



Экз. № 1

МИНИСТЕРСТВО ОБОРОНЫ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
(МИНОБОРОНЫ РОССИИ)

ВОЕННО-КОСМИЧЕСКАЯ
АКАДЕМИЯ ИМЕНИ
А.Ф.МОЖАЙСКОГО

г. Санкт-Петербург, 197198

«25» 10 2019 г. № 15/1767

Председателю совета по защите
диссертаций на соискание ученой степени
кандидата наук, на соискание ученой
степени доктора наук Д 212.125.12
на базе Федерального государственного
бюджетного образовательного учреждения
высшего образования «Московский
авиационный институт (национальный
исследовательский университет)»
д.т.н., проф. Малышеву В.В.
125993, г.Москва, А-80, ГСП-3
Волоколамское шоссе, д.4, МАИ, Ученый совет,

Уважаемый Вениамин Васильевич!

Высылаю отзыв официального оппонента профессора кафедры навигационно-баллистического обеспечения применения космических средств и теории полета летательных аппаратов Аверкиева Николая Федоровича по диссертационной работе Разумного Владимира Юрьевича на тему «Методика выбора орбитального построения космического комплекса технического обслуживания на орбитах», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.07.09 – «Динамика, баллистика, управление движением летательных аппаратов» (технические науки).

Приложение: отзыв официального оппонента в 2-х экз. на 12 листах.

С уважением,

Заместитель начальника академии
по учебной и научной работе
доктор технических наук профессор

Ю.В. Кулешов

ОБЩИЙ ОТДЕЛ МАИ
Вх. № 30 10 20 19

О Т З Ы В

официального оппонента доктора технических наук, профессора кафедры навигационно-баллистического обеспечения применения космических средств и теории полета летательных аппаратов ВКА имени А.Ф.Можайского Аверкиева Николая Федоровича на диссертацию Разумного Владимира Юрьевича, выполненную на тему: «Методика выбора орбитального построения космического комплекса технического обслуживания на орбитах» и представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.07.09 – Динамика, баллистика, управление движением летательных аппаратов

Развитие космической техники не только способствует решению многих задач, стоящих перед человечеством, но и ставит новые задачи, решение которых пока не найдено. Одной из таких задач является техническое обслуживание создаваемой космической техники, размещаемой на околоземных орбитах. Организация такого обслуживания функционирующих космических объектов может существенно увеличить срок их активного существования, и, следовательно, снизить материальные затраты на выполнение космических программ (при условии не доминирования затрат на техническое обслуживание). Естественным путем решения задачи технического обслуживания на орбитах является создание соответствующего *космического комплекса*, состоящего из совокупности *орбитальных станций (ОС)*, имеющих в своем составе многоразовые отделяемые *орбитальные модули (ОМ)* возвращаемого типа. Такие модули могут предназначаться для проведения следующих операций: сервисное обслуживание, инспекция технического состояния, ремонт и транспортировка космических аппаратов, сборка сложных космических объектов, уборка космического мусора и т.п.

Определение оптимальной баллистической структуры *космического комплекса технического обслуживания (ККТО)* на орбитах (размещение ОС с ОМ в околоземном космическом пространстве) может существенно снизить затраты на его создание, а оптимизация динамических операций – существенно уменьшить затраты на процесс технического обслуживания космических объектов. Представленные результаты диссертационных исследований направлены на достижение указанной выше прагматической цели, которая осуществляется за счет разработки научно-методического аппарата оптимизации орбитального построения ККТО на орбитах. Данная задача является **актуальной** и относится к области: *динамика, баллистика, управление движением летательных аппаратов* (специальность 05.07.09).

Решение поставленной в работе научно-технической задачи находится за счет ее декомпозиции на ряд взаимосвязанных частных задач. Строгая формализация частных задач, грамотно подобранные исходные данные для них и применяемые автором апробированные математические методы их решения, позволили достичь цель исследования, получить достоверные результаты и сформировать на их базе следующие **положения, выносимые на защиту**:

1. Постановка задачи выбора орбитального построения перспективного космического комплекса технического обслуживания заданной орбитальной группировки (ОГ) целевых КА, движущихся по компланарным и некомпланарным орбитам с одинаковыми (близкими) или разными (существенно отличающимися) высотами, и ее декомпозиция на частные задачи проектирования орбит ОС в составе ККТО, планирования обслуживания целевых КА с помощью отделяемых от ОС орбитальных модулей и расчета маневров перевода ОМ с орбит ОС в окрестности требуемых обслуживаемых КА с учетом их возвращения на борт ОС.

2. Решение задачи выбора минимально необходимого числа ОС в составе ККТО и проектирования орбит ОС и задачи оптимального планирования обслуживания заданной группировки КА с помощью базирующихся на ОС орбитальных модулей на основе построения и анализа портрета относительных отклонений долгот восходящих узлов орбит обслуживаемых КА.

3. Решение задачи расчета оптимальных маневров и оценки минимально потребных затрат характеристической скорости на перелеты ОМ в окрестности обслуживаемых КА, движущихся по существенно отличающимся некомпланарным по долготе восходящего узла орбитам, с возвращением ОМ на борт ОС, в том числе после последовательного обслуживания нескольких КА в течение одного вылета орбитального модуля с борта ОС.

4. Решение задачи расчета оптимальных маневров ОМ с двигателями малой тяги при перелете между компланарными орбитами на основе применения теории базис-вектора и установления закономерностей локализации различных типов оптимальных решений в пространстве отклонений большой полуоси и эксцентриситета.

5. Результаты баллистического проектирования орбитального построения и математического моделирования функционирования перспективной ККТО для заданных группировок обслуживаемых целевых КА.

6. Способ орбитального построения космического комплекса технического обслуживания КА на основе использования нодально-синхронных орбит.

Теоретическая значимость работы определяется тем, что автором внесен *существенный вклад в развитие теории баллистического проектирования орбитальных группировок*, заключающийся в формализации и решении задачи выбора орбитального построения перспективного ККТО путем декомпозиции исходной задачи на совокупность трех классических оптимизационных задач:

- минимизация потребного числа ОС и параметров их орбит;
- минимизация затрат суммарной характеристической скорости ОМ на обслуживание заданной ОГ КА;
- минимизация затрат характеристической скорости ОМ на перелет от ОС в окрестность обслуживаемого КА.

Обоснованность научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации, обеспечивается учетом представительного количества факторов, влияющих на решение научно-технической задачи, грамотным заданием основных допущений и ограничений при формулировке задач исследования, прагматичным выбором исходных данных, использованием современного апробированного математического аппарата и внутренней непротиворечивостью сформулированных частных задач общей научно-технической задаче.

К числу *новых научных результатов*, полученных автором *лично*, следует отнести:

1. Постановку задачи выбора орбитального построения ККТО, научно-методический и программный аппарат для ее решения.
2. Установление области существования оптимальных решений при определении параметров маневрирования ОМ с малой тягой при перелете между компланарными орбитами;
3. Выявление класса нодально-синхронных орбит и закономерностей относительного изменения отклонений долгот восходящих узлов орбит обслуживаемых КА.

Новизна научных результатов, заключается в том, что автором впервые получены:

1. Концепция баллистического построения универсального ККТО, способного обслуживать КА, движущиеся по орбитам со значительно отличающимися параметрами.

2. Метод решения задачи баллистического проектирования ККТО в составе одной или нескольких ОС и отделяемых от них ОМ обслуживания.
3. Метод решения задачи планирования обслуживания КА ОМ, содержащий процедуру оптимального выбора последовательности перелетов.
4. Форма графического представления решения задачи орбитального построения ККТО и планирования технического обслуживания КА.
5. Способ орбитального построения ККТО на нодально-синхронных орбитах для обслуживания КА, расположенных на значительно отличающихся орбитах по высоте, эксцентриситету и наклонению.

Представленные в диссертации результаты имеют высокую **практическую ценность**, так как позволяют установить потенциальные возможности технологии орбитального обслуживания при выполнении практических задач на круговых и эллиптических орбитах, дают представление о возможных перспективных направлениях использования орбитального обслуживания и могут найти применение при разработке новых космических систем с включением в их состав ремонтпригодных КА.

Достоверность полученных научных результатов подтверждается:

- корректностью постановки задач и использованием апробированных методов для их решения;
- оценкой адекватности разработанных математических моделей физическим процессам;
- согласованностью результатов решений некоторых частных задач с результатами, полученными другими авторами;
- широкой апробацией результатов диссертационной работы на международных и всероссийских научно-технических конференциях и семинарах.

Полученные автором **лично** основные научные результаты с достаточной полнотой **опубликованы** в 10 печатных работах, в том числе в 4 рецензируемых журналах, входящих в перечень ВАК Минобрнауки России, в 4 изданиях, индексируемых в базе данных SCOPUS, одном препринте, в одном патенте на изобретение.

Текст автореферата соответствует основному содержанию диссертации. В автореферате изложены основные идеи и выводы диссертации, показан вклад автора в проведенные исследования, подчеркнута новизна и практическая значимость результатов исследований. Диссертация и автореферат написаны грамотно, стиль изложения

доказательный, что позволяет составить целостное представление о проделанной работе. *Диссертация обладает внутренним единством*, содержит новые научные результаты и свидетельствует о личном вкладе автора в развитие теории *баллистического проектирования орбитальных группировок*. Диссертация характеризуется завершенностью решения сформулированной научно-технической задачи исследования. Автор владеет методами научных исследований, обоснованно и корректно применяет известный математический аппарат, обладает широким научным кругозором.

Наряду с указанными достоинствами диссертация имеет и *недостатки*, к числу которых следует отнести:

1. При проектировании сложных технических систем (таких как ККТО), которые функционируют в условиях неопределенностей (полнота и сроки реализации космических программ по развертыванию обслуживаемых ОГ КА, воздействие вредных факторов космического пространства на обслуживаемые КА и объекты ККТО, отказы систем КА ОГ и объектов ККТО, аварийные ситуации и т.п.), целесообразно использовать стохастические модели и методы для принятия проектных решений.

2. Цель исследований, как снижение затрат на создание ККТО и на выполнение динамических операций технического обслуживания КА ОГ, сформулирована широко и не однозначно эта цель достигается. Так как к ресурсам, которые тратятся, можно отнести как различные материальные средства, так и время. Сведение данной цели к минимизации количества ОС (один вид ресурса) в составе ККТО и затрат характеристической скорости (другой вид ресурса) на операцию технического обслуживания с помощью ОС можно принять с оговоркой, так как в этом случае минимизируются затраты разного вида ресурсов.

3. На стр. 31 диссертации автор утверждает, что он предложил «...иной подход, основанный не на прямом моделировании, а на синтезе рациональных (оптимальных) вариантов орбитального построения ККТО...». В связи с этим возникает вопрос, какие решения находятся с использованием предложенного подхода – рациональные или оптимальные?

Указанные недостатки носят частный характер, не снижают общей высокой оценки проведенных научных исследований и представленных результатов и позволяют сделать следующие *выводы*:

1. *Содержание диссертации соответствует паспорту специальности 05.07.09 – Динамика, баллистика, управление движением летательных аппаратов.*

2. Проведенные диссертационные исследования являются законченной **научно-квалификационной работой**, в которой содержится **решение задачи**, имеющей важное значение для минимизации затрат на техническое обслуживание КА в околоземном космическом пространстве и **вносящей вклад** в развитие теории баллистического проектирования орбитальных группировок КА.

3. Диссертация Разумного Владимира Юрьевича «Методика выбора орбитального построения космического комплекса технического обслуживания на орбитах» **удовлетворяет критериям ВАК РФ при Минобрнауки РФ**, а ее автор, заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.07.09 – Динамика, баллистика, управление движением летательных аппаратов.

ОФИЦИАЛЬНЫЙ ОППОНЕНТ:

доктор технических наук, профессор



Аверкиев Николай Федорович

“21” августа 2019 года.

Подпись официального оппонента Аверкиева Николая Федоровича заверяю.
Начальник отдела кадров

подполковник



Плотников Григорий Вячеславович

МИНИСТЕРСТВО ОБОРОНЫ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
(МИНОБОРОНЫ РОССИИ)

Военно-космическая академия имени А.Ф. Можайского
197198, г. Санкт-Петербург, ул. Ждановская, д.13, т. 347-96-16