

На правах рукописи

Подгорный Александр Сергеевич

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

2.5.22 – Управление качеством продукции. Стандартизация.
Организация производства

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
доктора технических наук

Самара – 2025

Работа выполнена в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Самарский государственный технический университет» на кафедре «Теоретическая и общая электротехника».

Научный консультант:

Козловский Владимир Николаевич, доктор технических наук, профессор, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Самарский государственный технический университет», кафедра «Теоретическая и общая электротехника», заведующий кафедрой.

Официальные оппоненты:

Димитров Валерий Петрович, доктор технических наук, профессор, Заслуженный работник высшей школы РФ, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Донской государственный технический университет», кафедра «Управление качеством», заведующий кафедрой;

Ивахненко Александр Геннадьевич, доктор технических наук, профессор, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Юго-Западный государственный университет», кафедра машиностроительных технологий и оборудования, профессор кафедры;

Полякова Марина Андреевна, доктор технических наук, доцент, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», кафедра обработки материалов давлением им. М.И. Бояршинова, профессор кафедры.

Ведущая организация:

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Иркутский национальный исследовательский технический университет», г. Иркутск.

Защита состоится 17 декабря 2025 года в 10:00 на заседании диссертационного совета 24.2.379.05, созданного на базе федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева», по адресу: 443086, г. Самара, Московское шоссе, 34.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева» и на сайте: https://ssau.ru/resources/dis_protection/podgomny.

Автореферат разослан « »

2025 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета 24.2.379.05
доктор технических наук, доцент

Я.А. Ерисов

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

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 обяза-

тельном 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. Лапидуса, 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. Васина, 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. Сулова, Х.А. Фасхисва, А.Д. Шадрина, А.П. Шаласва, 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. Hietl, 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 авто-

транспортного 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 обеспечением 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 отно-

шению 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 документаль-

ного 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 развитии 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.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность темы исследования, определена цель и поставлены основные задачи, изложены научная новизна, теоретическая и практическая значимость, основные положения, выносимые на защиту.

В первой главе проводится актуализация проблемы развития методологии управления качеством автомобилей по параметрам электромагнитной совместимости.

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 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.

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.

Основные цели всех этапов APQP-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.

Представим взаимосвязь этапов APQP и всех действий, а также требуемых документов на входах и выходах в виде единой схемы (рисунок 1).

Из представленного выше описания APQP-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 APQP (рисунок 2).

Таблица 1 – Этапы APQP-процесса

Этап	Цель этапа	Пункты стандарта IATF 16949
Этап 1-й – 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
Этап 2-й – 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
Этап 3-й – 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
Этап 4-й – 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
Этап 5-й – производство и действия по улучшению	Поддержание и улучшение качества продукции и процессов	8.5 – 8.7, 9, 10

Диаграмма потока APQP-процесса

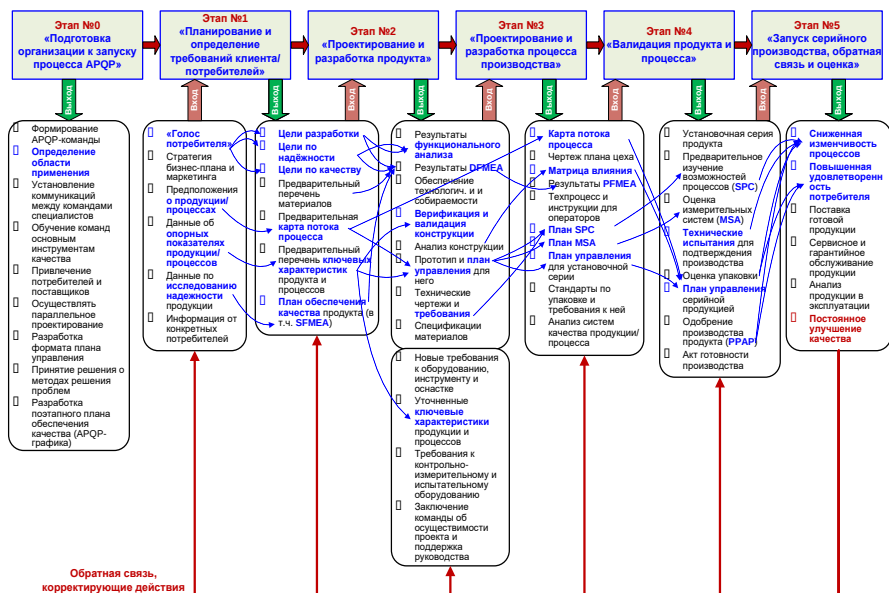


Рисунок 1 – Схема взаимосвязи этапов APQP и входо-выходов

Выявление, учет и контроль специальных характеристик и их применение в планах управления в рамках всех этапов APQP являются важнейшими элементами системы обеспечения качества продукции. Специальные характеристики – это пара-

метры продукции или процесса, которые критически влияют на безопасность, соответствие законодательным требованиям, функциональность продукта или удовлетворенность клиента. Электромагнитная совместимость – это ключевой аспект проектирования современных автомобилей, где электронные системы управляют критически важными функциями – от безопасности до комфорта. В таблице 2 сведены все рассмотренные виды испытаний на электромагнитную совместимость (ЭМС) в разрезе общего APQP-процесса. Интеграция испытаний по ЭМС в процесс APQP позволяет управлять рисками на этапах жизненного цикла автомобиля. Это включает проектирование, валидацию и серийное производство, что в определенной степени гарантирует соответствие международным и российским стандартам, таким как ISO 11452, CISPR 25 и ГОСТ Р 41.10.

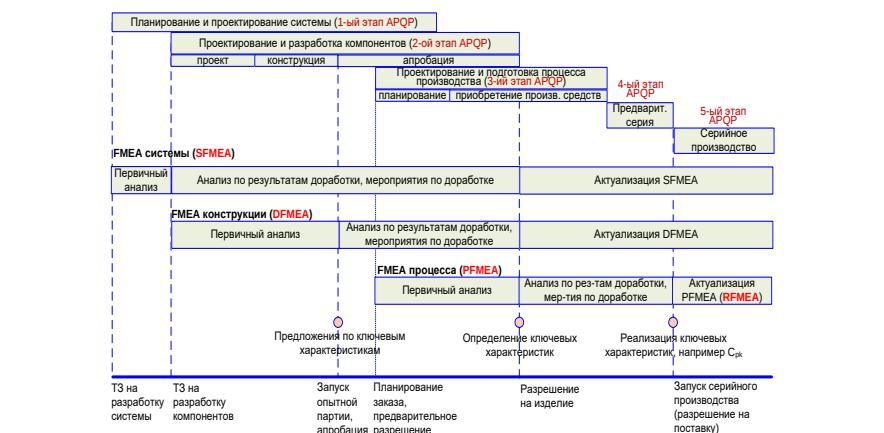


Рисунок 2 – Место методологического инструментария FMEA в APQP-процессе

Таблица 2 – Сводная таблица испытаний по ЭМС в рамках APQP

Этап APQP	Испытание	Стандарт/Метод	Исследуемые параметры
Этап 2	Устойчивость к радио-помехам	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

В то же время в таблице 3 в рамках конкретных этапов APQP 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. Именно для решения данных проблем предлагаются к разработке научно-техническая методология и инструментарий управления качеством автомобилей на этапах жизненного цикла по параметрам электромагнитной совместимости (рисунок 3).

Графическая интерпретация разрабатываемой методологии управления качеством автомобилей на этапах жизненного цикла по параметрам электромагнитной совместимости представлена на рисунке 3.

Таблица 3 – Перечень текущих задач и проблем, требующих решения в рамках разрабатываемой методологии

№ 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 критерию «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)
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»

Во второй главе диссертационного исследования рассматривается содержательная часть проблемы электромагнитной совместимости с точки зрения конкурентоспособности и качества современных автомобилей. 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 и т.д. В обобщенном виде электромагнитные помехи (ЭМП) ухудшают качество работы автомобилей, определяют потерю работоспособности, снижают надежность и функциональную безопасность и приводят к выходу из строя (рисунок 4, а). С оптимальной позиции затраты на обеспечение качества с точки зрения электромагнитной совместимости (ЭМС) при производстве АТС (автотранспортных средства) должны быть экономически целесообразны, а компромиссное решение – содержать совокупность экономических и технических мероприятий. Данный оптимум затрат на рисунке 4, б показан в виде множества Y . Автопроизводитель в процессе разработки и выпуска продукции решает сложную задачу, связанную с обеспечением качества автомобилей по параметрам ЭМС, но в то же время процесс этот должен быть экономически эффективным. При недостаточном подходе к вопросам обеспечения качества ЭМС риск нарушения работоспособности автомобилей в эксплуатации увеличивается. Обобщая существующий опыт, можно дать классификацию по способу реализации применяемых для обеспечения качества автомобилей по параметрам помехоустойчивости решений в области ЭМС, которая приведена на рисунке 4, в.

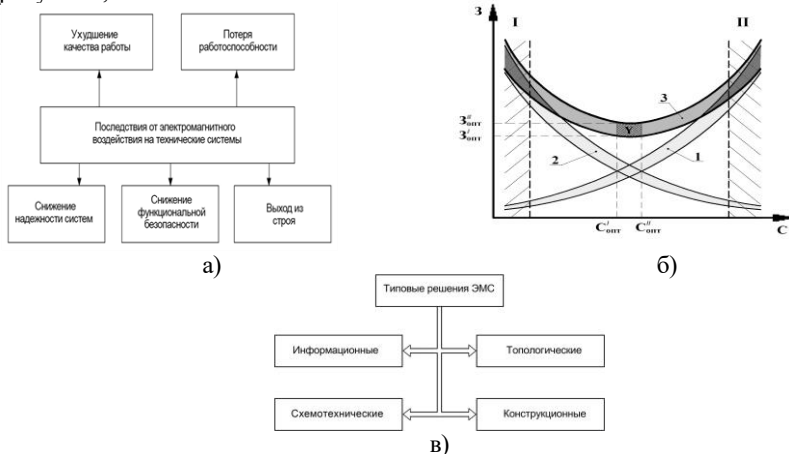


Рисунок 4 – Структурная схема последствий воздействия ЭМП на автомобиль (а); график изменения затрат Z , связанных с обеспечением требований к ЭМС автомобилей в зависимости от сложности C требований (б): 1 – затраты на обеспечение ЭМС на этапе конструирования; 2 – экономические потери в процессе эксплуатации из-за недостаточного обеспечения требований ЭМС; 3 – общие затраты, классификация типовых решений, применяемых для обеспечения качества автомобилей по параметрам помехоустойчивости (в)

Помехоустойчивость автомобилей определяется в соответствии с типовым функциональным состоянием и подразделяется на пять классов.

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

2. Класс В: у автомобиля 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 автомобиля не выполняется, 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 Е: во время теста какая-либо функция не выполняется, а по завершении воздействия ее работоспособность восстанавливается после ремонта.

Типовые международные требования класса А, установленные в международных стандартах, определяют помехоустойчивость автомобилей гражданского назначения к уровню 30 В/м в частотном диапазоне от 20 МГц до 2 ГГц. Соответствующие индикаторы в диссертации рассматриваем как ключевые параметры качества автомобиля по параметрам электромагнитной совместимости.

В автомобиле 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. Пример требований приведен в таблице 4.

Таблица 4 – 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

Текущие инструменты, решающие задачу обеспечения качества, реализуются в первую очередь на этапах проектирования и производства. В эксплуатации адекватного инструментария обеспечения качества на сегодняшний день не существует.

В третьей главе проводится совершенствование методов испытаний на оценку качества автотранспортных средств по параметрам помехоустойчивости.

Применяемые стандартные методы испытаний на оценку качества по параметрам помехоустойчивости регламентируют фронтальное, боковое и заднее расположение автомобилей относительно полеобразующей системы. В эксплуатации автомобиль ориентируется по отношению к одному или нескольким источникам

электромагнитных помех сразу случайным образом (рисунок 5, а). Поэтому очевидно, что регламентированные позиционирования не являются достаточными для полной оценки помехоустойчивости. Постановка задачи: определить при испытаниях минимальное количество позиций и их положения относительно источника излучения, при которых оценка качества по параметрам помехоустойчивости будет достаточно полной. Автомобиль представляет собой несимметричную систему. Каждая конкретная модель автомобиля 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 5, б. Испытания необходимо проводить в диапазоне азимутальных углов от 0 до 360 град по отношению к источнику излучения. Во время испытаний автомобиль в соответствии с тест-планом может работать в установившемся или динамическом режиме. В первом случае циклы всех функций длятся короткое время, которое на практике составляет не более 3 секунд. 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. В этом случае непрерывное вращение нецелесообразно, т.к. возможно несовпадение основного лепестка диаграммы направленности автомобиля с максимумом воздействия на некотором участке цикла. Поэтому при испытаниях в динамических режимах следует применять дискретное позиционирование. Отсюда параметрами углового позиционирования, которые необходимо определить, являются дискретный угол позиционирования и азимутальная угловая скорость.

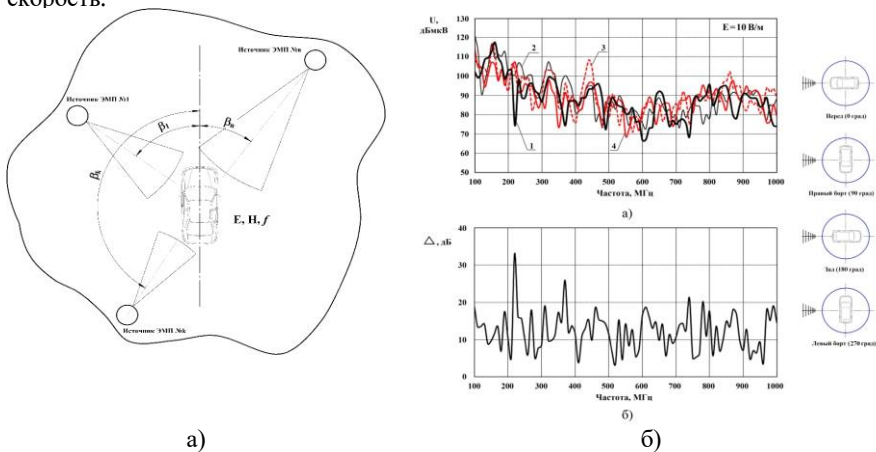


Рисунок 5 – Случайная азимутальная ориентация автомобиля по отношению к источникам излучения (а); параметры наведенных помех в бортовой сети по входу контроллера системы управления двигателем: а – амплитуда, б – разница между максимальным и минимальным значениями; 1 – перед (0°); 2 – правый борт (90°); 3 – задняя часть (180°); 4 – левый борт (270°)

Многократная обработка экспериментальных данных при испытаниях автомобилей по параметрам ЭМС показывает, что среднее значение или статистическое математическое ожидание диаграммы направленности составляет

$m^* = \beta_{cp} = 37,8^0$. Статистическое среднеквадратическое отклонение составляет $\sigma_{ct} = 14,6^0$. На основании критерия χ^2 было доказано, что этот закон с вероятностью $P = 0,78$ подчиняется равномерному. Отсюда границы диапазона β_{min} и β_{max} определяются из соответствующих выражений для моментов равномерного закона:

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

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

Подставляя $m^* = \beta_{cp} = 37,8^0$ и $\sigma_{ct} = 14,6^0$ в (1), (2) и 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 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

$$f_{плотн}(\varphi) = 1/(\beta_{max} - \beta_{min}) = 0,02. \quad (3)$$

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

$$P = f_{плотн}(\varphi) \times (15^0 - \beta_{min}) = 0,02 \times 2,5 = 0,05. \quad (4)$$

Как видно, 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

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

Дискретное позиционирование приемлемо для поиска проблем и их детального исследования. По результатам тестов строится характеристика помехоустойчивости (рисунок 6, а).

$$E_n(f, \beta) = \begin{vmatrix} E_{f_{min}, \beta_{min}} & E_{f_{min}, \beta_{min} + \Delta\beta m} & \dots & E_{f_{min}, \beta_{max}} \\ E_{f_{min} + \Delta f n, \beta_{min}} & E_{f_{min} + \Delta f n, \beta_{min} + \Delta\beta m} & \dots & E_{f_{min} + \Delta f n, \beta_{max}} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ E_{f_{max}, \beta_{min}} & E_{f_{max}, \beta_{min} + \Delta\beta m} & \dots & E_{f_{max}, \beta_{max}} \end{vmatrix}, \quad (6)$$

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; $\Delta\beta = \beta_{опт.д} = 15^0$; $n = 1, 2, 3 \dots j$; $m = 1, 2, 3 \dots j$.

В диссертации разрабатывается алгоритм определения минимального уровня показателя качества по параметру помехоустойчивости (рисунок 6, б). Для решения задачи нахождения минимального уровня показателя качества по параметрам помехоустойчивости адекватен подход, в котором параметры электромагнитного воздействия при тестировании автомобилей задаются из учета рассмотрения бортовых систем как систем с множеством паразитных резонансных контуров.

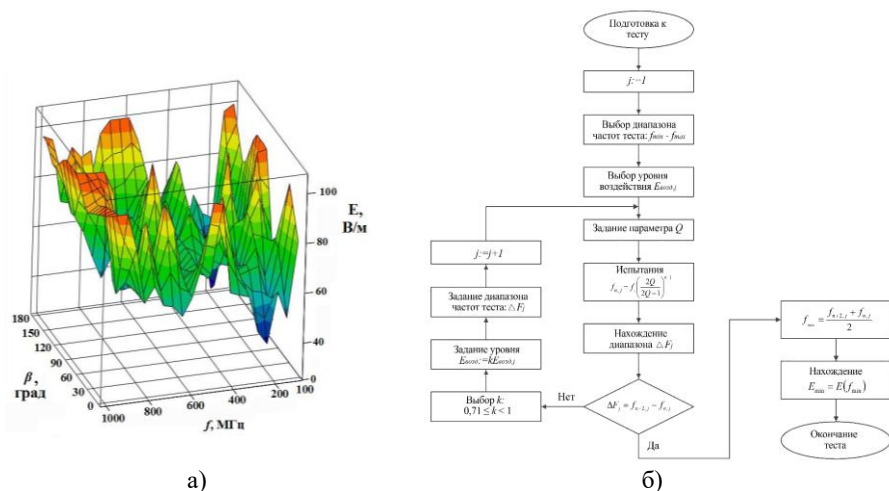


Рисунок 6 – Характеристика помехоустойчивости опытного контролера управления двигателем автомобиля LADA GRANTA (а); алгоритм нахождения минимального уровня показателя качества по параметрам помехоустойчивости АТС, при испытаниях на узкополосное электромагнитное воздействие (б)

При поиске минимума уровня показателя качества по параметру помехоустойчивости автомобилей происходит итерационное снижение электромагнитного воздействия Евозд. Предложенный в алгоритме подход графически поясняется рисунком 7.

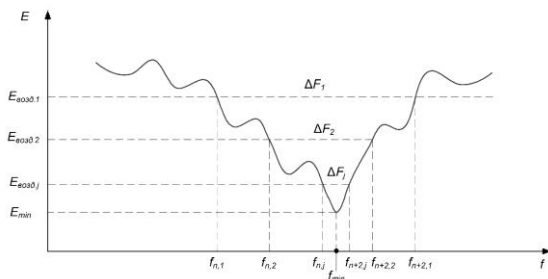


Рисунок 7 – Графическое представление нахождения показателя качества, отражающего минимальный уровень помехоустойчивости автомобиля

Одной из основных проблем обеспечения соответствия бортовых систем автомобилей требованиям качества по параметрам помехоустойчивости является детальный глубокий анализ характера нарушения их качества функционирования при испытаниях. Основная причина этому – отсутствие специализированной контрольно-измерительной аппаратуры. Представляется актуальной задача разработки метода анализа нарушения качества функционирования бортовых систем для обеспечения их помехозащищенности, позволяющего по косвенным признакам определять харак-

тер физической сущности нарушения качества функционирования бортовых систем и с учетом этого анализировать схемы, локализуя слабо защищенный узел. Сущность метода состоит в том, что 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, полученной от средств видео-/аудиоконтроля, а также данных телеметрии, таких как диагностические ошибки, и информацию, заключенную в фреймах, передаваемых бортовыми устройствами. На практике на автомобиль достаточно применить три типа воздействующих сигналов: немодулированный гармонический (CW), амплитудно-модулированный (AM) и импульсно-модулированный (ИМ). Обозначение CW применяется в соответствии с обозначением, использованным в ISO 11451-1. Рассматриваемые сигналы описываются следующими аналитическими выражениями:

$$\begin{aligned} E_{CW}(t) &= E_{\max} \cos(\omega_n t), \\ E_{AM}(t) &= E_{\max} [1 + M \cos(\Omega t)] \cos(\omega_n t), \\ E_{IM}(t) &= \begin{cases} E_{\max} \cos(\omega_n t); & t \in [0; \tau_n], \\ 0; & t \in (0; T_n), \end{cases} \end{aligned} \quad (7)$$

где $E_{\max}$ – максимальная амплитуда немодулированного сигнала; ω_n – круговая несущая частота воздействия; M – коэффициент (глубина) модуляции; Ω – частота модулирующего колебания; τ_n – длительность импульсного воздействия; T_n – период импульсного воздействия.

В процессе испытаний создаются три вида рассматриваемых электромагнитных воздействий, проводится их итерация 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.

Актуальность проблемы совершенствования метода испытаний по оценке качества автомобилей при импульсном электромагнитном воздействии определяется необходимостью улучшения помехоустойчивости автомобилей в условиях развития цифровых систем связи и радиолокации. В работе установлено, что для обеспечения высокой стабильности уровня воздействия во время испытаний необходимо применять радиопоглощающий материал рассеивающего типа с типовыми характеристиками затухания 40 дБ. В этом случае неравномерность будет не более 1 %. Для исключения общей систематической некорректной интерпретации результатов тестирования АТС по оценке качества по параметрам помехоустойчивости в области частот свыше 2 ГГц необходимо внести корректировку в части применения радиопоглощающих материалов на полу в методологию испытаний, регламентируемую стандартами ISO, в частности в ISO 11451-2.

Несмотря на внедряемые в автомобильной промышленности стандарты качества, параметры помехоустойчивости одинаковых комплектаций сильно различаются. Результаты тестов выборки образцов дают различие по уровням до 30 %. Анализ текущей практики показывает, что имеются две группы факторов, от которых зависит высокое качество по параметрам помехоустойчивости: нестабильность параметров процесса испытаний и разброс конструкторско-технологических параметров автомобилей.

Нарушения работоспособности у разных АТС имеют одну и ту же особен-

ность, 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 то же 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. Доказательство данного вывода было подтверждено экспериментально на основании статистических данных испытаний системы безопасной парковки 47 автомобилей LADA Granta (рисунк 8).

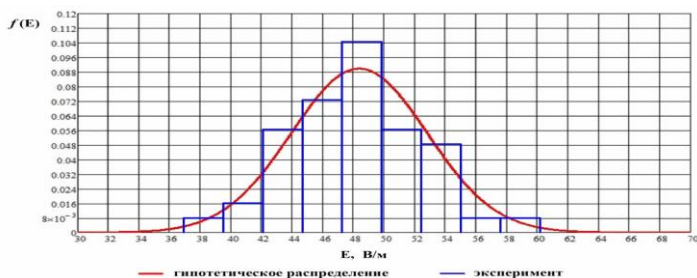


Рисунок 8 – Распределение минимальных уровней показателя качества по параметрам помехоустойчивости системы безопасной парковки автомобилей LADA Granta ($\chi^2=2,197$; $r=6$; $P=0,9$)

Полученные выше выводы используем для разработки вероятностной математической модели оценки качества автомобилей по параметрам помехоустойчивости для большой партии АТС по ограниченной выборке. По окончании теста конкретного АТС строится матрица показателей качества по параметрам помехоустойчивости и из нее выбирается минимальное значение (которое, по сути, определяет индикатор, устанавливающий минимальное значение параметра качества):

$$\begin{pmatrix} E_{f_{\min}, \sigma_{\min}} & E_{f_{\min}, \sigma_{\min} + \Delta \sigma k} & \dots & E_{f_{\min}, \sigma_{\max}} \\ E_{f_{\min} + \Delta f m, \sigma_{\min}} & E_{f_{\min} + \Delta f m, \sigma_{\min} + \Delta \sigma k} & \dots & E_{f_{\min} + \Delta f m, \sigma_{\max}} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ E_{f_{\max}, \sigma_{\min}} & E_{f_{\max}, \sigma_{\min} + \Delta \sigma k} & \dots & E_{f_{\max}, \sigma_{\max}} \end{pmatrix} \rightarrow E_{\min} \quad (8)$$

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

$$\bar{E}_{\min} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n E_{i \min} \quad (9)$$

где $E_{i \min}$ – минимальный уровень помехоустойчивости $i^{\text{го}}$ каждого АТС, проходящего испытания; n – количество АТС, а эффективная оценка дисперсии

$$S_D^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (E_{i\min} - \bar{E}_{\min})^2. \quad (10)$$

Далее задача сводится к нахождению этих моментов с заданной вероятностью. Вероятностный закон распределения уровня помехоустойчивости, как было показано ранее, является нормальным, поэтому применим распределение Стьюдента для определения интервальной оценки математического ожидания. Надежность того, что первый момент попадет в некоторый интервал,

$$P\left(\bar{E}_{\min} - t_{\alpha} \frac{S_D}{\sqrt{n}} < m_{E_{\min}} < \bar{E}_{\min} + t_{\alpha} \frac{S_D}{\sqrt{n}}\right) = 1 - \alpha, \quad (11)$$

где t_{α} – коэффициент Стьюдента, который для заданной α находится по таблицам.

Математическое ожидание более обоснованно находить с позиции наилучшего варианта. Отсюда

$$m_{E_{\min}} = \bar{E}_{\min} - t_{\alpha} \frac{S_D}{\sqrt{n}}. \quad (12)$$

При нахождении второго момента применим распределение χ^2 , потому что математическое ожидание неизвестно. Тогда надежность попадания дисперсии в некоторый интервал запишем как

$$P\left(\frac{(n-1)S_D^2}{\chi_{\alpha}^2} < \sigma_{E_{\min}}^2 < \frac{(n-1)S_D^2}{\underline{\chi}_{\alpha}^2}\right) = 1 - \alpha, \quad (13)$$

где χ^2 – коэффициенты распределения, которые для заданной α находятся по таблицам.

Среднеквадратическое отклонение ($\sigma_{E_{\min}}$) при этой же вероятности будет находиться в пределах

$$P\left(\sqrt{\frac{(n-1)S_D^2}{\chi_{\alpha}^2}} < \sigma_{E_{\min}} < \sqrt{\frac{(n-1)S_D^2}{\underline{\chi}_{\alpha}^2}}\right) = 1 - \alpha, \quad (14)$$

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

$$\sqrt{\frac{(n-1)S_D^2}{\chi_{\alpha}^2}} < \sigma_{E_{\min}} < \sqrt{\frac{(n-1)S_D^2}{\underline{\chi}_{\alpha}^2}}. \quad (15)$$

Среднеквадратическое отклонение более обоснованно находить с позиции наилучшего варианта, т.е. $\sigma_{E_{\min}}$ будет равно наибольшей интервальной границе:

$$\sigma_{E_{\min}} = \sqrt{\frac{(n-1)S_D^2}{\underline{\chi}_{\alpha}^2}}, \quad (16)$$

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

Вероятностный показатель качества автомобилей по параметрам помехоустойчивости как вероятность соответствия требованиям по помехоустойчивости партии АТС

$$P_{ATC} = \frac{1}{\sqrt{2\pi} \sqrt{\frac{(n-1)S_D^2}{\chi_{\alpha}^2}}} \int_{E_{lim}}^{\infty} e^{-\frac{\left[E - \left(\bar{E}_{min} - t_{\alpha} \frac{S}{\sqrt{n}}\right)\right]^2}{\frac{2(n-1)S^2}{\chi_{\alpha}^2}}} dE, \quad (17)$$

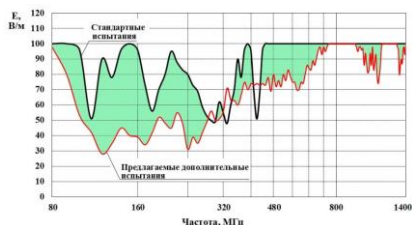
где E_{lim} – предельно допустимый уровень помехоустойчивости для АТС как сложно-го электротехнического комплекса. На практике E_{lim} выбирается из нормативных документов, например, 30 В/м в соответствии с Международными правилами R10-06, или это могут быть внутренние требования предприятия.

Вероятность P_{ATC} сравнивается с вероятностью P_{lim} , характеризующей предельно допустимый показатель качества. При условии $P_{ATC} \geq P_{lim}$ партия АТС считается соответствующей требованиям помехоустойчивости и последующие мероприятия по обеспечению качества АТС не требуются. Неравенство $P_{ATC} < P_{lim}$ говорит о необходимости ЭМС доработок. На практике рациональное количество тестируемых АТС для оценки соответствия качеству по требованиям помехоустойчивости по разработанной математической модели выбирается от 3 до 5. Проведено исследование полученной вероятностной модели оценки качества партии автомобилей для LADA Kalina. Задав предельно допустимый уровень $E_{lim} = 30$ В/м, который определен в международных стандартах (Правила R10-06) и подставив его в (17), получим вероятностную оценку качества по параметрам помехоустойчивости $P = 0,947$. Сравним его с критериальным значением $P \geq P_{lim}$, т.к. $0,947 \geq 0,8$. Автомобили рассматриваемого модельного ряда соответствуют международным требованиям помехоустойчивости.

Далее в работе представлены результаты исследования показателей качества автомобилей по предложенным в разделе инструментам экспериментальной оценки. Например, на рисунке 9 на основе результатов испытаний гибридного автомобиля LADA Granta схематично показана область действия предложенного в работе (дополнительного) инструментария и стандартного применяемого автопроизводителями для оценки качества автомобилей по параметрам ЭМС. Также в диссертации представлены результаты исследований помехоустойчивости систем: управления двигателем внутреннего сгорания прототипа гибридного автомобиля; управления электродвигателем прототипа гибридного автомобиля; электрооборудования; управления автоматической коробкой передач; канала данных управления скоростью; CAN-шины; электронного реле указателя поворота.



а)



б)

Рисунок 9 – Испытания автомобиля LADA Granta на оценку качества по параметрам ЭМС в специализированной лаборатории (а); изменение минимальной помехоустойчивости канала рекуперации энергии прототипа гибридного автомобиля (прекращение зарядки тяговой АКБ) (б))

Предложенные в разделе методы и инструменты ориентированы на процессы проектирования и производства автомобилей.

Четвертая глава диссертации посвящена совершенствованию инструментария оценки качества автомобилей по параметрам электромагнитной совместимости на этапах жизненного цикла.

В работе предложена вероятностная модель нарушения качества функционирования бортовых систем в условиях эксплуатации. В общем случае вероятность нарушения работоспособности конкретной функции электротехнической или электронной системы есть произведение вероятностей всех сопутствующих событий P_i в этой цепочке:

$$P_{\Phi} = \prod_{i=1}^N P_i, \quad (18)$$

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 имеет нестационарный характер и зависит от естественных и искусственных факторов. Трансформации внешней электромагнитной среды и техногенной обстановки по отношению к конкретному АТС являются случайными процессами. 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 $P_{АТС}$. 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 активна 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. При выходе системы на номинальный режим работы повышаются количество информационных каналов и объем обрабатываемой информации. Проявление характера электромагнитного воздействия в подавляющем большинстве случаев вызвано вероятностным, а не аккумулирующими процессами. Причем при неактивном режиме работы конкретного оборудования вероятность появления проблем не равна нулю, т.к. само электрооборудование включено в цепь питания и участвует в функционировании бортового комплекса АТС, т.е. $P_{режим} \in (0; 1]$.

Исходя из рассмотренного, модель нарушения качества функционирования бортовых систем в условиях эксплуатации приобретает следующий вид:

$$P_{\Phi} = P_{ЭМП} \times P_{АТС} \times P_{позиц} \times P_{эл.пит} \times P_{режим}. \quad (19)$$

P_{Φ} может быть равно нулю, только если какой-либо один из двух первых членов равен нулю. Если $P_{ЭМП} \neq 0$ и $P_{АТС} \neq 0$, то $P_{\Phi} \in (0; 1]$. При попадании автотранспортного средства в сложную электромагнитную обстановку всегда существует вероятность нарушения качества функционирования.

$$F_{II} = \begin{pmatrix} z_{q11}, z_{q12}, \dots, z_{q1j}, \dots, z_{q1M} \\ z_{q21}, z_{q22}, \dots, z_{q2j}, \dots, z_{q2M} \\ \dots \\ z_{qj1}, z_{qj2}, \dots, z_{qj}, \dots, z_{qjM} \\ \dots \\ z_{qN1}, z_{qN2}, \dots, z_{qNj}, \dots, z_{qNM} \end{pmatrix}_{E=E_{возд}} \quad (22)$$

Рассмотрим предельные случаи. При $E_{возд}$, стремящемся к минимальному предельному значению $E_{lim.min}$, ЭМП не будет оказывать влияние на качество функционирования электрооборудования АТС. В результате применения метода математической индукции на различные виды электромагнитных полей матрица оценки нарушения качества функционирования автотранспортного средства (поражаемости) вырождается в полностью функциональный класс «А» и запишется в виде

$$F_{II} = \begin{pmatrix} A_{11}, A_{12}, \dots, A_{1j}, \dots, A_{1M} \\ A_{21}, A_{22}, \dots, A_{2j}, \dots, A_{2M} \\ \dots \\ A_{j1}, A_{j2}, \dots, A_{j}, \dots, A_{jM} \\ \dots \\ A_{N1}, A_{N2}, \dots, A_{Nj}, \dots, A_{NM} \end{pmatrix}_{\lim E_{возд} \rightarrow E_{lim.min}} \quad (23)$$

Для автомобилей гражданского применения функциональный класс «А» при $E_{lim.min}$ должен обеспечиваться заложенными решениями в конструкцию с вероятностью $P_{lim} \geq 0,8$, а для АТС специального назначения с $P_{lim} \geq 0,95$. Базируясь на требованиях Правил R10-06 и применяя метод математической индукции, определим для всех видов высокочастотного воздействия необходимое и требуемое значение показателя качества по параметрам помехозащищенности $E_{возд.min} = 30$ В/м.

Таким образом, в зависимости от назначения определяется важность работоспособности конкретного режима или функционал бортовой системы. Производим ранжирование по трем группам помехоустойчивости: группа I - обеспечение качества функционирования в режимах связанных с влиянием на безопасность; 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.

Перейдем к задаче оценки показателей качества отражающих мощностные параметры электромагнитной обстановки в области нахождения АТС, при которых вероятно нарушение работоспособности бортовых электротехнических систем (дополнительный показатель качества по параметрам ЭМС). В диссертации получено выражение определяющее предельную минимальную поглощаемую мощность, при которой происходит нарушение качества функционирования (поражаемость) автомобиля, с учетом параметров (рисунок 12):

$$P_{lim.min} = \frac{KGP_{II,lim.min}}{4\pi R_{ATC}^2} S_{sr}(R_{ATC}), \quad (24)$$

где G – коэффициент усиления.

Для апробации применения дополнительного мощностного показателя качества были использованы S_{ATC} автомобилей, участвующих в экспериментах: 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 экспериментов и расчетов приведены на рисунке 10.

На основе полученного инструментария 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.

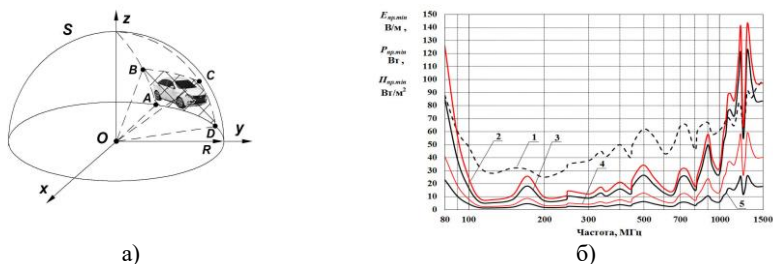


Рисунок 10 – Представление нахождения автомобиля в электромагнитном поле одиночного источника: О – источник ЭМП; ABCD – площадь проекции главного лепестка диаграммы направленности источника ЭМП на поверхности полусферы (а); экспериментальные уровни показателя качества (минимальной электромагнитной поражаемости) 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 (б)

В диссертации обоснован характер процесса изменения помехоустойчивости автомобиля в эксплуатации (рисунок 11). Линия 1 есть предельно допустимый уровень помехоустойчивости. Очевидно, что с позиции качества требования ЭМС должны обеспечиваться в течение некоторого периода времени или пробега. Это можно описать следующими выражениями:

$$\lim_{t \rightarrow T_{lim}} E_{ATC}(t) = E_{lim} \Big|_{E_{ATC}(t_0) \geq E_{lim}}, \quad (25)$$

$$\lim_{S \rightarrow S_{lim}} E_{ATC}(S) = E_{lim} \Big|_{E_{ATC}(S_0) \geq E_{lim}},$$

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; 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} должны выбираться по критерию гарантийного срока, например, 5 лет или 120 тыс. км.

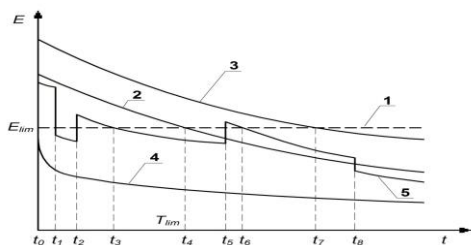


Рисунок 11 – Эксплуатационная характеристика помехоустойчивости АТС:
1 – предельно допустимый уровень; 2 – типовая характеристика; 3 – максимальный предел; 4 – минимальный предел; 5 – пример частной реализации

Пятая глава диссертации посвящена разработке и реализации научно-инженерных методов управления и улучшения качества автомобилей по параметрам электромагнитной совместимости.

В работе предложен метод активной защиты качества автомобилей по параметрам помехозащищенности. Телесный зенитный угол (рисунок 11), в котором может происходить воздействие на АТС, $\alpha = 270^\circ$. Метод базируется на управлении матрицей нарушения качества функционирования автотранспортного средства (поражаемости) АТС. Как известно, качество по параметрам помехозащищенности и соответственно помехоустойчивость ухудшаются в процессе эксплуатации из-за процессов старения, поэтому они являются функциями времени.

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 (20), а значит, сопоставлены с состояниями помехоустойчивости z_q матрицы (22). В соответствии с градациями классов помехоустойчивости 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». Поэтому 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.

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. Недостатком является некоторое снижение эксплуатационных свойств АТС, однако повышение вероятности функционирования АТС в условиях сложной ЭМО является оправданным.

С позиции обеспечения нормального качества функционирования АТС некорректно 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 возможным решением является управление

качеством на основе прогнозирования до наступления события $E_{lim.min}$ в соответствии с условием

$$E_{акт} \geq E_{lim.min} - E_{\sigma max}, \quad (26)$$

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 диссертации предложен программный метод игнорирования электромагнитных помех. Для маневрирования автомобиля, 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 будут осуществляться внутри- и внешнесистемные взаимодействия, которые невозможно исключить. Соответственно остается некоторая вероятность нарушения качества работоспособности электрооборудования. Поэтому предлагается метод игнорирования электромагнитных помех. 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.

В работе также предложены инструменты обеспечения качества автомобилей с помощью инструментов резервирования и рационализацией выбора бортовых систем. Вопросы резервирования систем следует рассматривать в контексте попадания АТС в сложную ЭМО. Нарушение качества работоспособности бортовых систем электрооборудования вследствие помех может оказаться различной. 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.

Система управления двигателем 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. 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

$$P_{ГСА} = P_{двс} = P_{\Sigma}, \quad (27)$$

где $P_{двс}$ и P_{Σ} – вероятности нарушения качества подсистем управления ДВС и элек-

тродвигателем.

На практике равенство 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. В этом случае вероятность нарушения качества функционирования всей системы

$$P_{ГСА} = P_{ДВС} \times P_{Э} . \quad (28)$$

Сравнивая (27) и (28) 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 результаты экспериментальных исследований, в ходе которых 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. Также в диссертации рассмотрены конкретные вопросы инженерного обеспечения качества (резервирования и рационализации) для следующих систем: управления трансмиссией; электроснабжения; рулевого управления; тормозной системы; светотехнической системы; стеклоочистки; климат-контроля.

В работе предложены инженерные решения в области улучшения качества посредством компоновки и конструкции кузова защищенного автотранспортного средства. Для работы в условиях сложной ЭМО с уровнями электромагнитных воздействий более 100 В/м применение типовых решений, представленных выше, недостаточно. Согласно проведенным исследованиям для легкового автотранспорта низшей частотой, при которой кузов перестает быть эффективным экраном, является 8 МГц. 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 автомобиле проводились в трех зонах: средней части центральной консоли, нижней части центральной консоли и подкапотном пространстве. Измерения проводились изотропным датчиком Е-поля EMC-20, («Narda», Германия) с рабочей полосой от 100 кГц до 3 ГГц. Согласно полученным экспериментальным данным 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

$$S_E = 20 \lg \left(\frac{E_0}{E_Э} \right) \text{ дБ}, \quad (29)$$

где E_0 – напряженность поля до установки АТС в заданной точке; $E_Э$ – напряженность электрического поля в той же точке после установки АТС.

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). Наиболее рационально реализовать системы

управления каждого двигателя в виде отдельных блоков с их пространственным разнесением в моторном отсеке. Для обеспечения экранирующей конструкции радиональным является подход, когда все стыки кузова, включающие боковые и нижние поверхности моторного отсека, свариваются друг с другом (рисунок 12).

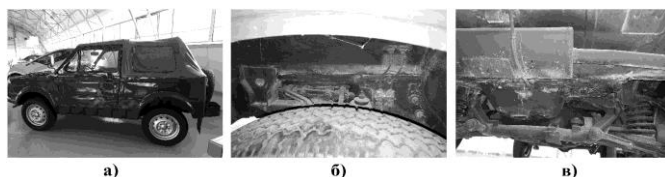


Рисунок 12 – Прототип ЭМС защищенного автомобиля: а – ВАЗ-2122 проекта «Река»; б, в – реализация защиты моторного отсека

В шестой главе диссертации предложены концептуальные решения в области повышения качества автомобилей по параметрам помехоустойчивости в процессе эксплуатации, охватывающие перспективные направления развития науки и техники.

Модернизация архитектуры бортового электрооборудования с формированием интегрированного модуля обеспечения качества по параметрам электромагнитной совместимости направлена на развитие бортового комплекса автомобиля в части создания системы управления эксплуатацией по параметрам электромагнитной совместимости. Концепция базируется на построении архитектуры бортового электрооборудования, включающей систему, имеющую назначение оценки помехоустойчивости и обеспечения соответствия параметрам качества ЭМС (рисунок 13, а). Также в работе предложена модель обеспечения качества автомобилей по параметрам помехоустойчивости на основе обратной связи «АТС – автопроизводитель» (рисунок 13, б).

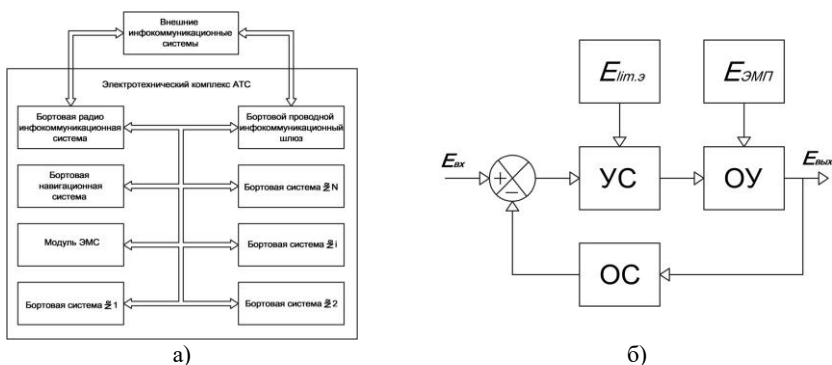


Рисунок 13 – Графическая интерпретация концепции модернизированной архитектуры бортового электрооборудования с модулем обеспечения качества по параметрам электромагнитной совместимости (а); модель обеспечения качества АТС по параметрам помехоустойчивости на основе обратной связи «АТС – автопроизводитель» (УС – управляющая система; ОУ – объект управления; ОС – обратная связь; ЕЭМП – внешнее электромагнитное воздействие; Е_{вх} – входная (исходная) функция помехоустойчивости; Е_{вых} – выходная функция помехоустойчивости; Е_{lim,э} – предельно допустимый эксплуатационный уровень) (б)

Для обеспечения требуемых параметров качества ЭМС в процессе эксплуатации постоянно проводятся оценка выходной функции качества помехоустойчивости $E_{вых}$ объекта управления и сравнение ее с некоторым заданным предельно допустимым эксплуатационным уровнем $E_{lim.э}$. На практике $E_{lim.э}$ (оцениваемый показатель качества по параметрам помехоустойчивости) корректно сопоставлять с некоторыми конечными значениями времени $T_э$ или пробега $S_э$ эксплуатации АТС, определяемыми автопроизводителем, которые должны быть не менее, чем гарантийные сроки, например, 5 лет или 120 тыс. км.

Условие необходимого управления системы есть неравенства

$$E_{вых}(t) \leq E_{lim.э} \quad (30)$$

или

$$E_{вых}(t) \leq E_{lim.э}. \quad (31)$$

Очевидно, что для обеспечения надежности и качества АТС в эксплуатации уровень $E_{lim.э}$ должен соответствовать законодательным требованиям. Тогда с учетом факта снижения с течением времени помехоустойчивости бортовых электротехнических систем значение $E_{вых}$ должно быть больше, чем $E_{lim.э}$. Поэтому автопроизводителям для выполнения данного условия изначально необходимо закладывать в конструкцию соответствующие ЭМС решения, обеспечивающие требуемый уровень качества. Начальный коэффициент запаса

$$K_n = E_{вых}/E_{lim.э}. \quad (32)$$

Обобщенная структурная схема взаимодействия «АТС – автопроизводитель» для обеспечения качества по параметрам электромагнитной совместимости на основе обратной связи имеет вид, представленный на рисунке 14, а.

В диссертации предложена концепция комплексной системы мониторинга электромагнитной обстановки и предупреждения ЭМС-конфликтов (рисунок 14, б).

В основе идеи мониторинга лежит использование измерительно-диагностических функций модуля ЭМС. Обобщенный 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 15).

В процессе эксплуатации бортовой модуль ЭМС проводит измерение уровня внешних электромагнитных помех ($E_{ЭМП}$) и сравнивает его с предельно допустимым значением E_{lim} . При реализации условия

$$E_{ЭМП} > E_{lim}, \quad (33)$$

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 качества функционирования.

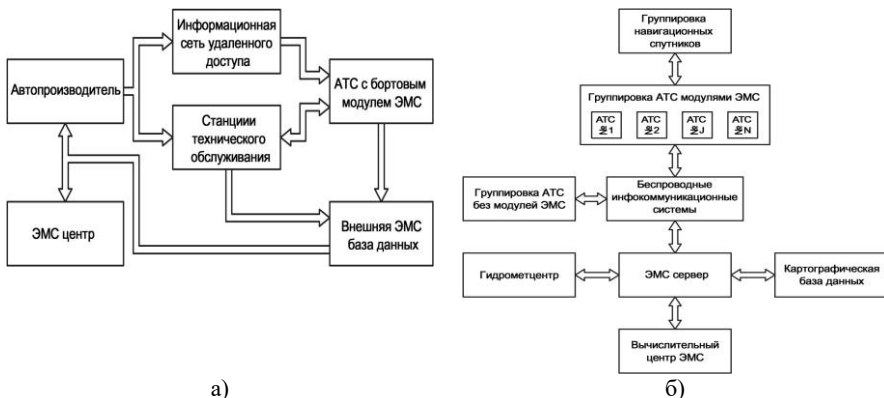


Рисунок 14 – Обобщенная структурная схема взаимодействия «АТС – автопроизводитель» для обеспечения качества автомобилей по параметрам электромагнитной совместимости на основе обратной связи (а); структурная схема комплексной системы мониторинга ЭМО и предупреждения ЭМС конфликтов (б)

Реализация механизмов проведения технической диагностики на электромагнитную безопасность эксплуатируемых АТС раскрывается в схеме, представленной на рисунке 15, б. 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.

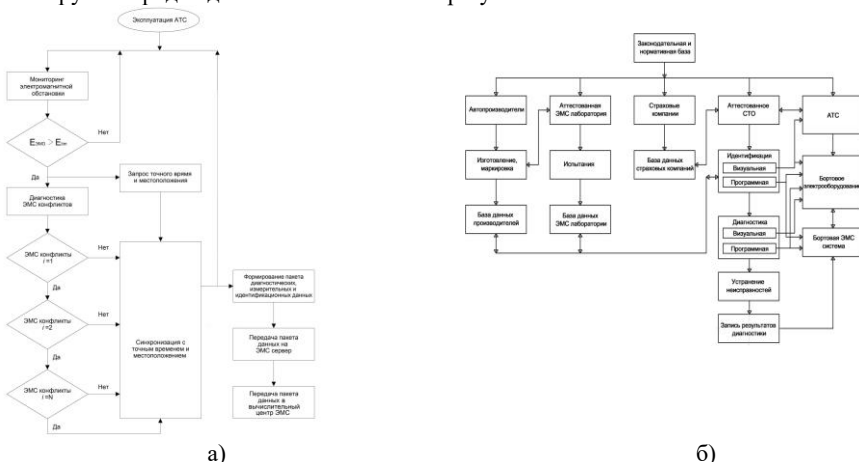


Рисунок 15 – Обобщенный алгоритм осуществления мониторинга и передачи данных единичного АТС (а); структурная схема проведения технической диагностики АТС на подтверждение качества по параметрам электромагнитной совместимости (б)

Седьмая глава диссертационного исследования посвящена вопросам совершенствования нормативной базы стандартов, направленным на повышение качества

автотранспортных средств по параметрам электромагнитной совместимости.

Рассматривая НД в контексте системы управления качеством параметров ЭМС, 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 16, а.

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

$$\Delta E = E_{АТС} - E_{lim}. \quad (34)$$

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 проведение управления качеством по цепи обратной связи и проводится коррекция E_{lim} и $E_{АТС}$, которую в обобщенном виде можно представить в виде выражений

$$\Delta E_{АТС} = |\Delta E| \times K_{ЭЖЦ}, \quad (35)$$

где $K_{ЭЖЦ}$ – коэффициент передачи конкретного этапа жизненного цикла.

$$\Delta E_{lim} = |\Delta E| \times K_{НД}, \quad (36)$$

$K_{НД}$ – 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:

$$K_{НД} = \varphi(x_1, x_2, x_3, \dots, x_{i-1}, x_i, x_{i+1}, \dots, x_N), \quad (37)$$

$$K_{ЭЖЦ} = \varphi(y_1, y_2, y_3, \dots, y_{j-1}, y_j, y_{j+1}, \dots, y_K), \quad (38)$$

где x_i и y_j – соответствующие составляющие, определяющие требования к различным параметрам помехоустойчивости и помехозащищенности.

После введения коррекции во второй итерации запишем

$$\Delta E = E_{АТС} + \Delta E_{АТС} - (E_{lim} + \Delta E_{lim}) \geq 0. \quad (39)$$

Заменим в (35) и (36) ΔE на ΔE_1 , что означает выходное значение помехоустойчивости первой итерации.

Подставим с учетом введенной замены (35) и (36) в (39), тогда

$$\Delta E = E_{АТС} + |\Delta E_1| \times K_{ЭЖЦ} - E_{lim} - |\Delta E_1| \times K_{НД}, \quad (40)$$

или

$$\Delta E = \Delta E_1 + |\Delta E_1| (K_{ЭЖЦ} - K_{НД}). \quad (41)$$

Так как во второй итерации достигается условие $\Delta E \geq 0$, то

$$\Delta E_1 + |\Delta E_1| (K_{ЭЖЦ} - K_{НД}) \geq 0. \quad (42)$$

По условию $\Delta E_1 < 0$, поэтому

$$(-1) \times |\Delta E_1| + |\Delta E_1| (K_{ЭЖЦ} - K_{НД}) \geq 0. \quad (43)$$

Преобразовав (43), получим

$$K_{ЭЖЦ} \geq 1 + K_{НД}. \quad (44)$$

Из (44) формулы с учетом (37) и (38) следует принципиальный вывод: любое

изменение x_i в нормативной документации в сторону ужесточения требований помехоустойчивости, линейно влияет на соответствующие параметры y_j конструкции АТС относительно обеспечения параметров ЭМС.

Рассмотрим следующую, более конкретизированную структуру – взаимосвязь НД с этапами жизненного цикла АТС (рисунк 16, б). В обобщенном виде выделяются четыре этапа жизненного цикла АТС: научно-исследовательские работы (НИР), разработка, производство и эксплуатация.

Этап эксплуатации более детально раскрывается на рисунке 16, в. На сегодняшний день его следует отнести к наиболее неразвитому этапу жизненного цикла с точки зрения стандартизации решений, направленных на улучшение качества автомобилей по параметрам ЭМС. Практическая реализация предложенных в диссертации решений в области управления позволит обеспечить принципиально новый уровень качества АТС по параметрам ЭМС. Уже изначально встает вопрос о создании нормативных документов 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.

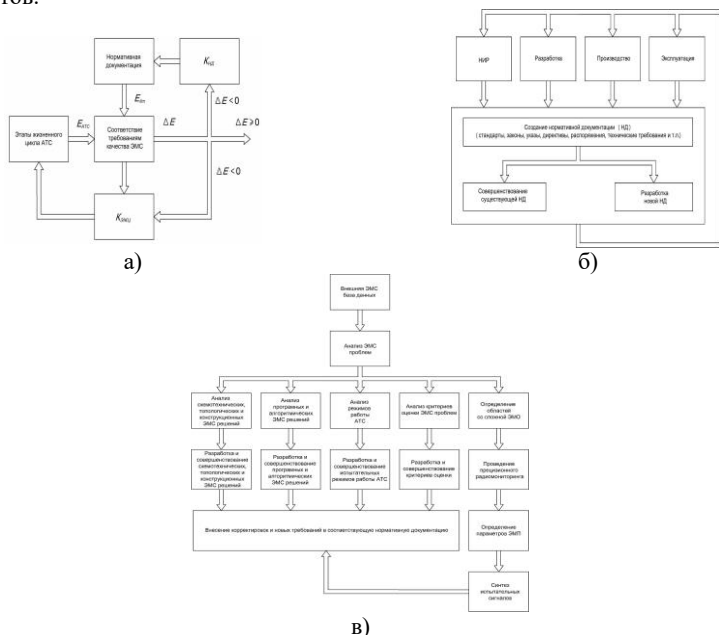


Рисунок 16 – Комплексный процесс управления качеством параметров ЭМС на базе нормативной документации (а); структурная схема взаимосвязи нормативной документации с этапами жизненного цикла АТС (б); графическая интерпретация связей и влияния этапа «Жизненный цикл АТС» на формирование нормативной документации (в)

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 функционирования 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 провести систематизацию по наиболее проблемным системам, выявить уязвимые каналы и соответственно на основании полученной информации провести 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 с обязательной сертификацией.

Ожидается, что исследование массива эксплуатационных ЭМС-проблем даст новые или как минимум уточненные существующие критерии оценки. Уже на данном этапе имеется достаточное количество случаев, не попадающих под стандартную классификацию в соответствии с ISO 16750-1.

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ВЫВОДЫ ПО РАБОТЕ

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 оцен-

ки 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 $P_{пр}=0,8 - 0,9$, а для автомобилей специального назначения $P_{пр}=0,95...0,98$. 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 кото-

рой 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.

ПУБЛИКАЦИИ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИОННОЙ РАБОТЫ

Монография

1. **Подгорний, А.С.** Система контроля помехоустойчивости бортового электротехнического комплекса автомобилей к электромагнитным воздействиям: монография. / **А.С. Подгорний**, П.А. Николаев, В.Н. Козловский // Тула: Изд-во ТулГУ, 2022. 180 с.

Перечень работ, опубликованных в изданиях, входящих в перечень ВАК

2. **Подгорний, А.С.** Актуализация проблемы управления качеством автомобилей по параметрам электромагнитной совместимости / **А.С. Подгорний** // Известия Самарского научного центра Российской академии наук, т. 27, № 2, 2025. С. 27-33.

3. **Подгорний, А.С.** Стандартизация при обеспечении требований качества в области электромагнитной совместимости автотранспортных средств / **А.С. Подгорний** // Известия Самарского научного центра Российской академии наук, т. 26, № 6, 2024. С. 34-37.

4. **Подгорний, А.С.** Направления развития стандартизации в вопросах обеспечения качества автомобилей по параметрам электромагнитной совместимости / **А.С. Подгорний** // Известия Самарского научного центра Российской академии наук, 2025. т. 27, № 1. С. 105-111.

5. **Подгорний, А. С.** Контроль качества автомобилей по параметрам электромагнитных воздействий / **А.С. Подгорний** // Известия ТулГУ. Технические науки. 2024. Вып. 7. С. 40-48.

6. **Подгорний, А.С.** Обеспечение качества автомобилей с использованием комплексной системы мониторинга электромагнитной обстановки и предупреждения конфликтов, связанных с электромагнитной совместимостью / **А. С. Подгорний** // Известия ТулГУ. Технические науки. 2024. Вып. 1 С. 215-219.

7. **Подгорний, А.С.** Управление качеством автомобилей по параметрам электромагнитной совместимости / **А.С. Подгорний**, В.Н. Козловский, Д.И. Панюков, П.А. Николаев // Стандарты и качество, №9, 2025. С. 98-104.

8. **Подгорний, А.С.** Роль методологического инструментария FMEA в рамках реализации APQR / **А.С. Подгорний**, В.Н. Козловский, Д.И. Панюков // Известия Самарского научного центра Российской академии наук, т. 27, № 2, 2025. С. 34-42.

9. **Подгорний, А.С.** Методология APQR в автомобильном производстве / **А.С. Подгорний**, В.Н. Козловский, Д.И. Панюков // Известия Самарского научного центра Российской академии наук, т. 27, № 2, 2025. С. 43-54.

10. **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 // Известия Самарского научного центра Российской академии наук, 2024. т. 26, № 6. С. 47-55.

11. **Подгорний, А.С.** Организация деятельности операционного комитета по продуктам в машиностроительном производстве / И.А. Беляева, **А.С. Подгорний**, В.Г. Мосин, В.Н. Козлов-

ский // Известия Самарского научного центра Российской академии наук, 2024. т. 26, № 6. С. 38-46.

12. **Подгорный, А.С.** Экспериментальная база для исследований помехоустойчивости электрооборудования современных автомобилей / В.Н. Козловский, П.А. Николаев, **А.С. Подгорный**, В.В. Дебелов, У.В. Брачунова // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. 2021. № 2. С. 589-595.

13. **Подгорный, А.С.** Разработка вероятностно-статистической математической модели и критерия оценки соответствия бортового электрооборудования партии автомобилей по параметрам помехоустойчивости / В.Н. Козловский, П.А. Николаев, **А.С. Подгорный**, А.С. Саксонов, Е.В. Стрижакова // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. 2021. № 2. С. 548-554.

14. **Подгорный, А.С.** Инструментарий периодического контроля качества электротехнических систем нового автомобиля / А.В. Крицкий, В.Н. Козловский, **А.С. Подгорный**, Д.И. Панюков // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. 2023. № 5. С. 208-212.

15. **Подгорный, А.С.** Оценка значимости бортового электротехнического комплекса современного легкового автомобиля с позиций качества и надежности / А.В. Крицкий, В.Н. Козловский, **А.С. Подгорный** // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. 2023. № 4. С. 425-429.

16. **Подгорный, А.С.** Развитие систем контроля качества электротехнических компонентов в составе новых конструкций автотранспортных средств / Н.С. Тондель, И.А. Беляева, В.Н. Козловский, **А.С. Подгорный** // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. 2024. № 7. С. 36-40.

17. **Подгорный, А.С.** Инженерные решения, применяемые для обеспечения качества новых автомобилей по параметрам электромагнитной совместимости. Часть 2. / **А.С. Подгорный**, П.А. Николаев, В.Н. Козловский // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2024. Т. 26. № 2 (118). С. 21-30.

18. **Подгорный, А.С.** Инженерные решения, применяемые для обеспечения качества новых автомобилей по параметрам электромагнитной совместимости. Часть 1 / **А.С. Подгорный**, П.А. Николаев, В.Н. Козловский // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2024. Т. 26. № 2 (118). С. 13-20.

19. **Подгорный, А.С.** Конечно-элементное моделирование как компонент обеспечения качества электрооборудования в процессе проектирования / И.А. Беляева, В.Н. Козловский, **А.С. Подгорный**, Е.В. Пантюхина // Известия ТулГУ. Технические науки. 2025. Вып. 1 С. 289-296.

В изданиях, индексируемых Web of Science/Scopus

20. **Podgorny, A.** Electromagnetic compatibility-a new reality of car quality / V. Kozlovsky, **A. Podgorny**, D. Aydarov, P. Nikolaev, D. Blagoveshchensky, A. Shalda // В сборнике: Proceedings of the 2021 IEEE Conference of Russian Young Researchers in Electrical and Electronic Engineering, El-ConRus 2021. 2021. С. 1260-1261.

21. **Podgorny, A.** Influence of vehicles design and engineering parameters on the onboard electrical complex interference immunity / V. Kozlovsky, **A. Podgorny**, U. Brachunova, P. Nikolaev, D. Blagoveshchensky, A. Shalda // В сборнике: Proceedings of the 2021 IEEE Conference of Russian Young Researchers in Electrical and Electronic Engineering, ElConRus 2021. 2021. С. 1265-1268.

22. **Podgorny, A.** Performance analysis of electrical systems of vehicles under the external electromagnetic exposure / V.N. Kozlovsky, **A.S. Podgorny**, Y.V. Brachunova, P.A. Nikolaev, N.K. Efimov-Soini // В сборнике: IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 3rd International Scientific-Practical Conference on Quality Management and Reliability of Technical Systems. BRISTOL, 2021. С. 012048.

23. **Podgorny, A.** Algorithm development for finding the minimum level of noise immunity of an onboard electrical complex during control tests / V. Kozlovsky, **A. Podgorny**, A. Saksonov, P. Nikolaev, L. Shamina // В сборнике: E3S Web of Conferences. Сер. "Energy Systems Environmental Impacts, ESEI 2020" 2020. С. 01005.

24. **Podgorny, A.** Electromagnetic compatibility of the on-board electrical complex as a key factor in ensuring the operational safety of vehicles / V.N. Kozlovsky, **A.S. Podgorny**, A.V. Kritsky, P.A. Nikolaev, M.A. Zhmaylo // В сборнике: IOP Conference Series: Materials Science and Engineering.

3rd International Scientific-Practical Conference on Quality Management and Reliability of Technical Systems. BRISTOL, 2021. С. 012049.

25. **Podgorny, A. S.** Development of methods and tools for testing modern passenger cars for noise immunity of on-board electrical complex / P.A. Nikolaev, V.N. Kozlovsky, **A.S. Podgorny**, V.I. Stroganov, E.M. Abbasov // В сборнике: 2022 Systems of Signals Generating and Processing in the Field of on Board Communications, SOSG 2022 - Conference Proceedings. 2022.

26. **Podgorniy, A. S.** Vehicle–manufacturer feedback in ensuring the electromagnetic compatibility of automobile components / **A.S. Podgorniy**, P.A. Nikolaev, V.N. Kozlovskii, O.D. Ibragimov // Russian Engineering Research. 2024. Т. 44. № 6. С. 846-849.

27. **Podgorniy, A. S.** Approach to ensuring the electromagnetic compatibility of automobile components / **A.S. Podgorniy**, Nikolaev P.A., Kozlovskii V.N. // Russian Engineering Research. 2024. Т. 44. № 6. С. 843-845.

28. **Podgorniy, A. S.** Ensuring electromagnetic compatibility of automobiles by routine maintenance / **A.S. Podgorniy**, P.A. Nikolaev, V.N. Kozlovskii // Russian Engineering Research. 2024. Т. 44. № 6. С. 840-842.

29. **Podgorniy, A. S.** Electromagnetic compatibility as an aspect of quality assurance in designing vehicle systems / **A.S. Podgorniy**, P.A. Nikolaev, V.N. Kozlovskii, A.S. Saksonov // Russian Engineering Research. 2024. Т. 44. № 6. С. 835-839.

30. **Podgorniy, A. S.** Standard approaches to ensuring the electromagnetic compatibility of vehicles / **A.S. Podgorniy**, P.A. Nikolaev, V.N. Kozlovskii // Russian Engineering Research. 2023. Т. 43. № 8. С. 991-996.

31. **Podgorniy, A. S.** Electromagnetic susceptibility matrix of a vehicle / **A.S. Podgorniy**, P.A. Nikolaev, V.N. Kozlovskii // Russian Engineering Research. 2023. Т. 43. № 8. С. 1000-1002.

32. **Podgorniy, A. S.** Disruption of an operational vehicle's electrical systems by electromagnetic interference: a probabilistic model / **A.S. Podgorniy**, V.N. Kozlovskii, P.A. Nikolaev // Russian Engineering Research. 2023. Т. 43. № 8. С. 997-999.

33. **Podgornii, A. S.** Customer Requirements in the Development of Engineering Products / I. A. Belyaeva, V. N. Kozlovskii, **A. S. Podgornii**, A. S. Klentak // Russian Engineering Research, 2025, Vol. 45, No. 3, pp. 405–407.

34. **Podgornii, A. S.** Improved Testing during Automobile Development / I. A. Belyaeva, V. N. Kozlovskii, **A. S. Podgornii**, A. S. Klentak // Russian Engineering Research, 2025, Vol. 45, No. 3, pp. 401–404.

35. **Podgornii, A. S.** Automotive Quality Management in the Context of Electromagnetic Compatibility Based on the APQP Methodology / D. I. Panyukov, V. N. Kozlovsky, **A. S. Podgorniy**, D. A. Demoretsky // Russian Engineering Research, 2025, Vol. 45, No. 6, pp. 832–837.

Другие наиболее значимые публикации

36. **Подгорный, А.С.** Типовые решения, применяемые для обеспечения электромагнитной совместимости автотранспортного средства / **А.С. Подгорный**, П.А. Николаев, В.Н. Козловский // СТИН. 2023. № 7. С. 9-14.

37. **Подгорный, А.С.** Вероятностная модель нарушения качества функционирования бортовых электротехнических систем при электромагнитном воздействии в условиях эксплуатации / **А.С. Подгорный**, В.Н. Козловский, П.А. Николаев // СТИН. 2023. № 7. С. 14-17.

38. **Подгорный, А.С.** Обеспечение качества автомобилей по параметрам электромагнитной совместимости при техническом обслуживании / **А.С. Подгорный**, П.А. Николаев, В.Н. Козловский // СТИН. 2024. № 5. С. 7-9.

39. **Подгорный, А.С.** Общие принципы обеспечения качества при построении основных систем автотранспортных средств учитывающие вопросы электромагнитной совместимости / **А.С. Подгорный**, П.А. Николаев, В.Н. Козловский, А.С. Саксонов // СТИН. 2024. № 5. С. 2-7.

40. **Подгорный, А.С.** Концепция обеспечения качества бортового электрооборудования автомобилей по параметрам электромагнитной совместимости / **А. С. Подгорный**, П.А. Николаев, В.Н. Козловский // СТИН. 2024. № 5. С. 10-12.

41. **Подгорный, 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, О.Д. Ибрагимов // СТИН. 2024. № 5. С. 13-16.
42. **Подгорний, А.С.** Управление качеством автомобиля в разрезе электромагнитной совместимости на базе методологии APQP / Д. И. Панюков, В. Н. Козловский, А. С. Подгорний, Д. А. Деморецкий // СТИН. 2025. № 5. С. 35-39.
43. **Подгорний, А.С.** Проблема помехоустойчивости бортового электротехнического комплекса автотранспортных средств к электромагнитным воздействиям / В.Н. Козловский, **А.С. Подгорний**, А.П. Новикова, П.А. Николаев // Электроника и электрооборудование транспорта. 2020. № 3. С. 36-38.
44. **Подгорний, А.С.** Совершенствование методики испытаний электротехнических систем автотранспортного средства для случая широкополосного электромагнитного воздействия / В.Н. Козловский, П.А. Николаев, **А.С. Подгорний**, А.П. Новикова // Грузовик. 2020. № 5. С. 9-11.
45. **Подгорний, А.С.** Совершенствование методики испытаний на помехоустойчивость электротехнических систем для случая неопределенной ориентации автомобиля по отношению к источнику излучения / В.Н. Козловский, П.А. Николаев, **А.С. Подгорний**, М.В. Шакурский // Грузовик. 2020. № 4. С. 9-14.
46. **Подгорний, А.С.** Экспериментальные исследования помехоустойчивости электронных систем управления двигателем внутреннего сгорания и управления автоматизированной коробкой передач / В.Н. Козловский, **А.С. Подгорний**, У.В. Брачунова, П.А. Николаев, В.В. Дебелов // Электроника и электрооборудование транспорта. 2021. № 1. С. 44-47.
47. **Подгорний, А.С.** Экспериментальные исследования помехоустойчивости канала управления скоростью, сап-шины современного автомобиля и электронного реле указателей поворота / В.Н. Козловский, П.А. Николаев, **А.С. Подгорний**, В.В. Дебелов, А.С. Саксонов // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. 2021. № 2. С. 569-575.
48. **Подгорний, А.С.** Источники электромагнитных помех, формирующие внешнюю электромагнитную обстановку, негативно влияющую на эксплуатационную эффективность автомобилей / В.Н. Козловский, **А.С. Подгорний**, К.В. Киреев, П.А. Николаев // Электроника и электрооборудование транспорта. 2020. № 6. С. 38-41.
49. **Подгорний, А.С.** Совершенствование ездового цикла для комплексной оценки помехоустойчивости бортовых электротехнических систем автотранспортных средств / В.Н. Козловский, П.А. Николаев, А.С. Подгорний, В.И. Строганов // Грузовик. 2020. № 10. С. 17-19.
50. **Подгорний, А.С.** Разработка тестового инструментария оценки устойчивости к электромагнитным помехам автомобилей и автомобилей с комбинированной энергоустановкой / В.Н. Козловский, П.А. Николаев, **А.С. Подгорний**, М.В. Шакурский // Грузовик. 2020. № 9. С. 13-15.
51. **Подгорний, А.С.** Исследование нарушений работоспособности электротехнических систем автотранспортных средств от внешних электромагнитных воздействий / П.А. Николаев, В.Н. Козловский, **А.С. Подгорний**, А.В. Крицкий, У.В. Брачунова // Электроника и электрооборудование транспорта. 2020. № 5. С. 40-45.
52. **Подгорний, А.С.** Электромагнитная совместимость бортового электротехнического комплекса как ключевой фактор обеспечения эксплуатационной безопасности автомобилей / В.Н. Козловский, **А.С. Подгорний**, П.А. Николаев, В.И. Строганов // Электроника и электрооборудование транспорта. 2020. № 5. С. 35-39.
53. **Подгорний, А.С.** Разработка инструментов оценки электромагнитной поражаемости электротехнических систем легковых автомобилей / **Подгорний А.С.**, Николаев П.А., Козловский В.Н. // Вопросы электротехнологии. 2023. № 1 (38). С. 57-60.
54. **Подгорний, А.С.** Исследование помехоустойчивости к внешним электромагнитным воздействиям канала управления скоростью, сап-шины и электронного реле указателей поворота современного легкового автомобиля / П.А. Николаев, В.Н. Козловский, **А.С. Подгорний**, А.В. Крицкий // Электроника и электрооборудование транспорта. 2022. № 3. С. 44-48.
55. **Подгорний, А.С.** Разработка вероятностно-статистической математической модели и критерия оценки соответствия бортового электрооборудования партии автомобилей по параметрам помехоустойчивости / П.А. Николаев, В.Н. Козловский, **А.С. Подгорний**, У.В. Брачунова // Электроника и электрооборудование транспорта. 2022. № 2. С. 39-43.

56. **Подгорний, А.С.** Многофакторная оценка влияния дорожной обстановки на помехоустойчивость бортового электротехнического комплекса автомобилей / П.А. Николаев, В.Н. Козловский, **А.С. Подгорний**, А.С. Саксонов // Электроника и электрооборудование транспорта. 2022. № 1. С. 36-41.
57. **Подгорний, А.С.** Обеспечение электромагнитной совместимости современных легковых автомобилей / **А.С. Подгорний**, П.А. Николаев, В.Н. Козловский, С.А. Васин // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. 2023. № 9. С. 377-388.
58. **Подгорний, А.С.** Исследование электромагнитного воздействия на электротехнический комплекс легковых автомобилей / **А.С. Подгорний**, П.А. Николаев, В.Н. Козловский, Д.И. Панюков // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. 2023. № 9. С. 374-377.
59. **Подгорний, А.С.** Проблема помехоустойчивости бортового электротехнического комплекса легковых автомобилей в процессе эксплуатации / П.А. Николаев, **А.С. Подгорний**, В.Н. Козловский, А.С. Саксонов // Электроника и электрооборудование транспорта. 2023. № 1-3. С. 37-42.
60. **Подгорний, А.С.** Совершенствование метода испытаний бортового электротехнического комплекса автомобилей на помехоустойчивость к электромагнитным воздействиям / П.А. Николаев, В.Н. Козловский, **А.С. Подгорний** // Электроника и электрооборудование транспорта. 2023. № 1-3. С. 30-36.
61. **Подгорний, А.С.** Определение показателей мощности при оценке электромагнитной совместимости автотранспортных средств / **А.С. Подгорний**, П.А. Николаев, В.Н. Козловский, Е.В. Стрижакова // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. 2023. № 7. С. 338-345.
62. **Подгорний, А.С.** Матрица электромагнитной поражаемости автотранспортного средства / **А.С. Подгорний**, П.А. Николаев, В.Н. Козловский // СТИН. 2023. № 7. С. 17-19.
63. **Подгорний, А.С.** Перспективные направления развития бортового электротехнического комплекса современных автомобилей / А.С. Саксонов, В.Н. Козловский, **А.С. Подгорний**, А.П. Новикова // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. 2023. № 5. С. 222-225.
64. **Подгорний, А.С.** Автотранспортное средство в условиях воздействия гармонических электромагнитных полей / П.А. Николаев, Л.Н. Кечиев, Н.В. Балюк, **А.С. Подгорний** // Технологии ЭМС. – 2016. – № 2(57). – С. 5-14.
65. **Подгорний, А.С.** Требования обеспечения устойчивости основных систем автотранспортных средств в условиях сложной электромагнитной обстановки / П.А. Николаев, Л.Н. Кечиев, Н.В. Балюк, **А.С. Подгорний** // Технологии ЭМС. – 2016. – № 3(58). – С. 3-10.
66. **Подгорний, А.С.** Повышение устойчивости автотранспортных средств в условиях сложной электромагнитной обстановки / П.А. Николаев, Л.Н. Кечиев, Н.В. Балюк, **А.С. Подгорний** // Технологии ЭМС. – 2017. – № 1(60). – С. 3-12.
67. **Подгорний, А.С.** Оценка соответствия автомобилей требованиям помехоустойчивости к внешним электромагнитным воздействиям. / П.А. Николаев, В.Н. Козловский, **А.С. Подгорний** // Грузовик. – 2017. – № 10. – С. 44-48.
68. **Подгорний, А.С.** Испытания автотранспортных средств на устойчивость к внешним электромагнитным воздействиям / П.А. Николаев, В.Н. Козловский, **А.С. Подгорний** // Электроника и электрооборудование транспорта. – 2017. – № 5. – С. 43-46.
69. **Подгорний, А.С.** Проблемы испытаний автотранспортных средств на восприимчивость к электромагнитному воздействию / **А.С. Подгорний**, П.А. Николаев // Технологии, измерения и испытания в области электромагнитной совместимости: труды III Всероссийской НТК «Техно-ЭМС 2016». – М.: Грифон, 2016. – С. 136-138.
70. **Подгорний, А.С.** Испытания системы «ЭРА ГЛОНАСС» на помехоустойчивость / **А.С. Подгорний**, П.А. Николаев // Технологии, измерения и испытания в области электромагнитной совместимости: труды III Всероссийской НТК «Техно-ЭМС 2016». – М.: Грифон, 2016. – С. 139-141.
71. **Подгорний, А.С.** Помехозащищенное устройство сбора данных для испытаний автомобилей на устойчивость к электромагнитному воздействию [Текст] / **А.С. Подгорний**, П.А. Нико-

лаев // Проблемы техники и технологий телекоммуникаций: XVII Международная научно-техническая конференция. – Самара: ПГУТИ, 2016. – С. 424-435.

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

73. **Подгорний, А.С.** Обеспечение параметрам электромагнитной совместимости гибридных автомобилей / **А.С. Подгорний**, П.А. Николаев // Тинчуринские чтения: Материалы докладов XII международной молодежной научной конференции. – Казань: КГЭУ, 2017. – Том №1. – С.317.

74. **Подгорний, А.С.** Выбор шага перестройки по частоте при испытаниях электромобилей на внешнее электромагнитное воздействие / **А.С. Подгорний**, П.А. Николаев, А.Д. Николаев // Электроэнергетика глазами молодежи – 2017: материалы VIII Международной молодежной научно-технической конференции. – Самара: СамГТУ, 2017. – Том №1. – С. 162-163.

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

76. **Подгорний, А.С.** Учет требований потребителей в процессе разработки машиностроительной продукции / И. А. Беляева, В. Н. Козловский, **А. С. Подгорний**, А. С. Клентак // СТИН. 2025. № 2 – С. 37 – 39.

77. **Подгорний, А.С.** Улучшения в процессе испытаний на этапах проектирования автомобилей / И. А. Беляева, В. Н. Козловский, А. С. Клентак, **А. С. Подгорний** // СТИН. 2025. № 2 – С. 33 – 37.

78. **Подгорний, А.С.** Обзор методов испытаний автомобилей на восприимчивость к электромагнитным помехам с применением инструментов автоматизации / **А.С. Подгорний** // Вестник Тульского государственного университета. Автоматизация: проблемы, идеи, решения: Сборник научных трудов Национальной научно-технической конференции с международным участием, Тула, 7–9 октября 2024 года. – Тула: Тульский государственный университет, 2024. С. 235-239.

Патенты

79. **Подгорний, А.С.** 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». Оpubл. 28.12.17, Бюл. № 1.

80. **Подгорний, А.С.** 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». Оpubл. 23.01.18, Бюл. № 3.

81. **Подгорний, А.С.** Пат. № 2781760 Российская Федерация. Способ мониторинга внешней электромагнитной обстановки / **А.С. Подгорний**, А.Н. Платицын, П.А. Николаев, В.Н. Козловский; заявитель Научно-производственное коммерческое закрытое акционерное общество «УНИВЕРСАЛ». Оpubл. 17.10.2022 Бюл. № 29.

82. **Подгорний, А.С.** Пат. № 2804918 Российская Федерация. Способ повышения помехозащищенности автотранспортных средств / **А.С. Подгорний**, А.Н. Платицын, П.А. Николаев, В.Н. Козловский; заявитель Научно-производственное коммерческое закрытое акционерное общество «УНИВЕРСАЛ». Оpubл.: 09.10.2023 Бюл. № 28

83. **Подгорний, А.С.** Пат. № 2815009 Российская Федерация. Способ адаптивного обеспечения помехозащищенности автотранспортных средств / **А.С. Подгорний**, А.Н. Платицын, П.А. Николаев, В.Н. Козловский; заявитель Научно-производственное коммерческое закрытое акционерное общество «УНИВЕРСАЛ». Оpubл. 11.03.2024 Бюл. № 8