

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 12 декабря 2023 года, № 20  
о присуждении Бакри Ибрагиму, гражданину Сирийской Арабской Республики,  
учёной степени кандидата технических наук.

Диссертация «Синтез законов стабилизации пространственного движения космического аппарата с малой асимметрией в атмосфере Марса», представленная на соискание учёной степени кандидата технических наук по специальности 2.5.16. Динамика, баллистика, управление движением летательных аппаратов, принята к защите 6 октября 2023 г. (протокол заседания № 12) 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 Минобрнауки России от 20 декабря 2018 г. № 365/нк с изменениями, внесёнными приказом от 07.07.2021 г. №670/нк.

Соискатель Бакри Ибрагим, 27 января 1992 года рождения, в 2019 г. окончил с отличием федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева», присвоена квалификация Магистр по направлению 25.04.02 Техническая эксплуатация авиационных электросистем и пилотажно-навигационных комплексов. В 2023 году освоил программу подготовки научно-педагогических кадров в аспирантуре Самарского университета по направлению 24.06.01 «Авиационная и ракетно-космическая техника» с присвоением квалификации «Исследователь. Преподаватель-исследователь», в настоящее время не работает.

Диссертация выполнена на кафедре динамики полёта и систем управления 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, доцент Любимов Владислав Васильевич, заведующий кафедрой высшей математики федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева» (Самарский университет), по совместительству профессор кафедры динамики полета и систем управления Самарского университета.

**Официальные оппоненты:** **Трушляков Валерий Иванович**, доктор технических наук, профессор, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Омский государственный технический университет», профессор кафедры «Авиа- и ракетостроение»; **Корянов Всеволод Владимирович**, кандидат технических наук, доцент, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет)», доцент кафедры «Динамика и управление полетом ракет и космических аппаратов», – **дали положительные отзывы** на диссертацию.

**Ведущая организация** – федеральное государственное бюджетное учреждение науки федеральный исследовательский центр «Саратовский научный центр Российской академии наук», г. Саратов, в своём **положительном заключении**, подписанном заведующим лабораторией «Анализ и синтез динамических систем в прецизионной механике», доктором физико-математических наук, главным научным сотрудником Барулиной Мариной Александровной; кандидатом физико-математических наук, старшим научным сотрудником Панкратовой Еленой Владимировной и утверждённом заместителем директора ФИЦ СНЦ РАН кандидатом экономических наук Брелем Валерием Константиновичем, указало, что диссертационная работа Бакри Ибрагима является законченной научно-исследовательской работой, выполнена на высоком научном уровне и удовлетворяет требованиям, предъявляемым к



диссертациям на соискание ученой степени кандидата наук, а её автор – Бакри Ибрагим заслуживает присуждения ему учёной степени кандидата технических наук по специальности 2.5.16. Динамика, баллистика, управление движением летательных аппаратов.

Соискатель имеет 10 опубликованных работ, в том числе по теме диссертации 10 работ; из них в рецензируемых научных изданиях опубликовано 6 работ (из них 4 статьи – в научных изданиях, рекомендованных ВАК; 2 статьи – в изданиях, цитируемых в международных базах Scopus и Web of Science). Общий объём публикаций составляет 7,3 п.л., авторский вклад 6,2 п.л. (85%). Из публикаций лично соискателю принадлежат: приближённо-оптимальный непрерывный закон управления спуском космического аппарата с асимметрией в атмосфере Марса, обеспечивающий требуемую стабилизацию КА в атмосфере Марса с учётом возмущающих влияний малых асимметрий спускаемых КА на их движение; методика оценки допустимых значений параметров малых аэродинамической и инерционной асимметрий марсианского зонда для исключения влияния главного резонанса на неуправляемое движение КА в атмосфере Марса; результаты верификации предлагаемого закона управления ориентации посредством сравнения полученных результатов с известными решениями других авторов; результаты, полученные с использованием классического метода теории оптимального управления (метода динамического программирования), подтверждаются корректным применением асимптотического метода анализа возмущённых динамических систем (метода усреднения), а также подтверждаются результатами численного моделирования. Наиболее значимые работы:

1. Любимов, В.В. Двухканальный оптимальный дискретный закон управления космического аппарата с аэродинамической и инерционной асимметрией при спуске в атмосфере Марса / В.В. Любимов, **И. Бакри** // Вестник Самарского университета. Аэрокосмическая техника, технологии и машиностроение. – 2022. – Т. 21.– № 3.– С. 36-46. (научная статья 1,37 п.л. /1,05 п.л.)

2. **Бакри, И.** Методика оценки допустимых значений параметров аэродинамической и инерционной асимметрии марсианского зонда / **И. Бакри** // Космические аппараты и технологии. – 2023. – Т. 7. – № 1. – С. 17-23. (научная статья 0,875 п.л.)

3. Lyubimov, V.V. Application of the Dynamic Programming Method to Ensure of Dual-Channel Attitude Control of an Asymmetric Spacecraft in a Rarefied Atmosphere of Mars / V.V. Lyubimov, **I. Bakry** // *Aerospace Systems*, Springer. – 2021. – Vol. 5. – С. 213–221. (научная статья 0,84 п.л. / 0,67 п.л.)

4. Lyubimov, V.V. Synthesis of Two-Channel Control to Stabilize the Rotation of a Small Asymmetric Spacecraft in the Martian Atmosphere / V.V. Lyubimov, **I. Bakry** // 30th Anniversary Saint Petersburg International Conference on Integrated Navigation Systems, ICINS 2023. (научная статья 0,78 п.л./ 0,64 п.л.)

5. Любимов, В.В. Оптимальный непрерывный закон управления космического аппарата с массово-аэродинамической асимметрией при спуске в разреженной атмосфере Марса / В.В. Любимов, **И. Бакри** // Сборник: проблемы машиноведения. Материалы VI Международной научно-технической конференции. Омск. – 2022. – С. 183-192. (научная статья 0,89 п.л. / 0,80 п.л.)

На диссертацию и автореферат поступило 6 отзывов от организаций.

1. Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Амурский государственный университет», Амурская область, г. Благовещенск, подписан директором Научно-образовательного центра им. К.Э. Циолковского, кандидатом физико-математических наук, доцентом Фоминым Д.В. Замечания: в диссертационной работе учитывается возмущающее влияние, вызванное только одним резонансом, называемым главным, влияние других резонансов на неуправляемое движение космических аппаратов относительно центра масс не рассматривается; из текста автореферата не ясно: что подразумевается под термином «малая аэродинамическая асимметрия»; обозначения в формулах (11) и (14) имеют размер, отличный от размеров символов, принятых в тексте автореферата.

2. Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Самарский государственный технический университет», г. Самара, подписан доктором технических наук, профессором Кузнецовым П.К. Замечания: не ясно: почему в работе не исследовано управление траекторией спуска космического аппарата, а рассмотрено только управление его ориентаций; малый размер шрифта несколько затрудняет чтение автореферата.

3. Акционерное общество «Ракетно-космический центр «Прогресс», г. Самара, подписан заместителем генерального конструктора по научной работе, кандидатом технических наук Борисовым М. А. Замечания: из



автореферата не ясно, почему для построения оптимального управления использовался метод Беллмана, а не другие известные методы оптимального управления, например, метод Понтрягина; в автореферате не сказано о присутствии или отсутствии в работе сравнения численных результатов, полученных при различных моделях аэродинамики КА; из материалов автореферата не ясно каким образом результаты диссертационной работы можно использовать для других планет Солнечной системы (в частности, для планеты Земля).

4. Федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Самарский федеральный исследовательский центр Российской академии наук», г. Самара, подписан заместителем директора по научной работе, кандидатом технических наук Соколовым В.О. Замечание: затруднено понимание взаимосвязи между движениями центра масс и относительно центра масс КА из-за отсутствия подробного описания применяемой системы уравнений движения центра масс КА.

5. Акционерное общество «Российская корпорация ракетно-космического приборостроения и информационных систем», подписан заместителем генерального директора по науке Кругловым А.В., главным научным сотрудником-заместителем экспертно-аналитического центра, заслуженным деятелем науки РФ, доктором технических наук, профессором Бетановым В.В. Рекомендация: так, например, известно, что важная особенность динамического программирования состоит в том, что оно ориентировано прежде всего на дискретные процессы, применительно к которым наиболее полно проявляются его преимущества. Для непрерывных процессов динамическое программирование менее эффективно, чем принцип максимума. В этой связи были бы важны дополнительные обоснования применения для получения непрерывных оптимальных законов управления метода динамического программирования, а не использование аппарата принципа максимума.

6. Акционерное общество «Государственный ракетный центр имени академика В.П. Макеева», подписан заместителем генерального конструктора по проектированию изделий и комплексов Голуновым М.С. и начальником отдела баллистики, к.т.н. Степановым В.В. Замечания: не приведено обоснование выбора метода Беллмана для построения оптимального управления на участке спуска, среди других методов, авторы которых указаны в автореферате; не

приведено обоснование не учёта влияния изменения массы и геометрической формы КА в процессе спуска в атмосфере Марса; в уравнении (1) отсутствует сила, создаваемая реактивными двигателями системы стабилизации; не приведены соотношения (значения) для коэффициента  $K_{2a}$ , входящего в выражение (11), и не показано его влияние на процесс стабилизации по пространственному углу атаки; в автореферате не дано заключение по возможности использования полученных законов управления при спуске в атмосферах других планет Солнечной системы (например, Земли).

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 Бакри Ибрагиму учёной степени кандидата технических наук по специальности 2.5.16. Динамика, баллистика, управление движением летательных аппаратов.

Выбор Трушлякова Валерия Ивановича в качестве официального оппонента по диссертации связан с тем, что он является одним из самых видных исследователей в области динамики полёта и систем управления, а также является опытным специалистом в области обеспечения надежности ракетно-космической техники, проектирования и производства летательных аппаратов.

Выбор Корянова Всеволода Владимировича в качестве официального оппонента по диссертации связан с тем, что он является крупным специалистом в области моделирования баллистики и динамики движения космических аппаратов, в том числе, спускаемых космических аппаратов.

Выбор ведущей организации связан с широко известными достижениями её специалистов по управлению движением космических аппаратов, динамике движения летательных аппаратов, автоматическому и оптимальному управлению движением космических аппаратов и космических систем со сложной конфигурацией.

**Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:**

**разработаны** непрерывные оптимальные законы управления угловой скоростью и пространственным углом атаки, обеспечивающие стабилизацию КА



относительно вектора скорости в атмосфере Марса с учетом малых возмущений от аэродинамической и массой асимметрий, и демпфирования;

**определены** дискретные аналоги непрерывных оптимальных законов управления, позволяющие численно оценить влияние дискретного характера работы двигателей на процесс стабилизации КА;

**разработана методика** оценки области допустимых значений параметров аэродинамической и инерционной асимметрий спускаемых КА. Показано, что применение этой методики позволяет исключить влияние главного резонанса на неуправляемое движение КА в атмосфере Марса;

**верифицированы** результаты численного моделирования управляемого движения по приближенным усреднённым уравнениям движения посредством их сравнения с результатами, полученными по исходным уравнениям движения КА в атмосфере Марса, с точки зрения решения целевой задачи обеспечения стабилизации углового движения КА.

**Теоретическая значимость исследования** обоснована тем, что:

**разработаны** непрерывные приближённо оптимальные законы управления, обеспечивающие стабилизацию относительно вектора скорости КА с малой асимметрией в атмосфере Марса и учитывающие аэродинамическое демпфирование. Показано, что предлагаемые законы могут быть использованы для стабилизации движения КА относительно вектора скорости в верхних слоях атмосферы Марса при его движении по почти круговой орбите;

**разработана** методика совместного применения принципа Беллмана и метода усреднения для определения приближенно оптимального закона управления КА относительно центра масс с учетом влияний малой асимметрии.

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

**разработаны** приближенно оптимальные законы управления угловым движением КА, которые могут быть использованы при проектировании систем управления КА с малой асимметрией при спуске в атмосфере Марса;

**разработана** методика оценки допустимых значений асимметрий, позволяющая избежать влияния главного резонанса на движение КА вокруг центра масс в атмосфере Марса;

**сформулированы** выводы и практические рекомендации по использованию полученных результатов для определения приближенно

оптимальных законов стабилизации углового движения КА с учётом влияния малых асимметрий и малого аэродинамического демпфирования.

**разработано** программно-математическое обеспечение для численного моделирования управляемого движением КА при спуске в атмосфере Марса, реализующее предлагаемые законы управления;

**Оценка достоверности результатов исследования выявила:**

**Для экспериментальных работ**, связанных с применением численных методов, подтверждена эффективность предложенных алгоритмов управления с использованием исходных моделей движения КА в атмосфере Марса;

**теория** построена на известных классических методах: оптимального управления (метод динамического программирования), асимптотического анализа (метод усреднения), теоретической механики и высшей математики;

**полученные результаты** не противоречат и согласуются с известными результатами по исследованию динамики спуска КА с малой асимметрией в атмосфере.

**Личный вклад соискателя состоит в:** синтезе оптимальных законов управления ориентацией КА с учетом малых асимметрий, разработке методики оценки допустимых значений асимметрий при неуправляемом спуске КА в атмосфере, разработке программно-математического обеспечения для решения численных задач, в проведении численных расчётов по теме диссертации, в анализе результатов моделирования, в обработке и интерпретации результатов численных моделирований, 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 было высказано критических замечаний.

Соискатель ответил на все задаваемые ему 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 управления движением космического аппарата относительно центра масс с учетом влияния малой асимметрии, имеющей существенное значение для обеспечения безаварийного спуска космических аппаратов в атмосфере Марса.



На заседании 12 декабря 2023 г. диссертационный совет принял решение присудить Бакри Ибрагиму 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 8 докторов наук по специальности рассматриваемой диссертации, участвовавших в заседании, из 20 человек, входящих в состав совета, проголосовали: за – 15, против – 0, недействительных бюллетеней – 0.

Заместитель председателя  
диссертационного совета 24.2.379.03

Комаров Валерий Андреевич

Учёный секретарь  
диссертационного совета 24.2.379.03

12.12.2023



Крамлих Андрей Васильевич