

## О Т З Ы В

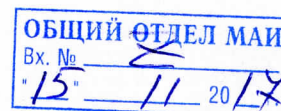
официального оппонента доктора технических наук, профессора Шахтарина Бориса Ильича на диссертационную работу Важенина Николая Афанасьевича «Повышение помехоустойчивости радиосистем космической связи при воздействии радиоизлучения стационарных плазменных двигателей», представленную на соискание ученой степени доктора технических наук по специальностям 05.12.04 «Радиотехника, в том числе системы и устройства телевидения» и 05.07.05 «Тепловые, электроракетные двигатели и энергоустановки летательных аппаратов».

### 1. Актуальность диссертации

Влияние радиоизлучения электрических ракетных двигателей (ЭРД) на функционирование радиосистем космической связи (РСКС) к настоящему времени изучено недостаточно, что обусловлено отсутствием математических моделей радиоизлучения ЭРД. Как показывают экспериментальные измерения, ЭРД, в частности стационарные плазменные двигатели (СПД), являются источниками широкополосного электромагнитного излучения в радиодиапазоне, которое имеет шумоподобный характер и сложную спектрально-временную структуру. Это излучение может существенно влиять на энергетический потенциал и помехоустойчивость радиолиний космической связи «Земля-КА».

В связи с этим исследование характеристик, и разработка математических моделей радиоизлучения, возникающего при работе ЭРД, а также анализ влияния этого излучения на помехоустойчивость радиосистем космической связи и разработка методов ее повышения является актуальной задачей.

По постановке задачи и своему содержанию диссертационная работа носит междисциплинарный характер. Тематическая направленность работы, её содержание и основные полученные результаты соответствуют паспортам специальностей 05.12.04 «Радиотехника, в том числе системы и устройства телевидения» и 05.07.05 «Тепловые, электроракетные двигатели и энергоустановки летательных аппаратов» (технические науки).



## **2. Структура и содержание диссертационной работы**

Диссертационная работа содержит две крупные взаимосвязанные части: первая посвящена экспериментальному исследованию характеристик излучения СПД в радиодиапазоне и разработке на этой основе математических моделей такого излучения, а вторая – разработке математических и имитационных моделей РСКС с учетом воздействия излучения СПД, анализу влияния этого излучения на достоверность передачи информации и помехоустойчивость РСКС, а также разработке и исследованию методов борьбы с влиянием импульсной компоненты радиоизлучения СПД.

Рассматриваемая диссертационная работа состоит из введения, восьми глав, заключения, списка из 264 использованных источников и 3 приложений.

Во введении изложена общая характеристика работы, обоснована актуальность темы исследования, определены цель работы и решаемые научно-технические задачи. Сформулированы научная новизна и практическая ценность работы, а также приведены положения, выносимые на защиту.

В первой главе проведен анализ основных направлений использования ЭРД в задачах освоения ближнего и дальнего космоса, дано описание типов ЭРД, принципов их функционирования, основных характеристик и тенденций развития. Проанализированы виды воздействия ЭРД на радиосистемы КА и выделены основные показатели, влияющие на качество функционирования РСКС. Проведен анализ РСКС ближнего и дальнего космоса, определены их основные характеристики и параметры.

Во второй главе проведен анализ современного состояния экспериментальных установок и методов измерения характеристик излучения ЭРД в радиодиапазоне. Описаны разработанная автором методика проведения экспериментальных измерений характеристик излучения ЭРД в радиодиапазоне, методы измерений, процедуры калибровки измерительного комплекса, математическое обеспечение и программные средства для обеспечения проведения, обработки и интерпретации результатов экспериментальных измерений.

В третьей главе проводится анализ полученных автором результатов экспериментальных измерений спектрально-временных характеристик собственного излучения ЭРД в радиодиапазоне для лабораторных моделей ЭРД типа СПД-70, СПД-100, СПД-140, ВЧИД-10, АИПД-50.

Четвертая глава посвящена анализу статистических характеристик и математических моделей радиоизлучения СПД в частотной и временной областях. Рассматриваются модели собственного электромагнитного излучения ЭРД. Предложены и исследованы обобщенные математические модели излучения СПД в радиодиапазоне.

В пятой главе рассматриваются алгоритмы программного комплекса для имитационного моделирования излучения СПД в радиодиапазоне, проводится верификация разработанного программно-алгоритмического комплекса для имитационного моделирования излучения СПД в радиодиапазоне.

Шестая глава посвящена использованию аналитических моделей для исследования влияния радиоизлучения ЭРД на достоверность передачи информации в РСКС и разработке имитационных моделей РСКС, включающих, кроме информационного канала, также каналы фазовой и символьной синхронизации. Описывается разработанный специализированный программно-алгоритмический комплекс для имитационного моделирования РСКС.

Седьмая глава посвящена исследованию влияния радиоизлучения СПД на вероятность битовой ошибки при передаче информации и анализу зависимости энергетического проигрыша от параметров радиоизлучения СПД. Анализ проводился применительно к РСКС с различными методами модуляции. Полученные результаты позволяют количественно оценивать достоверность передачи информации и энергетический проигрыш РСКС при воздействии радиоизлучения СПД.

В восьмой главе исследуется влияние предложенных методов квадратурной компенсации воздействия импульсной компоненты радиоизлучения СПД на помехоустойчивость РСКС, анализируются новые методы оценки значений отношения сигнал-шум (ОСШ).

В заключении сформулированы основные результаты, полученные в диссертационной работе.

### **3. Достоверность результатов исследования**

Достоверность результатов работы обеспечивается строгим использованием математического аппарата для полученных научных результатов, соответствием полученных результатов результатам других авторов, экспериментальной проверкой предложенных математических моделей и совпадением в частных случаях результатов

имитационного моделирования на ЭВМ с известными аналитическими решениями, а также использованием измерительных средств и оборудования, прошедших своевременную поверку и метрологическую аттестацию.

**4. Научная новизна исследований и результатов диссертационной работы** заключается в следующем:

4.1. Разработан комплекс методов, математических моделей, аппаратно-программных и программно-алгоритмических средств, а также технических решений для экспериментального исследования характеристик радиоизлучения стационарных плазменных двигателей в наземных условиях и анализа влияния этого излучения на помехоустойчивость радиосистем космической связи с космическими аппаратами (КА), оснащенными ЭРД, позволивший впервые получить количественные оценки помехоустойчивости в этих условиях и разработать методы ее повышения.

4.2. Экспериментально определена спектрально-временная структура и параметры излучения СПД в радиодиапазоне, на основе проведенных экспериментальных исследований и их статистической обработки сформирована база данных спектрально-временных характеристик радиоизлучения для различных типов СПД и их интегральных параметров, необходимая для разработки и реализации математических и имитационных моделей такого излучения.

4.3. Разработаны и апробированы математические модели излучения СПД в радиодиапазоне. Для их реализации разработаны методы и алгоритмы имитационного моделирования радиоизлучения СПД, позволяющие создать программные и аппаратные имитаторы радиоизлучения СПД, которые могут быть использованы как для исследования помехоустойчивости радиосистем космической связи, так и при проведении наземных испытаний бортового оборудования КА.

4.4. Проведено и апробировано обобщение модели Миддлтона при совместном воздействии белого гауссовского шума и случайных импульсных помех для асимптотического случая импульсной помехи.

4.5. Для типовых методов фазовой и амплитудно-фазовой модуляции, используемых в РСКС, получены количественные оценки зависимости вероятности битовой ошибки и энергетического проигрыша радиосистем космической связи от отношения сигнал-шум, отношения сигнал-импульсная помеха и временных параметров импульсного излучения используемых и перспективных моделей СПД.

4.6. Разработаны новые методы и алгоритмы их реализации для борьбы с влиянием импульсной составляющей излучения СПД, основанные на адаптивном выделении и квадратурной компенсации таких помех. Показано, что по сравнению с типовым алгоритмом ШОУ, предложенные методы обеспечивают энергетический выигрыш от 1.5 до 5 дБ.

4.7. Для оптимизации работы квадратурного компенсатора импульсных помех разработаны новые алгоритмы оценки отношения сигнал-шум в условиях воздействия импульсных помех, которые являются работоспособными в широком диапазоне отношений сигнал-шум и сигнал-импульсная помеха, а при отношении сигнал-шум более 5 дБ обеспечивают точность оценки отношения сигнал-шум не хуже 10...20%.

Новизна предложенных и исследованных в диссертационной работе технических решений подтверждается 2 патентами РФ на полезную модель, 2 патентами РФ, 3 патентами США и 1 патентом ЕС на изобретение, полученными с участием автора.

## **5. Практическая значимость результатов диссертационной работы**

Практическая значимость результатов работы определяется целесообразностью их использования при проектировании РСКС с КА, оборудованными ЭРД. Результаты экспериментальных измерений радиоизлучения СПД и оценки его влияния на помехоустойчивость РСКС использованы при проведении научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ, в частности, с ОАО «ИСС им. акад. М.Ф. Решетнева», ФГУП «НПО им. С.А. Лавочкина», ФГУП «ЦНИИмаш», МНИИПУ, НИИ ПМЭ МАИ. Внедрение результатов диссертационной работы подтверждается соответствующими актами.

## **6. Апробация и публикации результатов диссертационной работы**

Основные положения и результаты диссертации опубликованы в 66 работах, из них – 1 монография, 1 учебное пособие с грифом Минобрнауки, 24 статьи, в том числе 22 - в изданиях из списка ВАК Минобрнауки России, из них 8 - в изданиях, входящих в системы Scopus и Web of Science, сделано 30 докладов на международных и всероссийских конференциях, 9 работ опубликовано без соавторов, получено 2 свидетельства о государственной регистрации программы для ЭВМ, 2 патента РФ на полезную модель, 2 патента РФ, 3 патента США и 1 патент ЕС на изобретение.

## **7. Замечания**

7.1. Выявленный в диссертационной работе эффект формирования широкополосных радиоимпульсов излучения СПД требует более детального изучения и накопления статистических данных для различных типов СПД и режимов их работы.

7.2. В диссертации в ряде мест термины «алгоритм», «модель», «имитационная модель» употребляются не в «гостированном» смысле, например, на стр. 205-213 «модель» - это закон распределения, тоже в п. 4.3: «модель» - формула.

7.3. Соотношения (8.19) - (8.22) названы алгоритмами, хотя представляют собой расчетные формулы, а сами алгоритмы их реализации описаны только в соответствующих патентах.

7.4. В тексте диссертации имеется ряд погрешностей в оформлении и опечаток, так, например, формулы (8.23) и (8.24) пронумерованы как (2.36) и (2.37).

7.5. Использование в Главе 8 показателя выигрыша, даваемого ККИП по отношению к КОИП, в виде отношения вероятностей битовых ошибок имеет ограничения, так как это соотношение существенно зависит от величины битовой ошибки и отношения сигнал-шум.

7.6. Имеется избыток общеизвестных формул, например, (4.6) и д.р. в Главе 4, не использованных в дальнейшем изложении.

## **8. Заключение**

8.1. Название диссертационной работы верно отражает ее содержание, а материалы и результаты диссертационной работы достаточно полно отражены в научных публикациях соискателя. Автореферат соответствует основным положениям диссертационной работы, правильно и полно отражает её содержание и полученные результаты.

8.2. Диссертационная работа Важенина Николая Афанасьевича «Повышение помехоустойчивости радиосистем космической связи при воздействии радиоизлучения стационарных плазменных двигателей» представляет собой законченную научно-квалификационную работу, в которой решена важная научно-техническая проблема повышения помехоустойчивости радиосистем космической связи при воздействии радиоизлучения стационарных плазменных двигателей КА, и по научной новизне и практической ценности соответствует требованиям п. 9 «Положения о присуждении

ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 №842 (ред. от 28.08.2017), предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени доктора технических наук, а её автор заслуживает присуждения ученой степени доктора технических наук по специальностям 05.12.04 «Радиотехника, в том числе системы и устройства телевидения» и 05.07.05 «Тепловые, электроракетные двигатели и энергоустановки летательных аппаратов».

Официальный оппонент

доктор технических наук, профессор,

профессор кафедры СМ5

МГТУ им. Н.Э.Баумана

E-mail: shakhtarin@mail.ru

Шахтарин Борис Ильич

Подпись Шахтарина Б.И. удостоверяю

Руководитель НУКСМ МГТУ

Н.Э.Баумана



Калугин В.Т.

Полное название организации: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский Государственный Технический Университет имени Н.Э. Баумана» (МГТУ им. Н.Э. Баумана)

Почтовый адрес: 105005, РФ, Москва, 2-ая Бауманская ул., д. 5, стр. 1

Телефон: +7(499) 263-63-91

Официальный сайт: <http://bmstu.ru/>

Электронная почта: [bauman@bmstu.ru](mailto:bauman@bmstu.ru)