

Акционерное общество  
«Российская корпорация ракетно-космического  
приборостроения и информационных систем»



Авиамоторная, д. 53, Москва, 111250, почтовый адрес: а/я 16, г. Москва, 111250  
тел.: +7 495 673-94-30, факс: +7 495 509-12-00, www.russianspacesystems.ru, contact@spacecorp.ru  
ОКПО11477389 ОГРН1097746649681 ИНН7722698789 КПП774550001

05.03.2026 № РКС вч. 4513-28

На № \_\_\_\_\_ от \_\_\_\_\_

Ученому секретарю  
диссертационного совета  
24.2.327.03  
А.В. Старкову

125993, г. Москва, Волоколамское  
шоссе, д.4, МАИ

Уважаемый Александр Владимирович!

Направляю Вам отзыв официального оппонента доктора технических наук, профессора, академика РАН, заслуженного деятеля науки Российской Федерации **Бетанова Владимира Вадимовича**, главного научного сотрудника - эксперта центра АО «Российская корпорация ракетно-космического приборостроения и информационных систем» на диссертацию **Кутоманова Алексея Юрьевича**, выполненную на тему: «Метод баллистико-навигационного обеспечения управления полетом многоспутниковых космических систем дистанционного зондирования Земли в условиях техногенного засорения околоземного космического пространства», представленную на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 2.5.16 – Динамика, баллистика, управление движением летательных аппаратов (технические науки).

Приложение: отзыв - 2 экз. на 10 листах каждый.

Ученый секретарь  
АО «Российские космические системы»,  
кандидат технических наук,  
старший научный сотрудник



Сергей Анатольевич Федотов

ОТДЕЛ КОРРЕСПОНДЕНЦИИ  
И КОНТРОЛЯ ИСПОЛНЕНИЯ  
ДОКУМЕНТОВ МАИ

12.03.2026

Экз. № \_\_\_\_\_

Авиамоторная, д. 53, Москва, 111250, почтовый адрес: а/я 16, г. Москва, 111250  
тел.: +7 495 673-94-30, факс: +7 495 509-12-00, www.russianspacesystems.ru, contact@spacecorp.ru  
ОКПО11477389 ОГРН1097746649681 ИНН7722698789 КПП774550001

05.03.2026 № PKS вч. 413-28

На № \_\_\_\_\_ от \_\_\_\_\_

## ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертационную работу  
Кутоманова Алексея Юрьевича «Метод баллистико-навигационного  
обеспечения управления полетом многоспутниковых космических  
систем дистанционного зондирования Земли в условиях техногенного  
засорения околоземного космического пространства», представленную на  
соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 2.5.16 –  
Динамика, баллистика, управление движением летательных аппаратов  
(технические науки)

### Актуальность темы диссертационного исследования

В соответствии с основными положениями государственной политики Российской Федерации в области космической деятельности на период до 2030 года и дальнейшую перспективу в настоящее время реализуется расширение орбитальной группировки космических аппаратов (КА) Госкорпорации «Роскосмос». Одной из основных задач, решаемых такими КА, является получение информации дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) в интересах различных Федеральных органов исполнительной власти (ФОИВ).

С учетом необходимости удовлетворения достаточно высоких требований ФОИВ к качеству и периодичности предоставления различных данных ДЗЗ, количество КА ДЗЗ, находящихся на различных типах орбит искусственного спутника Земли (ОИСЗ), с каждым годом увеличивается. Качественный скачок в мировой ракетно-космической и смежных отраслях, произошедший в последние годы, позволил производить дешевые и относительно надежные КА, что обусловило значительное повышение количества эксплуатируемых КА и появление так называемых многоспутниковых космических систем (КС), состоящих из сотен и, в ряде случаев, тысяч КА, решающих общие целевые задачи (как правило, ДЗЗ и связи).

ОТДЕЛ КОРРЕСПОНДЕНЦИИ  
И КОНТРОЛЯ ИСПОЛНЕНИЯ  
ДОКУМЕНТОВ МАИ

12.03.2026

В настоящее время в Российской Федерации в рамках реализации Федеральной космической программы, а также Федерального проекта «Сфера» создаются новые КС ДЗЗ, объединяющие в своем составе КА, функционирующих на различных типах орбит.

Значительное увеличение спутниковой группировки КА ДЗЗ определяет необходимость разработки новых подходов для организации управления многоспутниковыми КС. Используемые в настоящее время подходы к управлению полетами используются для управления малочисленными КС (состоящими максимум из нескольких десятков КА) и не предназначены для управления многоспутниковыми КС ДЗЗ, количественный состав которых, очевидно, будет значительно выше. Таким образом, использование существующих подходов приведет к нерациональному расходованию ресурсов предназначенных для управления полетами и, как следствие, постоянной потребности в их увеличении пропорционально увеличению числа КА в космической системе.

Вышеуказанное предполагает, что важнейшим условием для обеспечения управления постоянно расширяющимися космическими системами является разработка новых подходов, предполагающих создание унифицированных компонентов, способных в автоматизированном режиме решать задачи управления разнородными КА, входящими в многоспутниковую космическую систему ДЗЗ, в единой среде за ограниченное время и с учетом ограниченных ресурсов.

Так как одним из важнейших составляющих управления полетами является баллистико-навигационное обеспечение (БНО), основной задачей которого является обеспечение требуемого пространственно-временного положения КА, создание новых подходов к оперативному БНО управления многоспутниковыми КС (состоящими из 100 и более КА), позволяющих решать весь спектр задач БНО управления полетами за ограниченное время с учётом ограниченных ресурсов, позволит в целом решить задачу управления полетами многоспутниковых КС ДЗЗ.

Также необходимо учитывать, что активная реализация планов по развертыванию многоспутниковых КС привела к значительному росту числа космических объектов (КО), находящихся на околоземной орбите, что, в свою очередь, приводит к необходимости расширения задач БНО в части организации и проведения маневров уклонения, что предполагает необходимость дополнительного использования ресурсов, необходимых для реализации процессов управления полетами.

Возможность разрешения возникающего в этих условиях противоречия между объективной потребностью в оперативном решении задач БНО управления полетами многоспутниковых КС ДЗЗ в условиях техногенного засорения ОКИ из единого центра без увеличения числа задействуемых ресурсов ЦУП пропорционально увеличению числа управляемых КА в КС, с одной стороны, и недостаточного развития теории организации процессов БНО управления полетами многоспутниковых КС ДЗЗ, с другой стороны, обуславливает высокую актуальность проведенного автором диссертационного исследования.

### **Степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации, их достоверность и новизна**

Проведенный автором анализ условий управления полетами многоспутниковых КС ДЗЗ в условиях техногенного засорения ОКИ из единого центра, что в силу ряда объективных причин требуется разработка новых подходов к организации БНО управления космическими системами ДЗЗ.

В связи с этим представляются обоснованными сделанные автором выводы о необходимости перехода к более адекватным моделям и методам поддержания возможности решения целевых задач КС как единым целым, позволяющим обеспечить снизить требования к ресурсам, необходимым для реализации процессов управления полетами в новых условиях.

Достоверность представленных результатов подтверждается объективной оценкой эффективности предложенных автором технических решений.

Научная новизна исследования заключается в следующем:

1. Предложено рассматривать процессы БНО управления многоспутниковой КС ДЗЗ в привязке к выполнению целевых задач КС в целом.
2. Впервые разработана комплексная математическая модель БНО управления полетами, учитывающая возможность расчета показателей решения целевых задач системой в целом, а также особенности функционирования КА в околоземном космическом пространстве с учетом его техногенного засорения.
3. Обоснованы объективные критерии оценки возможности использования существующих подходов к решению задач БНО управления полетами многоспутниковых КС ДЗЗ.
4. Разработана методика построения единого баллистического информационного пространства, позволяющего осуществлять параллельное моделирование движения КА, функционирующих на различных орбитах, имеющих различный состав источников навигационных измерений, различную точность определения орбит, время автономного существования (без

задействования средств НКУ), а также различные характеристики целевой аппаратуры в единой среде моделирования.

5. Разработана методика построения системы планирования процессов БНО управления полетами, позволяющая в автоматизированном режиме создавать планы проведения баллистических расчетов, в том числе с использованием нейросетевых технологий, на различные интервалы времени, обеспечивать связь созданных планов с конкретными вычислительными задачами, а также отслеживать их выполнение, проводить предварительную оценку правильности решения баллистических задач и разрешать конфликтные ситуации, предусмотренные в эксплуатационной документации.

6. Разработана методика поддержания баллистической структуры многоспутниковой КС ДЗЗ с учетом решения целевых задач системой в целом, позволяющая существенно сократить общее число маневров, проводимых КА, по сравнению с существующими подходами, предполагающими жесткое поддержание баллистической структуры.

#### **Значимость результатов для науки и практики и возможные конкретные пути их использования**

Теоретическая значимость результатов исследования заключается в разработке новых подходов к построению сложных информационных многоспутниковых КС ДЗЗ.

Практическая значимость работы определяется тем, что совокупность полученных результатов исследования является решением актуальной научной проблемы, направленной на повышение эффективности управления полетом многоспутниковых КС ДЗЗ из единого центра в условиях техногенного засорения ОКП с учетом необходимости оперативного решения всех задач БНО управления полетами ограниченными ресурсами и обеспечение возможности практического внедрения разработанных методов и методик в перспективных многоспутниковых космических системах ДЗЗ, а именно:

1. Подтверждена возможность сокращения времени, необходимого для решения задач БНО управления космическими системами ДЗЗ в условиях техногенного засорения ОКП (сокращение времени составило порядка 26 раз для рассматриваемой космической системы).

2. Подтверждена возможность повышения уровня автоматизации планирования процессов БНО управления космическими системами ДЗЗ (в результате число необходимых АРМ специалистов баллистиков сократилось практически в 30 раз для рассматриваемой системы).

3. Предложен подход и подтверждена возможность моделирования КА, функционирующих на различных типах орбит, имеющих различный состав

источников навигационных измерений, различную точность определения орбит, время автономного существования (без задействования средств НКУ), а также различные характеристики целевой аппаратуры, в единой среде моделирования.

4. Предложен подход к формированию стратегии проведения маневров КА из состава многоспутниковой КС ДЗЗ с учетом необходимости поддержания заданных характеристик целевых задач системой в целом, что привело к сокращению числа таких маневров более чем в два раза для рассматриваемой космической системы на интервале моделирования в 1 год.

5. Предложен метод и обоснована принципиальная возможность создания автоматизированной системы БНО управления многоспутниковой КС ДЗЗ.

6. Предложен технический облик нового информационно-вычислительного комплекса для решения полного цикла задач БНО управления полетами посредством программной реализации единого баллистического информационного пространства, автоматизированной системы планирования процессов БНО управления многоспутниковыми КС ДЗЗ и методики поддержания баллистической структуры многоспутниковой КС ДЗЗ.

7. Подтверждена возможность решения поставленной научной проблемы с помощью программной реализации предложенного метода.

При этом к основным результатам, полученным лично автором, относятся:

1. Комплексная модель оперативного БНО управления полетами многоспутниковых КС ДЗЗ в условиях техногенного засорения ОКП.

2. Методика построения единого баллистического информационного пространства, позволяющая моделировать движение разнородных КА в одной системе.

3. Методика построения системы планирования процессов БНО управления полетами, позволяющая осуществлять автоматизированное планирование и контроль решения баллистических задач.

4. Методика поддержания баллистической структуры многоспутниковой КС ДЗЗ с учетом решения целевых задач системой в целом.

5. Непосредственно метод БНО управления многоспутниковыми КС ДЗЗ в условиях техногенного засорения ОКП (как совокупность разработанных методик), отличающийся от известных возможностью оперативного решения всего спектра задач БНО управления полетами многоспутниковой КС ДЗЗ из единого центра с учетом необходимости соблюдения мер по снижению техногенного засорения ОКП в части проведения маневров уклонения и организованного завершения полета.

6. Результаты экспериментальной отработки метода БНО управления многоспутниковой КС ДЗЗ в условиях техногенного засорения ОКП в условиях, приближенных к реальным.

### **Оценка содержания диссертации**

В первой главе диссертации обсуждается текущее состояние вопросов БНО управления полетами многоспутниковых КС ДЗЗ. Рассмотрены известные подходы к управлению полетами КА, входящими в космические системы, состоящие из нескольких десятков аппаратов. Проведен анализ зарубежного опыта управления существующими многоспутниковыми КС, на примере космической системы ДЗЗ компании «Planet Labs». Проведена декомпозиция задач БНО управления полетами многоспутниковых космических систем ДЗЗ, сформулированы основные проблемные вопросы БНО управления полетами многоспутниковых космических систем ДЗЗ с использованием существующих подходов, разработаны критерии оценки эффективности методов организации процессов БНО управления полетами. На основе проведенного анализа сформулирована научная проблема диссертации и проведена ее декомпозиция на отдельные задачи, решение которых позволяет обеспечить решение всего спектра задач БНО управления полетом многоспутниковых КС ДЗЗ из единого центра при минимизации использования ресурсов.

Во второй главе работы на основе анализа основных направлений развития методов организации управления полетами многоспутниковых КС ДЗЗ, планов по развертыванию многоспутниковых КС в России и за рубежом, перспективных направлений развития средств и методов управления многоспутниковыми КС, непосредственно влияющих на процессы БНО, международных стандартов и договоров, регламентирующие деятельность стран в космосе, непосредственно влияющих на организацию процессов БНО управления полетами, предложена принципиально новая схема БНО управления полетами многоспутниковой КС ДЗЗ, как единого целого, включающая в свой состав единое баллистическое информационное пространство, автоматизированную систему планирования и контроля решения задач БНО управления полетами, подсистему решения задач БНО управления полетами и подсистему расчета и поддержания системного эффекта.

Третья глава работы посвящена описанию взаимосвязанных математических моделей, составляющих основу разработанного метода БНО управления многоспутниковыми КС ДЗЗ в условиях техногенного засорения ОКП. К ним относятся: модели орбитального движения КА; - модель определения параметров орбиты КА; модели решения задач БНО управления полетами КА; модель планирования процессов БНО управления полетами;

модель расчета системного эффекта от выбранного баллистического построения космической системы ДЗЗ; модели проведения орбитальных коррекций КА ДЗЗ.

Представлена схема взаимодействия вышеперечисленных моделей, отражающая их взаимосвязь в рамках разработанного метода БНО управления полетами многоспутниковых КС, а также их распределение по 4-м его составляющим.

В четвертой главе диссертации проведено комплексное исследование вопросов БНО управления полетами многоспутниковых КС ДЗЗ, включающее: анализ возможности применения существующих методов поддержания баллистической структуры КС ДЗЗ, а также возможности использования существующих методов организации проведения баллистических расчётов применительно к многоспутниковым КС; моделирование предельного числа маневров, необходимых для поддержания жесткой баллистической структуры многоспутниковой КС ДЗЗ; оценку количества автоматизированных рабочих мест специалистов баллистиков, необходимых для реализации существующих подходов применительно к управлению многоспутниковыми КС и комплексную оценку времени проведения расчетов при решении задач БНО управления многоспутниковыми КС ДЗЗ с учетом техногенного засорения ОКП при использовании существующих подходов.

В пятой главе представлены результаты синтеза комплекса методик и алгоритмов организации процессов БНО управления полетами, включающих: методики построения единого баллистического информационного пространства; методики построения системы планирования процессов БНО управления многоспутниковыми КС; методики поддержания баллистической структуры многоспутниковой КС ДЗЗ с учетом решения целевых задач системой в целом. С учетом необходимости дальнейшей программной реализации для каждой из разработанных методик и реализующих их алгоритмов представлены принципы программной реализации.

В шестой главе работы рассмотрены основные результаты экспериментов на основе метода БНО управления полетами многоспутниковых КС ДЗЗ в условиях техногенного засорения ОКП, включающих этапы: моделирования движения многоспутниковой КС в составе 328 КА, функционирующих на различных типах орбит в едином баллистическом информационном пространстве; моделирование решения задач БНО управления многоспутниковой КС с учетом автоматизации планирования; комплексное моделирование процессов БНО управления полетами многоспутниковой КС ДЗЗ, состоящей из 112 КА, функционирующих на различных типах орбит в условиях техногенного засорения ОКП.

При этом на каждом этапе моделирования автором представлена оценка времени проведения вычислений при условии использования существующих вычислительных мощностей ЦУП как основной характеристики возможности использования разработанного метода при оперативном управлении полетами. Показано, что с учетом предлагаемого метода максимальное время на проведение всех необходимых суточных расчётов составило 42.5 минуты, а максимальное время на проведение аналогичных расчётов с использованием существующих подходов составило порядка 700 минут. Вышеуказанное позволило сделать вывод об эффективности предложенного подхода и возможности его использования при оперативном решении задач БНО управления полетами многоспутниковых КС ДЗЗ из единого центра.

Основные научные результаты диссертации получены автором самостоятельно, свидетельствуют о достижении поставленной перед диссертационным исследованием цели, и расширяют имеющееся знание в области БНО управления полетом многоспутниковых космических систем, что определяет личный вклад Кутоманова А.Ю. в данную отрасль науки.

#### **Публикации основных результатов диссертации**

Основные положения и результаты диссертационной работы опубликованы в 33 работах, из которых 15 в изданиях, включенных в перечень ведущих рецензируемых научных журналов, включённых ВАК России в список изданий, рекомендуемых для опубликования основных научных результатов диссертации на соискание учёной степени кандидата и доктора наук, соответствующих специальности 2.5.16 Динамика, баллистика, управление движением летательных аппаратов, 3 - опубликованы в иностранных изданиях, индексируемых в международных базах данных.

Апробация работы проведена на научно-технических семинарах кафедры «Системный анализ и управление» МАИ. Результаты работы докладывались и получили одобрение на научно-технических советах АО «ЦНИИмаш» и АО «Российские космические системы» в рамках обсуждения результатов составной части научно-исследовательской работы по теме: «Проектно-поисковые исследования и разработка макетов СПО БНО и СПО планирования задействования средств НАКУ для обеспечения управления объединенной многоспутниковой ОГ КА ДЗЗ», 26-й, 27-ей и 28-ой Международной научной конференции «Системный анализ, управление и навигация» (2021, 2022, 2023 г.г.), 73rd International Astronautical Congress (2022 г.), RUDN University Space Week (2022 г.), 56-х научных чтений, посвященных разработке научного наследия и развитию идей К.Э. Циолковского (2021 г.), XLIV, XLV, XLVI, XLVII академических чтениях по космонавтике, посвященных памяти академика С.П.

Королёва и других выдающихся отечественных ученых - пионеров освоения космического пространства (2019,2020,2021,2022г.г.), отраслевой научно-практической конференции «Созвездие Роскосмоса» (2023 г.) и др.

### **Соответствие содержания автореферата основным идеям и выводам диссертации. Качество оформления автореферата**

Автореферат соответствует основным положениям диссертации, правильно и достаточно полно передает ее содержание, оформлен в соответствии с требованиями. Стиль представления материала в автореферате позволяет ясно представить сформулированные в диссертации задачи исследования, основное содержание и идеи работы, а также выводы и рекомендации.

### **Замечания и недостатки**

К сожалению, работа не лишена недостатков. К их числу можно отнести следующие.

1. В представленной формальной постановке задачи исследования не указано, может ли средство  $i$ -го образца быть одновременно назначено для выполнения различных единичных работ на  $t$ -м отрезке времени.
2. В работе отсутствует критерий, позволяющий априорно указать целесообразность использования разработанных моделей и методик для организации БНО мало и многоспутниковыми КС, что, потенциально, может приводить к увеличению среднего расхода ресурса.
3. При организации вычислительного эксперимента, исходные данные для которого представлены в п. 6.3.3, не указаны распределения для формирования 1000 различных комбинаций задач, решаемых для БНО управления многоспутниковой КС ДЗЗ, используемых в методе Монте-Карло.
4. На странице 273 показано, что экспоненциальные темпы роста числа КА, входящих в КС «Starlink», привели к значительному росту числа маневров уклонения (50000 за вторую половину 2023 года), однако при оценке эффективности предлагаемых технических решений не учитывается прогноз роста количества маневров уклонения.
5. В работе имеется ряд стилистических погрешностей.

Указанные недостатки несколько снижают уровень полученных в диссертации научных результатов, но не могут повлиять на общую положительную оценку работы.

### **Заключение о соответствии диссертации требованиям Положения о порядке присуждения ученых степеней**

Диссертационная работа **Кутоманова Алексея Юрьевича** представляет собой законченную научную квалификационную работу, совокупность

результатов в которой позволяет характеризовать ее как новое решение актуальной научной проблемы баллистико-навигационного обеспечения управления полетом многоспутниковых КС ДЗЗ из единого центра в условиях техногенного засорения ОКП с учетом необходимости оперативного решения всех задач БНО управления полетами ограниченными ресурсами, имеет теоретическую ценность, научную новизну и практическую ценность.

Диссертационная работа соответствует требованиям Положения о присуждении ученых степеней, утвержденным постановлением Правительства Российской Федерации № 842 в редакции от 01.10.2018 г., а ее автор **Кутоманов А. Ю.** заслуживает присуждения ему ученой степени доктора технических наук по специальности 2.5.16 – Динамика, баллистика, управление движением летательных аппаратов (технические науки).

Официальный оппонент

Главный научный сотрудник-эксперт  
экспертно-аналитического центра АО «Российские космические системы»,  
заслуженный деятель науки РФ, д.т.н, профессор, академик РАН  
8-495-673-96-61, Email: betanov@spacecorp.ru

Владимир Вадимович Бетанов

Подпись главного научного сотрудника-эксперта Бетанова Владимира Вадимовича заверяю.

Ученый секретарь  
АО «Российские космические системы»,  
кандидат технических наук,  
старший научный сотрудник

Сергей Анатольевич Федотов

«5» марта 2026 г.



**Сведения об организации:** Акционерное общество «Российские космические системы» (АО РКС), 111250, г. Москва, улица Авиамоторная, д. 53, официальный сайт: <https://russianspacesystems.ru/>, эл. почта: [contact@spacecorp.ru](mailto:contact@spacecorp.ru)  
тел.: 8 (495) 673 9430.

С отзовом означенной