

В отдел Ученого и диссертационных  
советов МАИ,  
Председателю диссертационного совета  
24.2.327.03,  
д.т.н., профессору В.В. Малышеву

---

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

### ОТЗЫВ

официального оппонента доктора технических наук, профессора  
Юркевича Евгения Владимировича  
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)

Беспроводные сенсорные сети являются реализацией одной из наиболее перспективных технологий, позволяющих создавать каналы коммуникационных связей, соответствующие стандартам для проводных сетей. В каждом сегменте хозяйственного комплекса страны их применение характеризуется своими, специфическими, особенностями. Например, использование таких сетей в космической отрасли выделяется проблемами обеспечения безопасности передачи информации, идентификации зон покрытия, фильтрации клиентов и др.

В связи с современными задачами увеличения срока активного существования космических аппаратов повышаются требования к величине потерь при передаче информации и расходу энергии на такую передачу. В отличие от традиционных

Отдел документационного  
обеспечения МАИ

«28» 09 2023г.

систем связи узлы беспроводных сенсорных сетей комплектуются передатчиками малой мощности, что существенно при работе от автономного источника питания. Для такой сети не требуется предварительное создание инфраструктуры, и вместо использования заранее заданных маршрутов передачи сообщений используется возможность самоорганизации, в том числе в условиях изменения ее конфигурации. На борту космических аппаратов, при создании информационных продуктов на основе данных дистанционного зондирования Земли, изменения конфигурации могут выражаться в вариациях состава узлов сети, их положения при воздействиях внешних факторов, в перемещении объектов, препятствующих распространению радиоволн и др.

Таким образом, для управления работой орбитальных группировок космических аппаратов требуется создание особого класса беспроводных сенсорных сетей. Несомненным достоинством данной работы является разработка фундаментальных теоретических положений, определяющих основы создания таких сетей, и формирование практических механизмов, предназначенных для обеспечения эффективности коммуникаций, обеспечивающих управление орбитальными группировками космических аппаратов и в наземном сегменте.

**Научная новизна** работы определяется тем, что в ней впервые предложен и обоснован специальный класс беспроводных сенсорных сетей для космических систем, сформулированы его теоретические положения, основным из которых является наличие двух активных фаз на каждом сеансе работы, что обеспечивает соответствие требованиям космических систем по надежности транспортировки информации и расходу энергии.

**Достоверность полученных результатов** обеспечивается строгим и последовательным изложением, уместным использованием математического

аппарата, подтверждением теоретических положений результатами имитационного моделирования и статистическими испытаниями. Полученные результаты не находятся в противоречии с фундаментальными принципами теории и реальной практикой. Основные теоретические положения подтверждены успешными результатами их практической реализации.

**Теоретическая значимость работы** состоит в том, что в ней впервые разработаны теоретические основы построения и функционирования специального класса беспроводных сенсорных сетей, 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 управления.

**Практическая значимость работы** состоит в создании технических решений, расширяющих функциональные возможности космических систем. Их значимость определяется созданием программно-методического комплекса проектирования беспроводных сенсорных сетей для космических систем. Результаты синтеза и анализа применения беспроводных сенсорных сетей разработанного класса подтверждают возможности обеспечения их функциональной надежности и снижения затрат энергии на коммуникации в космической системе.

**Структура работы** определена декомпозицией сформулированных задач, для достижения поставленной цели. Последовательному решению поставленных посвящены главы диссертационной работы.

**Содержание работы.** В первой главе представлено научное обоснование целесообразности использования беспроводных сенсорных сетей в космических системах и необходимости разработки их специализированного класса. Для беспроводных сенсорных сетей, применяемых в космических системах, показаны возможности выполнения требований по обеспечению заданного уровня надёжности при одновременном снижении расхода энергии.

Исходя из особенностей работы космических систем, дана характеристика подходов, применяемых в создании беспроводных сенсорных сетей. В результате сделан вывод о необходимости разработки нового класса беспроводных сенсорных сетей, способного обеспечивать управление орбитальной группировкой с учётом требований к значениям показателей надёжности и расхода энергии. Предложено обоснование возможностей формирования модельно-алгоритмического обеспечения, а также методики структурно-параметрического синтеза беспроводных сенсорных сетей такого класса.

Во второй главе работы на основе результатов проведенного в первой главе анализа сформулированы и теоретически обоснованы положения класса беспроводных сенсорных сетей для космических систем. Весьма плодотворным является предложение автора диссертации о рассмотрении двух активных фаз дискретного режима работы беспроводных сенсорных сетей. Сформулирован комплекс положений, определяющий оригинальный способ управления беспроводной сенсорной сетью.

В третьей главе работы впервые разработана имитационная модель беспроводной сенсорной сети, применимой для космических систем. Эта модель связывает характеристики обслуживаемого объекта, топологические и функциональные параметры сети с показателями её работы. В ее состав входят модели радиоканала и узла, функционирующего в соответствии с разработанными во второй главе положениями. В результате моделирования предложен алгоритм

расчета надёжности беспроводной сенсорной сети, изменяющейся во времени. В случае наличия потерь данных формируется диагностическая информация, уточняющая причины потерь. Также определяется расход энергии отдельными узлами и долговечность сети в целом.

В четвертой главе предложено описание оригинального симулятора, реализующего созданную в третьей главе работы модель. Несомненным достоинством работы является то, что представлено теоретическое обоснование создания симулятора беспроводных сенсорных сетей для космических систем.

В пятой главе работы представлено решение задачи создания методики структурно-параметрического синтеза беспроводных сенсорных сетей для космических систем. Методика является итерационной, оценивание качества работы сети происходит по результатам имитационного моделирования при помощи симулятора из четвертой главы.

Симулятор (глава 4) и методика (глава 5) составляют программно-методический комплекс проектирования беспроводных сенсорных сетей для космических систем. Этот комплекс является оригинальным инструментом проектирования беспроводных сенсорных сетей, обладающих заданными значениями показателей работы.

Принимая тезис о том, что критерием истинности теории является практика, автор в шестой главе работы дал результаты практической апробации полученных теоретических выводов. Для этого с использованием полученных ранее результатов решается актуальная практическая задача проектирования системы коммуникации внутри орбитальной группировки наноспутников. Разработанная система коммуникации сравнивается с системами коммуникации на основе существующих для наноспутников альтернативных решений. Расход энергии разработанной системы коммуникации оказывается существенно ниже, чем у ближайшего

конкурента. Это подтверждает вывод об эффективности использования разработанного класса беспроводных сенсорных сетей для космических систем.

Структура и содержание диссертации соответствуют паспорту специальности 2.3.1. Системный анализ, управление и обработка информации, статистика (технические науки).

### **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.

Необходимо отметить, что названные замечания не снижают общей положительной оценки диссертации.

### **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. Сформулированные в диссертации научные положения, выводы и рекомендации аргументированы и обоснованы. Достоверность и новизна положений и выводов диссертации не вызывают сомнений.
3. В диссертации автором лично впервые предложен класс беспроводных сенсорных сетей для космических систем отличающийся от известных в первую очередь наличием двух активных фаз. Автором лично разработана схема моделирования работы узлов в соответствии с положениями предложенного класса. Автором лично разработаны симулятор беспроводных сенсорных сетей для космических систем и основанная на его применении методика проектирования таких беспроводных сенсорных сетей. Автором лично решена задача проектирования системы коммуникации внутри орбитальной группировки наноспутников.
4. Основные научные результаты диссертации отражены в 13 публикациях в рецензируемых изданиях из перечня Министерства науки и высшего образования, соответствующих специальности 2.3.1, и двух публикациях в

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

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

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,  
главный научный сотрудник Федерального  
государственного бюджетное учреждение науки  
Институт проблем управления им. В. А.  
Трапезникова Российской академии наук,  
доктор технических наук, профессор

Юркевич  
Евгений  
Владимирович

*Юркевич*  
20 сентября 2023 г.

Подпись

*Юркевич Е. В.*

ЗАВЕРЯЮ

ЗАВ. ОБЩИМ ОТДЕЛОМ  
Лысенко А. Н.



*С отзывом ознакомлен*

*Лысенко А. Н.*  
28.09.23