

ОТЗЫВ научного руководителя  
д.т.н., профессора Салмина Вадима Викторовича  
по диссертации Иванушкина Максима Александровича  
«Методика оценки показателей функционирования многоспутниковых систем  
мониторинга Земли с учётом выбора координат наземных пунктов приёма информации»,  
представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по  
специальности

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

Иванушкин Максим Александрович, 1991 года рождения, в 2015 году освоил программу специалитета по специальности 160802 Космические аппараты и разгонные блоки федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Самарский государственный аэрокосмический университет имени академика С.П. Королева (национальный исследовательский университет)». В 2017 году окончил с отличием очную магистратуру по направлению подготовки 24.04.01 Ракетные комплексы и космонавтика федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева». В 2021 году соискатель Иванушкин М.А. освоил программу подготовки научно - педагогических кадров в аспирантуре федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева» по направлению подготовки 24.06.01 Авиационная и ракетно - космическая техника, профиль 2.3.1. Системный анализ, управление и обработка информации, статистика (технические науки). Выдан диплом об окончании аспирантуры № 106318 1217879 от 24.06.2021 г. В настоящее время Иванушкин М.А. работает в должности ассистента кафедры космического машиностроения имени Генерального конструктора Д. И. Козлова Самарского университета, по совместительству является руководителем Киберфизической фабрики малых космических аппаратов передовой инженерной аэрокосмической школы Самарского университета.

Диссертационная работа Иванушкина Максима Александровича посвящена решению **актуальной** научно-технической задачи по повышению целевой эффективности функционирования многоспутниковых систем дистанционного зондирования Земли. Современный уровень развития многоспутниковых космических систем дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) характеризуется существенным увеличением количества космических аппаратов (КА) на орбите и возрастающими требованиями к оперативности и периодичности получаемых данных. В настоящее время ведущие космические державы и частные компании активно развёртывают многочисленные группировки малых космических аппаратов, способных обеспечивать глобальное покрытие земной поверхности с высокой периодичностью наблюдения. По данным аналитических агентств, в 2024 году было успешно запущено около 300 КА ДЗЗ (Bruce Space and Technology Report), а суммарное количество спутников ДЗЗ на орбите превысило 1000 единиц. В период с 2024

по 2034 ожидается запуск более 5400 КА ДЗЗ, что в 2,8 раз больше, чем в прошлое десятилетие. Особую актуальность приобретает разработка методики оценки показателей функционирования многоспутниковых систем мониторинга Земли в контексте роста стратегического значения Арктического региона для Российской Федерации в связи с развитием Северного морского пути, освоением природных ресурсов и изменением климата. Эффективный мониторинг ледовой обстановки и навигационных условий в Арктике является критически важным для обеспечения безопасности судоходства и экономического развития региона. Существующие методики синтеза космических систем ДЗЗ традиционно фокусируются на оптимизации орбитальной группировки, в то время как вопросы оптимального размещения наземных станций приёма информации необходимых для оперативного получения данных о стратегически важных регионах, в том числе таких как Арктика, остаются недостаточно проработанными.

**Научная новизна** полученных результатов состоит в следующем:

1. Разработана методика выбора расположения наземных станций приёма для низкоорбитальных многоспутниковых группировок, отличающаяся тем, что выбор координат размещения станций осуществляется «жадным» алгоритмом (greedy algorithm) с целевой функцией минимизации количества используемых станций при ограничениях на непересечение временных интервалов радиовидимости и выполнение требований по суточному времени передачи данных для каждого космического аппарата.

2. Разработана масштабируемая агрегированная имитационная модель для оценки ключевых показателей функционирования низкоорбитальных космических систем ДЗЗ, позволяющая анализировать конфигурации до двухсот космических аппаратов и произвольным количеством наземных станций, отличающаяся тем, что моделируется работа целевой аппаратуры наблюдения с расчётом объёма генерируемых данных, состояние бортовой памяти космических аппаратов рассчитывается интегрированием скоростей поступления данных от целевой аппаратуры и передачи на наземные станции, а сеансы связи моделируются с использованием очередей передачи данных, упорядоченных по времени съёмки.

3. Разработана методика оценки показателей функционирования многоспутниковых космических систем ДЗЗ на основе имитационного моделирования орбитального движения с использованием дискретной модели земной поверхности в виде регулярной сетки точек, отличающаяся тем, что для каждой точки сетки вычисляются временные ряды наблюдений с расчётом статистических характеристик (средняя, минимальная и максимальная периодичность наблюдения, коэффициент вариации периодичности, время доставки информации на наземную станцию), что позволяет получать количественные оценки процента покрытия заданного региона, периодичности наблюдения и оперативности доставки информации в зависимости от варьируемых параметров орбитальной группировки, характеристик целевой аппаратуры и расположения наземных станций приёма.

**Практическая значимость** работы заключается в следующем:

1. Возможности применения разработанной методики, модели и программного комплекса для решения задач проектирования и оценки показателей функционирования многоспутниковых космических систем дистанционного зондирования Земли как на ранних стадиях разработки, так и на стадии эксплуатации.

2. Разработанный инструментарий использован для решения двух практических задач: определения оптимальных параметров космической системы квазинепрерывного глобального обзора с обоснованием количества космических аппаратов, параметров орбит и расположения наземных пунктов приёма информации, а также для выбора архитектуры радиолокационной космической системы мониторинга Арктического региона с обоснованием комбинированной схемы построения орбитальной группировки, обеспечивающей требуемые показатели покрытия и периодичности наблюдения.

Полученные в ходе выполнения диссертации результаты применялись при выполнении НИР по теме «Разработка методов проектирования, научно-технологических основ производства и принципов управления и эксплуатации для многоуровневых аэрокосмических систем дистанционного зондирования Земли нового поколения» в рамках исполнения государственного задания в сфере научной деятельности (код проекта FSSS-2023-0007), НИР по теме «Фундаментальные проблемы разработки аэрокосмических транспортных систем и управления в аэрокосмической технике для обеспечения связанности территории Российской Федерации» по соглашению о предоставлении из федерального бюджета гранта в форме субсидии от 25.04.2024 № 075-15-2024-558, НИР по теме «Проектирование космических систем высокодетального мониторинга земной поверхности с помощью сверхнизкоорбитальных малых космических аппаратов» (грант РНФ № 23-19-20025).

Разработанное программное обеспечение «Программа Constellation modeler (CopMod) для моделирования целевого функционирования космической системы мониторинга» было использовано Обществом с ограниченной ответственностью «Специальный Технологический Центр» при выполнении инициативной опытно-конструкторской работы, применение программного обеспечения на основе компьютерного моделирования позволило получить необходимые значения пространственных параметров орбитального кластера из четырех малых космических аппаратов формата Cubesat 3 U, предназначенного для радиотехнического мониторинга наземных объектов.

Результаты диссертационного исследования вошли в содержательную часть курса «Организация и обеспечение полета околоземных и межпланетных космических аппаратов», направления подготовки 24.05.01 Проектирование, производство и эксплуатация ракет и ракетно-космических комплексов.

Иванушкин М.А. в ходе работы проявлял творческую инициативу и самостоятельность, выбирал наиболее эффективные решения, а также показал высокий уровень теоретической подготовки.

Основные результаты диссертации опубликованы в 12 работах, из которых 4 статьи опубликованы в ведущих рецензируемых научных журналах, определенных Высшей аттестационной комиссией Минобрнауки России, 4 статьи опубликованы в международных журналах, включенных в базы цитирования Scopus и Web of Science. Иванушкин М.А. неоднократно выступал с докладами на всероссийских и международных научных конференциях и семинарах.

Считаю, что подготовленная Иванушкиным М.А. диссертационная работа является законченным научным трудом, выполненным автором самостоятельно и на высоком уровне. Работа соответствует требованиям, предъявляемым к кандидатским диссертациям по специальности 2.3.1. Системный анализ, управление и обработка информации, статистика (технические науки), а её автор заслуживает присуждения учёной степени кандидата технических наук.

Научный руководитель,  
Профессор кафедры космического машиностроения  
имени генерального конструктора Д.И. Козлова  
Самарского университета, д.т.н, профессор

  
В.В. Салмин

федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева»

443086, г. Самара, Московское шоссе, д. 34.

e-mail: [sputnik@ssau.ru](mailto:sputnik@ssau.ru),

тел.: 8(846) 920-00-90, (846) 334-86-80



Подпись <u>Салмина В.В.</u> удостоверяю.
Начальник отдела сопровождения деятельности
научных советов Самарского университета
<u>Бояркина</u> Бояркина У.В.
10 » марта 2016 г.