

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА Д 212.125.12,
созданного на базе Федерального государственного бюджетного образовательного
учреждения высшего профессионального образования

«Московский авиационный институт

(национальный исследовательский университет)»

Министерства образования и науки Российской Федерации (ФГБОУ ВПО МАИ)

на соискание ученой степени кандидата наук

Аттестационное дело № _____

Решение диссертационного совета от «18» июня 2015 г. № 6

о присуждении **Нгуену Нгоку Диену**, гражданину Социалистической Республики
Вьетнам, ученой степени кандидата технических наук.

Диссертация «Проектирование траекторий межпланетных перелетов КА с
электроракетной двигательной установкой с учетом нештатного временного
выключения двигателя» в виде рукописи по специальности 05.07.09 – «Динамика,
баллистика, управление движением летательных аппаратов» принята к защите 16
апреля 2015 года, протокол №3 диссертационным советом Д 212.125.12,
созданного на базе Федерального государственного бюджетного образовательного
учреждения высшего профессионального образования «Московский авиационный
институт (национальный исследовательский университет)» (ФГБОУ ВПО МАИ),
125993, Российская Федерация, А-80, ГСП-3, Волоколамское шоссе, д.4,
утвержденного приказом Минобрнауки России №105/нк от 11 апреля 2012 г.

Соискатель – Нгуен Нгок Диен, 1986 года рождения.

В 2011 году **соискатель окончил** с отличием «Московский государственный
технический университет имени Н.Э. Баумана» по специальности «Динамика
полета и управление движением летательных аппаратов». **Основное место работы
в период подготовки и на момент защиты диссертации:** в период с 06.2012 по
06.2015 аспирант кафедры 601 «Космические системы и ракетостроение» МАИ.

Диссертация **выполнена** в Федеральном государственном бюджетном
образовательном учреждении высшего профессионального образования
«Московский авиационный институт (национальный исследовательский
университет)» Министерства образования и науки РФ на кафедре «Космические
системы и ракетостроение» (каф. 601).

Научный руководитель – доктор технических наук, профессор

Константинов Михаил Сергеевич, профессор кафедры 601 «Космические системы и ракетостроение» МАИ.

Официальные оппоненты:

- 1) **Ивашкин Вячеслав Васильевич**, доктор физико-математических наук, профессор, академик Российской Академии космонавтики имени К.Э. Циолковского, почётный профессор Харбинского политехнического института, главный научный сотрудник института прикладной математики имени М.В. Келдыша РАН;
- 2) **Синицын Алексей Андреевич**, кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник ГНЦ ФГУП «Исследовательский центр им. М.В. Келдыша»

дали положительные отзывы о диссертации.

Ведущая организация:

Федеральное государственное унитарное предприятие «Научно-производственное объединение имени С.А. Лавочкина» (ФГУП «НПО им. С.А. Лавочкина»), 141400, г. Химки, Московская область, ул. Ленинградская, д. 24.

дала положительное заключение (заключение подписано заместителем генерального конструктора по науке, д.т.н., профессором Пичхадзе К.М., заместителем начальника центра, д.т.н. Назаровым А.Е., заместителем начальника отдела, к.т.н. Симоновым А.В.; утверждено и.о. генерального директора ФГУП НПО им. Лавочкина, д.т.н., профессором В.В.Хартовым).

Соискатель имеет 7 опубликованных работ, в том числе 4 статьи в научных журналах и изданиях, которые включены в перечень российских рецензируемых научных журналов и изданий для опубликования основных научных результатов диссертаций. Соискателем опубликовано 3 работы в материалах всероссийских и международных конференций и симпозиумов.

Наиболее значимые научные работы по теме диссертации:

- 1) Нгуен, Н.Д. Анализ баллистических возможностей парирования возмущений, связанных с временным нештатным выключением ЭРДУ / М.С. Константинов, Д.Н. Нгуен // Вестник ФГУП «НПО им. С.А. Лавочкина». — 2015. — № 2. — Режим доступа: <http://vestnik.laspac.ru/archives/02-2015/>;
- 2) Нгуен, Н.Д. Оптимизация межпланетной траектории с учетом возможности парирования возмущений, связанных с временным нештатным выключе-

нием двигателя / М.С. Константинов, Д.Н. Нгуен // Электронный журнал «Перспективы науки». — 2014. — № 12. — С. 101-108. — Режим доступа: [http://moofrnk.com/assets/files/journals/science-prospects/63/science-prospect-12\(63\)-content.pdf](http://moofrnk.com/assets/files/journals/science-prospects/63/science-prospect-12(63)-content.pdf);

3) Нгуен, Н.Д. Оптимизация траектории полета к Юпитеру с учетом возможного временного выключения двигателя тел / М.С. Константинов, Д.Н. Нгуен // Электронный журнал «Труды МАИ». — 2015. — № 79. — Режим доступа: <http://www.mai.ru/publications/index.php?ID=55799>.

На диссертацию и автореферат поступили отзывы:

1. Федеральное государственное унитарное предприятие «Научно-производственное объединение имени С.А. Лавочкина» (ФГУП «НПО им. С.А. Лавочкина») (ведущая организация). **Отзыв положительный.**

Замечания по диссертации:

1. Разработанный в диссертации подход к оптимизации траектории межпланетного перелета с учетом нештатного выключения двигателя предполагает фиксированность характеристик траектории КА после гравитационного маневра у Земли. В общем случае требования к необходимости парирования траекторных возмущений можно «смягчить», если допустить вариацию параметров движения КА после гравитационного маневра у Земли, или, например, добавить возможность коррекции траектории в ходе дальнейшего полёта.

2. Разработанная методика предполагает очень трудоемкое исследование, в ходе которого должно быть решено очень большое число краевых задач. Целесообразно довести такое исследование до инженерной методики, свободной от этой трудоемкой процедуры.

3. Рассмотренное в работе временное нештатное выключение двигателя является только одним из факторов, приводящих к отклонениям траектории. Также значительное влияние на траекторию оказывают отклонения в процессе полёта значений тяги ЭРДУ по модулю и направлению.

4. Не рассмотрен вопрос задания и отработки программы управления вектором тяги в бортовом комплексе управления КА и требования по точности к этой программе, а также не оценены допустимые отклонения формируемой траектории от номинальной.

2. Ивашкин Вячеслав Васильевич (официальный оппонент). **Отзыв**

положительный.

В качестве недостатков работы можно отметить следующие:

- 1) В диссертации автор недостаточно полно объяснил сделанное сведение задачи оптимизации всей траектории КА от старта до конечной точки к задаче оптимизации первых трех участков полета (п. 3.1). Автор, к тому же, совсем не обсуждает возможность варьирования характеристик всей траектории, в частности, варьирования времени гравитационного маневра у Земли, для парирования возмущений от временного выключения ЭРДУ.
- 2) В диссертации нет вывода условий оптимальности траектории, они взяты без вывода из ранее опубликованной статьи (п. 3.2).
- 3) Недостаточно полно пояснены условия, для которых получены номинальные характеристики первого проекта, исследованного автором – полета к Венере для последующего формирования орбит полета к Солнцу. Аналогично, автор неполно пояснил условия, для которых получены номинальные характеристики второго исследованного проекта – полета к Юпитеру. И довольно схематично описаны эти проекты.
- 4) Есть ряд редакционных замечаний, в частности:
 - а) отмеченный в автореферате как материал второй главы в диссертации дан в третьей главе «Формулировка задачи проектирования...». А данный в автореферате как материал третьей главы в диссертации приведен во второй главе «Используемые численные методы».
 - б) Не пояснен в диссертации и автореферате второй параметр гравитационного маневра, определяющий плоскость облета планеты (стр. 19 Дис.).

3. Сеницын Алексей Андреевич (официальный оппонент). Отзыв положительный.

Недостатки диссертационной работы:

- 1) В диссертационной работе отсутствует обзор научно технической литературы по направлению исследований.
- 2) Постановка задачи поиска траектории межпланетного перелета по схеме Земля-Земля-планета назначения с учетом возможного нештатного отключения ЭРДУ не включает возможности оптимизации даты проведения гравитационного маневра у Земли и работы ЭРДУ после этого гравитационного маневра.

3) Недостаточно точно описаны принципиальные характеристики систем КА - ЭРДУ и источника питания. Приводятся количество и марка двигателя, однако, из работы неясны режимы работы ЭРДУ.

4) В описании краевых условий выражения для конечных многообразий, составляющих изначальную постановку краевой задачи до применения принципа максимума, не приводятся. Вместо этого представлены конечные выражения, полученные с использованием условий трансверсальности принципа максимума Понтрягина. Учитывая различные возможности записи условий трансверсальности, вывод используемых краевых условий заслуживает большего внимания в изложении положений диссертационной работы.

5) В диссертационной работе встречаются опечатки и остатки от черновика (смотри, например, в перечне литературы [36, 37]). Имеется список сокращений и обозначений, что очень удобно, однако, он неполный.

4. ОАО «Корпорация «ВНИИЭМ».

Отзыв подписан доктором технических наук, профессором, главным научным сотрудником ОАО «Корпорация «ВНИИЭМ» Ходненко В. П. Отзыв заверен ученым секретарем ОАО «Корпорация «ВНИИЭМ» Пинчуком А. В. **Отзыв положительный.**

Работа не лишена недостатков:

- 1) Не рассмотрена возможность многократного (по крайней мере, двукратного) нештатного отключения ЭРДУ на траектории перелета;
- 2) Не представлены примеры перелета к другим небесным телам Солнечной системы при учете возможного нештатного отключения ЭРДУ.

5. ФГБУН Института космических исследований Российской академии наук (ФГБУН ИКИ РАН).

Отзыв подписан кандидатом технических наук, ведущим научным сотрудником ИКИ РАН Эйсмонт Н. А. Отзыв утвержден ученым секретарем ИКИ РАН Захаровом А. В. **Отзыв положительный.**

Замечание в отзыве на автореферат диссертации, поступившем из **ФГБУН ИКИ РАН**: Математические модели движения межпланетного КА базируются на методе грависфер нулевой протяженности. Такой подход в проектировании космических миссий является общепринятым, но требует в каждом конкретном случае дополнительных оценок возникающих при этом погрешностей. Возникает вопрос:

насколько трудно и возможно ли усложнить математические модели, описывающие движение КА, до моделей, использующих решение задачи трех тел.

6. ГНЦ ФГУП «Центр Келдыша».

Отзыв подписан начальником сектора ГНЦ ФГУП «Центр Келдыша», к.т.н. Гафаровым А.А., ведущим инженером ГНЦ ФГУП «Центр Келдыша» Кувшиновой Е.Ю., инженером 2 категории ГНЦ ФГУП «Центр Келдыша» Музыченко Е.И. и заверен ученым секретарем ГНЦ ФГУП «Центр Келдыша», к.в.н. Смирновом Ю.Л., **отзыв положительный.**

Следует отметить недостатки автореферата:

- 1) В рассмотренных перелетах к Венере и Юпитеру не приведены в явном виде параметры энергоустановки и режимы работы двигателя RIT-22.
- 2) В описании методики расчета траектории перелета с участком нештатного отключения двигателей отсутствует математическая формулировка граничных условий в момент времени после окончания участка нештатного отключения двигательной установки.
- 3) Для начального вектора сопряженных переменных не приведен нормирующий множитель.

7. ФГУП «Научно-исследовательский институт машиностроения» (ФГУП ЦНИИмаш).

Отзыв подписан главным специалистом ФГУП ЦНИИмаш Климовом С.С., начальником отдела ФГУП ЦНИИмаш, к.т.н. Мухамеджановым М.Ж. и заверен главным ученым секретарем ФГУП ЦНИИмаш, д.т.н., профессором Смагиным Ю.Н., **отзыв положительный.**

К автореферату можно высказать следующие замечания:

- 1) В тексте автореферата (стр. 5) указано, что предложенный автором подход к проектированию траекторий основывается на введении дополнительных пассивных участков, а также на выборе величины гиперболического избытка скорости при старте от Земли и даты старта. В остальном тексте автореферата, включая примеры расчетов, идет речь только о дополнительных пассивных участках.
- 2) Система уравнений оптимального движения КА с ЭРДУ, приведенная в автореферате, справедлива для случая постоянных, не меняющихся на траектории параметров двигателей. Поддержание постоянного уровня мощности двигателей в

случае солнечной электроракетной ДУ может быть реализовано путем принятия тех или иных технических решений в части системы электропитания и/или введением траекторных ограничений. Соответствующих пояснений на этот счет в автореферате не приведено.

8. САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ.

Отзыв подписан кандидатом физико-математических наук, доцентом кафедры небесной механики математико-механического факультета Санкт-Петербургского государственного университета, Поляховой Еленой Николаевной. **Отзыв положительный.**

Однако по автореферату можно сделать ряд замечаний редакционного свойства:

1. Например, на стр. 16 написано "на систему гелиоцентрических орбит с относительно низким перигелием". Низкий перигелий - это сколько в астрономических единицах? Это внутри орбиты Меркурия или нет? Ведь ближе одной десятой астрономической единицы к Солнцу все равно не подойти - приборы выйдут из строя.

2. Нет указаний на дальнейшую стратегию развития траектории после сближения с Юпитером. Поскольку посадка на Юпитер невозможна, то всегда имеются альтернативы, всегда требующие, однако, гравитационного маневра вблизи планеты и его спутников:

а) Полет к Солнцу длительностью около трех лет, разворот плоскости гелиоцентрической орбиты на 90 градусов к плоскости эклиптики, что представляет научный интерес для исследования областей в области полюсов Солнца. Цикличность оптимальных по энергетическим затратам полетов к Солнцу с использованием гравитационного поля Юпитера соответствует цикличности оптимальных полетов к Юпитеру, равной 12 годам – периоду великих противостояний Земли и Юпитера.

б) Облет и исследование спутников Юпитера для сбора научной информации.

в) Выход на долговременную орбиту пребывания около спутника Юпитера, возможно и с последующей посадкой на этот спутник или сброс зонда на него.

г) Дальнейший перелет к планетам-гигантам. Последний вариант предполагает учет редких окон времен и сроков для возможности осуществления таких пролетных схем. Действительно, двухпланетная схема полета Земля-Юпитер-Сатурн вполне реализуема при скоростях, близких к минимальной скорости

достижения Юпитера. Суммарный синодический период благоприятных окон достигает 20-ти лет. В каждый такой благоприятный период имеются несколько окон старта с Земли длительностью по месяцу каждый, повторяющиеся с интервалом немного большим одного года. Поскольку предыдущий период оптимальных условий старта перелета Земля-Юпитер-Сатурн состоялся в 1997-1999 годах, то получается, что приведенная в автореферате дата старта 18.05.2018 как раз отстоит от предыдущей именно на 20 лет и оказывается весьма перспективной для дальнейшего перелета к Сатурну. Если же планировать перелет по маршруту Земля-Юпитер-Уран, то следует иметь в виду, что последний благоприятный период приходился на 2006-2008 годах, а следующий наступит через 14 лет, т. е. приблизительно около 2020 г. Эту возможность тоже можно обсуждать. Итак, соответственно, возникает вопрос: какую дальнейшую стратегию пролетных межпланетных возможностей позволяет реализовать дата старта к Юпитеру 18.05.2018, указанная в автореферате на стр. 20 в верхней строке таблицы?

9. ГКНПЦ ИМ. М.В. ХРУНИЧЕВА.

Отзыв подписан главным специалистом КБ «Салют» ГКНПЦ им. М.В. Хруничева, к.т.н. Юрьевым В.Ю. и заверен ученым секретарем ГКНПЦ им. М.В. Хруничева, д.т.н., профессором Цуриковым Ю.А. **Отзыв положительный.**

В качестве замечаний к автореферату можно отметить следующее:

1. В автореферате не представлены полученные в результате анализа программы угла тангажа и угла рыскания для обоих рассмотренных в диссертации проектов (5-ая и 6-ая главы).
2. Не представлены ряд значимых траекторных характеристик, в частности, изолинии требуемой массы топлива при нештатном временном выключении двигателя для всех активных участков для полученных в результате проектирования траекторий.

10.. ЦЕНТРАЛЬНЫЙ АЭРОГИДРОДИНАМИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ ИМ. ПРОФЕССОРА Н. Е. ЖУКОВСКОГО.

Отзыв подписан ведущим научным сотрудником НИО-15 ФГУП «ЦАГИ», к.т.н. Яновой О.В. и заверен ученым секретарем диссертационного совета № Д403.004.01 при ФГУП «ЦАГИ», д.т.н., профессором Чижовым В.М. , **отзыв положительный.**

В качестве недостатков можно отметить, что, судя по автореферату, в диссертационной работе:

- не оцениваются ошибки реализации вектора тяги ЭРДУ на активных участках траектории;
- анализируется возможность только одноразового временного нештатного выключения двигателя.

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается тем, что официальные оппоненты являются высокопрофессиональными специалистами в данной области, а ведущая организация проводит исследования в области «Автоматические космические системы для межпланетных перелетов и изучения дальнего космоса».

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

разработана математическая модель для расчета и оптимизации межпланетных траекторий КА с электроракетной двигательной установкой (ЭРДУ) на основе разработанных математических моделей и численных методов;

предложены новые подходы к проектированию межпланетной траектории КА с ЭРДУ, учитывающий необходимость парирования возмущений, связанных с нештатным временным выключением двигателя;

доказана применимость разработанных методов и алгоритмов для проектирования межпланетных траекторий с ЭРДУ;

новые понятия не вводились.

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что:

предложена новая постановка задачи проектирования траектории межпланетного перелета КА с электроракетной двигательной установкой, учитывающая необходимость парирования возмущений, связанных с возможным нештатным выключением двигателя, что вносит существенный вклад в развитие теории механики межпланетного полета с этим типом двигательной установки;

применительно к проблематике диссертации результативно (эффективно, то есть с получением результатов, обладающих новизной) **использованы методы** оптимизации межпланетных траекторий КА;

предложены этапы оптимизации межпланетных траекторий КА и идеи корректировки номинальной траектории гелиоцентрического перелета КА;

раскрыты особенности каждой номинальной траектории и необходимость модернизации номинальной траектории;

изучены степени влияния различных характеристик вводимых дополнительных пассивных участков на допустимую продолжительность нештатного временного выключения двигателя.

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

разработан комплекс программно-математического обеспечения для оптимизации межпланетных траекторий, оснащенных ЭРДУ, при использовании гравитационного маневра у Земли;

определены направления практического использования результатов исследований, в частности, – для проектирования новых номинальных траекторий проектов межпланетных перелетов с ЭРДУ;

создан новый метод проектирования межпланетных перелетов КА;

представлены рекомендации о необходимости учета возможности нештатного временного выключения двигателя при реализации полета с ЭРДУ.

Оценка достоверности результатов исследования выявила:

теория построена на апробированных численных методах для решения систем дифференциальных уравнений, методах решения краевой задачи и методах оптимизации траектории;

идея работы базируется на анализе возможности парирования возмущений, связанных с нештатным временным выключением двигателя;

использованы сравнения авторских результатов численного расчета номинальной траектории с результатами других авторов некоторых проектов.

использован полный набор необходимых условий оптимальности принципа максимума.

Личный вклад соискателя состоит в:

разработке метода проектирования межпланетной траектории КА с ЭРДУ, при реализации которой допускается достаточно большая продолжительность нештатного временного выключения двигателя.

На заседание 18 июня 2015 г. диссертационный совет принял решение присудить Нгуену Нгоку Диену учёную степень кандидата технических наук.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 21 человек, из них 9 докторов наук по специальности 05.07.09 «Динамика, баллистика, управление движением летательных аппаратов», участвовавших в заседании, из 27 человек, входящих в состав совета, проголосовали: за присуждение учёной степени: 21, против присуждения учёной степени: 0, недействительных бюллетеней: 0.

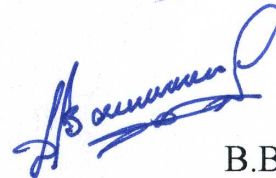
Председатель

диссертационного совета Д 212.125.12

 В.В.Малышев

Учёный секретарь

диссертационного совета Д 212.125.12

 В.В. Дарнопых

«18» июня 2015 года

