

ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА

заведующего 43 кафедрой «Компьютерных технологий и программной инженерии» федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения»

доктора технических наук, профессора Охтилева Михаила Юрьевича,
на диссертационную работу

Русских Антона Сергеевича на тему «Методика проектирования межорбитального транспортного аппарата с электроракетной двигательной установкой для комбинированных схем выведения на геостационарную орбиту», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.5.13. Проектирование, конструкция, производство, испытания и эксплуатация летательных аппаратов

I. Актуальность темы работы

В настоящее время масса космических аппаратов (КА), запускаемых на геостационарную орбиту (ГСО), постоянно увеличивается. При этом средства выведения, такие как ракеты-носители и разгонные блоки, используют в своем составе термохимические двигатели большой тяги, модернизация которых не приводит к существенному увеличению их энергетической эффективности.

Одним из решений увеличения массы выводимой полезной нагрузки на высокие орбиты, в том числе на ГСО, может быть использование более эффективных электрореактивных двигателей на конечном этапе выведения после формирования ракетой-носителем или разгонным блоком некоторой промежуточной орбиты. Комбинация двигателей большой и малой тяги позволяет использовать достоинства перелетов как с двигателями большой тяги (короткое время перелета), так и с двигателями малой тяги (большая масса полезной нагрузки (ПН)). Успешный опыт использования таких комбинированных схем выведения есть и в России, и за рубежом, но в основном он получен за счет установки дополнительной электрореактивной установки на борту самого КА, что уменьшает возможное количество целевой аппаратуры КА и срок его активного существования.

В представленной диссертационной работе предлагается для выведения на ГСО использовать в составе космической транспортной системы (КТС) дополнительное средство выведения – МТА, оснащенного ЭРДУ. Такое решение позволяет создать достаточно универсальное по отношению к ПН средство выведения и снять с разработчиков КА задачу размещения ЭРДУ на борту КА. Также следует отметить, что при проектировании МТА целесообразно учесть возможность его многоразового использования, так как бортовая аппаратура и агрегаты МТА имеют большой срок службы.

Для обеспечения максимальной массы выведения полезной нагрузки МТА должен быть спроектирован с оптимальными проектными параметрами. Основная проблема проектирования МТА с параметрами заключается в том, что его схемное решение и проектные параметры определяются баллистической схемой выведения, и наоборот, параметры МТА влияют на баллистические параметры и траектории перелёта. Поэтому оптимизация проектных параметров МТА и баллистических параметров и траекторий выведения должна выполняться совместно.

Полученные проектные параметры реализовать в конструкции МТА с учетом геометрических ограничений, накладываемых другими составными частями КТС. Наиболее эффективно увязать между собой конструкцию составных частей космической транспортной системы, включающей МТА с ЭРДУ, позволяет применение систем автоматизированного проектирования (САПР).

Таким образом, разработка методики проектирования многоцветного МТА с ЭРДУ для выведения ПН на ГСО, включающей определение оптимальных проектных параметров и формирование проектного облика МТА, является **актуальной задачей** для повышения эффективности межорбитальных транспортных операций и имеет **важное значение** и ярко выраженную **практическую направленность**.

II. Научная новизна и основные результаты исследований

К основным **научным результатам**, определяющим новизну и значимость представленной диссертационной работы и вынесенным автором на защиту, следует отнести следующие:

1. Методика проектирования нового типа средств выведения – многоцветного межорбитального транспортного аппарата с электроракетной двигательной установкой.

2. Методика структурно-параметрического синтеза многоцветного межорбитального транспортного аппарата с электроракетной двигательной установкой.

3. Технология формирования проектного облика многоцветного межорбитального транспортного аппарата путём создания его электронной модели в системе автоматизированного проектирования.

Научная новизна работы и ее результатов состоят в следующем:

– впервые разработана методика проектирования нового типа средств выведения – многоцветного межорбитального транспортного аппарата с электроракетной двигательной установкой, включающая алгоритмы оптимизации баллистических параметров комбинированных схем выведения, выбора оптимальных проектных параметров и синтеза проектного облика межорбитального транспортного аппарата, основанная на методах многокритериальной оптимизации;

– разработана методика структурно-параметрического синтеза межорбитального транспортного аппарата с электроракетной двигательной установкой, отличающаяся учетом возможности многоразового применения и геометрических ограничений, накладываемые другими составными частями космической транспортной системы;

– разработана новая технология формирования проектного облика межорбитального транспортного аппарата путём создания его электронной модели в системе автоматизированного проектирования и отличающаяся тем, что уже на стадии разработки управляющей геометрии осуществляется распараллеливание работ конструкторских подразделений различного профиля, а также выделение зон конструкции отдельных элементов изделия.

Следует отметить, что несомненным достоинством работы является ее целостность и комплексность – предложенные автором методики и технологии взаимосвязаны и представляют собой единый комплекс.

III. Теоретическая и практическая значимость результатов исследования

Теоретическая значимость результатов исследования заключается в применении методов расчета перелетов с большой и малой тягой, выбора оптимальных баллистических параметров перелета и проектных параметров МТА, сформулированы цели, задачи, требования и ограничения проектных параметров, в рамках которых осуществляется проектирование МТА с ЭРДУ для выведения МТА на ГСО.

Практическая значимость результатов исследования заключается в разработке конструктивно-компоновочной схемы МТА с ЭРДУ, предполагающая в которой реализована частичная многоразовость МТА за счет разделения МТА на два отсека: в многоразовом приборно-агрегатном размещаются дорогостоящие агрегаты и аппаратура, а одноразовый (сменный) топливный отсек служит лишь для хранения рабочего тела ЭРДУ.

Предложенная технология формирования проектного облика позволяет создать трехмерную электронную модель МТА с ЭРДУ, в которой заложены требуемые проектные параметры, с учетом геометрических ограничений, накладываемых другими составными частями КТС.

Полученные численные результаты говорят о возможности значительного увеличения массы выводимой полезной нагрузки по сравнению с традиционной схемой выведения ПН на ГСО разгонным блоком.

Решаемая автором диссертационного исследования задача разработки методики проектирования МТА с ЭРДУ, имеет существенное значение для космической отрасли.

IV. Достоверность и обоснованность основных результатов исследований

Достоверность и обоснованность полученных научных результатов подтверждается:

- всесторонним анализом известных публикаций и результатов международных и отечественных исследований по рассматриваемой проблематике, существующих теоретических и практических подходов к проектированию в системах автоматизированного проектирования;

- обоснованным выбором и корректностью использования современного математического аппарата методов современной баллистики, математического моделирования, системного анализа и поддержки принятия решений;

- методологически обоснованным применением системного подхода к выбору оптимальных проектно-баллистических параметров перелёта с КА с ЭРДУ, известных методик расчета перелетов с малой тягой, использованием апробированных численных методов параметрического синтеза, методов решения многокритериальных задач оптимизации, метода нисходящего проектирования для разработки алгоритма формирования проектного облика МТА;

- согласованностью теоретических выводов с результатами экспериментальной проверки предложенных методик и технологии и обоснованностью принятых при математическом моделировании объекта исследований допущений.

V. Апробация и публикации

По теме диссертации опубликовано 8 научных работ. Среди них:

- 2 статьи в научных изданиях, рекомендованных ВАК при Минобрнауки России;

- 1 статья в международном журнале, индексируемом в реферативной базе данных Scopus;

- 5 работ опубликованы в прочих изданиях и в материалах и трудах конференций всероссийского уровня.

Положения, выносимые на защиту, прошли обсуждение на научно-практических конференциях различного статуса и характера, а именно:

- VI Российско-германская конференция по электроракетным двигателям и их применению «Электрические ракетные двигатели, новые задачи» (г. Самара, 2016 г.);

- V Всероссийская научно-техническая конференция с международным участием «Актуальные проблемы ракетно-космической техники» («V Козловские чтения») (г. Самара, 2017 г.);

- XXI Научно-техническая конференция молодых ученых и специалистов (г. Королёв, 2017 г.);

– VI Всероссийская научно-техническая конференция с международным участием «Актуальные проблемы ракетно-космической техники» («VI Козловские чтения») (г. Самара, 2019 г.);

– XLIV Академические чтения по космонавтике (г. Москва, 2020 г.).

Таким образом, основные результаты исследований с **достаточной полнотой и точностью опубликованы** в научных работах автора, в том числе в рецензируемых журналах и изданиях.

В совместных публикациях вклад соискателя является определяющим. Достижения других авторов использованы корректно с указанием ссылок на конкретные публикации.

VI. Реализация результатов диссертации.

Основные результаты диссертационных исследований реализованы:

– в ПАО «РКК «Энергия» – при разработке космических аппаратов с комбинированной двигательной установкой;

– в ФГАОУ ВО «Самарский национальный исследовательский университет им. академика С.П. Королева» на кафедре космического машиностроения в качестве одного из разделов учебной дисциплины «Проектирование КА с ЭРД на основе современных информационных технологий», что позволило повысить уровень теоретических знаний и практических навыков обучающихся.

VII. Недостатки диссертационной работы

Следует отметить следующие недостатки диссертационной работы:

1. В работе следовало бы провести уточнение расчетов с учетом полученных по электронной модели масс компонентов МТА.

2. Недостаточно полно указано, как проектные параметры учитываются в электронной модели. Следовало бы разработать модель таким образом, чтобы значения проектных параметров можно было быстро изменять в процессе следующих итераций и уточнять исходные данные для расчетов.

Тем не менее, отмеченные недостатки **не снижают научную и практическую ценность работы** и не влияют на обоснованность выносимых на защиту положений и выводов.

VIII. Вывод

В целом, диссертационная работа Русских Антона Сергеевича является законченной **научно-квалификационной работой**, выполнена на **актуальную тему**, отличается **научной и практической значимостью** полученных результатов и имеет **завершенный характер**.

В ней содержится решение **актуальной задачи**, заключающейся в разработке научно-методического аппарата проектирования многоразового межорбитального транспортного аппарата с электроракетной двигательной установкой для выведения полезной нагрузки на геостационарную орбиту и увязки его конструкции с другими составными частями космической транспортной системы.

Тема и содержание диссертации соответствуют п. 1 «Разработка методов проектирования и конструирования, математического и программно-алгоритмического обеспечения для выбора оптимальных облика и параметров, компоновки и конструктивно-силовой схемы, агрегатов и систем ЛА, наземных комплексов и стартового оборудования, с учетом особенностей технологии изготовления, отработки и испытаний, механического и теплового нагружения, взаимосвязи ЛА с наземным комплексом и стартовым оборудованием, неопределенности проектных решений. Разработка методов и алгоритмов обеспечения контроля и обеспечения эффективности применения ЛА в процессе эксплуатации.» и п.5 «Разработка методов, моделей и программного обеспечения для принятия оптимальных решений проектно-конструкторских, технологических и эксплуатационных задач при заданных ограничениях с учетом их компромиссного характера, риска и различимости сравниваемых вариантов изделий (процессов)» паспорта специальности 2.5.13. Проектирование, конструкция, производство, испытания и эксплуатация летательных аппаратов, отрасль наук – технические науки.

Полученные автором результаты являются **достаточно новыми, обоснованными и достоверными**. Автореферат отражает **основные положения и выводы** диссертации.

Диссертация выполнена **единолично**, содержит совокупность **новых научных результатов и положений**, выдвигаемых автором для публичной защиты, имеет внутреннее единство и свидетельствует о **личном вкладе** автора в науку.

Диссертационная работа Русских Антона Сергеевича «Методика проектирования межорбитального транспортного аппарата с электроракетной двигательной установкой для комбинированных схем выведения на геостационарную орбиту» оформлена в соответствии с Положением о присуждении ученых степеней, утвержденным постановлением Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 №842 (ред. от 28.08.2017), а также соответствует требованиям Положения о совете по защите диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук, утвержденного Приказом Минобрнауки России от 10.11.2017 №1093 к оформлению диссертаций.

Автор диссертационной работы Русских Антон Сергеевич **заслуживает** присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.5.13. Проектирование, конструкция, производство, испытания и эксплуатация летательных аппаратов.

Официальный оппонент
заведующий 43 кафедрой компьютерных
технологий и программной инженерии
федерального государственного
автономного образовательного учреждения
высшего образования «Санкт-
Петербургский государственный
университет аэрокосмического
приборостроения»
190000, г. Санкт-Петербург,
ул. Большая Морская, д. 67, лит. А
тел.: (812) 494-70-43
e-mail: oxt@mail.ru

Дважды Лауреат Премии Правительства РФ
в области науки и техники
Доктор технических наук, профессор

Михаил Юрьевич Охтилев

« 04 » 02 2025 г.

