



Государственная корпорация  
по космической деятельности "Роскосмос"



Акционерное общество  
"Центральный научно-исследовательский институт  
машиностроения" (АО "ЦНИИмаш")

ул. Пионерская, д. 4, корп. 22  
г.о. Королёв,  
Московская область, 141070

Тел.: +7 (495) 513 5951  
Факс: +7 (495) 512 2100

e-mail: corp@tsniimash.ru  
http://www.tsniimash.ru

ОГРН 1195081054310  
ИНН / КПП 5018200994 / 501801001

23.04.2026 исх. № 09001-943

На № \_\_\_\_\_ от \_\_\_\_\_

## ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА

о диссертации Иванушкина Максима Александровича  
«Методика оценки показателей функционирования многоспутниковых систем мониторинга Земли с учётом выбора координат наземных пунктов приёма информации», представленной на соискание учёной степени кандидата технических наук по специальности 2.3.1. Системный анализ, управление и обработка информации, статистика

### 1. Актуальность избранной темы

Диссертационное исследование Иванушкина М.А. посвящено решению актуальной научно-технической проблемы – повышению целевой эффективности функционирования многоспутниковых систем дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) за счёт комплексного учёта взаимодействия орбитальной группировки и наземной инфраструктуры приёма информации.

Современное развитие космической отрасли характеризуется стремительным переходом от единичных крупных космических аппаратов к многоспутниковым группировкам, насчитывающим десятки и сотни малых спутников. Как справедливо отмечает автор, в 2024 году количество успешно запущенных спутников ДЗЗ составило около 300 единиц, а в период до 2034 года прогнозируется запуск более 5400 аппаратов. При этом существующие методики проектирования 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 (включая Арктику), остаются недостаточно проработанными.

Особую остроту данная проблема приобретает в контексте развития Северного морского пути, где требования к периодичности (не более 6–12 часов) и оперативности доставки информации (до 2–4 часов для критических ситуаций) являются критическими для обеспечения безопасности судоходства. Таким образом, тема диссертации, направленная на разработку методики, учитывающей информационное взаимодействие орбитального и наземного сегментов, является несомненно актуальной.

Входящий № 205-4026  
Дата 05 МАЙ 2026  
Самарский университет

## **2. Степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации**

Основные научные положения, выводы и рекомендации, представленные в диссертации, являются обоснованными. Методологическая база исследования включает корректное применение методов системного анализа, теории оптимального управления, имитационного моделирования, теории орбитального движения и теории массового обслуживания.

Обоснованность обеспечивается:

- использованием апробированных математических моделей (SGP4 для прогнозирования орбитального движения, модели кинематически правильных спутниковых систем);
- корректной формализацией задачи оптимизации с иерархической декомпозицией на орбитальный и наземный сегменты;
- проведением многовариантных имитационных экспериментов с варьированием ключевых параметров систем;
- сопоставлением полученных результатов с данными о характеристиках существующих многоспутниковых систем ДЗЗ (Planet, Sentinel, Capella и др.);
- апробацией результатов на двух практических задачах и внедрением в деятельность АО «РКЦ «Прогресс», АО «Российские космические системы» и ООО «СТЦ», что подтверждено соответствующими актами.

## **3. Достоверность и новизна полученных результатов**

**Достоверность результатов** не вызывает сомнений и обеспечивается:

- корректностью постановки задач и обоснованностью применяемых математических методов;
- использованием стандартизированных форматов исходных данных (TLE) и верифицированных моделей орбитального движения;
- согласованностью результатов моделирования с данными о целевых показателях функционирующих космических систем ДЗЗ;
- воспроизводимостью результатов на разработанном программном комплексе.

**Научная новизна диссертации** заключается в следующем:

1. **Разработана методика выбора расположения наземных станций приёма** для низкоорбитальных многоспутниковых группировок, отличающаяся применением жадного алгоритма 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. **Создана масштабируемая агрегированная имитационная модель** для оценки ключевых показателей функционирования низкоорбитальных систем ДЗЗ, позволяющая анализировать конфигурации до двухсот космических аппаратов и произвольным количеством наземных

станций. Отличительной особенностью модели является расчёт состояния бортовой памяти путем интегрирования скоростей поступления данных от целевой аппаратуры и передачи на наземные станции, а также моделирования сеансов связи с использованием очередей передачи данных.

**3. Предложена методика оценки показателей функционирования** на основе имитационного моделирования орбитального движения с использованием дискретной модели земной поверхности в виде регулярной сетки точек, позволяющая для каждой точки сетки вычислять временные ряды наблюдений и статистические характеристики (средняя, минимальная и максимальная периодичность, коэффициент вариации, время доставки информации).

#### **4. Теоретическая и практическая значимость полученных автором результатов**

**Теоретическая значимость** работы состоит в разработке масштабируемой агрегированной математической модели, сочетающей:

- имитационное моделирование орбитального сегмента космической системы наблюдения;
- модель информационных потоков с учётом характеристик съёмочной аппаратуры, бортового запоминающего устройства и высокоскоростной радиолинии;
- моделирование информационного взаимодействия с наземными пунктами приёма информации с оптимизацией их расположения.

**Практическая значимость диссертации** заключается в возможности применения разработанной методики, модели и программного комплекса для решения задач проектирования и оценки показателей функционирования многоспутниковых систем ДЗЗ на ранних стадиях разработки и в процессе эксплуатации. Практическая ценность подтверждается:

- решением двух прикладных задач: определения оптимальных параметров системы квазинепрерывного глобального обзора и выбора архитектуры радиолокационной системы мониторинга Арктического региона;
- разработкой и регистрацией двух программ для ЭВМ (№ 2023614620 «ConMod» и № 2023612104 «RSSD»);
- внедрением результатов в деятельность профильных организаций и в образовательный процесс Самарского университета.

#### **5. Оценка содержания диссертации, её завершенность**

Диссертация представляет собой завершенное научно-квалификационное исследование, выполненное на высоком методическом уровне. Структура работы логична и включает введение, четыре главы, заключение, список литературы (86 наименований) и шесть приложений.

**В первой главе** проведён анализ современного состояния многоспутниковых систем ДЗЗ, выявлены тенденции развития,

сформулированы цель и задачи исследования, выполнена постановка задачи оптимизации с декомпозицией на орбитальный и наземный сегменты.

**Во второй главе** разработана методика оценки показателей функционирования, включая алгоритм выбора оптимального расположения наземных станций на основе жадного алгоритма, имитационную модель орбитального движения, модель покрытия и информационных потоков.

**В третьей главе** представлена реализация разработанных моделей в виде программного комплекса с модульной архитектурой, описаны функциональные возможности и интерфейсы.

**В четвёртой главе** проведена апробация разработанной методики на двух практических задачах, получены конкретные рекомендации по орбитальным параметрам и размещению наземных станций.

Содержание диссертации в полной мере соответствует заявленной специальности 2.3.1. Системный анализ, управление и обработка информации, статистика (пункты 3, 4, 5 паспорта специальности).

## **6. Достоинства и недостатки в содержании и оформлении диссертации, влияние отмеченных недостатков на качество исследования**

### **К достоинствам работы следует отнести:**

1. Комплексный подход, учитывающий взаимосвязь орбитального и наземного сегментов, что отличает работу от большинства существующих исследований.

2. Разработанный программный комплекс с трёхмерной визуализацией и возможностью моделирования группировок до 200 КА.

3. Высокую практическую ориентированность, подтверждённую внедрением результатов.

4. Достаточную апробацию: 12 публикаций, из них 4 в изданиях ВАК, 4 в Scopus/Web of Science, 2 свидетельства о регистрации программ для ЭВМ, участие в 9 конференциях.

### **В качестве недостатков и замечаний по диссертации необходимо отметить:**

1. Оформление автореферата. В автореферате отсутствует полный список публикаций соискателя по теме диссертации, что является нарушением установленных требований. Данный недостаток носит технический характер и не влияет на научную ценность работы.

2. Недостаточное обоснование параметров жадного алгоритма. В разделе 2.2.5 при описании алгоритма выбора наземных станций введены весовые коэффициенты  $\alpha$  и  $\beta$ , однако способ их выбора и обоснование не представлены. Не показано, как выбор этих коэффициентов влияет на конечный результат. Без обоснования выбор коэффициентов остаётся эвристическим, что снижает строгость предложенного подхода.

3. Отсутствие оценки вычислительной сложности. Автор заявляет масштабируемость модели до двухсот космических аппаратов, однако не приводит оценок вычислительной сложности алгоритмов и времени счёта. Для максимальных конфигураций (200 КА, 1000 точек сетки, 86400 временных шагов) вычислительные затраты могут оказаться существенными, что требует оценки для практического применения.

4. Неполнота модели очередей передачи данных. В разделе 2.3.4 модель передачи данных использует очередь, упорядоченную по времени съёмки, без учёта приоритетности данных. В реальных системах ДЗЗ снимки критически важных районов (чрезвычайные ситуации, ледовая обстановка) передаются вне очереди. Это может приводить к некорректной оценке оперативности для приоритетных задач, что особенно важно для арктического мониторинга.

5. Несоответствие терминологии полученным результатам. В постановке задачи (раздел 4.1) говорится о «квазинепрерывном глобальном обзоре», однако в полученных решениях (таблица 4.3) средняя периодичность наблюдения составляет 1,4–1,8 часа, что не соответствует понятию квазинепрерывности. Термин представляется завышенным относительно достигнутых показателей.

6. Не достаточная корректность сравнительного анализа в разделе 4.7.3.3. Сравнение предлагаемой комбинированной системы (22 КА) с системой «Арктика-М» (2 КА) проведено без учёта различий в целевых задачах, стоимости создания и эксплуатации. Такое сравнение не позволяет сделать объективный вывод о предпочтительности той или иной архитектуры.

Указанные недостатки не являются принципиальными и не снижают общей ценности диссертационного исследования.

## **7. Соответствие автореферата основному содержанию диссертации**

Автореферат в полной мере отражает основное содержание диссертации. В нём корректно представлены актуальность, цель и задачи исследования, научная новизна, теоретическая и практическая значимость, основные положения, выносимые на защиту, а также структура работы.

## **Заключение**

Диссертационная работа Иванушкина Максима Александровича «Методика оценки показателей функционирования многоспутниковых систем мониторинга Земли с учётом выбора координат наземных пунктов приёма информации» является завершённым научно-квалификационным исследованием, в котором содержится решение актуальной научной задачи – повышения целевой эффективности функционирования многоспутниковых систем дистанционного зондирования Земли на основе учёта взаимодействия орбитальной группировки и наземной инфраструктуры приёма информации.

