

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА 24.2.379.03, СОЗДАННОГО
НА БАЗЕ ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО АВТОНОМНОГО
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«САМАРСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
ИМЕНИ АКАДЕМИКА С. П. КОРОЛЕВА»
МИНИСТЕРСТВА НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ПО ДИССЕРТАЦИИ НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ КАНДИДАТА НАУК

аттестационное дело № _____

решение диссертационного совета от 15 ноября 2024 года, № 10
о присуждении Щербакову Михаилу Сергеевичу, гражданину
Российской Федерации, учёной степени кандидата технических наук.

Диссертация «Выбор орбит и алгоритмов управления инспекционным движением малоразмерного космического аппарата», представленная на соискание учёной степени кандидата технических наук по специальности 2.5.16. Динамика, баллистика, управление движением летательных аппаратов принята к защите 12 сентября 2024 г. (протокол заседания № 7) диссертационным советом 24.2.379.03, созданным на базе федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева» Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (443086, г. Самара, Московское шоссе, 34), приказом Министерства науки и высшего образования Российской Федерации от 20 декабря 2018 г. № 365/нк с изменениями, внесенными приказами от 07.07.2021 №670/нк, от 03.06.2021 №561/нк, от 03.10.2022 №1097/нк, от 12.12.2023 №2298/нк.

Соискатель Щербаков Михаил Сергеевич, 1992 года рождения, в 2015 г. освоил программу магистратуры по направлению подготовки 24.04.01 Ракетные комплексы и космонавтика в федеральном государственном автономном образовательном учреждении высшего образования «Самарский государственный аэрокосмический университет имени академика С.П. Королева (национальный исследовательский университет)». В 2021 г. освоил программу подготовки научно-педагогических кадров по направлению подготовки 24.06.01 Авиационная и ракетно-космическая техника в аспирантуре федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева», работает в должности младшего научного сотрудника научно-исследовательской лаборатории «Перспективные фундаментальные и прикладные космические исследования на базе наноспутников», по совместительству в должности старшего преподавателя межвузовской кафедры космических исследований федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего

образования «Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева» Министерства науки и высшего образования Российской Федерации.

Диссертация выполнена на межвузовской кафедре космических исследований федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева» Министерства науки и высшего образования Российской Федерации.

Научный руководитель – доктор технических наук, профессор Белоконов Игорь Витальевич, заведующий межвузовской кафедрой космических исследований федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева».

Официальные оппоненты: Ключников Валерий Юрьевич, доктор технических наук, старший научный сотрудник, главный ученый секретарь акционерного общества «Центральный научно-исследовательский институт машиностроения»; Иванов Данил Сергеевич, кандидат физико-математических наук, доцент, старший научный сотрудник федерального государственного учреждения «Федеральный исследовательский центр Институт прикладной математики им. М.В. Келдыша Российской академии наук» - **дали положительные отзывы** на диссертацию.

Ведущая организация – Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Омский государственный технический университет», **в своём положительном заключении**, подписанном заведующим кафедрой «Авиа- и ракетостроение» кандидатом технических наук, доцентом Яковлевым Алексеем Борисовичем, профессором кафедры «Авиа- и ракетостроение» доктором технических наук, профессором Трушляковым Валерием Ивановичем, старшим преподавателем кафедры «Авиа- и ракетостроение» кандидатом технических наук Урбанским Владиславом Александровичем, утверждённом проректором по научной и инновационной деятельности, доктором технических наук, доцентом Ложниковым Павлом Сергеевичем, указала, что диссертационная работа является завершённой научно-квалификационной работой, соответствует требованиям, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а её автор, Щербаков М.С., заслуживает присуждения учёной степени кандидата технических наук по специальности 2.5.16. Динамика, баллистика, управление движением летательных аппаратов.

Соискатель имеет 17 опубликованных работ, в том числе по теме диссертации 17 работ; из них в рецензируемых научных изданиях опубликовано восемь работ (из них две статьи – в научных изданиях, рекомендованных ВАК; шесть статей – в базах Scopus и Web of Science). Общий объём публикаций составляет 10,3 п.л., авторский вклад 7,21 п.л. (70%). Из публикаций лично соискателю принадлежат: результаты численного моделирования пассивного инспекционного движения, подтверждающие определяющее влияние аргумента

широты объекта инспекции при формировании инспекционного движения на круговых орбитах, орбитах малой и большой эллиптичности на продолжительность осуществления пассивной инспекции в нецентральной поле притяжения Земли до нарушения условия допустимой деформации инспекционной траектории, алгоритм выбора начальных траекторных параметров движения МКА и начального аргумента широты объекта инспекции для реализации инспекционного движения на круговых орбитах и орбитах малой эллиптичности, обеспечивающий длительную пассивную инспекцию при движении в нецентральной поле притяжения Земли, алгоритм выбора параметров пассивного инспекционного движения на высокоэллиптических орбитах (орбита типа Молния, геопереходная орбита) с учётом возмущающего воздействия со стороны Луны, обеспечивающий длительную пассивную инспекцию при движении в нецентральной поле притяжения Земли, алгоритм выбора параметров одноимпульсной коррекции на основе понятия оскулирующих траекторий относительного движения, позволяющей поддерживать инспекционное движение в нецентральной поле притяжения Земли, методика обеспечения пребывания МКА в допустимой области пространства относительно объекта инспекции в нецентральной поле притяжения Земли на протяжении длительного интервала времени, методика поддержания номинальной инспекционной траектории на основе выбора оптимального непрерывного закона управления с использованием SDRE-технологии в условиях влияния атмосферного торможения с учётом особенностей пассивной инспекции и возможностей существующих электроракетных двигательных установок МКА.

В диссертации отсутствуют достоверные сведения об опубликованных соискателем учёной степени работах, в которых изложены основные научные результаты диссертации. Наиболее значимые работы:

1. Белоконов, И.В. Стратегия импульсного маневрирования для поддержания квазипериодического инспекционного движения наноспутника / И.В. Белоконов, Е.В. Халецкая, **М.С. Щербаков** // Космонавтика и ракетостроение. – 2022. – №2 (125). – С 112-124. (научная статья 1,6 п.л./0,9 п.л.).

2. **Щербаков, М.С.** Исследование возможности применения оскулирующих эллипсов относительного движения в задаче инспекции космических объектов / **М.С. Щербаков**, С.А. Медведев // Труды «НПЦАП» Системы и приборы управления. – 2023. – № 2 (64). – С. 42-50. (научная статья 1,12 п.л./1 п.л.).

3. Avariaskin, D.P. Studying problems on choosing stable orbits of nanosatellites to provide passive and periodic relative trajectories (Исследование проблем выбора устойчивых орбит наноспутников в задачах инспекции) / D.P Avariaskin, **M.S. Shcherbakov** // Journal of Physics: Conference Series. – 2020. – Vol. 1536. – 8 p. (научная статья 1,12 п.л./0,9 п.л.).

4. Belokonov, I.V. Choosing the Motion Initial Conditions, Ensuring the Technical Sustainability of Spacecraft Formation Flight (Выбор начальных условий движения, обеспечивающих техническую устойчивость группового полёта

космических аппаратов) / I.V. Belokonov, **M.S. Shcherbakov** // 27th Saint Petersburg International Conference on Integrated Navigation Systems, ICINS 2020. – 2020. – 4 p. (научная статья 0,5 п.л./0,3 п.л.).

5. **Shcherbakov, M.S.** Investigation and selection of a functional in the problem of synthesis of an optimal control law providing inspection motion (Исследование и выбор функционала в задаче синтеза оптимального закона управления, обеспечивающего инспекционное движения) / **M.S. Shcherbakov**, A.V. Ananov, D.P. Avariaskin // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. – 2020. – Vol. 984. – 10 p. (научная статья 1,25 п.л./1 п.л.).

6. Belokonov, I.V. Development of a Single-Axis Control Law Based on SDRE-Technology for Inspection Motion of Two Nanosatellites (Формирование одноосного закона управления на базе SDRE-технологии в задаче инспекционного движения двух наноспутников) / I.V. Belokonov, **M.S. Shcherbakov** // 28th Saint Petersburg International Conference on Integrated Navigation Systems, ICINS 2021. – 2021. – 4 p. (научная статья 0,5 п.л./0,3 п.л.).

7. Belokonov, I.V. Investigation of a Single-Axis Control Algorithm for the Inspection Motion of a Gravitationally Stabilized Nanosatellite (Исследование одноосного алгоритма управления инспекционным движением гравитационно-стабилизированного наноспутника) / I.V. Belokonov, **M.S. Shcherbakov**, D.P. Avariaskin // 29th Saint Petersburg International Conference on Integrated Navigation Systems, ICINS 2022. – 2022. – 5 p. (научная статья 0,625 п.л./0,4 п.л.).

8. Belokonov, I.V. Selection of Conditions for Ensuring Long-Term Passive Inspection in the Close Vicinity of a Spacecraft in a Highly Elliptical Orbit (Выбор условий обеспечения продолжительной пассивной инспекции в близкой окрестности космического аппарата, движущегося по высокоэллиптической орбите) / I.V. Belokonov, **M.S. Shcherbakov**, S.A. Medvedev // 30th Saint Petersburg International Conference on Integrated Navigation Systems, ICINS 2023. – 2023. – 4 p. (научная статья 0,5 п.л./0,3 п.л.).

На диссертацию и автореферат поступило 15 отзывов.

1. Федеральное государственное бюджетное учреждение высшего образования «Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева – КАИ», г. Казань, подписан профессором кафедры теплотехники и энергетического машиностроения, д.т.н., профессором Алтуниным В.А. Замечания: при моделировании инспекционного движения не учитываются зональные гармоники гравитационного поля выше второй; в левой части формулы (1) отсутствует начальный аргумент перицентра ОИ, который также будет оказывать влияние на процесс деформации инспекционной траектории при движении ОИ по высокоэллиптической орбите.

2. Федеральное государственное бюджетное учреждение высшего образования «Сибирский государственный университет науки и технологий имени академика М.Ф. Решетнева», г. Красноярск, подписан заведующим научно-производственной лабораторией «Малых космических аппаратов», к.т.н., доцентом Хановым В.Х. Замечания: в тексте автореферата не дано определение

понятию «эллипс Хилла»; при моделировании инспекционного движения на высокоэллиптических орбитах влияние атмосферы не учитывается.

3. Институт проблем точной механики и управления – обособленное структурное подразделение Федерального государственного бюджетного учреждения науки Федерального исследовательского центра «Саратовский научный центр Российской академии наук», г. Саратов, подписан главным научным сотрудником лаборатории механики, навигации и управления движением ИПТМУ РАН, д.ф.-м.н., профессором Челноковым Ю.Н., старшим научным сотрудником лаборатории механики, навигации и управления движением ИПТМУ РАН, к.т.н., доцентом Панкратовым И.А. Замечания: не совсем понятно, как вычислялась величина $\dot{\theta}_0$ (скорость изменения начального аргумента широты), входящая в уравнения (4), при выборе начальной скорости движения МКА. (При этом сам начальный аргумент широты θ_0 варьировался от 0 до 360°); не ясно, из каких соображений выбирается коэффициент K в критерии качества (9), определяющий взаимную значимость слагаемых квадратичного критерия качества? Эмпирически? Цель выбора понятна (требуется минимизировать различие векторов траекторных параметров возмущённой и номинальной инспекционных траекторий), интересен метод выбора; В табл. 1, 2 приведена разница орбитальных энергий объекта инспекции и наноспутника в конечный момент времени управляемого движения ($|\Delta E(t_k)|$). Если эта величина измеряется в $\text{м}^2/\text{с}^2$, как указано в таблицах, то это разница **удельных** орбитальных энергий.

4. Федеральное государственное бюджетное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения», г. Санкт-Петербург, подписан профессором кафедры аэрокосмических измерительно-вычислительных комплексов, д.т.н., профессором Небыловым А.В. Замечания: при учёте влияния атмосферы разность баллистических коэффициентов МКА и ОИ принимается постоянной. В реальности это переменная величина; в тексте автореферата не приведены выражения для расчёта орбитальных энергий МКА и ОИ.

5. Акционерное общество «Российская корпорация ракетно-космического приборостроения и информационных систем», г. Москва, подписан главным научным сотрудником – заместителем начальника экспертно-аналитического центра АО «Российские космические системы», д.т.н., профессором Бетановым В.В. Замечания: в автореферате положения, выносимые на защиту, сформулированы как новые научные результаты, в то время как ВАК рекомендует их представлять как основные выводы и рекомендации; в работе целесообразно было бы указать причины или возможные риски вероятного невыполнения целей инспектирования (столкновения МКА и ОИ, несрабатывания двигателя коррекции и пр.).

6. Акционерное общество «Информационные спутниковые системы» имени академика М.Ф. Решетнева», г. Железногорск, подписан начальником группы в отделе разработки баллистического и навигационного обеспечения КА

Внуковым А.А., начальником отдела разработки баллистического и навигационного обеспечения КА Ислентьевым Е.В., ученым секретарем НТС секции №1 Кульковым А.Н. Замечания: не обоснован отказ от учёта лунно-солнечных возмущений околокруговых орбит, что приводит к понижению точности функционирования разработанных алгоритмов и методов для космических аппаратов на ГСО; условие допустимой деформации инспекционной траектории (1) в главе 1 включает в себя не превышение наклона орбиты некоторого порогового значения (независимо от эксцентриситета орбиты), а представленный на рисунке 4 пример использования методики, разработанной в главе 3, для околокруговой орбиты демонстрирует использование только корректирующих импульсов в плоскости орбиты, что не в полной мере удовлетворяет условию (1); согласно таблице 1, при использовании закона управления LQR при уменьшении количества точек пересчёта закона управления N увеличиваются затраты характеристической скорости V_x и также растёт разница орбитальных энергий $|\Delta E(t_k)|$, что выглядит логичным (реже пересчёты - больше затраты). В тоже время для закона управления SDRE наблюдается обратная картина, одновременное с уменьшением количества точек пересчёта уменьшение V_x и $|\Delta E(t_k)|$, что противоречит логике - с уменьшением количества точек одновременно уменьшаются затраты.

7. Федеральное государственное бюджетное учреждение высшего образования «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)», г. Москва, подписан профессором кафедры «Информационно – управляющие комплексы летательных аппаратов» д.т.н., профессором Красильщиковым М.Н. Замечания: не рассматривается вопрос полёта МКА в окрестность объекта инспекции; в автореферате не приведены числовые значения ρ_{max} , ρ_{min} , при которых получены результаты.

8. Федеральное государственное бюджетное учреждение высшего образования «Балтийский государственный технический университет «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова», г. Санкт-Петербург, подписан профессором кафедры «Динамики и управления полётом летательных аппаратов» д.т.н., профессором Толпегиним О. А. Замечания: в работе не показано как влияет на время поддержания траектории в области допустимых значений погрешность определения начального аргумента широты; в работе имеются опечатки. Например, на с.9 в первом абзаце приводится вместо ссылки на формулы вычисления начальной скорости (формулы (4)) приводится ссылка на условие равенства орбитальных энергий ОИ и МКА (формула (3)); для примера, результаты которого приведены на рисунке 2, не указаны численные значения области (2).

9. Федеральное государственное бюджетное учреждение высшего образования «Амурский государственный университет», г. Благовещенск, подписан заместителем директора по науке и инновациям института компьютерных и инженерных наук, директором НОЦ им. К.Э. Циолковского к.ф.-м.н., доцентом Фоминым Д.В. Замечания: в тексте имеются незначительные

грамматические ошибки. Например, в предложении под таблицей 2 написано: «...при использовании одноканального закона управления...»; подписи к рисунку 4 недостаточно описывают представленные изображения. Так, на четыре иллюстрации инспекционной траектории имеется только два пояснения касающиеся формы траектории, но ничего не сказано об изменении размера.

10. Федеральное государственное бюджетное военного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Военно-космическая академия имени А.Ф. Можайского» Министерства обороны Российской Федерации г. Санкт-Петербург, подписан старшим научным сотрудником, д.ф.м.н., профессором Ерохиным В.И. Замечания: непонятно отсутствие в критерии качества управления (9) слагаемого, отвечающего за минимизацию отклонений траекторных параметров движения космического аппарата-инспектора относительно номинальной траектории; в тексте автореферата отсутствует информация о используемой модели атмосферы Земли.

11. Публичное акционерное общество «Ракетно-космическая корпорация «Энергия» имени С.П. Королёва, г. Королёв, подписан главным специалистом, д.т.н., профессором Беляевым М.Ю. Замечания: использовать термин круговая орбита при описании движения космических аппаратов в нецентральной гравитационном поле не совсем корректно; недостаточно раскрыты возможности использования различных двигателей для поддержания инспекционной траектории. В тексте автореферата упоминается наноспутник SamSat-M при этом его характеристики не приводятся.

12. Акционерное общество «Научно-производственное объединение им. С.А. Лавочкина», г. Химки, подписан заместителем начальника отдела баллистики и навигации д.т.н. Назаровым А.Е., заместителем начальника отдела баллистики и навигации к.т.н. Симоновым А.В., ведущим математиком отдела баллистики и навигации к.т.н. Гордиенко Е.С. Замечания: модель движения КА учитывает только вторую зональную гармонику гравитационного поля Земли. Считаем, что для высот полета КА от 600 км и выше для более точного анализа движения спутника следует учитывать нецентральность гравитационного поля Земли с разложением геопотенциала в ряд по сферическим функциям до 8 порядка и 8 степени включительно, учитывать влияние гравитационных полей Луны и Солнца. Считаем, что полученная таким образом инспекционная траектория может сильно измениться и будет плохо согласована с траекториями, полученными в ходе выполнения данной работы; из текста автореферата не ясно, каким образом поддерживается относительное движение МКА в трансверсальном направлении с использованием одноимпульсных коррекций; из текста автореферата не видно, в чем заключается научная новизна работы. Те пункты, что приведены под строкой с научной новизной, на самом деле являются научными результатами. Исходя из анализа текста автореферата и диссертации авторы отзыва сделали вывод о том, что научная новизна работы заключается в комплексном рассмотрении вопросов выбора номинальной инспекционной траектории МКА и поддержания инспекционного движения при

учете возмущающих факторов с целью минимизации совокупных энергозатрат; в тексте присутствуют опечатки и просторечия: стр. 3 строка 12 простонародное слово «потребных» следовало бы заменить словом «необходимых»; стр. 6 строка 4 «Профинансированного» или «финансировавшегося» вместо «финансированного»; стр. 8 строка 4 в абзаце, начинающемся со слов «Во второй главе...» «параметров» вместо «параметрАХ»; стр. 11 строка 8 соответствующЕГО вместо соответствующий; стр. 12 строка 2 во втором абзаце «наноспутникаА» вместо «наноспутникОМ».

13. Акционерное общество «ОКБ «Факел», г. Калининград, подписан ведущим специалистом к.т.н. Толстелем О.В. Замечания: в формуле (5) присутствует ограничение на область её применения, которая зависит от наклона орбиты объекта инспекции. При этом в предлагаемом алгоритме выбора начальных траекторных параметров движения МКА и начального положения объекта инспекции не говорится о том, как следует поступить в случае, если формулу (5) по причине указанных ограничений применить невозможно; на рисунке 3 имеется ряд значений начального аргумента широты объекта инспекции для которого отсутствует продолжительность времени технической устойчивости. Данная ситуация в автореферате не описана.

14. Акционерное общество «Научно-производственная корпорация «Космические системы мониторинга, информационно-управляющие и электромеханические комплексы» имени А.Г. Иосифьяна», г. Москва, подписан старшим научным сотрудником отдела 02 (СКБ) к.т.н., Ельниковым Р.В. Замечание: движение малого КА по инспекционной траектории рассматривается в рамках модели, учитывающей лишь вторую зональную гармонику разложения гравитационного потенциала Земли (наряду, возможно, с учётом торможения в атмосфере или гравитационных возмущений от Луны). Нам представляется, что работа значительно выиграла, если бы автор ввёл в модель движения, по крайней мере, зональные гармоники более высоких степеней. Несколько первых зональных гармоник могут достаточно существенно повлиять на качественную картину короткопериодических возмущений инспекционной траектории.

15. Федеральное государственное бюджетное учреждение высшего образования «Пермский государственный национальный исследовательский университет», г. Пермь, подписан директором физико-математического института д.ф.-м.н. Барулиной М.А. в автореферате отсутствует информация о том, как был проведён выбор весового коэффициента квадратичного критерия качества (9); при моделировании инспекционного движения наноспутника SamSat-M используются различные по величине корректирующие импульсы при этом не понятно, почему при $\Delta V = 0,4$ м/с происходит переход наноспутника SamSat-M на нерасчётную инспекционную траекторию.

Во всех отзывах отмечено, что указанные недостатки не снижают научную и практическую значимость работы и не влияют на общую положительную оценку диссертации. Во всех отзывах отмечено, что диссертация соответствует требованиям ВАК Минобрнауки России, предъявляемым к кандидатским

диссертациям, и сделано заключение о возможности присуждения Щербакову Михаилу Сергеевичу учёной степени кандидата технических наук по специальности 2.5.16. Динамика, баллистика, управление движением летательных аппаратов.

Выбор Ключникова Валерия Юрьевича в качестве официального оппонента по диссертации связан с тем, что он является крупным специалистом в области ракетно-космических систем, динамики и управления движением космических аппаратов, в том числе управлении группировками космических аппаратов.

Выбор Иванова Данилы Сергеевича в качестве официального оппонента по диссертации связан с тем, что он является опытным специалистом в области управления движением большими группами космических аппаратов.

Выбор ведущей организации связан с широко известными достижениями её специалистов в областях: теория движения космических аппаратов, управление движением космических аппаратов.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

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

Разработан алгоритм выбора параметров пассивного инспекционного движения в нецентральной области притяжения на круговых орбитах и орбитах малой эллиптичности, на которых атмосферным торможением можно пренебречь, отличающийся от известных алгоритмов одновременным выбором не только характеристик номинальной траектории движения МКА относительно инспектируемого объекта, но и момента времени формирования самой инспекционной траектории.

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 объекта инспекции и МКА в текущий момент времени.

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;

Разработана методика поддержания номинальной инспекционной траектории, отличающаяся от существующих выполнением условий обеспечения близости орбитальных энергий МКА и объекта инспекции в момент

окончания корректирующего манёвра и учитывающая возможности существующих электроракетных двигательных установок МКА.

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что:

Изучено влияния возмущающих факторов на деформацию инспекционной траектории при пассивном инспекционном движении на околокруговых орбитах, при выборе инспекционных траекторий на высокоэллиптических орбитах необходимо учитывать возмущающее влияние со стороны Луны, которое может как снижать допустимую продолжительность пассивного движения, так и увеличивать её.

Разработаны методики и алгоритмы поддержания инспекционного движения основаны на обеспечении выполнения фундаментального условия равенства орбитальных энергий МКА и объекта инспекции, что позволяет минимизировать топливные затраты на проведение корректирующих манёвров и увеличить продолжительность интервалов времени пассивного инспекционного движения.

Значение полученных соискателем результатов исследования для практики подтверждается тем, что:

Определено существенное влияние погрешностей в начальных параметрах движения МКА на продолжительность пассивного инспекционного движения по сравнению с другими возмущающими факторами.

Разработана методика поддержания номинальной инспекционной траектории на основе выбора оптимального непрерывного закона управления с использованием SDRE-технологии в условиях влияния атмосферного торможения с учётом особенностей пассивной инспекции и возможностей существующих электроракетных двигательных установок МКА; алгоритм выбора параметров одноимпульсной коррекции на основе понятия оскулирующих траекторий относительного движения, позволяющей поддерживать инспекционное движение в нецентральной поле притяжения Земли.

Сформулированы выводы и практические рекомендации по использованию разработанных алгоритмов и методик поддержания инспекционного движения МКА относительно объекта инспекции с учётом.

Оценка достоверности результатов исследования выявила:

теория основывается на известных классических методах механики полёта (обеспечивается корректным использованием методов механики космического полёта, математики, классических вычислительных методов, апробированных методов теории оптимального управления) и согласуется с известными результатами по исследованию инспекционного движения космических аппаратов;

полученные результаты согласуются с известными результатами исследований по поддержанию инспекционного движения.

Личный вклад соискателя состоит в:

разработке методов и алгоритмов управления для поддержания инспекционного движения малоразмерного космического аппарата относительно объекта инспекции, в написании программного кода для моделирования пассивного инспекционного движения, а также программ, описывающих его поддержания путём проведения корректирующих манёвров, в апробации результатов исследования, в подготовке основных публикаций по выполненной работе.

Все результаты, выносимые на защиту, получены автором либо лично, либо при его определяющем личном участии.

В ходе защиты диссертации не были высказаны критические замечания.

Соискатель ответил на все задаваемые в ходе защиты вопросы.

Диссертационным советом сделан вывод о том, что диссертация написана автором самостоятельно, обладает внутренним единством, содержит новые научные результаты и положения, выдвигаемые для публичной защиты. Работа содержит решение актуальной задачи выбора начальных траекторных параметров движения МКА и объекта инспекции, а также алгоритмы и методики управления для поддержания инспекционного движения с учётом возможностей электроракетных двигательных установок МКА, имеющей существенное значение для космических исследований.

На заседании 15 ноября 2024 г. диссертационный совет принял решение присудить Щербакову М. С. учёную степень кандидата технических наук за решение научной задачи, имеющей значение для развития соответствующей отрасли знаний.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 15 человек, из них 7 докторов наук по специальности рассматриваемой диссертации, участвовавших в заседании, из 17 человек, входящих в состав совета, проголосовали: за – 15, против – 0, недействительных бюллетеней – 0.

Председатель

диссертационного совета 24.2.379.03



Шахматов Евгений Владимирович

Учёный секретарь

диссертационного совета 24.2.379.03

15.11.2024

Крамлих Андрей Васильевич