

О Т З Ы В

официального оппонента доктора физико-математических наук, профессора Надеева Аделя Фирадовича на диссертационную работу Важенина Николая Афанасьевича, выполненную на тему: «Повышение помехоустойчивости радиосистем космической связи при воздействии радиоизлучения стационарных плазменных двигателей», представленную к защите на соискание ученой степени доктора технических наук в диссертационный совет Д 212.125.03 при Московском авиационном институте (государственном техническом университете) по специальностям 05.12.04 «Радиотехника, в том числе системы и устройства телевидения» и 05.07.05 «Тепловые, электроракетные двигатели и энергоустановки летательных аппаратов» (технические науки).

Актуальность темы диссертационной работы

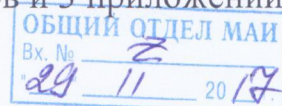
Как показывают экспериментальные исследования, электрические ракетные двигатели (ЭРД) космических аппаратов (КА), в частности стационарные плазменные двигатели (СПД), являются источниками широкополосного излучения в радиодиапазоне, которое имеет выраженную случайную импульсную компоненту и сложную спектрально-временную структуру. Это излучение в ряде случаев может существенно повлиять на энергетический потенциал и характеристики помехоустойчивости радиолиний космической связи «Земля-КА».

В связи с этим актуальной задачей является исследование характеристик и разработка математических моделей радиоизлучения, возникающего при работе ЭРД, и анализ влияния этого излучения на характеристики помехоустойчивости радиосистем космической связи (РСКС), а также разработка методов повышения помехоустойчивости в этих условиях.

Рассматриваемая диссертационная работа по своему содержанию и полученным результатам носит междисциплинарный характер и 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).

Структура и содержание диссертационной работы

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, приведено описание типов ЭРД, принципов их функционирования и основных характеристик. Проведен анализ основных видов воздействия ЭРД на радиосистемы КА и определены факторы, влияющие на качество функционирования РСКС. Проведен анализ основных характеристик и параметров РСКС ближнего и дальнего космоса, необходимых для анализа их помехоустойчивости при воздействии радиоизлучения ЭРД.

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

В третьей главе проводится анализ основных, полученных соискателем, 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 и излучения полого катода.

Четвертая глава посвящена анализу статистических характеристик и математических моделей радиоизлучения СПД в частотной и временной областях. Рассматриваются феноменологические модели собственного электромагнитного излучения ЭРД различного уровня детализации. Предложены и исследованы обобщенные математические модели излучения СПД в радиодиапазоне: на основе модифицированной модели Фурутсу-Ишида и на основе моделей Холла и стробированного гауссовского шума.

В пятой главе рассматриваются архитектура и алгоритмы реализации 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 анализу возможности использования 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 и исследования характеристик передачи информации с учетом совместного воздействия АБГШ и радиоизлучения СПД не только на информационный канал, но и на каналы фазовой и символьной синхронизации.

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 методами модуляции ФМн-2, ФМн-4, ФМн-8, ФМн-16, КАМ-16 и КАМ-64. Полученные результаты позволяют количественно оценивать достоверность передачи информации и энергетический проигрыш РСКС при воздействии радиоизлучения СПД для широкого круга условий функционирования и параметров радиолинии.

В восьмой главе проводится исследование влияния предложенных методов квадратурной компенсации воздействия импульсной компоненты радиоизлучения СПД на помехоустойчивость РСКС, анализируются новые методы оценки текущих значений отношения сигнал-шум (ОСШ), в том числе и при воздействии радиоизлучения СПД, обеспечивающие реализацию адаптивного режима компенсации.

В заключении сформулированы основные результаты, полученные в диссертационной работе.

Достоверность результатов исследования

Достоверность результатов работы обеспечивается корректным использованием математического аппарата теории вероятностей и статистической теории связи для всех полученных научных результатов, соответствием в определенных случаях полученных результатов результатам других авторов, опубликованным в отечественной и зарубежной литературе, масштабной 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.

Научная новизна исследований и результатов диссертационной работы заключается в следующем:

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.

2. Экспериментально определена спектрально-временная структура и параметры излучения СПД в радиодиапазоне, на основе проведенных экспериментальных исследований и их статистической обработки сформирована информационная 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.

3. Разработаны и апробированы обобщенные математические модели излучения СПД в радиодиапазоне: на основе модифицированной модели Фурутсу-Ишида и на основе моделей Холла и стробированного гауссовского шума. Для их реализации разработаны методы и алгоритмы имитационного моделирования радиоизлучения СПД, позволяющие создавать 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. Проведено и апробировано обобщение модели Миддлтона класса А при совместном воздействии белого гауссовского шума и случайных импульсных помех для асимптотического случая импульсной помехи с длительностью импульса много меньше длительности канального символа для

анализа помехоустойчивости радиосистем космической связи в условиях воздействия радиоизлучения СПД.

5. Для типовых методов фазовой и амплитудно-фазовой модуляции ФМн-2, ФМн-4, ФМн-8, ФМн-16, КАМ-16, КАМ-64, 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.

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. По сравнению с типовым алгоритмом ШОУ («широкая полоса – ограничитель – узкая полоса»), предложенные методы обеспечивают энергетический выигрыш от 1.5 до 5 дБ.

7. Для оптимизации работы квадратурного компенсатора импульсных помех разработаны новые алгоритмы оценки текущего 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 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.

Практическая значимость результатов диссертационной работы

Практическая значимость результатов работы связана с возможностью их использования в инженерной практике при проектировании и создании РСКС с КА, оборудованными ЭРД. Результаты экспериментальных измерений радиоизлучения СПД и оценки его влияния на помехоустойчивость РСКС использовались 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.

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.

Замечания

1. Недостаточно четко сформулированы рекомендации по целесообразным областям использования модифицированных моделей Фурутсу-Ишида и Холла в инженерной практике при моделировании радиоизлучения СПД.

2. Не проведен сравнительный анализ вычислительной сложности реализации предложенных алгоритмов оценки текущего отношения сигнал-шум и ККИП.

3. В диссертации для снижения влияния радиоизлучения СПД предлагается использование методов квадратурной компенсации импульсных помех, однако отсутствует сравнительный анализ с другими методами и алгоритмами обработки сигналов в условиях действия негауссовских импульсных помех.

4. Основные результаты экспериментальных измерений характеристик радиоизлучения СПД изложены в излишне сжатой форме, затрудняющей их использование при решении практических задач проектирования.

5. Раздел 1.3 «Принципы построения и основные характеристики радиосистем космической связи ближнего и дальнего космоса» без ущерба для основного содержания мог быть вынесен в приложение.

Заключение

Содержание и полученные результаты диссертационной работы нашли достаточно полное отражение в научных публикациях соискателя. Название диссертационной работы полностью соответствует ее содержанию. Автореферат соответствует основным положениям диссертационной работы и полно отражает её содержание и полученные результаты.

В целом, диссертационная работа Важенина Николая Афанасьевича «Повышение помехоустойчивости радиосистем космической связи при воздействии радиоизлучения стационарных плазменных двигателей» представляет собой законченную научно-квалификационную работу, в которой поставлена и решена важная научно-техническая проблема повышения помехоустойчивости радиосистем космической связи, функционирующих в условиях воздействия радиоизлучения стационарных плазменных двигателей КА, и по своему содержанию, научной новизне и практической ценности полученных результатов 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 Важенин Николай Афанасьевич достоин 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» (технические науки).

Официальный оппонент
доктор физико-математических наук,
профессор, директор Института
радиоэлектроники и телекоммуникаций
ФГБОУВО «Казанский национальный
исследовательский технический
университет им. А.Н. Туполева – КАИ»,
E-mail: AFNadeev@kai.ru

Надеев Адель Фирадович

Подпись Надеева Аделя Фирадовича
удостоверяю
Учёный секретарь

Ф.А.Жестовская

Полное название организации: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н.Туполева-КАИ»
Почтовый адрес: 420111 г. Казань, ул. К. Маркса, 10
Телефон: +7 (843) 264-29-01
Официальный сайт: <https://kai.ru/>
Электронная почта: kai@kai.ru

Подпись _____
заверяю. Начальник управления
делами КНИТУ-КАИ



29.11.2017