

Министерство образования Республики Беларусь
Учреждение образования
«Белорусский государственный университет
информатики и радиоэлектроники»

На правах рукописи

УДК 629.05:537.8

ПЛЕШИВЦЕВ
Александр Геннадьевич

**МЕТОДЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ
СОВМЕСТИМОСТИ РАДИОНАВИГАЦИОННОГО ОБОРУДОВАНИЯ**

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание степени магистра технических наук
по специальности 1-38 80 04 Технология приборостроения

Научный руководитель
канд.техн.наук, доцент
Павлюковец Сергей Анатольевич

Минск 2016

Работа выполнена на кафедре проектирования информационно-компьютерных систем учреждения образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники»

Научный руководитель: **Павлюковец Сергей Анатольевич**,
кандидат технических наук, заведующий кафедрой химии учреждения образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники»

Рецензент: **Шульдова Светлана Георгиевна**,
кандидат технических наук, заведующая кафедрой информационных технологий учреждения образования «Минский инновационный университет»

Защита диссертации состоится «20» января 2016 г. года в 11⁴⁰ часов на заседании Государственной комиссии по защите магистерских диссертаций в учреждении образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники» по адресу: 220013, г.Минск, ул. П.Бровки, 6, ауд. 413, 1 корп., тел.: 293-20-80, e-mail: kafpiks@bsuir.by.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке учреждения образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники».

ВВЕДЕНИЕ

Радионавигационное оборудование выполняет одну из важнейших функций в современном обществе. Современное разнообразие транспортных средств не меняет сути решаемой навигационной задачи: для любого движущегося объекта необходимо определить такой путь движения, который бы обеспечивал наилучшие показатели качества. После определения заданного пути следует осуществлять оценку степени близости реальной траектории и той, которая была определена как наилучшая. Чтобы оценить величину ошибки, необходимо определить место положения движущегося объекта в той же системе координат, в которой определен заданный путь. По величине отклонения текущих координат объекта от рассчитанных ранее формируется вектор управляющих воздействий, направленный на устранение рассогласования.

Именно радионавигационное оборудование позволяет безопасно и максимально оперативно совершать локальные и международные туристические перевозки, в соответствии с оптимальным курсом движения транспорта, а также позволяет совершать перевозки грузов, геодезическую разведку и целый ряд других задач.

В связи с техническими и эксплуатационными особенностями радионавигационного оборудования наиболее остро встает вопрос обеспечения электромагнитной совместимости. Это обусловлено большой загруженностью радиочастотного ресурса, особенностями распространения радиоволн в пространстве, а также наличием множества электромагнитных помех, возникающих как внутри оборудования и системы в целом, так и поступающих извне.

Различные методы, методики и меры по обеспечению электромагнитной совместимости аппаратуры являются одними из важнейших вопросов, решаемых при проектировании радиоэлектронных средств.

Все вышесказанное определило направление данной работы, задачей которой являлось выявление оптимальных методов обеспечения электромагнитной совместимости радионавигационного оборудования.

Выражаю благодарность за оказанную помощь в ходе подготовки диссертационной работы своему научному руководителю, кандидату технических наук, заведующему кафедрой химии, доценту кафедры химии Павлюковцу Сергею Анатольевичу, а также за высококвалифицированные консультации по возникающим вопросам кандидату технических наук, доценту кафедры ПИКС, Алексееву Виктору Федоровичу, и кандидату технических наук, доценту кафедры ПИКС, Пискуну Геннадию Адамовичу.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования

Развитие международных транспортных, туристических, научно-исследовательских связей обуславливает необходимость в радионавигационном оборудовании. Радионавигационное оборудование решает ряд важнейших задач, связанных с определением местоположения подвижных объектов в пространстве и управлением их перемещения.

В различных областях деятельности человека используются следующие радиосистемы: телефонные, ведомственные диспетчерские, технологические, персонального радиовызова, аварийной радиосвязи, передачи данных и т.д. Количество радиоэлектронных средств, излучающих и воспринимающих электромагнитные волны, с каждым годом увеличивается, возрастает плотность их размещения на земной поверхности и в единице объема. Высокая плотность размещения радиотехнических систем, а также ряд других факторов (загруженность радиочастотного ресурса, сложная внешняя электромагнитная обстановка и др.) затрагивают вопрос обеспечения помехоустойчивости и электромагнитной совместимости такого оборудования.

Все эти факторы позволяют сделать вывод, что исследования методов и способов обеспечения электромагнитной совместимости и помехозащищенности радионавигационного оборудования являются актуальными.

Несмотря на достигнутые успехи в вопросах повышения помехоустойчивости и обеспечения электромагнитной совместимости радионавигационного оборудования, некоторые вопросы остаются открытыми и исследуются в данной диссертации.

Степень разработанности проблемы

Исследования влияния электромагнитных помех на радионавигационное оборудование и выявление методов борьбы с ними осуществлялось на основе исследований электромагнитной совместимости радиоэлектронной аппаратуры, представленной в работах А.Д. Князева, Л.Н. Кечиева, Б.В. Петрова, В.А. Иванова и других авторов. Изучение особенностей распространения радиоволн вдоль земной поверхности представлено в работах Е.Л. Фейенберга, С.И. Баскакова, О.И. Яковлева и В.П. Якубова.

Среди большого числа научных исследований по изучаемой теме необходимо отметить работы Д. Уайта, Т. Уильямса, М.Л. Волина, Н.В. Балюка, Г.И. Трошина, Дж. Барнса и Г. Отта.

Авторами работ, посвященных изучению вопросов распространения радиоволн и конструирования сложных радиотехнических систем являются А.В. Баженов, В.П. Бердышев, М.М. Айзинов, И.А. Насыров, А.А. Сосновский, Ю.Ф. Широков, С.Л. Фрадкин, С.В. Бородич.

Одним из недостатков теоретических и практических исследований, представленных в современной научной литературе, посвященной вопросу обеспечения электромагнитной совместимости, является непол-

ное рассмотрение технологических особенностей сложных радиотехнических систем, представленных в виде радионавигационного оборудования. Предложенное исследование направлено на устранение этого недостатка на основе анализа существующих методов обеспечения электромагнитной совместимости и выявления наиболее подходящих методов электромагнитной совместимости радионавигационного оборудования.

Цель и задачи исследования

Целью диссертации является исследование воздействия электромагнитных помех на радионавигационное оборудование и методов обеспечения электромагнитной совместимости.

Для выполнения поставленной цели в работе были сформулированы **следующие задачи:**

- проанализировать общую характеристику электромагнитной совместимости радионавигационного оборудования;
- определить наиболее оптимальные меры и методы по обеспечению электромагнитной совместимости радионавигационного оборудования;
- провести математическое моделирование электромагнитной обстановки радиотехнического оборудования.

Объектом исследования является радионавигационное оборудование.

Предметом исследования являются методы обеспечения электромагнитной совместимости.

Область исследования. Содержание диссертационной работы соответствует образовательному стандарту высшего образования второй ступени (магистратуры) специальности 1-38 80 04 Технология приборостроения.

Теоретическая и методологическая основа исследования

В основу диссертации легли результаты исследований известных российских и зарубежных ученых в области проектирования сложных радиотехнических систем и радиоэлектронной аппаратуры.

Для получения теоретических результатов исследования применялись математические модели, описывающие поведение радиосигналов в условиях сложной электромагнитной обстановки, а также проанализирован ряд организационно-технических, системно-технических, схемотехнических и конструкторско-технологических методов обеспечения электромагнитной совместимости радиоэлектронных средств. Так, было рассмотрено и определена сущность рационального использования радиочастотного ресурса; проанализированы технические решения, относящиеся к построению радионавигационных систем с учетом обеспечения условий совместной работы; рассмотрен пространственный и территориальный разнос радиоэлектронных средств, входящих в состав радионавигационной системы; рассмотрены факторы приема антенной сигналов с некоторых направлений и использования различий в поляризации

структуре сигналов; рассмотрены методы временного бланкирования сигналов; рассмотрена структурная схема компенсации связи антенн; дана оценка математической модели гальванической связи в цепи электропитания нескольких блоков оборудования; приведены способы экранирования и математические модели оценки эффективности экранирования. Проведен анализ математических моделей описывающих электромагнитную обстановку в рамках радиотехнического устройства и разработана методика расчета электромагнитной обстановки и возможных наводимых напряжений на проводящих конструкциях.

Обработка статистических данных проводилась с использованием MSExcel.

Информационная база исследования сформирована из сведений: результатов научно-исследовательских работ и ресурсов Интернет, а также материалов научных изданий, конференций и семинаров.

Научная новизна диссертационной работы заключается в методике расчета электромагнитной обстановки и возможных наводимых напряжений на проводящих конструкциях радиотехнического устройства.

Основные положения, выносимые на защиту

– комплекс методов обеспечения электромагнитной совместимости, учитывающий организационно-технические, системно-технические, схемотехнические и конструкторско-технологические особенности радионавигационного оборудования;

– экспериментально установлены зависимости уровней излучаемых электромагнитных полей и уровней наводимых напряжений на проводящих конструкциях РЭС от различных параметров;

– методика по расчету электромагнитной обстановки и возможных наводимых напряжений на проводящих конструкциях, которая включает использование большой совокупности исходных данных и позволяет в комплексе исследовать объект РЭС, подвергающийся электромагнитному излучению.

Теоретическая значимость диссертации заключается в том, что в ней предложен анализ воздействия электромагнитных помех на радионавигационное оборудование; предложен анализ организационно-технических, системно-технических, схемотехнических и конструкторско-технологических методов обеспечения электромагнитной совместимости радиоэлектронной аппаратуры и предложен ряд мер, наиболее подходящих для обеспечения электромагнитной совместимости радионавигационного оборудования.

Практическая значимость диссертации состоит в том, что проведенные исследования могут быть использованы в качестве данных для дальнейшего изучения вопросов электромагнитной совместимости для создания на их основе помехозащищенного, работоспособного радионавигационного оборудования, находящегося в сложных электромагнитных условиях.

Апробация и внедрение результатов исследования

Результаты исследования представлены на 51-й научной конференции

аспирантов, магистрантов и студентов по направлениям: «Компьютерное проектирование и технология производства электронных средств» и «Химия», 13-17 апреля 2015г., БГУИР, г. Минск.

Публикации

Основные положения работы и результаты диссертации изложены в шести опубликованных работах общим объемом 9 страниц.

Структура и объем работы. Структура диссертационной работы обусловлена целью, задачами и логикой исследования. Работа состоит из введения, трёх глав и заключения, библиографического списка и приложений. Общий объем диссертации – 111 страниц. Работа содержит 21 рисунок. Библиографический список включает 71 наименование.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во **введении** рассмотрено современное состояние проблемы обеспечения электромагнитной совместимости радионавигационного оборудования, определены основные направления исследований, а также дается обоснование актуальности темы диссертационной работы.

В **общей характеристике работы** сформулированы ее цель и задачи, показана связь с научными программами и проектами, даны сведения об объекте исследования и обоснован его выбор, представлены положения, выносимые на защиту, приведены сведения о личном вкладе соискателя, апробации результатов диссертации и их опубликованность, а также, структура и объем диссертации.

В **первой главе** проведен анализ литературы по радионавигационному оборудованию, описан ряд задач, решаемых радионавигационным оборудованием. Подробно описана структура активных и пассивных радионавигационных систем.

Определены методы радионавигации по способу определения текущего местоположения объекта: счисления пути, позиционные и обзорно-сравнительные.

Метод счисления пути основан на измерении и интегрировании по времени составляющих вектора скорости определяемого объекта относительно земной поверхности. Установлена зависимость погрешности счисления пути от времени работы системы.

Позиционный метод основан на нахождении линий положения соответствующих навигационных параметров, характеризующих положение объекта относительно принятой радионавигационной точки. Для определения пространственного места объекта необходимо знание трех поверхностей положения.

Обзорно-сравнительный метод основан на сравнении некоторых наблюдаемых с помощью датчиков физических параметров, характеризующих окружающую объект местность, с эталонными параметрами, хранящимися в памяти системы. В системах, реализующих данный метод, используется корреляционная связь между указанными параметрами.

Определено, что точность радионавигационных систем напрямую зависит от чувствительности к внешним дестабилизирующим факторам и от внутрисистемных особенностей их подавления. Длина волн, применяемых в радионавигации, должна быть много меньше размеров определяемых объектов или же соизмерима с ними.

Во второй главе проведен анализ мер и методов по обеспечению электромагнитной совместимости радионавигационного оборудования.

Определено, что совокупность всех мер и методов, направленных на обеспечение электромагнитной совместимости, можно разделить на организационно-технические, системно-технические, схмотехнические и конструкторско-технологические методы.

Определена и обоснована необходимость в организационном, правовом и техническом регулировании в области использования радиочастотного ресурса. Перечисленные меры применяются на международном, национальном, региональном и отраслевом уровнях, и регламентируются соответствующими стандартами в областях радиосвязи и электромагнитной совместимости.

Определен метод разнеса занимаемых областей излучения технического средства, использующего электромагнитные процессы, в пространстве $V-F-T$ с координатами – «частота», «время» и «пространственные координаты».

Описан ряд системно-технических методов обеспечения электромагнитной совместимости: использование помехоустойчивых цифровых методов кодирования информации; использование принципа территориально-распределенных радиопередающих устройств; использование принципов создания управляемого направленного излучения.

Проведен анализ использования метода поляризационных различий. В идеальном случае использование ортогонально поляризованных волн дает бесконечно большую развязку в рассматриваемой паре средств.

Приведены структурные схемы устройств защиты приемника от импульсной помехи, а также адаптивного временного бланкирования.

Описан метод уменьшения помех переориентацией диаграммы направленности антенны в пространстве, реализуемый двумя способами: переориентация в пространстве самой антенны; формирование нужной диаграммы направленности антенны без перемещения в пространстве самой антенны – характерно для антенных решеток.

Проанализирован метод уменьшения помех за счет территориального разнеса до затрагиваемого радиоэлектронного средства.

Проанализирован ряд схмотехнических методов обеспечения электромагнитной совместимости радионавигационного оборудования, которые относятся как к улучшению электромагнитной совместимости самого оборудования, так и к использованию специальных устройств, предназначенных для компенсации влияния помех.

Предложено использовать устройства, осуществляющие частотную фильтрацию, и располагать: в выходных трактах радиопередающих

устройств, с целью ослабления излучаемых ими помех на частотах вне основной полосы частот; в приемных устройствах в качестве преселекторов.

Проведен анализ ряда мероприятий, направленных на снижение гальванической связи через цепи питания в пределах самого оборудования, емкостного влияния контуров с общим проводом системы опорного потенциала, индуктивного влияния между двумя или несколькими контурами.

Проведен анализ ряда конструкторско-технологических методов обеспечения электромагнитной совместимости. Приведены и проанализированы математические модели расчета электромагнитного экрана.

Описаны приемы, относящиеся к выполнению технических средств, к их конструкции и технологии изготовления: использование уплотнительных элементов; использование низкочастотных и радиочастотных соединителей; применение корпусов электромагнитных экранов и устройств с экранирующими свойствами; применение устройств заземления и т.д.

В **третьей главе** определена и обоснована необходимость применения математического моделирования электромагнитной совместимости радионавигационного оборудования на стадии разработки.

Разработана методика по расчету электромагнитной обстановки и возможных наводимых напряжений на проводящих конструкциях. Проводится частотный анализ, энергетический анализ, рассчитывается уровень наводимых напряжений, проводится оценка вероятности возникновения недопустимых рисков нанесения вреда.

На основе разработанной методики были рассчитаны и построены графики зависимости уровня излучаемых электромагнитных полей и уровней наводимых напряжений на проводящих конструкциях от различных параметров.

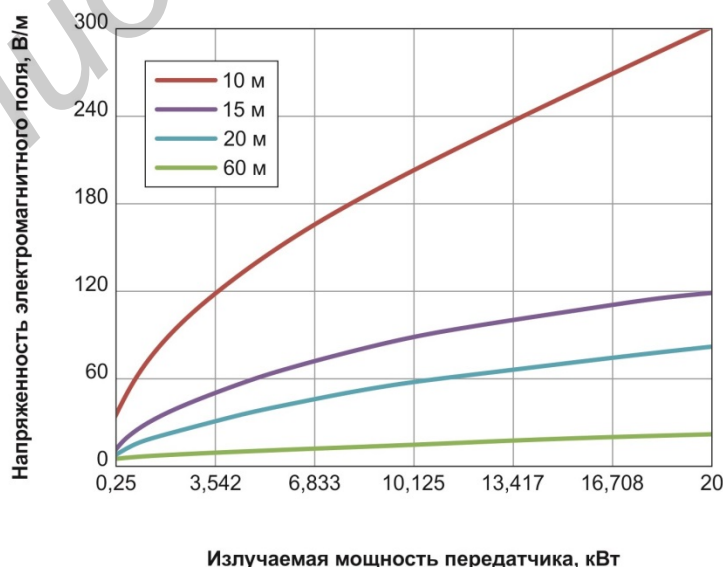


Рисунок 1 – Зависимость уровней электромагнитного поля от мощности радиопередающего устройства при различных расстояниях от излучающей антенны

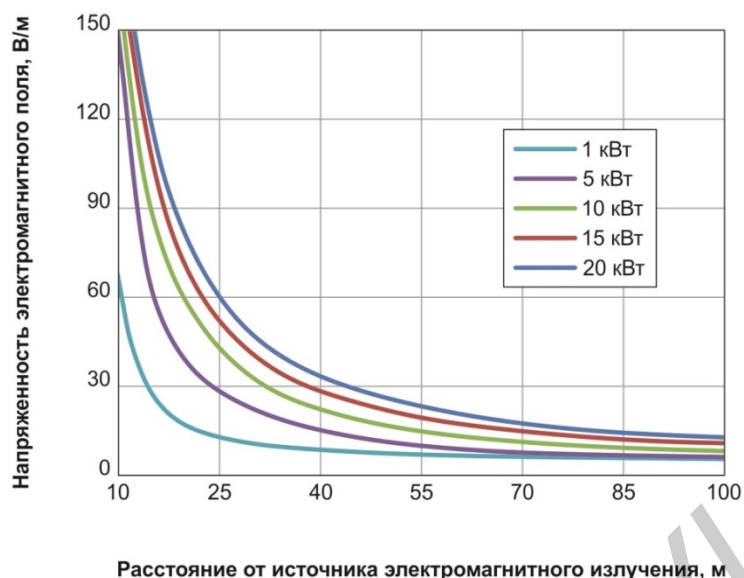


Рисунок 2 – Зависимость уровней электромагнитного поля от расстояния до излучающей антенны при различных мощностях радиопередающего устройства

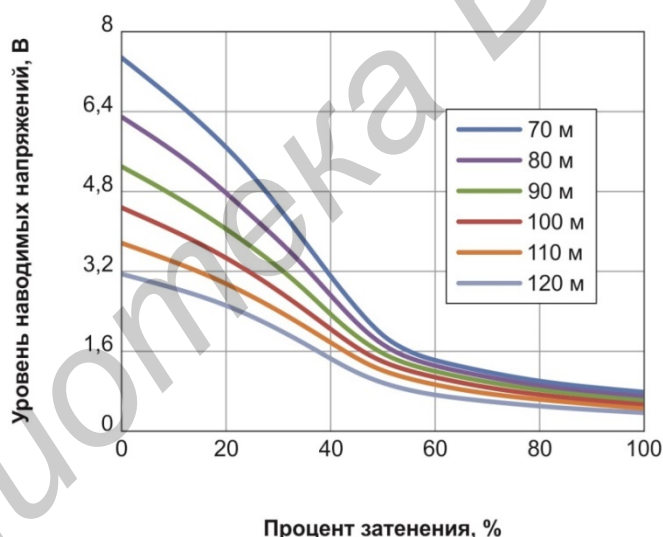


Рисунок 3 – Зависимость уровня наводимых напряжений от процента затененности препятствиями между излучающей антенной и исследуемой контрольной точкой для различных расстояний

Предложенная методика по расчету электромагнитных излучений при функционировании радиоаппаратуры включает использование большой совокупности исходных данных, касающихся параметров излучающего РЭС и параметров объекта, подвергающегося электромагнитному излучению.

В приложении А приведен акт внедрения результатов диссертационной работы в учебный процесс.

В приложении Б представлена подготовленная презентация на тему диссертационной работы.

В приложении В представлены ксерокопии собственных публикаций.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Проведен анализ литературы по характеристикам радионавигационной аппаратуры и вопросу ее электромагнитной совместимости. Показано, что наиболее приемлемым методом определения местоположения объекта, реализуемым радионавигационными системами является позиционный метод. Основное достоинство данного метода – возможность определения объекта без учета и знания пройденного пути.

2. При рассмотрении вопроса ЭМС радионавигационного оборудования охватывается широкий круг вопросов: от специфических особенностей оборудования, до вопросов конструирования и технологии производства такого оборудования. Сделано заключение, что точность радионавигационного оборудования напрямую зависит от его чувствительности к внешним дестабилизирующим факторам и от внутрисистемных особенностей их подавления.

3. Для обеспечения ЭМС радионавигационного оборудования необходимо комплексное применение организационно-технических, системно-технологических, схмотехнических и конструкторско-технологических методов. В частности, особое внимание необходимо уделить следующим методам: рациональный выбор рабочей частоты; пространственный разнос узлов и блоков оборудования; переориентация диаграммы направленности антенны в пространстве; использование поляризационной развязки; введение более совершенных схмотехнических решений, направленных на фильтрацию мешающих помех; исключение гальванических, емкостных и индуктивных связей в пределах самого оборудования; применение электромагнитных экранов в конструкции оборудования.

4. На основе математических моделей, описывающих электромагнитную обстановку сложных радиотехнических систем разработана методика по расчету электромагнитной обстановки и возможных наводимых напряжений на проводящих конструкциях.

СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ

[1–А] Система синхронизации электронных устройств радиоволновым бесконтактным методом / Д. И. Викторов, В. Н. Лобко, А. Г. Плешивцев // Компьютерное проектирование и технология производства электронных средств: материалы 51-й науч. конф. аспирантов, магистрантов и студентов, Минск, Респ. Беларусь, 13–17 апреля 2015 г. / БГУИР. – Минск, 2015. – С. 167–168.

[2–А] Влияние условий распространения радиоволн на эффективность выполнения первостепенной задачи радионавигационных приборов / А. Г. Плешивцев, В. Н. Лобко // Компьютерное проектирование и технология производства электронных средств: материалы 51-й науч. конф. аспирантов, магистрантов и студентов, Минск, Респ. Беларусь, 13–17 апреля 2015 г. / БГУИР. – Минск, 2015. – С. 251.

[3–А] Анализ этапов проектирования электронных устройств и их особенностей с учетом требований электромагнитной совместимости / В. Н. Лобко, А. Г. Плешивцев // Компьютерное проектирование и технология производства электронных средств: материалы 51-й науч. конф. аспирантов, магистрантов и студентов, Минск, Респ. Беларусь, 13–17 апреля 2015 г. / БГУИР. – Минск, 2015. – С. 224–225.

[4–А] Основные задачи и методы при проектировании электронных устройств с учетом обеспечения электромагнитной совместимости / В. Н. Лобко, А. Г. Плешивцев // Компьютерное проектирование и технология производства электронных средств: материалы 51-й науч. конф. аспирантов, магистрантов и студентов, Минск, Респ. Беларусь, 13–17 апреля 2015 г. / БГУИР. – Минск, 2015. – С. 226–227.

[5–А] Моделирование электромагнитной совместимости РЛС, расположенных в непосредственной близости / А. Г. Плешивцев, В. Н. Лобко // Компьютерное проектирование и технология производства электронных средств: материалы 51-й науч. конф. аспирантов, магистрантов и студентов, Минск, Респ. Беларусь, 13–17 апреля 2015 г. / БГУИР. – Минск, 2015. – С. 252.

[6–А] SPRAY-технология получения полупроводниковых электромагнитных экранов для обеспечения электромагнитной совместимости блоков и элементов радиоэлектронной аппаратуры / В. С. Пладунова, В. Н. Лобко, А. Г. Плешивцев, Д. И. Викторов // Компьютерное проектирование и технология производства электронных средств: материалы 51-й науч. конф. аспирантов, магистрантов и студентов, Минск, Респ. Беларусь, 13–17 апреля 2015 г. / БГУИР. – Минск, 2015. – С. 303.

РЭЗІЮМЭ

Пляшыўцаў Аляксандр Генадзевіч

Метады забеспячэння электрамагнітнай сумяшчальнасці радыёнавігацыйнага абсталявання

Ключавыя словы: электрамагнітная сумяшчальнасць, радыёнавігацыйнае абсталяванне.

Мэта работы: даследванне ўздзеяння электрамагнітных перашкод на радыёнавігацыйнае абсталяванне і выяўленне найбольш аптымальных метадаў забеспячэння яго электрамагнітнай сумяшчальнасці.

Атрыманыя вынікі і іх навізна: праведзены аналіз агульнай характарыстыкі электрамагнітнай сумяшчальнасці радыёнавігацыйнага абсталявання. Праведзены аналіз метадаў і мер па забеспячэнню электрамагнітнай сумяшчальнасці. Прапанавана методыка разліку электрамагнітнай абстаноўкі і магчымых наведзеных высілкаў на канструкцыях радыётэхнічных прылад.

Ступень выкарыстання: вынікі ўкаранёны ў навучальны працэс.

Вобласць ужывання: радыёэлектронная прамысловасць, радыётэхнічныя сістэмы.

РЕЗЮМЕ

Плешивцев Александр Геннадьевич

Методы обеспечения электромагнитной совместимости радионавигационного оборудования

Ключевые слова: электромагнитная совместимость, радионавигационное оборудование.

Цель работы: исследование воздействия электромагнитных помех на радионавигационное оборудование и выявление наиболее оптимальных методов обеспечения его электромагнитной совместимости.

Полученные результаты и их новизна: проведен анализ общей характеристики электромагнитной совместимости радионавигационного оборудования. Проведен анализ методов и мер по обеспечению электромагнитной совместимости. Предложена методика расчета электромагнитной обстановки и возможных наводимых напряжений на проводящих конструкциях радиотехнического устройства.

Степень использования: результаты внедрены в учебный процесс.

Область применения: радиоэлектронная промышленность, радиотехнические системы.

SUMMARY

Pleshivtsev Alexander Henadzievich

Methods of electromagnetic compatibility of radio navigational devices

Keywords: electromagnetic compatibility, radio navigational devices.

The object of study: is research of electromagnetic noise affection on radio navigational devices and identification of the most optimal methods of controlling them.

The results and novelty: analysis of the general characteristics of the electromagnetic compatibility of radio navigational devices has been carried out. Analysis of methods and measures of electromagnetic compatibility has been conducted. The method of analysis of electromagnetic environment and possible induced voltages in installing constructions of wireless devices has been carried out.

Degree of use: the results are applied to teaching and learning process.

Sphere of application: radio electronics, radio engineering systems.