



Министерство науки и высшего образования  
Российской Федерации  
Федеральное государственное автономное  
образовательное учреждение высшего образования  
«Московский государственный  
технический университет имени Н. Э. Баумана  
(национальный исследовательский университет)»  
(МГТУ им. Н. Э. Баумана)

105005, г. Москва, 2-я Бауманская ул., д. 5, стр. 1  
тел. +7 (499) 263-63-91, факс +7 (499) 267-48-44  
bmstu.ru bauman@bmstu.ru  
ОГРН 1027739051779  
ИНН 7701002520 КПП 770101001

20.03.2026 № 03.09-08/15642

На № \_\_\_\_\_ от \_\_\_\_\_

Ученому секретарю диссертационного  
совета 24.2.327.03 на базе ФГБОУ ВО  
МАИ, д.т.н., доценту

Старкову А.В.

125993, Москва, Волоколамское  
шоссе, д. 4

Об отзыве на автореферат диссертации

Уважаемый Александр Владимирович!

Направляю Вам отзыв на автореферат диссертации Кутоманова Алексея Юрьевича на тему «Метод баллистико-навигационного обеспечения управления полетом многоспутниковых космических систем дистанционного зондирования Земли в условиях техногенного засорения околоземного космического пространства», представленной на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 2.5.16. Динамика, баллистика, управление движением летательных аппаратов.

Приложение: отзыв на 9 стр., 2 экз.

Декан факультета  
«Специальное машиностроение»  
МГТУ им. Н.Э. Баумана

А.Ю. Луценко

ОТДЕЛ КОРРЕСПОНДЕНЦИИ  
И КОНТРОЛЯ ИСПОЛНЕНИЯ  
ДОКУМЕНТОВ МАИ

«23» 03 2026 г.

## ОТЗЫВ

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

Существенное наращивание спутниковой группировки космических аппаратов (КА) дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) и появление многоспутниковых космических систем (КС) определяет необходимость развития новых подходов к организации их управления, в том числе учитывающих необходимость сокращения техногенного засорения околоземного космического пространства (ОКП).

Существующие подходы к управлению полетами основаны на управлении КА по принципу «точка-точка-точка» (ЦУП – пункт управления – КА), т.е. каждым КА, входящим в КС, управляют индивидуально. Очевидно, что использование таких подходов к многоспутниковым КС приведет к постоянной потребности в увеличении ресурсов, необходимых для управления полетом, пропорционально увеличению числа КА в КС. Исходя из этого, важнейшим условием для обеспечения управления постоянно расширяющимися КС является разработка новых подходов, предполагающих создание унифицированных компонентов, способных в автоматизированном режиме оперативно решать задачи управления разнородными КА, входящими в многоспутниковую КС ДЗЗ, в единой среде с учетом ограниченных ресурсов.

Важнейшей составляющей управления полетами КС является баллистико-навигационное обеспечение (БНО), основной задачей которого является обеспечение требуемого пространственно-временного положения КА, позволяющего решать целевые задачи КС с заданными характеристиками. Поэтому в диссертационном исследовании рассматривались вопросы оперативного БНО управления многоспутниковыми КС ДЗЗ из единого центра с учетом ограниченных ресурсов.

Таким образом, научная проблема заключается 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.

В диссертационной работе в качестве объекта исследования рассматривается КС ДЗЗ, как единая территориально-распределенная информационная система, одной из главных задач которой является предоставление потребителю данных ДЗЗ с требуемыми характеристиками.

Предметом исследования являются математические модели и методы решения задач оперативного БНО управления полетами КС ДЗЗ, обеспечивающие выполнение целевой задачи КС в целом, алгоритмы управления движением КА в составе КС.

Цель диссертационной работы: формирование метода, теоретического и прикладного задела для решения 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.

Научные задачи:

1. Декомпозиция процессов БНО управления космических систем ДЗЗ, включающих разнородные КА, на отдельные формализованные задачи.
2. Разработка системы взаимосвязанных математических моделей оперативного БНО управления полетами многоспутниковых КС ДЗЗ, описывающая состав и структуру средств для решения баллистических задач.
3. Провести комплексный анализ возможности использования существующих подходов к БНО управления КС, состоящих из нескольких десятков КА, к аналогичным задачам, решаемым для управления полетом многоспутниковых космических систем ДЗЗ, состоящих более чем из 100 КА.
4. На основе проведенного анализа создать метод БНО управления многоспутниковыми КС ДЗЗ в условиях техногенного засорения ОКП, позволяющий синтезировать следующие методики: построения единого баллистического информационного пространства, построения системы планирования процессов БНО управления полетами, а также поддержания баллистической структуры многоспутниковой КС ДЗЗ с учетом решения целевых задач системой в целом.
5. Для реализации предложенного метода на практике определить принципы построения и технический облик программно-моделирующего комплекса решения

задач БНО управления полетом многоспутниковых КС в условиях техногенного засорения ОКП.

Научная новизна

1. Предложено рассматривать процессы БНО управления многоспутниковой космической системой 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 ОКП с учетом его техногенного засорения.
3. Обоснованы объективные критерии оценивания 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 на различные интервалы времени, обеспечивать связь созданных планов с конкретными вычислительными задачами, а также отслеживать их выполнение, проводить предварительную оценку правильности решения баллистических задач.
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.

Практическая значимость работы

Результаты, полученные в диссертационной работе, могут найти дальнейшее применение для развития перспективных многоспутниковых КС ДЗЗ. Их практическая значимость заключается в следующем:

1. Подтверждена возможность сокращения времени решения задач БНО управления КС ДЗЗ в условиях техногенного засорения ОКП (время на проведение расчетов сократилось в 26 раз для рассматриваемой КС).
2. Подтверждена возможность повышения уровня автоматизации планирования процессов БНО управления КС ДЗЗ (в результате число необходимых АРМ специалистов-баллистиков сократилось практически в 30 раз для рассматриваемой КС).
3. Предложен подход и подтверждена возможность моделирования КА, функционирующих на различных орбитах, имеющих различный состав источников навигационных измерений, различную точность определения орбит, время автономного существования, 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 маневров более чем в два раза для рассматриваемой КС 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.

Метод проведения исследования – расчетно-теоретический. При решении перечисленных научно-технических задач использовались методы теории интегрального и дифференциального исчисления, динамики космического полета,

теории систем автоматического управления, теории оптимальных систем, теории вероятностей, численные методы решения дифференциальных уравнений, метод наименьших квадратов, метод статистического моделирования. Кроме того, при проведении исследований, синтезе методов и алгоритмов решения поставленных задач использован личный опыт работ в ЦУП АО «ЦНИИмаш» по БНО управления полетами автоматических КС ДЗЗ.

Положения, выносимые на защиту

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 организации 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.

В первой главе приведены результаты формализации задач оперативного БНО управления полетами многоспутниковых КС ДЗЗ в условиях техногенного засорения ОКП. Для этого проведен анализ ведущих мировых и отечественных подходов к организации управления полетами таких систем, проведена декомпозиция задач БНО управления полетами КС ДЗЗ, сформулированы основные проблемные вопросы организации процессов БНО управления полетами многоспутниковых КС ДЗЗ с использованием существующих подходов.

Во второй главе приводится краткое описание существующих и перспективных направлений развития средств и методов управления многоспутниковыми КС ДЗЗ, определяющих организацию БНО управления полетами. Показаны основные подходы, используемые для организации управления многоспутниковой КС ДЗЗ компании «Planet», а именно: использование обширной сети наземных станций, состоящей из 18 станций НКУ в S и X диапазонах частот с 36 антеннами, расположенными в Северной Америке, Европе и Австралии, использование 4-х территориально разделенных групп операторов управления, расположенных в г. Сан-Франциско и в г. Берлин.

В третьей главе приводятся математические модели и алгоритмы, которые лежат в основе разработанного метода БНО управления полетом многоспутниковых космических систем ДЗЗ в условиях техногенного засорения ОКП. Движение центра масс КА в пространстве описывается в виде дифференциальных уравнений.

Четвертая глава посвящена комплексному исследованию вопросов БНО управления многоспутниковых КС ДЗЗ с использованием существующих методов. В результате анализа были выявлены критические операции, требующие максимального времени для подготовки и проведения расчётов, а именно: проведение коррекций орбит КА, проведение маневров уклонения, а также решение задач планирования и контроля решения баллистических задач для каждого КА, входящего в КС ДЗЗ, на текущие сутки.

Комплексное исследование возможности использования существующих подходов к БНО управления КС ДЗЗ, состоящими из нескольких КА, применительно к решению аналогичных задач для многоспутниковых КС состояло из оценки по следующим характеристикам:

- максимальное число маневров КА, которые необходимо обеспечить за текущие сутки полета;
- максимальное число АРМ специалистов-баллистиков, необходимое для решения всех задач БНО управления многоспутниковой КС с учетом ограничений по оперативности решения задач;
- максимальное время, необходимое для решения всех задач БНО управления многоспутниковой КС существующими АРМ специалистов-баллистиков ЦУП.

Пятая глава посвящена разработке комплексов алгоритмов и методик БНО управления многоспутниковых КС ДЗЗ в условиях техногенного засорения ОКП, состоящему из:

- методики построения единого баллистического информационного пространства, включающей в свой состав:
  - алгоритм выбора модели движения центра масс КА, входящих в единое баллистическое информационное пространство;
  - алгоритм определения адекватности начальных условий движения центра масс КА, находящихся в едином баллистическом информационном пространстве.
- методики построения системы планирования процессов БНО управления многоспутниковыми КА ДЗЗ, включающей в свой состав:
  - метод планирования решения задач БНО управления полетов многоспутниковых КА ДЗЗ с использованием нейросетевых технологий;
  - алгоритм контроля выполнения задач БНО управления полетами КА ДЗЗ, а также перепланирования задач БНО в случае невозможности их выполнения.
- методики поддержания баллистической структуры многоспутниковой космической системы ДЗЗ с учетом решения целевых задач системой в целом, включающей в свой состав:
  - алгоритм расчета системного эффекта от избыточности баллистической структуры многоспутниковых космических систем ДЗЗ;
  - алгоритм расчета числа коррекций орбиты КА для поддержания характеристик решения целевых задач многоспутниковой космической системы ДЗЗ.

Шестая глава посвящена комплексному моделированию процессов БНО управления полетами многоспутниковых КС ДЗЗ в условиях техногенного засорения ОКП с помощью разработанного метода. Основная задача комплексного моделирования – демонстрация практической реализуемости предлагаемого метода, а также оценка его эффективности по сравнению с существующими подходами по критериям минимизации числа маневров, необходимых для поддержания баллистической структуры КС ДЗЗ, а также времени решения задач БНО управления

полетами многоспутниковой КС ДЗЗ из единого центра без увеличения привлекаемых к решению вышеперечисленных задач ресурсов.

В заключении приведены основные результаты выполненной работы.

В качестве замечаний по представленной работе можно отметить следующее:

1. В работе приведена неочевидная формулировка научной проблемы, которая аргументируется через противоречие, которое противоречием является только частично и скорее является составными частями одного процесса.
2. В автореферате на странице 15 сказано, что в качестве исходных данных была выбрана планируемая к выведению в рамках Федерального проекта «Сфера» многоспутниковая КС ДЗЗ, однако данная информация не соответствует действительности, что может свидетельствовать о необходимости актуализации некоторых частей диссертации.
3. В цели диссертации объявлено, что её частью является учет условий техногенного засорения ОКП и учет необходимости оперативного решения всех задач БНО управления полетами ограниченными ресурсами, однако в основной цели создания единого баллистического информационного пространства об это напрямую не сказано.
4. В концепции единого баллистического информационного пространства мало освещены вопросы, связанные с возникновением нештатных ситуаций.
5. В разделе «Система планирования процессов БНО управления многоспутниковыми КА ДЗЗ» практически не затрагиваются вопросы, связанные с применением нейронных сетей и систем искусственного интеллекта для организации управления многоспутниковыми группировками.

Указанные замечания не снижают ценности работы. Диссертационная работа Кутюманова А.Ю. на тему: «Метод баллистико-навигационного обеспечения управления полетом многоспутниковых космических систем дистанционного зондирования Земли в условиях техногенного засорения околоземного космического пространства» соответствует требованиям

«Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 г. № 842 «О порядке присуждения ученых степеней», предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени доктора наук, а ее автор, Кутоманов Алексей Юрьевич, заслуживает присуждения ему ученой степени доктора технических наук по специальности 2.5.16. Динамика, баллистика, управление движением летательных аппаратов.

Доцент, кандидат  
технических наук, доцент  
кафедры СМ-3 МГТУ им.  
Н.Э. Баумана

Корянов Всеволод  
Владимирович  
19 марта 2026 г.

Заведующий кафедрой СМ-3  
МГТУ им. Н.Э. Баумана,  
доктор технических наук,  
профессор

Калугин Владимир  
Тимофеевич  
19 марта 2026 г.

Подпись к.т.н., доцента Корянова В.В. и д.т.н., профессора, заведующего кафедрой СМ3 Калугина В.Т. заверяю

Декан Факультета  
«Специальное машиностроение» (СМ)  
МГТУ им. Н.Э. Баумана

Луценко Александр  
Юрьевич  
19 марта 2026г.



Отзыв подготовили:

- Корянов Всеволод Владимирович;

Доцент, кандидат технических наук, доцент кафедры СМ-3 «Динамика и управление полетом ракет и космических аппаратов»

- Калугин Владимир Тимофеевич;

Профессор, доктор технических наук, заведующий кафедрой «Динамика и управление полетом ракет и космических аппаратов»;

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет)

105005, Российская Федерация, г. Москва, 2-ая Бауманская ул., д.5 стр.1

Телефон: +7(499) 263-68-30

Адрес электронной почты: vkoryanov@bmstu.ru, kaluginvt@bmstu.ru.