

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 настоящее время запланировано и реализуется значительное расширение орбитальной группировки космических аппаратов (КА) ГК «Роскосмос», в том числе предназначенных для решения задач дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ). При этом будут сформированы многоспутниковые космические системы (КС), состоящие из сотен, а в перспективе – тысяч КА, функционирующих на различных типах орбит. Повышение ёмкости отечественной спутниковой группировки КА ДЗЗ определяет необходимость разработки новых подходов, моделей, методов и методик для организации процесса управления многоспутниковыми КС, так как применение используемых в настоящее время ориентированы на управление КС, состав КА которых не превышает несколько десятков. Продолжение использования существующих технических решений в условиях кратного увеличения КА в перспективных КС, очевидно, приведет или к дефициту ресурсов, обеспечивающих задачи управления полетами или к их нерациональному использованию. Следует также отметить, что развитие технологий ракетно-космической и смежных отраслей в последние годы обеспечило значительное удешевление процессов производства КА, что привело к резкому росту числа КА на орбитах различных типов, что обусловило необходимость обеспечения возможности осуществлениякратно большего числа маневров уклонения.

В связи с этим автором справедливо сделан вывод о том, что важнейшим условием для обеспечения управления постоянно расширяющимися КС

является разработка новых подходов, предполагающих создание унифицированных компонентов, способных в автоматизированном режиме решать задачи управления разнородными КА. Основной задачей этого управления является обеспечение требуемого пространственно-временного положения КА, входящих в многоспутниковую КС ДЗЗ, в единой среде за ограниченное время и с учетом ограниченных ресурсов.

Актуальность темы диссертации в целом определяется возможностью разрешения возникающего в этих условиях противоречия между объективной потребностью в оперативном решении задач баллистико-навигационного обеспечения (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, что и составило научную проблему, поставленную в работе.

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

Целью диссертации определено создание метода, теоретического и прикладного задела для решения научной проблемы БНО 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. Поставленные цель и частные задачи исследования формируются впервые, что определяет новизну научной проблемы, поставленной в диссертации и решенной лично автором на основе современных методов теории интегрального и дифференциального исчисления, теории систем автоматического управления, теории оптимальных систем, теории вероятностей, численных методов решения дифференциальных уравнений, методов приближения функций, метода наименьших квадратов,

метода статистического моделирования и значительного личного опыта в области БНО управления полетами автоматическими КСДЗЗ.

Представленные в диссертации выводы о необходимости перехода к гибким методам поддержания баллистической структуры космической системы, основываясь на сохранении характеристик решения целевых задач космической системы ДЗЗ в целом, а не параметров орбит каждого КА в системе, и позволяющие сократить общее число маневров, выполняемых КА, что в свою очередь приводит к сокращению ресурсов, необходимых для реализации процессов управления полетами, являются обоснованными, достоверными и обладающими научной новизной, которая 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 ДЭЗ 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 принципиально новых подходов, моделей, методов, методик и реализующих их алгоритмов, позволяющих осуществлять БНО управления полетами многоспутниковых КС в новых условиях, характеризующихся, во-первых, значительным ростом численности КА спутниковой группировки, а во-вторых – кратным увеличением числа маневров уклонения.

Практическая значимость диссертации заключается в том, что:

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 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

Первая глава посвящена анализу текущего состояния 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. Выполнена декомпозиция задач БНО управления полетами многоспутниковых КС ДЗЗ, сформулированы основные проблемные вопросы БНО управления полетами многоспутниковых КС ДЗЗ с использованием существующих подходов, разработаны критерии оценки эффективности методов организации процессов БНО управления полетами. Сформулирована научная проблема диссертации и проведена ее декомпозиция на отдельные задачи, решение которых позволяет обеспечить решение задач БНО управления полетом многоспутниковых КС

ДЗЗ из единого центра при минимизации использования ресурсов.

Во второй главе диссертации на основе анализа основных направлений развития методов организации управления полетами многоспутниковых КС ДЗЗ, планов по развертыванию многоспутниковых КС, перспективных направлений развития средств и методов управления многоспутниковыми КС, непосредственно влияющих на процессы БНО, международных стандартов и договоров, регламентирующие деятельность стран в космосе, 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.

В третьей главе диссертации представлено описание взаимосвязанных математических моделей, составляющих основу разработанного метода БНО управления многоспутниковыми КС ДЗЗ в условиях техногенного засорения ОКП. К указанным моделям 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.

Разработана схема взаимодействия вышеперечисленных моделей, отражающая их взаимосвязь в рамках разработанного метода БНО управления полетами многоспутниковых КС, а также их распределение по составляющим.

В четвертой главе 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 диссертации разработан комплекс 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.

Для каждой из разработанных методик и реализующих их алгоритмов представлены принципы программной реализации.

В шестой главе представлены результаты экспериментов на основе разработанного 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;

– моделирования 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.

Для каждого этапа моделирования получены оценки времени проведения вычислений при условии использования существующих вычислительных мощностей ЦУП. Согласно полученным оценкам при использовании разработанного метода максимальное время на проведение всех необходимых суточных расчётов составляет 42.5 минуты, а максимальное время на проведение аналогичных расчётов с использованием известных решений составляет 700 минут, что позволяет сделать положительный вывод относительно преимуществ разработанного подхода и возможности его использования при оперативном решении задач БНО управления полетами многоспутниковых КС ДЗЗ из единого центра.

Содержание диссертации позволяет сделать вывод о самостоятельности получения автором основных научных результатов диссертации, достижении поставленной цели работы, обобщении и расширении научно-теоретического задела в области БНО управления полетом многоспутниковых КС.

Публикации основных результатов диссертации

Результаты диссертации 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. Имеется одно свидетельство на регистрацию программы для ЭВМ.

Апробация работы проведена на научно-технических семинарах и научно-технических советах кафедры «Системный анализ и управление» МАИ, АО «ЦНИИмаш» и АО «Российские космические системы», 7-ми Международных научных конференциях, 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.) и отраслевой научно-практической конференции «Созвездие Роскосмоса» (2023 г.) и др.

Уровень опубликованности и апробированности представленных в диссертации научных положений и результатов достаточен для научно-квалификационной работы на соискание ученой степени доктора технических наук.

Соответствие содержания автореферата основным идеям и выводам диссертации; качество оформления автореферата

Автореферат корректно и в достаточной степени полно отражает содержание диссертации. Уровень представления материала позволяет понять содержание диссертации. Автореферат оформлен в соответствии с требованиями.

Замечания и недостатки

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

Недостаточно тщательно проработан весь раздел, в котором рассматриваются маневры КА из многоспутниковой системы.

1. Отсутствует программный комплекс, позволяющий рассчитывать параметры маневров перелета в заданную позицию на орбите, имеющей

значительное отличие в долготе восходящего узла. Данные маневры рассчитываются при формировании заданной конфигурации спутниковой системы и при замене вышедших из строя спутников.

2. Сравнение энергетических затрат предлагаемого «гибкого» поддержания заданной конфигурации спутниковой системы производится с неэффективным «жестким» поддержанием, а не с другими известными методами «гибкого» поддержания.
3. Отсутствует алгоритм быстрого определения орбит маневрирующих объектов, движение которых наиболее непредсказуемо и опасно для возможного столкновения с защищаемыми спутниками системы.
4. Используемый традиционный алгоритм расчета маневров уклонения от столкновения не позволяет уклониться от столкновения на длительном интервале близкого совместного движения, уклониться от столкновения на фазирующей орбите без дополнительных расходов горючего, одновременно уклониться группой спутников от нескольких опасных объектов без изменения конфигурации системы.

Также есть замечания к оформлению диссертации.

5. Например, ряд рисунков, на которых представлены алгоритмы в главе 5, содержит схемы, выполненные не в соответствии с ГОСТ.
6. Обзор работ по теме диссертации недостаточно полон.

Указанные замечания не снижают научной, теоретической и практической ценности работы и полученных научных результатов.

Заключение о соответствии диссертации требованиям Положения о порядке присуждения ученых степеней.

Диссертация Кутоманова А.Ю. является законченной работой, в которой содержится решение новой имеющей существенное значение 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. Диссертация обладает признаками научной новизны, теоретической ценности и практической значимости.

Диссертация 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

доктор физико-математических наук *А. Баранов* Баранов Андрей Анатольевич

Место работы и должность:

Федеральное государственное учреждение "Федеральный исследовательский центр Институт прикладной математики им. М.В. Келдыша Российской академии наук", главный научный сотрудник
125047, г. Москва, Миусская площадь, д. 4

Подпись _____ Баранова Андрея Анатольевича _____ удостоверяю.
(фамилия, имя, отчество оппонента полностью)

Ученый секретарь ИПМ им. М.В. Келдыша РАН,
к. ф.-м. н.



А. А. Давыдов

С отзывом ознакомлен
20.03.2020