

СВЕДЕНИЯ О РЕЗУЛЬТАТАХ ПУБЛИЧНОЙ ЗАЩИТЫ

Диссертационный совет: 24.2.327.03

Соискатель: Терентьев Максим Николаевич

Тема диссертации: Беспроводные сенсорные сети для космических систем

Специальность: 2.3.1. Системный анализ, управление и обработка информации, статистика (технические науки)

Решение диссертационного совета по результатам защиты диссертации:


На заседании 19 октября 2023 года диссертационный совет пришел к выводу о том, что диссертация представляет собой научно-квалификационную работу, соответствующую критериям, установленным Положением о присуждении ученых степеней, установленным Положением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. №842, и принял решение присудить Терентьеву Максиму Николаевичу ученую степень доктора технических наук.

Присутствовали: председатель диссертационного совета В.В. Малышев, заместитель председателя диссертационного совета М.Н. Красильщиков, ученый секретарь диссертационного совета А.В. Старков, члены диссертационного совета: В.Т. Бобронников, Л.В. Вишнякова, В.А. Воронцов, В.Н. Евдокименков, А.В. Ефремов, С.Ю. Желтов, К.А. Занин, Д.А. Козорез, М.С. Константинов, М.М. Матюшин, В.П. Махров, С.Н. Падалко, В.В. Пасынков, В.Г. Петухов, Г.Г. Райкунов, В.В. Родченко, Ю.В. Тюменцев.

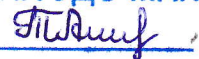
Ученый секретарь диссертационного совета

24.2.327.03, д.т.н., доцент



 А.В. Старков

ДЕПАРТАМЕНТ УДС МАИ



ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА 24.2.327.03

созданного на базе Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)»
Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
(МАИ)

по диссертации на соискание ученой степени доктора технических наук

аттестационное дело № _____

решение диссертационного совета от 19.10.2023 г., протокол № 24

О присуждении **Терентьеву Максиму Николаевичу**, гражданину Российской Федерации, ученой степени доктора технических наук.

Диссертация «Беспроводные сенсорные сети для космических систем» по специальности 2.3.1. Системный анализ, управление и обработка информации, статистика (технические науки) принята к защите «26» июня 2023, протокол № 13, диссертационным советом 24.2.327.03 на базе Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)» (МАИ, Московский авиационный институт), 125993, Москва, Волоколамское шоссе, 4, приказ о создании совета № 105/нк от 11.04.2012 г.

Соискатель, Терентьев Максим Николаевич, «06» февраля 1966 года рождения. В 1989 г. окончил Московский авиационный институт им. С. Орджоникидзе по специальности «Динамика полета и управление» с присвоением квалификации «инженер-системотехник». В 2010 году защитил диссертацию на соискание ученой степени кандидата технических наук «Метод функционирования систем мониторинга параметров объектов с изменяемой конфигурацией на базе дискретных беспроводных сенсорных сетей» по специальности 05.13.15 «Вычислительные машины, комплексы и компьютерные сети» (диплом кандидата наук ДКН № 131996, решение ВАК Министерства образования и науки Российской Федерации о выдаче диплома от 08.04.2011 № 15к/26) в диссертационном совете Д212.125.01.

В период подготовки диссертации соискатель Терентьев Максим Николаевич работал на кафедре «Прикладная информатика» МАИ в должности доцента. С 1 июля 2021 г. проходил обучение в докторантуре МАИ.

Диссертация выполнена в МАИ на кафедре «Прикладная информатика» института №6 «Аэрокосмический».

Научный консультант – доктор технических наук, профессор, профессор кафедры «Прикладная информатика» МАИ Падалко Сергей Николаевич.

Официальные оппоненты:

1. Юркевич Евгений Владимирович – гражданин Российской Федерации, доктор технических наук, главный научный сотрудник Федерального государственного бюджетного учреждения науки Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова Российской академии наук.

2. Карцан Игорь Николаевич – гражданин Российской Федерации, доктор технических наук, ведущий научный сотрудник Федерального государственного бюджетного учреждения науки Федерального исследовательского центра «Морской гидрофизический институт РАН».

3. Новиков Евгений Александрович – гражданин Российской Федерации, доктор технических наук, начальник кафедры Федерального государственного бюджетного военного образовательного учреждения высшего образования «Военно-космическая академия имени А.Ф. Можайского» Министерства обороны Российской Федерации.

Все оппоненты дали положительные отзывы о диссертации.

Ведущая организация Акционерное общество «Научно-производственная корпорация «Системы прецизионного приборостроения» (АО «НПК «СПП») г. Москва, в своем положительном отзыве, обсужденном на заседании секции 1 Научно-технического совета АО «НПК «СПП», протокол № 03/2023 от 17.08.2023 г., главным конструктором направления бортовых систем Научно-технического центра 01 АО «НПК «СПП» д.т.н. Агеевым Ю.Д., начальником 1 сектора отдела 1111 Научно-технического центра 01 АО «НПК «СПП» к.т.н. Скопиновой А.В. и утверждённым генеральным директором АО «НПК «СПП» к.т.н. Роем Ю.А., указала, что в диссертации Терентьева М.Н. сформулирована и решена научная проблема, имеющая важное хозяйственное значение — расширение функциональных возможностей космических систем в части решения задач коммуникаций в компактных группировках космических аппаратов и задач мониторинга как на борту космического аппарата, так и в наземном сегменте за счёт включения в их состав специального класса беспроводных сенсорных сетей.

Выполняя диссертационное исследование, автор лично впервые предложил класс беспроводных сенсорных сетей для космических систем и создал его модель. На их основе автором лично разработаны симулятор беспроводных сенсорных сетей для космических систем и методика проектирования таких сетей. Автором лично решена задача проектирования системы коммуникации внутри орбитальной группировки наноспутников.

Соискатель имеет 51 опубликованную работу, в том числе по теме диссертации 47 работ, включающих 13 статей опубликованных в рецензируемых научных изданиях, входящих в перечень рецензируемых научных изданий ВАК Минобрнауки РФ, соответствующих специальности 2.3.1. Системный анализ, управление и обработка информации, статистика (технические науки), 2 работы в изданиях, индексируемых в международной реферативной базе данных SCOPUS, 1 монография, 6 свидетельств о регистрации программ. Общее количество публикаций в изданиях, отнесенных к категориям К-1, К-2 и МБД, составляет 11, что соответствует рекомендации ВАК Минобрнауки РФ от 26.10.22 для диссертаций на соискание ученой степени доктора технических наук. Наиболее значимыми научными работами по теме диссертации являются:

Статьи в рецензируемых журналах перечня ВАК:

1. Терентьев М.Н. Модель беспроводной сенсорной сети с режимом сбережения энергии и синхронизацией шкал времени. Вестник Московского авиационного института.– Москва: МАИ, 2009. – Т.16. – № 4, с. 79-84. (6 с. авт., №289, перечень ВАК действ. до 30.11.2015 г., К-2)

Проанализированы факторы нестабильности кварцевых осцилляторов узлов БСС и построена математическая модель расхода энергии узлами дискретной БСС.

2. Терентьев М.Н. Имитационная модель беспроводной сенсорной сети с режимом сбережения энергии и синхронизацией шкал времени. Вестник Московского авиационного института.– Москва: МАИ, 2010. – Т.17. – № 3, с. 178-183. (6 с. авт., №289, перечень ВАК действ. до 30.11.2015 г., К-2)

Обосновано применение для моделирования работы БСС метода имитационного моделирования.

3. Макарова С.М., Падалко С.Н., Строгонова Л.Б., Терентьев М.Н. Непрерывный круглосуточный медицинский контроль психофизиологического состояния и координат космонавтов с использованием беспроводной сенсорной сети. Вестник Московского авиационного института.– Москва: МАИ, 2012. – Т.19. – № 2, с. 177-181. (3 с. авт., №289, перечень ВАК действ. до 30.11.2015 г., К-2)

Представлено решение задачи организации круглосуточного медицинского контроля психофизиологического состояния и координат космонавтов МКС с использованием дискретной беспроводной сенсорной сети.

4. Махорин А.О., Падалко С.Н., Терентьев М.Н. Постановка задачи оптимизации параметров процедуры смены роли узлов многошлюзовой беспроводной самоорганизующейся сети произвольной топологии в аэрокосмической системе. Научно-технический вестник Поволжья.– Казань:

Научно-технический вестник Поволжья, 2014. – № 5, с. 260-263. (3 с. авт., №1354, перечень ВАК действ. до 30.11.2015 г., К-3)

Сформулирован подход к динамической сегментации БСС, состоящий в формировании сегмента сети узлом, начавшим играть роль шлюза.

5. Махорин А.О., Падалко С.Н., Терентьев М.Н. Симуляция многошлюзовой беспроводной самоорганизующейся сети произвольной топологии с учетом решения задачи выбора оптимальных параметров сети. Научно-технический вестник Поволжья.– Казань: Научно-технический вестник Поволжья, 2014. – № 6, с. 228-232. (3 с. авт., №289, перечень ВАК действ. до 30.11.2015 г., К-3)

Простроен алгоритм имитационного моделирования БСС мониторинга авиационной или ракетно-космической системы, сочетающий в себе дискретно-событийный и агентный подходы.

6. Махорин А.О., Падалко С.Н., Терентьев М.Н. Постановка задачи оптимизации размещения узлов многошлюзовой беспроводной самоорганизующейся сети произвольной топологии в аэрокосмической системе. Научно-технический вестник Поволжья.– Казань: Научно-технический вестник Поволжья, 2014. – № 6, с. 233-236. (3 с. авт., №289, перечень ВАК действ. до 30.11.2015 г., К-3)

Поставлена задача оптимизации размещения узлов многосегментной БСС, решающей задачу мониторинга в аэрокосмической системе, в формате задачи целочисленного линейного программирования с двоичными переменными.

7. Махорин А.О., Падалко С.Н., Терентьев М.Н. Математическая модель многошлюзовой беспроводной самоорганизующейся сети произвольной топологии в аэрокосмической системе. Вестник компьютерных и информационных технологий.– Москва: Издательский дом "Спектр", 2015. – № 3, с. 28-32. (3 с. авт., №262, перечень ВАК действ. до 30.11.2015 г., К-2)

Сформулированы принципы функционирования и поставлена задача маршрутизации сообщений в многосегментных БСС, выполняющих мониторинг в аэрокосмических системах.

8. Падалко С.Н., Терентьев М.Н. Самоорганизация в древовидных персональных беспроводных сетях при наличии нескольких шлюзов. Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Сер. Приборостроение. 2017. № 1. с. 75–85. DOI: 10.18698/0236-3933-2017-1-75-85. (8 с. авт., №365, перечень ВАК по группам научных специальностей, К-1)

Проанализированы процессы самоорганизации БСС при наличии одного или нескольких сегментов: формирование сети, маршрутизация сообщений, реконфигурация сети, для которых приведены алгоритмы работы узлов. Особое внимание уделено маршрутизации сообщений.

9. Терентьев М.Н. Обзор публикаций, посвящённых самоорганизации беспроводных сенсорных сетей. Труды МАИ, 2017, №94,

http://mai.ru/upload/iblock/43d/terentev_rus.pdf (31 с. авт., №2030, перечень ВАК по группам научных специальностей, К-2)

В результате системного анализа известных методов самоорганизации БСС сделан вывод о необходимости разработки метода функционирования БСС, основанного на самоорганизации, и направленного на совместное достижение требуемых значений названных критериев.

10. Падалко С.Н., Смирнов О.Л., Терентьев М.Н. Метод самоорганизации дискретной беспроводной сети с двумя активными фазами. *Электросвязь*. 2017. №9. с. 54-60. (5 с. авт., №2269, перечень ВАК по группам научных специальностей, К-2)

Сформулированы основные положения класса БСС для космических систем.

11. Гинзбург И.Б., Падалко С.Н., Терентьев М.Н. Система мониторинга крупномасштабных объектов на базе многошлюзовой БСС с автономными отказоустойчивыми веб-клиентами. *Электросвязь*. 2017. №9. с. 60-66. (4 с. авт., №2269, перечень ВАК по группам научных специальностей, К-2)

Представлено решение задачи мониторинга тушения торфяного пожара на основе комплексирования данных ДЗЗ и наземной БСС для космических систем.

12. Терентьев М.Н. Показатели работы дискретных беспроводных сетей интернета вещей. *Научно-технический вестник Поволжья*. – 2018. – №11. – С. 258–260. (3 с. авт., №1398, перечень ВАК по группам научных специальностей, К-3)

Определены основные показатели работы дискретных БСС — надежность, долговечность отдельных узлов и БСС в целом, коэффициент долговечности, длительность доставки сообщений.

13. Макашов А.А., Терентьев М.Н. Помехоустойчивый сетевой уровень стека протоколов для беспроводной сенсорной сети древовидной топологии. *Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Сер. Приборостроение*. – 2021. – №1. с. 135-147. DOI 10.18698/0236-3933-2021-1-135-147. (8 с. авт., №416, перечень ВАК от 22.12.2020, К-1)

Предложен подход к моделированию помех работе БСС в симуляторе сетей ns3.

Статьи в журналах, индексируемых в иностранных библиографических и реферативных базах данных (SCOPUS, Web Of Science):

1. A. Makhorin, M. Terentiev. Choosing optimal node roles in a multi-gateway wireless ad hoc network. *Yugoslav Journal of Operations Research*. Vol. 31 (2021). Number 4. pp. 547-556. DOI: 10.2298/YJOR200717030M (7 с. авт., Scopus)

2. A. Makashov, A. Makhorin, M. Terentiev. Anti-jamming Wireless Sensor Network Model. *International Journal of Circuits, Systems and Signal Processing*. Vol. 16. 2022. pp. 352-359. Art. #43. DOI: 10.46300/9106.2022.16.43 (5 с. авт., Scopus)

Монография

Падалко, С.Н. Мониторинг параметров объектов изменяемой конфигурации с использованием дискретной беспроводной сенсорной сети / С.Н. Падалко, М.Н. Терентьев – М.: Изд-во МАИ, 2019. – 160 с. – ISBN 978-5-4316-0668-7 (146 с. авт.)

Учебные пособия

1. Терентьев, М.Н. Беспроводные сенсорные сети: Учебное пособие / М.Н. Терентьев – М.: Изд-во МАИ-ПРИНТ, 2008. – 96 с.
2. Падалко, С.Н. Автоматизированное проектирование адаптивных дискретных беспроводных сенсорных сетей для космических систем: Учебное пособие / С.Н. Падалко, М.Н. Терентьев – М.: Изд-во МАИ, 2013. – 128 с.
3. Терентьев М.Н. Прикладные программно-информационные системы: Учебное пособие по курсовой работе / М.Н. Терентьев – М.: Изд-во МАИ, 2013. – 80 с.

В диссертационной работе отсутствуют недостоверные сведения об опубликованных соискателем ученой степени работах, в которых изложены основные научные результаты, представленные в диссертации.

На диссертацию и автореферат поступили следующие отзывы:

1) Акционерное общество «Научно-производственная корпорация «Системы прецизионного приборостроения», ведущая организация. Отзыв положительный.

В качестве замечаний следует отметить:

1. При организации связи с помощью беспроводной сенсорной сети в орбитальных группировках требование компактности группировки может быть ослаблено или вовсе снято в случае, если в передаче информации допустимы некоторые задержки. В этом случае передача информации должна происходить тогда, когда конфигурация группировки позволит осуществить передачу, однако такая возможность в диссертации не рассмотрена.
2. В работе не рассмотрена возможность использования других, отличных от IEEE 802.15.4, маломощных стандартов связи.
3. В тексте диссертации и автореферата присутствуют технические погрешности.

2) Юркевич Евгений Владимирович, официальный оппонент, доктор технических наук, профессор. Отзыв положительный, заверен зав. общим отделом ИПУ им. В.А. Трапезникова РАН А.Н. Лысенко.

Замечания по диссертации:

1. Одним из направлений расширения функциональных возможностей космических систем за счет использования беспроводных сенсорных сетей

в работе названо создание производных информационных продуктов на основе данных дистанционного зондирования Земли для интеллектуализации различных объектов, таких как, например, «умные предприятия». Не понятно, почему на «умном предприятии» нет возможности обеспечить все узлы беспроводной сенсорной сети сетевым электропитанием.

2. Используемые автором работы термины «надёжность» и «долговечность» определены в ГОСТ Р 27.102-2021. Переопределение этих терминов в работе, хоть и близкое по смыслу к их определению из этого стандарта, вызывает вопросы.
3. В шестой главе работы рассматривается практическая задача проектирования системы коммуникации в орбитальной группировке научных наноспутников. Почему только научных? Представляется уместным обобщение задачи до «проектирования системы коммуникации в компактной орбитальной группировке», вне зависимости от назначения космических аппаратов.
4. В той же задаче из шестой главы работы не рассмотрена возможность организации передачи результатов измерений в моменты времени, когда конфигурация орбитальной группировки способствует снижению уровня потерь информации.

3) **Карцан Игорь Николаевич**, официальный оппонент, доктор технических наук, доцент. **Отзыв положительный**, заверен ученым секретарем ФГБУН ФИЦ Морской гидрофизический институт РАН Д.В. Алексеевым.

Замечания по диссертации:

1. Положение класса БСС для космических систем о буферизации сообщений, управляемой качеством связи с родителем, опирается на использование информации о качестве связи, предоставляемой трансивером. Однако эта информация измеряется при получении данных, а используется при передаче данных. Качество связи в различных направлениях может различаться.
2. Не рассматривается возможность сжатия пересылаемых БСС данных. Снижение размера пересылаемых данных, обеспечиваемое сжатием, позволяет дополнительно снизить нагрузку на канал передачи, повысив значения показателей работы БСС.
3. Изложение известных моделей распространения радиоволн представляется излишне подробным.

4) **Новиков Евгений Александрович**, официальный оппонент, доктор технических наук, доцент. **Отзыв положительный**, заверен начальником отдела кадров ФГБВОУ ВО «Военно-космическая академия имени А.Ф. Можайского» МО РФ Г.В. Плотниковым.

Замечания по диссертации:

1. В некоторых случаях ретрансляция результатов измерений может происходить волнами. Для дальнейшего снижения расхода энергии положение о двух активных фазах может быть обобщено на большее количество активных фаз, однако такого исследования автор не провел.
2. Методика структурно-параметрического синтеза БСС для космических систем не предусматривает возможности изменения обслуживаемой космической системы, в то время как в некоторых случаях внесение несущественных изменений в обслуживаемую систему может обеспечить значительное улучшение показателей работы БСС.
3. При проведении имитационного моделирования функционирования БСС в 4 разделе диссертации автор ограничивается конкретными параметрами БСС, такими как, количество КА в составе БСС – 50 штук; площадь, на которой они случайно распределяются – 250×250 м. Не вполне ясно, какими соображениями руководствовался автор, вводя именно такие ограничения и каким образом выполняется требование масштабирования результатов моделирования на БСС с иными параметрами.
4. В работе приводятся характеристики электронных компонентов – микропроцессоров, трансиверов и т.д. Среди упоминаемых в работе отсутствуют компоненты отечественного производства.
5. В разделе 6 диссертации автор приводит ряд общеизвестных соотношений, описывающих управляемое и неуправляемое орбитальное движение КА из состава БСС, а также критерий управления движением КА (страницы 206-220 диссертации). Однако, не ясно, каким образом автор использует приведенные соотношения в сочетании с симулятором функционирования БСС, а также каким образом автор учитывает смену активных фаз функционирования КА из состава БСС.

5) **ФГБВОУ ВО «Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет)»**, отзыв на автореферат. **Отзыв положительный**, подписан заведующим кафедрой д.ф.-м.н., профессором А.П. Карпенко, заверен зам. начальника управления кадров О.В. Назаровой.

На основе автореферата можно сделать следующие замечания, не снижающие научной ценности полученных автором результатов.

1. В автореферате не приведено алгоритма автономной работы узлов БСС для космических систем, что осложняет восприятие.

2. Функция надежности БСС (см. рис. 6 и 7 автореферата) не убывает монотонно. Можно ли в этом случае говорить о точном и однозначном определении долговечности сети?

6) **ФГБУН «Санкт-петербургский Федеральный исследовательский центр РАН»**, отзыв на автореферат. **Отзыв положительный**, подписан руководителем лаборатории — главным научным сотрудником заслуженным деятелем науки РФ, д.т.н., профессором Б.В. Соколовым, заверен начальником отдела кадров Д.В. Токаревым.

Необходимо отметить отдельные недостатки, выявленные при изучении текста автореферата.

1. Накопление и использование информации о предыдущих периодах работы может способствовать сокращению расхода узлом энергии. Однако при адаптивном определении длительности фазы ретрансляции история работы узла не учитывается.

2. Степень изменчивости конфигурации космической системы не оценивается беспроводной сетью. Учет фактической изменчивости конфигурации космической системы может дополнительно позволить снизить расход энергии и потери при передаче информации.

7) **ФГБУ «Центральный научно-исследовательский институт военно-воздушных сил» МО РФ**, отзыв на автореферат. **Отзыв положительный**, подписан ведущим научным сотрудником научно-исследовательского испытательного центра (авиационно-космической медицины и военной эргономики) д.т.н., с.н.с. М.В. Найченко, заверен врио начальника отдела кадров Е. Бондарем.

Вместе с тем необходимо отметить отдельные недостатки.

1. Модель беспроводной сенсорной сети не учитывает возможного случайного выхода узлов из строя.

2. Программно-методический комплекс проектирования не содержит инструмента автоматического размещения маршрутизаторов, что осложняет процесс проектирования беспроводной сенсорной сети.

8) **АО «Научно-производственное объединение им. С.А. Лавочкина»**, отзыв на автореферат. **Отзыв положительный**, подписан начальником отдела научно-исследовательских работ и перспективных исследований д.т.н. В.К. Сысоевым, заверен заместителем генерального директора по персоналу и общим вопросам И.В. Шолоховой.

По результатам рассмотрения автореферата возникли некоторые замечания, не влияющие на полученные в исследовании результаты и их значимость:

1. В автореферате отсутствует формальное определение беспроводных сенсорных сетей.

2. Автор утверждает, что одним из основных достоинств предлагаемой

системы БСС является низкое энергопотребление, но не приводит сравнения энергетической эффективности с другими системами.

3. В автореферате отсутствуют указания о том, какой из этапов методики проектирования должен быть повторен при получении по результатам моделирования неудовлетворительных значений показателей работы.

9) ГНЦ РФ ФАУ «Государственный научно-исследовательский институт авиационных систем», отзыв на автореферат. **Отзыв положительный**, подписан руководителем научно-образовательного центра д.т.н., профессором О.Н. Корсуном, заверен и.о. начальника отдела кадров О.А. Борисовой.

По результатам ознакомления с авторефератом можно сделать следующие замечания.

1. В автореферате автор в качестве первого положения класса БСС пишет о древовидной структуре взаимодействия. Информация передается строго или от шлюза датчикам или от датчиков шлюзу. Ничего не сказано о том, как в таком случае может быть организована распределенная обработка, требующая передачи данных не в один, а в несколько центров обработки.
2. Взамен перегруженного термина «надежность» уместно рассмотреть вопрос об использовании производного термина «информационная надежность».

10) Автономная некоммерческая организация «Институт инженерной физики», отзыв на автореферат. **Отзыв положительный**, подписан заместителем генерального директора по специальным проектам д.т.н., профессором О.И. Атакищевым, заверен начальником отдела кадров Е.В. Сафроновой.

Замечания:

1. Использованный в работе способ адаптивного определения длительности активной фазы ретрансляции может привести к потере некоторой части результатов измерений, если в их поступлении присутствует значительная пауза.
2. В автореферате не указан закон распределения случайной задержки результатов измерений.

11) АО «Центр эксплуатации наземной космической инфраструктуры», отзыв на автореферат. **Отзыв положительный**, подписан заместителем генерального директора по техническому и авторскому надзору д.т.н. А.С. Фадеевым.

Замечание

Из автореферата следует, что при моделировании всего объекта обслуживания используется единая модель распространения радиоволн. В случае применения беспроводной сенсорной сети для космических систем при интеллектуализации большого инфраструктурного объекта одна его часть может располагаться на открытом пространстве, а другая — в

помещении или под землёй. Очевидно, распространение радиоволн не будет одинаковым в этих частях. Возникает вопрос о возможности моделирования таких объектов при помощи разработанного симулятора.

12) ГНЦ РФ ФАУ «Центральный аэрогидродинамический институт имени профессора Н.Е. Жуковского», отзыв на автореферат. **Отзыв положительный**, подписан советником по космическим системам заместителя генерального директора по вооружению, военной и специальной технике к.ф.-м.н. И.А. Ширковским и заместителем генерального директора по вооружению, военной и специальной технике к.т.н. В.Ю. Граничем.

Недостатком автореферата, по мнению рецензента, является то, что не приведено примеров построения БСС на отечественной элементной базе и не уделено внимание вопросам импортозамещения при создании таких систем космического назначения.

13) АО «Информационные спутниковые системы» имени академика М.Ф. Решетнёва, отзыв на автореферат. **Отзыв положительный**, подписан заместителем генерального директора по науке д.ф.-м.н. К.Г. Охоткиным.

Замечание

В автореферате отсутствует информация о выбранных альтернативных основах системы коммуникации, с показателями работы которых сравнивались характеристики разработанной системы коммуникации на основе беспроводных сенсорных сетей для космических систем.

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается наличием публикаций в соответствующей сфере исследования, компетентностью, имеющимся у них большим опытом решения задач, связанных с разработкой и эксплуатацией космических систем различного назначения, в том числе, в области соответствующей паспорту специальности 2.3.1. Системный анализ, управление и обработка информации, статистика (технические науки) и способностью определить научную и практическую ценность диссертации.

АО «НПК «СПИ» является ведущей организацией ракетно-космической промышленности по лазерно-радиотехническим, оптико-электронным комплексам, бортовому оборудованию для космоса и авиации, проведения фундаментальных научных исследований, а также решения задач разработки и эксплуатации систем прецизионного приборостроения, в том числе с использованием новейших и уникальных разработок в области информационных технологий. Заключение по диссертационной работе обсуждено и подписано учеными, которые непосредственно занимаются вопросами, связанными с разработкой бортовых систем космических аппаратов.

Агеев Юрий Дмитриевич — доктор технических наук, главный конструктор направления бортовых систем Научно-технического центра 01 АО «НПК «СПП», автор более 80 работ (в т.ч. 2 монографий, 3 учебных пособий).

Скопинова Анастасия Владимировна — кандидат технических наук, начальник 1 сектора отдела 1111 Научно-технического центра 01 АО «НПК «СПП», автор более 20 работ.

Направление исследований Ю.Д. Агеева и А.В. Скопиновой — технические решения и разработки в многосенсорных структурах бортового комплекса космических систем глобального мониторинга.

Официальный оппонент **Юркевич Евгений Владимирович** — автор более 300 научных работ, имеет патенты на изобретение. Под руководством Е.В. Юркевича проводятся исследования по разработке требований к бортовым системам космических аппаратов различного назначения и их комплексов, а также методов обеспечения их отказоустойчивости.

Официальный оппонент **Карцан Игорь Николаевич** — автор более 240 научных работ, имеет патенты на изобретение. Под руководством И.Н. Карцана проводятся исследования, связанные с разработкой систем коммуникации космических аппаратов, применением малых космических аппаратов, реализацией проектов на основе Интернета вещей, в том числе «умный город», организована разработка отечественной системы спутниковой связи для исследования Мирового океана.

Официальный оппонент **Новиков Евгений Александрович** — автор более 60 научных работ, имеет патенты на изобретение. Под руководством Е.А. Новикова проводятся исследования в области повышения эффективности систем спутниковой связи различного назначения.

В дискуссии приняли участие:

Фамилия, имя, отчество	Ученая степень, шифр специальности в совете
Желтов Сергей Юрьевич	академик РАН, д.т.н., 2.3.1.
Петухов Вячеслав Георгиевич	член-корреспондент РАН, д.т.н., 2.5.16.
Бобронников Владимир Тимофеевич	д.т.н., проф., 2.3.1.
Вишнякова Лариса Владимировна	д.т.н., проф., 1.2.2.
Евдокименков Вениамин Николаевич	д.т.н., проф., 2.3.1.
Занин Кирилл Анатольевич	д.т.н., 1.2.2.
Козорез Дмитрий Александрович	д.т.н., проф., 1.2.2.
Красильщиков Михаил Наумович	д.т.н., проф., 2.3.1.
Малышев Вениамин Васильевич	д.т.н., проф., 2.5.16.

Диссертационный совет отмечает, что диссертация написана автором самостоятельно, обладает внутренним единством, а **наиболее существенные научные результаты, полученные лично соискателем, могут быть сформулированы** следующим образом.

Основным результатом проведённого исследования является создание специального нового класса БСС для космических систем, существенно расширяющего их возможности, в том числе создание низкочастотных систем информационного взаимодействия в компактных группировках космических аппаратов, нештатный мониторинг экипажа и оборудования космического корабля, создание информационных продуктов на основе данных БСС и ДЗЗ. В ходе исследования были получены следующие обладающие научной новизной результаты.

1. На примерах использования БСС в космических системах продемонстрирована целесообразность (с точки зрения обеспечения перечисленных выше направлений расширения их возможностей) применения в их составе БСС. Показано, что критериями эффективности работы БСС в космических системах являются надёжность и расход энергии (а в случае использования автономных невозобновляемых источников питания — долговечность). На основании системного анализа собственных особенностей БСС и влияющих на функционирование БСС особенностей космических систем научно обоснована и сформулирована задача разработки нового класса БСС для космических систем, приоритетом для которых является обеспечение заданного уровня надёжности при одновременном снижении расхода энергии.
2. Сформулированы новые теоретические положения, существенно отличающие предложенный класс БСС для космических систем от известных БСС, одно из которых впервые предусматривает наличие в дискретном режиме БСС для космических систем двух активных фаз. Показано, что величина расхода энергии дискретной БСС определяется параметрами дискретного режима. Существенным недостатком существующих дискретных БСС с одной активной фазой является простой узлов сети, вызванный неравномерным поступлением сообщений на активной фазе. Этот простой приводит к непроизводительному расходу энергии узлов БСС. Для исключения простоя узлов обосновано предложено в цикле работы узлов заменить его дополнительной фазой сна с многократно сниженным потреблением энергии. Таким образом, активных фаз становится две. Первую активную фазу предложено использовать для распространения сетевой информации и построения структуры

взаимодействия сети. Вторая активная фаза предназначена для передачи результатов измерений.

3. Новизной предлагаемого класса БСС для космических систем также являются адаптивное определение времени начала и продолжительности активных фаз, обновление адреса родителя при построении структуры взаимодействия, дополнение сетевого уровня стека протоколов БСС функцией предотвращения передачи дубликатов, случайная задержка передачи результатов измерений, буферизация результатов измерений, управляемая качеством связи.
4. В обеспечение проектирования БСС для космических систем, удовлетворяющих заданным требованиям, впервые разработано модельно-алгоритмическое обеспечение, связывающее топологические и функциональные параметры БСС для космических систем с демонстрируемыми ею значениями показателей работы. Модельно-алгоритмическое обеспечение включает в себя алгоритмы автономной работы узлов БСС (синхронизация, планирование работы узла, диспетчеризация, формирование пространственно-временной структуры взаимодействия, участие в сборе результатов) и модели их взаимодействия (доступ к радиоканалу в условиях конкуренции, приём сообщения в условиях воздействия помех, потери при распространении). Разработанные модели относятся к классу имитационных, основаны на дискретно-событийном и агентном подходах.
5. Разработан новый программно-методический комплекс проектирования БСС для космических систем, включающий в себя:
 - программный симулятор БСС, результатами работы которого являются значения показателей работы и диагностическая информация, уточняющая причины их снижения;
 - методику синтеза и анализа системы коммуникации и мониторинга на основе БСС для космических систем, состоящую из этапов подготовки модели обслуживаемого объекта, создания связанной сети, выбора источников питания узлов, выбора значений функциональных параметров, имитационного моделирования и оценки качества полученных результатов.
6. Полученные в работе теоретические результаты и научно-обоснованные технические решения были использованы для решения новой актуальной практической задачи проектирования системы коммуникации внутри группировки научных наноспутников. С использованием программно-методического комплекса проектирования БСС предложенного класса были определены характеристики аппаратных компонентов и значения функциональных параметров системы коммуникации. В результате

сопоставления величины расхода энергии на коммуникации показано, что потребление энергии системой коммуникации на основе БСС для космических систем на 37,5% меньше, чем у ближайшего конкурента.

Соответствие диссертации паспорту специальности 2.3.1. Системный анализ, управление и обработка информации, статистика (технические науки) обусловлено тем, что в исследовании решаются задачи и получены результаты, относящиеся к таким направлениям как

- формализация и постановка задачи разработки нового класса БСС для космических систем;
- разработка критериев и моделей описания и оценки эффективности решения задачи создания БСС, удовлетворяющей требованиям космических систем по надёжности и величине расхода энергии;
- разработка методов и алгоритмов решения задачи создания БСС для космических систем;
- разработка специального математического и алгоритмического обеспечения принятия решений при проектировании БСС для космических систем;
- методы и алгоритмы структурно-параметрического синтеза и идентификации БСС для космических систем.

Новизна полученных результатов заключается в том, что предложен и теоретически обоснован новый класс БСС, отличающийся от существующих наличием двух активных фаз на каждом сеансе приемо-передачи информации, что обеспечивает соответствие требованиям космических систем, а именно: высокую надёжность транспортировки информации, а также низкий расход энергии в условиях отсутствия доступа к узлам сети для их обслуживания. В обеспечение исследования и практической реализации БСС для космических систем созданы новые математическая модель и программно-методический комплекс, обеспечивающие выполнение анализа и синтеза таких БСС.

Теоретическая значимость работы заключается в том, что в ней разработаны и практически подтверждены теоретические основы построения и функционирования нового класса БСС, специализированного для решения важной научно-технической проблемы — расширения функциональных возможностей космических систем в части решения задач информационного взаимодействия в орбитальных группировках космических аппаратов и мониторинга как на борту космического аппарата, так и в наземном сегменте космических систем.

Практическая значимость работы. Результаты, полученные в рамках диссертационного исследования, обладают высокой практической ценностью, состоящей в создании новых технических решений, расширяющих функциональные возможности космических систем, а именно:

1. Практическая значимость предложенного в работе класса БСС для космических систем заключается в том, что он обеспечивает дополнительные возможности снижения расхода энергии и повышения надёжности по сравнению с существующими БСС.
2. Практическая значимость предложенного модельно-алгоритмического обеспечения заключается в том, что оно, дополняя новые теоретические положения наследуемыми, создаёт полное и законченное описание класса БСС для космических систем и является предпосылкой для создания инструмента анализа и синтеза таких БСС.
3. Программно-методический комплекс представляет существенную практическую значимость, так как позволяет при проектировании БСС для космических систем целенаправленно выбирать значения их топологических и функциональных параметров с целью удовлетворения заданных требований. С использованием программно-методического комплекса подтверждена более высокая эффективность в смысле долговечности (более чем в два раза) БСС для космических систем по сравнению с дискретной БСС с одной активной фазой.

Значение полученных соискателем результатов исследования для практики подтверждается следующими актами о внедрении результатов диссертации:

1. Акт о внедрении результатов диссертационной работы в научно-исследовательские работы АО «Центральный научно-исследовательский институт машиностроения»;

2. Акт о внедрении результатов диссертационной работы в научно-исследовательские работы АО «Корпорация ВНИИЭМ»;

3. Акт о внедрении результатов диссертационной работы в учебный процесс ФГБОУ ВО «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)»;

а также следующими свидетельствами:

1. Терентьев М.Н. Симулятор систем мониторинга параметров объектов с изменяемой конфигурацией на базе дискретных беспроводных сенсорных сетей. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2010617807, 2010.

2. Попов С.Н., Терентьев М.Н., Ярыгин А.Ю. Универсальный симулятор беспроводных ad hoc сетей. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2012618880, 2012.

3. Махорин А.О., Терентьев М.Н. Программа поиска оптимальных маршрутов передачи данных в многошлюзовых беспроводных самоорганизующихся сетях. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2014613539, 2014.

4. Махорин А.О., Падалко С.Н., Степаненко В.А., Терентьев М.Н., Чуркин Д.Н. Оптимизация параметров алгоритма маршрутизации в многошлюзовых беспроводных самоорганизующихся сетях. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2014662944, 2014.

5. Гинзбург И.Б., Терентьев М.Н. Подсистема позиционирования узлов беспроводной сенсорной сети для автономного веб-интерфейса. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2018610781, 2018.

6. Гинзбург И.Б., Макашов А.А., Терентьев М.Н. Программа моделирования помех работе узлов Интернета вещей. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2019610121, 2019.

Результаты диссертационной работы рекомендуются к использованию в организациях, решающих широкий спектр задач в области космической деятельности, таких как АО «ЦНИИМаш», АО «Корпорация «ВНИИЭМ», АО «НПО Лавочкина», АО «Информационные спутниковые системы» имени академика М.Ф. Решетнёва», АО «НПК «СПИ», а также при проведении научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ для перспективных космических систем «Авангард -(Аппараты) Сфера», «Авангард-(Аппараты) - 3», в проекте создания группировки 136 сверхмалых спутников «Грифон» и др.

Оценка достоверности результатов исследования выявила, что основные положения диссертации опираются на современный математический аппарат и согласуются с опубликованными экспериментальными данными по теме диссертации. Соискателем разработаны и используются корректные математические модели и алгоритмы. В рамках исследования автором грамотно применены методы системного анализа, самоорганизующихся систем, теории цифровой связи, телекоммуникационных сетей, теории вероятностей, теории массового обслуживания, имитационного моделирования и статистических испытаний.

В ходе защиты были высказаны следующие критические замечания:

1. Требуется уточнения, как ЦУП управляет группировкой космических аппаратов, рассмотренной в шестой главе работы, при том, что связь с ЦУПом имеет только лидер группировки.

2. Поясните, как в отсутствие натурального эксперимента можно выполнить валидацию Ваших моделей.

3. Уточните, как осуществляется передача сообщений на расстояние, большее, чем расстояние устойчивой связи между узлами, и какая модель радиоканала используется.

4. В докладе по диссертации не приведена информация о воздействующих на БСС случайных факторах и их учете.

Соискатель Терентьев М.Н. ответил на задаваемые вопросы и привел собственную аргументацию:

1. ЦУП управляет группировкой наноспутников, сообщая лидеру моменты времени для выполнения измерений. Компактность группировки поддерживается путем коррекции орбит спутников в соответствии с изменением орбиты лидера, сообщаящего им свое состояние, включая положение. Приняв это сообщение, спутники определяют свое отклонение от требуемой орбиты и рассчитывают коррекцию.

2. Валидация моделей взаимодействия между узлами БСС может быть проведена и в наземных условиях, без космического эксперимента. Для этого необходимо обеспечить отсутствие помех и представляющее интерес их взаимное положение.

3. Передача сообщений в БСС на расстояние, превышающее расстояние устойчивой связи, осуществляется за счет передачи сообщений по многошаговым маршрутам, в которых каждый из шагов укладывается в это расстояние. Поиск такого маршрута выполняется с помощью предложенного мною метода самоорганизации БСС, учитывающего каждый раз актуальную конфигурацию обслуживаемой системы. В работе используется одночастотная модель радиоканала с конкурентным доступом.

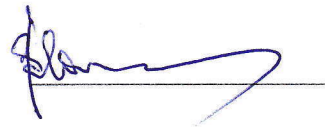
4. На БСС воздействует множество случайных факторов. Одним из основных является случайный порядок доступа к каналу, определяемый случайной величиной задержки. Ее величина определяется моделированием алгоритма CSMA/CA в результате суммирования нескольких равномерно распределенных случайных величин, как показано на слайде 19.

В диссертационной работе все заимствованные материалы представлены со ссылкой на автора или источник. Тем самым работа удовлетворяет п.14 Положения о присуждении ученых степеней.

На заседании 19 октября 2023 г. диссертационный совет пришел к выводу о том, что диссертация представляет собой законченную научно-квалификационную работу, которая соответствует критериям, установленным Положением о присуждении ученых степеней, утвержденным постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 года № 842, предъявляемым к диссертациям на соискание учёной степени доктора наук, и принял решение за **новые научно-обоснованные технические решения**, имеющие существенное значение для развития космической отрасли страны в части создания интеллектуальных технологий сетевого взаимодействия в компактных спутниковых группировках (роях), а также в наземных и внутрикорабельных сегментах космических систем присудить Терентьеву Максиму Николаевичу ученую степень доктора технических наук.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 20 человек, из них 6 докторов наук по специальности 2.3.1. Системный анализ, управление и обработка информации, статистика (технические науки), участвовавших в заседании, из 27 человек, входящих в состав совета, проголосовали: за – 20, против – нет, недействительных бюллетеней – нет.

Председатель диссертационного совета
24.2.327.03, д.т.н., профессор
Малышев Вениамин Васильевич



Ученый секретарь диссертационного совета
24.2.327.03, д.т.н., доцент
Старков Александр Владимирович



«19» октября 2023 г.

НАЧАЛЬНИК ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА МАИ
Т.А. Азизкина

