

В отдел Ученого и диссертационных советов МАИ,
Председателю диссертационного совета 24.2.327.03,
доктору технических наук, профессору В.В. Малышеву

125993, г. Москва, Волоколамское ш., д.4

ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА

начальника кафедры сетей и систем связи федерального государственного бюджетного военного образовательного учреждения высшего образования «Военно-космическая академия имени А.Ф. Можайского» Министерства обороны Российской Федерации доктора технических наук, доцента **НОВИКОВА Евгения Александровича** на диссертационную работу **ТЕРЕНТЬЕВА Максима Николаевича** на тему «Беспроводные сенсорные сети для космических систем», представленную на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 2.3.1. Системный анализ, управление и обработка информации, статистика (технические науки)

Научно-технический прогресс человечества с момента запуска первого искусственного спутника Земли неразрывно связан с решением широкого задач в космосе и из космоса. Решение задач обороны государства, связи и передачи данных, дистанционного зондирования Земли, навигации, фундаментальных и прикладных научных исследований обеспечивается орбитальной группировкой (ОГ) космических аппаратов (КА) различного целевого назначения. При этом подавляющее большинство функционирующих КА имеют массу более 1 тонны и значительную энерговооруженность. Разработка, производство, запуск и эксплуатация таких аппаратов являются сложными технологическими процессами, требующими значительных ресурсных затрат. Вместе с тем, актуальным направлением снижения

ресурсных затрат при одновременном упрощении доступа к услугам космических систем (КС) является разработка и применение сверхмалых КА массой с линейными размерами 100×100×100 мм. В перечень задач, решаемых сверхмалыми КА, как правило, входят дистанционное зондирование Земли, обеспечение связи и мониторинга в ходе космических пилотируемых программ, отработка новых технологий и алгоритмов, тестирование покрытий и материалов, сертифицирование элементной базы. Одним из вариантов построения компактных ОГ сверхмалых КА является их применение в качестве беспроводных сенсорных сетей (БСС), которые могут решать задачи коммуникации в КС, мониторинга оборудования и членов экипажа пилотируемых КА, измерения параметров верхних слоев ионосферы. Применение БСС в качестве системы коммуникации внутри компактной ОГ (роя) сверхмалых КА позволяет решить проблему дефицита электрической энергии на таких КА.

Во всех перечисленных случаях космические системы опираются на такие свойства БСС, как сверхнизкое потребление энергии их узлами и способность к самоорганизации. Низкий расход энергии в БСС предопределен использованием маломощных компонентов, в первую очередь, передатчика, что вынуждает для передачи сообщений использовать многошаговые маршруты. Кроме того, слабость сигналов обмена информацией делает их чувствительными к воздействию помех и к изменению конфигурации обслуживаемого объекта.

Усилия исследователей на протяжении двух с половиной десятилетий привели к разработке сетевых протоколов и методов самоорганизации БСС общего назначения. Однако эксплуатация БСС в составе КС накладывает на нее дополнительные требования, связанные с ограниченным запасом электрической энергии, непрерывным изменением конфигурации и большим масштабом обслуживаемого объекта, что сделать вывод о том, проблема использования БСС в КС до сих пор не решена. В этой связи, диссертационная работа ТЕРЕНТЬЕВА М.Н., направленная на устранение разрыва между возможностью расширения функциональных возможностей КС за счет использования БСС и отсутствием БСС, способных эффективно работать в составе КС, безусловно является **актуальной**.

В ходе проведения диссертационного исследования автору удалось сформулировать научное противоречие и вытекающую из него **научную проблему** 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.

При разрешении указанной научной проблемы автором получены новые научные и прикладные результаты, обладающие теоретической и практической значимостью и составляющие целостную сущность диссертации:

научное обоснование целесообразности использования БСС в космических системах и необходимости разработки специального класса БСС;

теоретические основы класса БСС для космических систем и составляющие их теоретические положения о представлении процесса функционирования БСС в виде фазового процесса;

комплексная модель БСС для космических систем;

программно-методический комплекс, включающий программный симулятор функционирования БСС и методическое обеспечение анализа и синтеза БСС;

результаты решения проектирования системы коммуникации внутри ОГ сверхмалых КА и их сравнения с результатами действующих систем коммуникаций.

Новизна научного обоснования целесообразности использования БСС в космических системах и необходимости разработки специального класса БСС обусловлена учётом обеспечения требуемого уровня надёжности космических систем при одновременном снижении расхода энергии. **Новизна теоретических основ класса БСС для космических систем и составляющих их теоретических положений** заключается в представлении дискретного режима работы БСС процессом циклической смены фазы построения структуры взаимодействия узлов БСС и фазы передачи результатов измерений. **Новизна комплексной модели БСС для космических систем** заключается в параметризации объекта обслуживания, узлов БСС и радиоканала, а также в учете отношений на интегральном множестве параметров БСС, объекта обслуживания, показателей надёжности и величины расхода

энергии, включая связи, определяемые алгоритмами работы узлов, реализующими разработанные теоретические положения класса БСС для космических систем.

Достоверность полученных результатов обеспечивается строгим изложением, применением адекватного задаче математического аппарата, подтверждением теоретических положений результатами имитационного моделирования и статистическими испытаниями. Полученные результаты согласуются с фундаментальными принципами теории и практики. Основные теоретические положения подтверждены практической реализацией результатов исследования.

Теоретическая значимость работы состоит в том, что в ней впервые разработаны теоретические основы построения и функционирования специального класса БСС, предназначенного для решения важной научно-технической проблемы — расширения функциональных возможностей космических систем в части решения задач коммуникаций в орбитальных группировках космических аппаратов и мониторинга как на борту космического аппарата, так и в наземном сегменте космических систем.

Практическая значимость работы состоит в создании новых технических решений, расширяющих функциональные возможности космических систем, определяется созданием программно-методического комплекса проектирования БСС для космических систем и подтверждена снижением затрат энергии на коммуникации в космической системе в результате применения БСС разработанного класса.

В первой главе работы автор с позиций системного анализа научно обосновывает целесообразность использования БСС в космических системах и необходимость разработки класса БСС для космических систем, учитывающего их требования: обеспечение заданного уровня надёжности при одновременном снижении расхода энергии. Исследуются характерные особенности сенсорных сетей и космических систем, выявляются связанные с ними проблемы. Проводится анализ набора показателей работы и известных подходов к созданию БСС. Результатом анализа становится обоснованный вывод о необходимости разработки нового класса БСС для космических систем, который решает сформулированные проблемы с учётом особенностей космических систем и обеспечивает достижение требуемых значений

показателей надёжности и расхода энергии, его модельно-алгоритмического обеспечения, а также методики структурно-параметрического синтеза БСС такого класса.

Во второй главе работы сформулированы и теоретически обоснованы положения класса БСС для космических систем. Наиболее значимым является новое положение о двух активных фазах дискретного режима работы БСС. Сформулированные положения определяют метод функционирования БСС для космических систем.

Третья глава работы посвящена разработке модели класса БСС для космических систем, связывающей характеристики обслуживаемого объекта, топологические и функциональные параметры БСС с показателями её работы. В состав модели БСС входят модели радиоканала и узла. Задачами модели является определение надёжности БСС (при потерях данных формируется диагностическая информация, уточняющая причины потерь) и ее долговечности.

Четвертая глава работы посвящена созданию программного инструмента – симулятора БСС для космических систем, реализующего созданную в предыдущей главе модель.

В пятой главе работы представлена методика структурно-параметрического синтеза БСС для космических систем, основанная на использовании ранее созданного симулятора. Методика является итерационной, оценивание качества работы сети происходит по результатам имитационного моделирования.

В шестой главе работы решается актуальная практическая задача проектирования системы коммуникации внутри компактной орбитальной группировки (роя наноспутников) при помощи полученных в предыдущих главах результатов. Характеристики разработанной системы коммуникации сравниваются с характеристиками существующих систем коммуникации. При равной надёжности расход энергии разработанной системы коммуникации оказывается существенно ниже, чем у ближайшего конкурента, чем подтверждается вывод об эффективности использования разработанного класса БСС для космических систем.

Содержание автореферата соответствует основным положениям диссертации и

позволяет сформировать обоснованное представление по всей работе в целом, а содержание диссертации соответствует паспорту специальности 2.3.1. Системный анализ, управление и обработка информации, статистика (технические науки).

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.

В целом, однако, отмеченные недостатки не носят принципиального характера и не наносят существенного ущерба значимости результатам диссертационной работы, выполненной на высоком научном уровне. Отличительными особенностями работы являются использование индуктивного метода решения частных научных задач, логическая их взаимоувязка в рамках решения научной проблемы и направленность на решение важной прикладной задачи – структурно-параметрического синтеза БСС для космических систем различного целевого назначения.

Диссертация написана хорошим литературным языком и аккуратно оформлена. Основные выводы и положения диссертации достаточно широко опубликованы в научных изданиях и докладывались на представительных научно-технических конференциях.

Исследования по тематике представленной диссертации целесообразно продолжить в направлении применения БСС для решения задач обеспечения коммуникаций в перспективной системе глобального дистанционного зондирования Земли.

Заключение:

1. В диссертации ТЕРЕНТЬЕВА М.Н. поставлена 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.

2. Научные положения диссертационной работы, ее выводы и рекомендации аргументированы, обоснованы, их достоверность подтверждается моделированием и не вызывает сомнений.

3. Основные научные результаты диссертации отражены в 13 публикациях в рецензируемых изданиях из перечня Министерства науки и высшего образования, соответствующих специальности 2.3.1, двух публикациях в изданиях, индексируемых

в международной базе данных Scopus. Заимствованные материалы представлены в диссертации со ссылкой на их источник.

4. Автореферат работы соответствует пункту 25 Положения о порядке присуждения ученых степеней. Содержание автореферата соответствует содержанию диссертационной работы.

Вывод: диссертация удовлетворяет всем требованиям Положения о порядке присуждения ученых степеней, предъявляемым к докторским диссертациям, а ее автор ТЕРЕНТЬЕВ Максим Николаевич заслуживает присуждения ученой степени доктора технических наук по специальности 2.3.1. Системный анализ, управление и обработка информации, статистика (технические науки).

Официальный оппонент начальник кафедры сетей и систем связи космических комплексов федерального государственного бюджетного военного образовательного учреждения высшего образования «Военно-космическая академия имени А.Ф. Можайского» Министерства обороны Российской Федерации, доктор технических наук, доцент

Новиков Евгений Александрович

Адрес: 197198, Россия, г. Санкт-Петербург, ул. Ждановска, д. 13.

Тел: +7 (812) 347 97 25. e-mail: vka.esimo@gmail.com

Подпись официального оппонента Новикова Евгения Александровича заверяю. Начальник отдела кадров федерального государственного бюджетного военного образовательного учреждения высшего образования «Военно-космическая академия имени А.Ф. Можайского» Министерства обороны Российской Федерации



Плотников Григорий Вячеславович

С отзывом ознакомлен

27.09.23