112–113.

257. Riazi A. Effects of Plane Splits on High-Speed Signals. Part 1. – PCD&M. – Tuesday, 30 January 2007. – P.15.

258. Riazi A. Via Modeling for High-Speed Simulation. Part 2. - Printed Circuit Design&Manufacture. – 2003. - №10. – P.38-40.

259. Rybak T., Steffka M. Automotive Electromagnetic Compatibility (EMC). 1st ed. Kluwer Academic Publishers. 2003. – 310 p.

260. SAE 831011. An Indoor 60 Hz to 40 GHz Facility for Total Vehicle EMC Testing. – 1983.

261. SAE J 551/12:1996 Vehicle Electromagnetic Immunity-On-Board Transmitter Simulation. – 1996.

262. SAE J1939-15. SAE AUG2008. Reduced Physical Layer, 250K bits/sec, UN-Shielded Twisted Pair (UTP), 2008. – 20 p.

263. Taylor K. Why Effective ϵ_r is the same as Bulk ϵ_r . – Polar Instruments 2002. – 15 p.

264. Texas Instruments. Interface Circuits for TIA/EIA-644 (LVDS). Design Notes. September 2002. – 16 p.

ПРИЛОЖЕНИЕ



АКЦИОНЕРНОЕ ОБЩЕСТВО «АВТОВАЗ»

ОГРН 1026301983113 Южное шоссе, 36, Тольятти
ИНН 6320002223 Самарская область, 445024
Факс (8482) 73-82-21 www.lada.ru | info.avtovaz.ru
Тел. (8482) 73-92-95 E-mail avtovaz@vaz.ru

Справка о внедрении
результатов работ
Подгорного Александра
Сергеевича

26.03.2025 № 34441-03/17

На № _____ от _____

Справка о внедрении

443086, Россия,
г. Самара,
Самарский университет
Московское шоссе, 34

СПРАВКА

О ВНЕДРЕНИИ ОСНОВНЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ В ПРАКТИКУ АО «АВТОВАЗ»

В рамках решения комплексных задач направленных на повышение качества, надежности и безопасности конструкций новых автомобилей, к.т.н., доцентом кафедры «Теоретическая и общая электротехника» ФГБОУ ВО «Самарский государственный технический университет» Подгорним Александром Сергеевичем получены новые научно-прикладные результаты, прошедшие апробацию и внедренные в практику АО «АВТОВАЗ»:

1. Модернизированный инженерный инструментарий испытаний автомобилей, в процессе проектирования, с реализацией дискретного углового позиционирования, изменением азимутальной направленности автомобиля по отношению к источнику помех, импульсным электромагнитным воздействием на автомобиль во время экспериментов, с формированием количественной оценки показателей качества помехоустойчивости.

2. Матрица нарушения качества функционирования автотранспортного средства, учитывающая множества эффектов и взаимодействующих комбинаций электромагнитного воздействия на автомобиль, применяется для оценки качества, заложенных при проектировании и обеспеченных в производстве решений и ранжирования режимов функционирования по группам помехоустойчивости.

3. Количественный индекс качества продукции, отражающий предельную минимальную поглощаемую мощность, при которой происходит нарушение качества функционирования автомобиля.

Все предложенные технические решения прошли успешную апробацию, доказали свою производственную эффективность и вошли в устойчивую практику применения в лаборатории Электромагнитной Совместимости АО «АВТОВАЗ».

Д.т.н., начальник бюро исследования
электромагнитной совместимости,
Службы первого исполнительного
Вице-президента по стратегии и
техническому развитию АО «АВТОВАЗ»



П.А. Николаев

АО «АВТОВАЗ», г. Тольятти, Южное шоссе 36, 445024.

Николаев Павел Александрович.

начальник бюро исследования электромагнитной совместимости.

Доктор технических наук, специальность 05.09.03 – «Электротехнические комплексы и системы»

Тел.: 8-8482-643314

e-mail: Pavel.Nikolaev@vaz.ru

**УНИВЕРСАЛ**

Официальный дилер

НПК ЗАО «УНИВЕРСАЛ»

445041, Самарская область, Тольятти,
ул. Куйбышева 21

Телефоны: 8 (84-82) 94-91-02; 97-51-52

head@lada-universal.ru

universal.lada.ru

Дата 26.03.2025 № 390/22

На № _____ от _____

**СПРАВКА
О ВНЕДРЕНИИ ОСНОВНЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОЙ
ДЕЯТЕЛЬНОСТИ В ПРАКТИКУ НПК «ЗАО «УНИВЕРСАЛ»**

В рамках решения комплексных задач направленных на повышение надежности автомобилей специальных комплектаций, к.т.н., доцентом кафедры «Теоретическая и общая электротехника», ФГБОУ ВО «СамГТУ» Подгорним Александром Сергеевичем предложены новые научно-инженерные решения, которые успешно внедрены в устойчивую практику НПК «ЗАО «УНИВЕРСАЛ»:

- инженерные инструменты обеспечения качества автомобилей по параметрам электромагнитной совместимости, реализуемые посредством соответствующей укладки жгутов проводов и установки дополнительной защиты направленной на повышение помехоустойчивости электротехнических и электронных компонентов автомобилей;

- методики оценки качества автомобилей по параметрам электромагнитной совместимости, в том числе экспериментальные, применяются для оценки соответствия фактически полученных оценок с требованиями закладываемыми для автомобилей специальных комплектаций;

- инженерные решения направленные на модернизацию архитектуры электротехнического комплекса автомобилей, с выделением электронного модуля управления по параметрам помехоустойчивости, нашли применение при построении перспективного бортового электротехнического комплекса автомобиля специальной комплектации, который в настоящее время находится в процессе разработки.

Все предложенные научно-инженерные решения обеспечивают повышение качества и эффективности автомобилей в процессе эксплуатации. Внедрение предложенных инструментов при доукомплектовании новых автомобилей до уровня специальной комплектации, обеспечивают формирование экономического эффекта в размере 8,5 млн. руб. в год, в ценах 2024г.

С уважением,
Генеральный директор

НПК ЗАО «УНИВЕРСАЛ»



А.Н. Платицын

ОГРН 1036301017268, ИНН 6322003350

ПАО «Сбербанк России» г. Самара,

р/сч № 40702810954040100985 БИК: 043601607, к/сч №

30101810200000000607

СПРАВКА О ВНЕДРЕНИИ ОСНОВНЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ В ПРАКТИКУ ПАО «КАМАЗ»

В ПАО «КАМАЗ» последовательно реализуется комплексная программа по повышению удовлетворенности потребителей качеством продукции и услуг, проводимая Департаментом Технического Контроля (ДТК) ПАО «КАМАЗ» совместно с ФГБОУ ВО «СамГТУ».

Под общим научным руководством д.т.н., профессора ФГБОУ ВО «СамГТУ» Козловского В.Н. решаются задачи по развитию организационной структуры подразделений службы управления качеством ПАО «КАМАЗ», проводится разработка и реализация системы мониторинга качества автомобилей в эксплуатации, а также проводится разработка технических решений направленных на повышение качества продукции.

Настоящей справкой подтверждается, что в рамках реализации комплексной программы реализуемой на предприятии, к.т.н., доцентом ФГБОУ ВО «СамГТУ» Подгорним Александром Сергеевичем в период с 2020 по 2024гг. были разработаны и внедрены в устойчивую производственную практику ряд комплексных технических решений направленных на повышение качества автомобилей по параметрам электромагнитной совместимости бортового электротехнического комплекса.

Подгорним А.С. предложены и внедрены в практику ПАО «КАМАЗ»: инженерные инструменты вероятностного моделирования нарушения качества функционирования бортовых электротехнических систем при электромагнитном воздействии в условиях эксплуатации; количественные критерии мощностных показателей электромагнитной поражаемости автотранспортных средств; статистические инструменты выборочного контроля качества новых автомобилей по параметрам электромагнитной совместимости; ряд технических решений направленных на повышение качества автомобилей по параметрам электромагнитной совместимости.

Применение разработанных технических решений обеспечивает получение экономического эффекта в размере 8 млн. руб. в год, начиная с 2021г., за счет зафиксированного при мониторинге качества автомобилей в период гарантийной эксплуатации устойчивого снижения дефектности по ряду позиций бортового электротехнического комплекса.

Заместитель директора Департамента
Технического Контроля ПАО «КАМАЗ», к.т.н.

С.А. Шанин

