

УТВЕРЖДАЮ

Проректор по научной и
инновационной деятельности ОмГТУ,

д.т.н., доцент


П. С. Ложников

ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Омский государственный технический университет» (г. Омск) на диссертационную работу Щербакова Михаила Сергеевича на тему «Выбор орбит и алгоритмов управления инспекционным движением малоразмерного космического аппарата», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.5.16. – Динамика, баллистика, управление движением летательных аппаратов

1. Актуальность темы диссертации

Диссертационная работа Щербакова М.С. посвящена актуальной задаче формирования и поддержания инспекционного движения малоразмерного космического аппарата (МКА) относительно объекта инспекции (ОИ) в его орбитальной плоскости. Замкнутая инспекционная траектория может быть получена при рассмотрении движения в центральном поле притяжения и выполнении условия равенства орбитальных энергий МКА и ОИ. Однако влияние возмущающих факторов таких как нецентральность гравитационного поля Земли, атмосферное торможение и влияние Лунного притяжения (для высокоэллиптических орбит) приводит к нарушению периодичности инспекционного движения. В работе исследуется вопрос совместного выбора номинальной инспекционной траектории, обеспечивающей квазипериодическое инспекционное движение и его поддержания с учётом особенностей пассивного инспектирования и возможностей МКА.

Для поддержания инспекционного движения на длительном интервале времени предложены алгоритм выбора однойимпульсной коррекции на основе оскулирующих траекторий относительного движения и методика выбора непрерывного оптимального закона управления с использованием уравнений Риккати, состав которых зависит от состояния системы (State Dependent Riccati Equation далее SDRE-технология).

Входящий № 206-4533
Дата 17 ОКТ 2024
Самарский университет

Рассмотрение в комплексе вопросов выбора номинальной инспекционной траектории МКА и законов управления, учитывающих природу возмущающих факторов с учётом выполнения условия минимизации совокупных энергозатрат, является актуальной задачей.

2. Оценка содержания работы и личный вклад автора

Диссертация состоит из введения, 4 глав, заключения, списка литературы из 60 наименований. Общий объём диссертации составляет 124 страницы.

Во введении описывается постановка и цель решаемой задачи, раскрывается актуальность темы, степень её разработанности и методы исследования. Приведены научная новизна и практическая значимость. Указаны список публикаций и апробация работы.

В первой главе приведены математические модели относительного движения, учитывающие воздействия возмущающих факторов. Применительно к рассматриваемой задаче формализованы условия допустимого смещения инспекционной траектории и оценки времени их нарушения (время технической устойчивости). Сформулированы задачи поддержания инспекционного движения.

Во второй главе проведён анализ пассивного возмущённого инспекционного движения. Разработан алгоритм выбора начальных траекторных параметров движения МКА и начального положения ОИ на орбите, обеспечивающих максимальную продолжительность времени технической устойчивости. Проведена оценка влияния погрешностей в определении начальных траекторных параметрах движения МКА и начальном положении ОИ на продолжительность пассивной инспекции.

В третьей главе разработан алгоритм одноимпульсной коррекции на основе понятия оскулирующей траектории относительного движения и методика обеспечения пребывания МКА в допустимой области пространства относительно ОИ на протяжении всей инспекционной миссии.

В четвёртой главе разработан оптимальный закон управления на базе метода динамического программирования Беллмана с использованием SDRE-технологии и нелинейной модели относительного движения. Выполнено исследование и обоснован вид функционала при формировании оптимального закона управления. Проведено сравнение оптимальных законов управления, полученных с помощью SDRE-технологий и линейно-квадратичного регулятора и сформированы рекомендации по применению ЭРДУ МКА, из числа существующих на рынке, для реализации инспекционных миссий. Предложена методика поддержания номинальной инспекционной траектории на основе выбора оптимального непрерывного закона управления с использованием SDRE-технологии.

В заключении сформулированы основные результаты работы.

Полученные результаты и выводы могут быть *рекомендованы* к использованию на предприятиях космической отрасли при баллистическом проектировании миссий, в которых используется инспекционное движение МКА. Кроме того, *рекомендуется* использовать результаты работы при проведении научно-исследовательских работ и в учебном процессе образовательных организаций при подготовке кадров для авиационной и ракетно-космической промышленности.

Личный вклад автора заключается в проведении теоретических исследований и вычислительных экспериментах, подтверждающие основные положения, вынесенные на защиту.

Диссертация написана ясным научным языком, содержание её глав логически взаимосвязано и в полном объёме раскрывает постановку, методы и алгоритмы решения поставленных задач.

По теме диссертации опубликовано 17 работ. В том числе две статьи опубликованы в изданиях, рекомендованных ВАК России, и шесть статей – в научных изданиях, индексируемых базой Scopus.

Основные положения работы докладывались на XII Всероссийском съезде по фундаментальным проблемам теоретической и прикладной механики (г. Уфа, 2019 г.), на XXVII-XXX Санкт-Петербургских международных конференциях по интегрированным навигационным системам (г. Санкт-Петербург, 2020-2023 гг.), на международных семинарах «Навигация и управление движением», (г. Самара, 2020 г., Саратов, 2022 г.), на Четвёртом и Пятом Российских симпозиумах по наноспутникам с международным участием RusNanoSat (г. Самара, 2021, 2023 гг.).

3. Научная новизна, теоретическая и практическая значимость, достоверность полученных результатов

Научная новизна диссертационной работы заключается в следующем:

1. Выявлено влияние аргумента широты ОИ на продолжительность нахождения траектории пассивного облёта в допустимой области отклонений от номинальной траектории при формировании пассивного инспекционного движения в нецентральной поле притяжения Земли на круговых орбитах, орбитах малой и большой эллиптичности.

2. Предложен подход к выбору параметров пассивного инспекционного движения в нецентральной поле притяжения на круговых орбитах и орбитах малой эллиптичности, на которых атмосферным торможением можно пренебречь, отличающийся от известных одновременным выбором не только характеристик номинальной траектории движения

МКА относительно инспектируемого объекта, но и момента времени формирования самой инспекционной траектории. Разработан алгоритм определения начальных траекторных параметров движения МКА и начального аргумента широты объекта инспекции для реализации инспекционного движения, обеспечивающий длительную пассивную инспекцию при движении в нецентральной области притяжения Земли.

3. Предложенный подход выбора параметров пассивного инспекционного движения распространён на ОИ, двигающиеся по высокоэллиптическим орбитам (орбита типа Молния, геопереходная орбита) в нецентральной области притяжения Земли с учётом возмущающего воздействия со стороны Луны.

4. Введено понятие оскулирующей траектории относительного движения, на основе которого предложен алгоритм выбора параметров одноимпульсной коррекции, отличающийся от существующих формированием новой номинальной инспекционной траектории, исходя из выполнения условия равенства орбитальных энергий ОИ и МКА в текущий момент времени.

5. Предложена методика, основанная на применении развитого алгоритма выбора параметров одноимпульсной коррекции и выявленных закономерностях пассивного инспекционного движения, позволяющая поддерживать процесс инспектирования на длительном интервале времени.

6. Для орбит, на которых атмосферное торможение оказывает основное влияние, разработана методика поддержания номинальной инспекционной траектории, отличающаяся от существующих выполнением условий обеспечения близости орбитальных энергий МКА и ОИ в момент окончания корректирующего манёвра и учитывающая возможности существующих электроракетных двигательных установок МКА. В предложенной методике выбор оптимального непрерывного закона управления осуществляется с использованием SDRE-технологии.

Достоверность результатов обеспечивается обоснованностью принятых допущений в математических моделях. Полученные результаты в области формирования начальных параметров движения согласуются с результатами ведущих исследователей, которые занимаются проблематикой инспекционного движения МКА.

Практическая значимость работы заключается в возможности использовании методики при баллистическом проектировании миссий, в которых используется инспекционное движение МКА.

Теоретическая значимость работы заключается в том, что полученные результаты вносят вклад в методологию выбора начальных орбитальных структур, сохраняющих стабильность в нецентральной области притяжения в заданной окрестности номинального

периодического относительного движения, а также в обосновании способов и алгоритмов поддержания выбранного относительного движения в зависимости от типа учитываемых возмущений.

4. Замечания по диссертационной работе

По диссертационной работе имеются следующие замечания:

1. При анализе влияния возмущающих факторов на пассивное инспекционное движение (глава 2, стр. 40) рассматриваются только круговые орбиты движения объекта инспекции, хотя в далее в диссертации (раздел 3.1.2) рассматривается возможность поддержания инспекционного движения на высокоэллиптических орбитах (геопереходная орбита и орбита типа Молния) с применением одноимпульсной коррекции.

2. В четвёртой главе при формировании непрерывного закона управления не обосновывается величина интервала между смежными моментами времени решения уравнения Риккати, определяющая частоту пересчёта закона управления.

3. В четвёртой главе делается допущение о том, что разница баллистических коэффициентов постоянна на протяжении всего интервала управляемого движения. В действительности, значение этого коэффициента будет изменяться так как МКА совершает движение относительного своего центра масс в процессе проведения корректирующих манёвров.

4. Предложенная методика поддержания номинального инспекционного движения на основе выбора оптимального непрерывного закона управления с использованием SDRE-технологии не учитывает подлётный этап движения МКА к ОИ, что также является важной задачей.

Несмотря на отмеченные недостатки, данные замечания *не снижают* общей положительной оценки теоретической и практической значимости представленной диссертации. Они носят частный характер и могут рассматриваться как рекомендации на дальнейшее развитие работы.

5. Общее заключение по диссертационной работе

Диссертационная работа Щербакова М.С. является законченной работой, которая выполнена на высоком уровне, содержит результаты, обладающие научной новизной, и соответствует паспорту специальности 2.5.16. Динамика баллистика, управление движением летательных аппаратов.

Автореферат корректно отражает содержание диссертации.

Представленная диссертация «Выбор орбит и алгоритмов управления инспекционным движением малоразмерного космического аппарата» соответствует

требованиям Положения о присуждении учёных степеней, утверждённого Правительством РФ от 24 сентября 2013 года №842, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а её автор, Щербаков Михаил Сергеевич, заслуживает присуждения учёной степени кандидата технических наук по специальности 2.5.16. Динамика баллистика, управление движением летательных аппаратов.

Диссертационная работа Щербакова М.С., автореферат диссертации, а также отзыв ведущей организации рассмотрены и одобрены на заседании кафедры «Авиа- и ракетостроение» (протокол № 2 от 13.09.2024 г.).

Отзыв ведущей организации подготовили:

Заведующий кафедрой «Авиа- и ракетостроение» ОмГТУ,

канд. техн. наук, доцент

А.Б. Яковлев

Профессор кафедры «Авиа- и ракетостроение» ОмГТУ,

д-р техн. наук, профессор

В.И. Трушляков

Старший преподаватель кафедры «Авиа- и ракетостроение» ОмГТУ,

канд. техн. наук

В.А. Урбанский

Сведения о ведущей организации:

Федеральное государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Омский государственный технический университет»

Почтовый адрес:

пр. Мира, 11, г. Омск, 644050

телефон: +7 (3812) 65-34-07

e-mail: info@omgtu.ru

*Подписи: А.Б. Яковлева, В.И. Трушлякова, В.А. Урбанского завершено
И.о. начальника управления персоналом Л.Н. Яковлева*



02.10.2024