



Экз. № 1

МИНИСТЕРСТВО ОБОРОНЫ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
(МИНОБОРОНЫ РОССИИ)

ВОЕННО-КОСМИЧЕСКАЯ
АКАДЕМИЯ ИМЕНИ
А.Ф.МОЖАЙСКОГО

г. Санкт-Петербург, 197198

4 марта 2026 г. № 15/189

На № _____

Проректору по научной работе
федерального государственного
бюджетного образовательного
учреждения высшего образования
«Московский авиационный институт
(национальный исследовательский
университет)»
А.В.ИВАНОВУ

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

Уважаемый Андрей Владимирович!

Высылаю отзыв ведущей организации на диссертацию Кутоманова Алексея Юрьевича на тему: «Метод организации баллистико-навигационного обеспечения управления полетом многоспутниковых космических систем дистанционного зондирования Земли в условиях техногенного засорения околоземного космического пространства», представленную к защите на соискание учёной степени доктора технических наук по специальности 2.5.16. Динамика, баллистика, управление движением летательных аппаратов.

- Приложения: 1. Отзыв ведущей организации, в 2-х экз., на 10 (десяти) листах каждый;
2. Выписка из заключения о возможности открытого опубликования, № 555 /ИБ от «4» марта 2026 г., в 1 экз., на 1 (одном) листе.

Врио заместителя начальника Военно-космической академии
имени А.Ф.Можайского по учебной и научной работе

С. Сувафеевич,

И.Воронков

ОТДЕЛ КОРРЕСПОНДЕНЦИИ
И КОНТРОЛЯ ИСПОЛНЕНИЯ
ДОКУМЕНТОВ МАИ

12 03 26
«12» 03 2026 г.

УТВЕРЖДАЮ

Врио заместителя начальника
Военно-космической академии
имени А.Ф.Можайского
по учебной и научной работе
кандидат военных наук, доцент



И.Воронков

« 4 » марта 2026 г.

ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

на диссертацию Кутоманова Алексея Юрьевича на тему: «Метод организации баллистико-навигационного обеспечения управления полетом многоспутниковых космических систем дистанционного зондирования Земли в условиях техногенного засорения околоземного космического пространства», представленную к защите на соискание учёной степени доктора технических наук по специальности 2.5.16. Динамика, баллистика, управление движением летательных аппаратов.

На отзыв представлена работа на соискание учёной степени доктора технических наук, посвященная решению актуальной и важной научной проблемы, связанной с организацией управления многоспутниковыми космическими системами (КС) дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ). Представленная к защите работа позволяет обеспечить оперативное решение задач баллистико-навигационного обеспечения (БНО) управления полетами многоспутниковых КС ДЗЗ в условиях техногенного засорения околоземного космического пространства (ОКП) из единого центра без увеличения числа задействуемых ресурсов центра управления полетами (ЦУП) пропорционально увеличению числа управляемых космических аппаратов (КА) в КС.

Актуальность темы исследования.

Диссертационная работа А.Ю. Кутоманова направлена на решение актуальной и важной научной проблемы, связанной с организацией управления многоспутниковыми КС ДЗЗ. Под многоспутниковыми КС в диссертации автор рассматривает КС состоящие из 100 и более КА. В работе рассматривается один из самых важных видов обеспечения управления полетами – баллистико-навигационное. Основная задача оперативного БНО управления полетом космических систем – решение любой комбинации суточных баллистических задач для каждого КА, входящего в КС, с требуемой достоверностью и с жесткими ограничениями по времени.

В настоящее время темпы роста числа действующих КА в ОКП резко возросли. Это обуславливается практической реализацией планов государственных и частных компаний по развертыванию многоспутниковых

КС, численность которых уже измеряется несколькими тысячами КА. Под многоспутниковыми КС в диссертационной работе понимаются космические системы состоящие и 100 и более КА.

Исходя из этого, остро встала проблема необходимости обеспечения управления такими КС с учетом выполнения требований по ограничению техногенного засорения ОКП. Выполнение данных требований ведет к расширению задач, решаемых в рамках БНО управления полетами, в части необходимости проведения маневров уклонения от космических объектов, вызванного прогрессирующей засоренностью ОКП космическим мусором, что в свою очередь приводит к необходимости дополнительного решения целого ряда баллистических задач на сутки, таких как: расчет параметров маневра, определение орбиты, получение информации о текущих навигационных параметрах, обработка информации от аппаратуры спутниковой навигации и др. Учитывая существующую динамику прогрессирующей засоренности ОКП космическим мусором, в ближайшие десятилетия следует ожидать начала лавинообразного увеличения количества объектов космического мусора, вызываемых, так называемым, эффектом Кесслера, которое может привести к существенным проблемам использования низких орбит. Как следствие этого, значительно повысится вероятность столкновения и опасных сближений космического мусора с КА. Увеличение числа КА в КС в совокупности с увеличением задач, решаемых при оперативном БНО управления такой системой может привести к невозможности оперативного решения баллистических задач для каждого КА из состава многоспутниковой КС на текущие сутки полета из единого центра с учетом ограничения ресурсов на управление.

Так как в настоящее время Национальным проектом по развитию космической деятельности на период до 2030 года и на перспективу до 2036 года предусмотрено существенное расширение орбитальной группировки (ОГ) Госкорпорации «Роскосмос», и к настоящему времени в Российской Федерации отсутствует опыт управления такими системами в целом, и организации БНО в частности, задача синтеза метода организации БНО управления полетом многоспутниковых КС ДЗЗ в условиях техногенного засорения ОКП, безусловно является **актуальной научной проблемой**.

В качестве **объекта исследования автором**, на наш взгляд, правильно определена космическая система дистанционного зондирования Земли, как единая территориально-распределенная информационная система, одной из главных задач которой является предоставление потребителю данных ДЗЗ с требуемыми характеристиками, а в качестве **предмета исследования** – математические модели и методы решения задач оперативного баллистико-навигационного обеспечения управления полетами космической системы дистанционного зондирования Земли, обеспечивающие выполнение целевой задачи космической системы в целом, алгоритмы управления движением КА в составе космической системы.

Цель диссертационной работы – формирование метода, теоретического и прикладного задела для решения проблемы организации процессов БНО управления полетом многоспутниковыми космическими системами ДЗЗ из единого центра в условиях техногенного засорения околоземного космического пространства с учетом необходимости оперативного решения всех задач БНО управления полетами ограниченными ресурсами.

Состав и содержание диссертации.

На отзыв представлена диссертационная работа на 312 страницах, содержащая оглавление, введение, 6 глав, заключение, перечень принятых сокращений и условных обозначений, список использованных источников из 118 наименований. По объёму диссертации принципиальных замечаний нет.

Введение содержит кратко сформулированные обобщающие разделы: подтверждение актуальности темы; объект и предмет исследования; цель работы; основные научные результаты, вынесенные на защиту и их обоснованность; методы исследования; новизну научных результатов; научную значимость работы (вклад в теорию); практическую значимость результатов диссертации.

В первой главе приведено текущее состояние вопросов организации БНО управления многоспутниковых КС ДЗЗ. Приведен краткий обзор существующих подходов к управлению полетами КА, входящими в КС, состоящие из нескольких десятков КА. Рассмотрен зарубежный опыт управления существующими многоспутниковыми КС, на примере КС ДЗЗ компании «Planet Labs». Проведена декомпозиция задач БНО управления полетами многоспутниковыми КС ДЗЗ, сформулированы основные проблемные вопросы организации БНО управления полетами многоспутниковых КС ДЗЗ с использованием существующих подходов, разработаны критерии оценки эффективности методов организации процессов БНО управления полетами. Сформулирована научная проблема, осуществлена ее декомпозиция на отдельные, взаимосвязанные задачи, решение которых позволит обеспечить решение всего спектра задач БНО управления полетом многоспутниковых КС ДЗЗ из единого центра при минимальном использовании необходимых ресурсов.

Во второй главе приведен анализ основных направлений развития методов организации управления многоспутниковых КС ДЗЗ, показаны планы по развертыванию многоспутниковых КС в России и за рубежом, приведены перспективные направления развития средств и методов управления многоспутниковыми КС, непосредственно влияющие на организацию процессов БНО. Перечислены основные международные стандарты и договоры, регламентирующие деятельность стран в космосе, непосредственно влияющие на организацию процессов БНО управления полетами. Предложена принципиально новая схема организации 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.

В третьей главе содержится описание взаимосвязанных математических моделей, составляющих основу метода организации технологических процессов БНО управления многоспутниковыми КС ДЗЗ в условиях техногенного засорения ОКП:

- 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 КС ДЗЗ;
- модели проведения орбитальных коррекций КА ДЗЗ.

Метод организации БНО управления многоспутниковых КС включает все вышеперечисленные модели, являющиеся взаимосвязанными поэтому в конце главы приводится схема их взаимодействия, а также распределение по 4-м составляющим предлагаемого метода.

В четвертой главе содержатся результаты комплексного исследования вопросов организации БНО управления полетом многоспутниковыми КС ДЗЗ. Приводятся результаты анализа возможности применения существующих методов поддержания баллистической структуры КС ДЗЗ, а также возможности использования существующих методов организации проведения баллистических расчётов применительно к многоспутниковым КС. Приводятся результаты моделирования предельного числа маневров, необходимых для поддержания жесткой баллистической структуры многоспутниковой КС ДЗЗ, а также результаты оценки числа автоматизированных рабочих мест специалистов баллистиков, необходимых для реализации существующих подходов применительно к управлению многоспутниковыми КС. В конце главы приводится комплексная оценка времени проведения расчетов при решении задач БНО управления многоспутниковыми КС ДЗЗ с учетом техногенного засорения ОКП при использовании существующих подходов.

В пятой главе приводятся результаты синтеза комплекса методик и алгоритмов организации процессов БНО управления полетами состоящих из:

- методики построения единого баллистического информационного пространства;
- методики построения системы планирования организации процессов БНО управления многоспутниковыми КС;
- методики поддержания баллистической структуры многоспутниковой КС ДЗЗ с учетом решения целевых задач системой в целом.

В целях обеспечения практической реализации разработанных методик и алгоритмов в конце каждого раздела приводятся принципы программной реализации каждой методики.

В шестой главе приводятся основные результаты экспериментальной отработки метода организации процессов БНО многоспутниковых КС ДЗЗ в

условиях техногенного засорения ОКП, которая включала в себя следующие этапы:

- моделирование движения многоспутниковой КС, включающей в свой состав 328 КА, функционирующих на различных типах орбит в едином баллистическом информационном пространстве;
- моделирование решения задач организации процессов 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.

На каждом этапе моделирования представлена оценка основной характеристики возможности использования предлагаемого метода при оперативном управлении полетами – время проведения вычислений при условии использования существующих вычислительных мощностей ЦУП.

В заключении чётко и логично дана общая оценка результатов работы, отражены основные новые научные и практические результаты и принципиальные положения диссертации, показана практическая полезность работы. Определены возможные направления продолжения исследования. Сделан вывод о степени выполнения поставленных задач и достижении цели исследований.

Список использованных источников с достаточной полнотой охватывает тематику и предметную область исследования, а также положения, изложенные в диссертации.

Положения, выносимые на защиту:

1. Метод организации процессов БНО управления многоспутниковыми КС ДЗЗ в условиях техногенного засорения ОКП, 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.

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

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

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

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

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

Новизна научных положений и выводов.

В процессе диссертационных исследований соискателем получены следующие новые научные результаты, *отличные от результатов*, полученных другими авторами:

– предложено рассматривать технологические процессы организации БНО управления многоспутниковой КС ДЗЗ, функционирующих в условиях техногенного засорения ОКП, в привязке к выполнению целевых задач КС в целом;

– новая комплексная математическая модель БНО управления полетами, учитывающая возможность расчета показателей решения целевых задач системой в целом, а также особенности функционирования КА в ОКП с учетом его техногенного засорения;

– 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;

– методика построения системы планирования организации технологических процессов БНО управления полетами, применение которой позволяет в автоматизированном режиме создавать планы проведения баллистических расчетов на различные интервалы времени, обеспечивать связь созданных планов с конкретными вычислительными задачами, а также отслеживать их выполнение, проводить предварительную оценку правильности решения баллистических задач;

– 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.

Достоверность результатов подтверждается: корректной и аргументированной математической постановкой задач БНО управления полетами КА и КС ДЗЗ; использованием в ходе диссертационного исследования отработанных методик и программно-математического обеспечения, используемых в течении длительного времени в ЦУП АО «ЦНИИмаш» для выполнения полного цикла задач БНО управления полета как автоматических КА, так и пилотируемых космических комплексов; обоснованным выбором исходных данных, корректностью и логической обоснованностью решенных частных задач, достаточной сходимостью теоретических выводов с экспериментальными данными, а также обсуждением на научно-технических семинарах, научно-технических и научно-практических конференциях.

Обоснованность полученных результатов обеспечена достаточной полнотой учета факторов, определяющих особенности процесса БНО

управления полетами КА и КС ДЗЗ, корректным применением апробированных методов исследования, обоснованным принятием допущений и ограничений при формировании исходных данных для решения частных научных задач, корректным выбором показателей и критерия эффективности рассматриваемого целенаправленного процесса, детальным изучением и анализом публикаций в исследуемой предметной области и их корректным использованием.

Теоретическая значимость работы.

Теоретическая значимость работы Кутоманова А.Ю. состоит в том, что для рассматриваемого объекта исследования – многоспутниковой КС ДЗЗ, состоящей из разнородных КА, имеющих различные характеристики целевой и служебной аппаратуры, а также функционирующих на различных орбитах, был предложен метод, состоящий из разработанных соискателем новых методик и алгоритмов, позволяющий рассматривать такую космическую систему как единое целое, и, как следствие, организовывать решение задач БНО управления полетами КА многоспутниковой КС с учетом мониторинга и поддержания возможности решения целевых задач КС в целом, что в конечном счете позволило решить поставленную научную проблему в необходимости разрешения противоречия между объективной потребностью в оперативном решении задач БНО управления полетами многоспутниковых КС ДЗЗ в условиях техногенного засорения ОКП 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.

Практическая ценность работы.

Основные теоретические положения подтверждены успешной практической реализацией при внедрении результатов исследования при управлении действующими космическими системами ДЗЗ Госкорпорации «Роскосмос», а также при создании Базового ЦУП Госкорпорации «Роскосмос» и при проектировании облика перспективной системы управления многоспутниковыми космическими системами.

Результаты, полученные в рамках диссертационного исследования, обладают высокой практической ценностью, состоящей в разработанном программном комплексе для решения задач оперативного БНО управления многоспутниковыми космическими системами ДЗЗ в условиях техногенного засорения ОКП, основанного на программной реализации единого баллистического информационного пространства, автоматизированной системы планирования организации процессов БНО управления многоспутниковыми КС ДЗЗ и методики поддержания баллистической структуры многоспутниковой КС ДЗЗ. Кроме того, в результате экспериментальной отработки предложенного метода в условиях, приближенных к реальным, была обоснована принципиальная возможность создания автоматизированной системы БНО управления многоспутниковой КС ДЗЗ, позволяющая оперативно решать любую совокупность суточных

баллистических задач для управления многоспутниковой космической системой ДЗЗ из единого центра с учетом ограничений на используемые ресурсы.

Автореферат соответствует содержанию диссертации, составлен в соответствии с «Положением о присуждении ученых степеней», в нем изложены основные идеи и выводы диссертации, показаны личный вклад автора и проведенное исследование, степень новизны и практическая значимость результатов исследования.

Тема и содержание представленной диссертации соответствует пунктам 5, 6, 7, 11, 12, 14, направлений исследований научной специальности 2.5.16. Динамика, баллистика, управление движением летательных аппаратов (технические науки). Диссертация носит прикладной характер, а полученные научные результаты имеют значимость для развития технической отрасли науки, в части теории баллистико-навигационного управления полетом летательных аппаратов.

Рекомендации по практическому использованию результатов работы.

Результаты диссертационной работы рекомендуются к применению в организациях, решающих задачи в области создания и эксплуатации космических систем, таких как АО «ЦНИИмаш», АО «Корпорация «ВНИИЭМ», АО «НПО Лавочкина», АО «РЕШЕТНЕВ», АО «РКЦ «Прогресс», АО «РКС» и других. Для использования в этих организациях рекомендуются разработанные методики построения единого информационного баллистического пространства, автоматизированной системы планирования и гибкого поддержания баллистической структуры космической системы ДЗЗ, а также разработанный программный комплекс для решения задач оперативного БНО управления многоспутниковыми КС ДЗЗ в условиях техногенного засорения ОКП, что позволит сформировать технологический процесс организации БНО управления многоспутниковой КС ДЗЗ.

Публикация результатов.

Основные положения и результаты 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 Scopus/Web of Science. Опубликованные работы в полной мере отражают содержание и основные научные результаты диссертации.

Апробация работы.

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 гг.), 73 International Astronautical Congress (2022 г.), RUDN University Space Week (2022г.), XLIV, XLV, XLVI, XLVII академических чтений по космонавтике, посвященных памяти академика С.П. Королёва (2019, 2020, 2021, 2022г.г.), отраслевой научно-практической конференции «Созвездие Роскосмоса» (2023 г.) и др.

В диссертационной работе выявлены следующие недостатки:

В качестве замечаний к тексту диссертации можно отметить следующее:

1. Диссертационная работа посвящена разработке метода организации БНО управления полета многоспутниковых космических систем ДЗЗ в условиях техногенного засорения ОКП, однако при экспериментальной отработке предложенного метода рассматривалась только одна космическая система, состоящая из 112 КА, функционирующих на солнечно-синхронных орбитах, другие космические системы при экспериментальной отработке, к сожалению, не рассматривались.

2. В главе 2 приводятся основные международные договоры, стандарты и правила, регламентирующие деятельность стран в космосе, влияющие на организацию технологических процессов БНО управления полетом многоспутниковых космических систем, однако при моделировании решения задач БНО для рассматриваемой многоспутниковой космической системы учитывалась только необходимость проведения маневров уклонения, остальные рассмотренные правила, влияющие на организацию технологических процессов БНО такие как: необходимость организованного завершения полета, поддержания точности определения орбит, расчета вероятности столкновений и другие не рассматривались.

3. При расчете маневров уклонения информация о необходимости их выполнения бралась из статистических данных космической системы «Starlink», следовательно, не учитывалась точность определения орбит, реальная вероятность столкновения КА с космическими объектами, правила проведения маневров уклонения и другие факторы, влияющие на принятие окончательного решения на проведение маневра уклонения, исходя из этого результаты моделирования в части проведения маневров уклонения могут отличаться от применения разработанного метода непосредственно при управлении многоспутниковыми космическими системами.

Отмеченные недостатки несколько снижают общий научный уровень и практическую значимость диссертации, но не изменяют её общую положительную оценку. В целом диссертация соответствует требованиям ВАК.

Заключение

В диссертации Кутоманова Алексея Юрьевича сформулирована комплексная научно-техническая проблема организации процессов БНО управления полетом многоспутниковых КС ДЗЗ из единого центра в условиях техногенного засорения ОКП с учетом необходимости оперативного решения всех задач БНО управления полетами с ограниченными ресурсами, имеющая стратегическое значение в условиях современной необходимости оперативного получения данных ДЗЗ для рассматриваемых районов наблюдения. Автором предложен вариант ее решения в форме совокупности частных подзадач, наиболее влияющих на возможность решения задач БНО управления многоспутниковыми КС с учетом существующих ограничений. Автором разработаны методики и алгоритмы, обеспечивающие в составе программного комплекса реализацию предлагаемого варианта решения поставленной проблемы.

С учетом изложенного рассматриваемая диссертационная работа отвечает критериям, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени доктора наук (пп. 9-14 Положения о присуждении ученых степеней), а ее автор Кутоманов Алексей Юрьевич, заслуживает присуждения ученой степени доктора технических наук по специальности 2.5.16. Динамика, баллистика, управление движением летательных аппаратов (технические науки).

Отзыв обсужден и одобрен на заседании кафедры навигационно-баллистического обеспечения применения космических средств и теории полёта летательных аппаратов Военно-космической академии имени А.Ф.Можайского 02 марта 2026 г., протокол № 7.

Отзыв составили:

Старший преподаватель кафедры навигационно-баллистического обеспечения применения космических средств и теории полёта летательных аппаратов доктор технических наук



Коваленко Алексей Юрьевич


Начальник кафедры навигационно-баллистического обеспечения применения космических средств и теории полёта летательных аппаратов доктор технических наук, доцент



Салов Вячеслав Викторович

«2» марта 2026 г.

Федеральное государственное бюджетное военное образовательное учреждение высшего образования «Военно-космическая академия имени А.Ф.Можайского» Министерства обороны Российской Федерации
197198, г. Санкт-Петербург, ул. Ждановская, дом 13

С отзывом ознакомлен  12.03.26