



## ОТЗЫВ

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

Диссертационная работа Русских Антона Сергеевича посвящена решению научной задачи повышения эффективности выведения космических аппаратов с российских космодромов. Автором рассмотрена комбинированная схема выведения, которая предполагает использование на первом этапе разгонного блока (РБ) с термохимическим двигателем большой тяги, а на втором этапе для доведения полезной нагрузки (ПН) на целевую орбиту применяется электроракетная двигательная установка, обладающая малой тягой. Это позволяет в более продолжительные, но приемлемые сроки, вывести на орбиту ПН большей массы по сравнению с традиционными схемами. Использование электроракетных двигателей (ЭРД) в качестве двигателей малой тяги целесообразно в связи с их высокой эффективностью.

Для реализации комбинированной схемы в состав космической транспортной системы (КТС) должен входить межорбитальный транспортный аппарат (МТА) с электроракетной двигательной установкой (ЭРДУ), представляющий автономное средство выведения. Увеличение запасов топлива КА на коррекцию орбиты позволяет повысить срок активного существования КА. Учитывая, что время выведения на ГСО при выведении по комбинированной схеме занимает по времени до полугода, а срок службы современных приборов и агрегатов КА составляет 15 лет и более, целесообразно проектировать МТА с учётом его многоразового использования.

Для проектирования КТС, способной реализовать комбинированную схему выведения, требуется провести структурно-параметрический синтез МТА с ЭРДУ на основе современных информационных технологий. Полученные проектные параметры МТА необходимо проверить на предмет возможности их реализации в конструкции МТА с учётом возможности многоразового использования и геометрических ограничений, накладываемых другими составными частями КТС.

В связи с вышесказанным разработка методики проектирования многоразового МТА, включающей определение рациональных баллистических схем перелета, проектных параметров, формирование проектного облика МТА на основе электронных проектных моделей, применительно к современным средствам выведения является актуальной задачей для повышения эффективности транспортных операций в космосе.

Цель работы



Разработка методики 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.

Задачи исследования

1. Провести анализ процедуры структурно-параметрического синтеза космической транспортной системы, включающей ракету-носитель, химический разгонный блок и межорбитальный транспортный аппарат, с позиции системного подхода, в том числе возможного многоразового применения межорбитального транспортного аппарата для осуществления программ космической транспортировки.

2. Разработать методику и алгоритм выбора оптимальных проектных параметров межорбитального транспортного аппарата с учётом требований к комбинированным баллистическим схемам межорбитальных перелетов.

3. Разработать технологию формирования проектного облика и компоновки межорбитального транспортного аппарата с использованием электронной модели в системе автоматизированного проектирования.

4. Разработать конструктивно-компоновочную схему межорбитального транспортного аппарата с электроракетной двигательной установкой с учётом увязки конструкции межорбитального транспортного аппарата с другими составными частями космической транспортной системы и возможности его многоразового использования. Объект исследования Межорбитальный транспортный аппарат с электроракетной двигательной установкой для выведения полезной нагрузки на геостационарную орбиту.

Научная новизна:

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

2. Разработана методика структурно-параметрического синтеза МТА с ЭРДУ, учитывающая возможности многоразового применения и геометрические ограничения, накладываемые другими составными частями космической транспортной системы.

3. Разработана технология формирования проектного облика МТА путём создания электронной модели МТА в системе автоматизированного проектирования, отличающаяся тем, что уже на стадии разработки управляющей геометрии осуществляется распараллеливание работ конструкторских подразделений различного профиля, а также выделение зон конструкции отдельных элементов изделия.

Положения, выносимые на защиту:

1. Методика проектирования межорбитального транспортного аппарата с электроракетной двигательной установкой, включающая алгоритмы оптимизации баллистических параметров комбинированных схем выведения, выбора оптимальных проектных параметров и формирования проектного облика МТА, основанная на методах многокритериальной оптимизации.

2. Методика структурно-параметрического синтеза МТА с ЭРДУ с учётом его многоразового использования и геометрических ограничений, накладываемых другими составными частями космической транспортной системы.

3. Технология реализации процесса параллельного нисходящего проектирования и создания электронной модели МТА в системе автоматизированного проектирования, отличающаяся тем, что уже на стадии разработки управляющей геометрии осуществляется распараллеливание работ специалистов различного профиля, а также выделение зон конструкции отдельных элементов изделия.

Во введении обосновывается актуальность темы, формулируются цель и задачи исследований, описывается современное состояние проблемы, излагается научная новизна работы.

В первой главе рассмотрены проблемы создания космической транспортной системы, включающей ракету-носитель, химический разгонный блок (ХРБ) и межорбитальный транспортный аппарат с электроракетной двигательной установкой.

Во второй главе предложена методика выбора оптимальных параметров комбинированной схемы выведения и проектных параметров МТА с ЭРДУ. Оптимизация комбинированных схем перелётов формулируется как задача совместного выбора параметров баллистической схемы, управлений вектором тяги и проектных параметров МТА.

В третьей главе предложены алгоритм формирования проектного облика и компоновка межорбитального транспортного аппарата с электроракетной двигательной установкой.

В четвёртой главе показан алгоритм создания электронной трёхмерной модели в системе автоматизированного проектирования PTC Creo, основанный на методе нисходящего проектирования. При использовании метода нисходящего проектирования изделие в САПР PTC Creo разрабатывается сначала как концептуальная каркасная модель, из которой затем получается полноценная твердотельная модель с деталями и подбороками.

В заключении отмечено, что:

В работе представлено решение важной научно-технической задачи по разработке методики проектирования нового типа космических аппаратов - многоразового МТА с ЭРДУ. Получены следующие основные результаты:

1. Впервые разработана методика проектирования многоразового МТА с ЭРДУ для выведения полезной нагрузки на ГСО и увязки конструкции МТА с другими составными частями КТС путём создания электронных моделей.

2. Разработан алгоритм расчёта проектных параметров МТА с учётом требований к баллистическим схемам межорбитальных перелётов.

3. Получены проектные параметры МТА и баллистические параметры комбинированных схем выведения, подтверждающие возможность значительного увеличения массы полезных нагрузок на ГСО по сравнению с традиционной схемой выведения ПН на ГСО разгонным блоком за счет применения многоразового МТА с ЭРДУ.

4. Проведён структурно-параметрический синтез МТА, разработана конструктивно-компоновочная схема МТА.

5. Разработан алгоритм создания электронной модели МТА методом нисходящего проектирования в системе автоматизированного проектирования;

6. Разработана электронная модель МТА, показывающая возможность реализации проектных параметров в конструкции с учётом накладываемых другими составными частями КТС конструктивных ограничений

В качестве недостатков работы, исходя из анализа текста автореферата можно привести следующие:

1. В автореферате не указаны методы решения задачи оптимизации массы полезной нагрузки;

2. Отсутствует расчет запасов топлива для дополнительной двигательной установки системы ориентации и стабилизации;

3. В автореферате не приведена блок-схема алгоритма методики выбора оптимальных проектных параметров МТА и не указано, что является вектором входных и выходных параметров методики.

4. Разработанная методика, судя по автореферату, не учитывает вопросы экономической целесообразности разработки МТА с ксеноном в качестве рабочего тела, в частности, насколько увеличится доставка 1кг ПН при помощи МТА по сравнению с существующими пусковыми услугами?

Указанные недостатки не снижают высокого уровня представленных в автореферате результатов. Диссертационная работа Русских Антона Сергеевича «Методика проектирования межорбитального транспортного аппарата с электроракетной двигательной установкой для комбинированных схем выведения на геостационарную орбиту» является завершённым научным исследованием, соответствует требованиям ВАК РФ, а её автор заслуживает присуждения учёной степени кандидата технических наук по специальности 2.5.13. Проектирование, конструкция, производство, испытания и эксплуатация летательных аппаратов.

Корянов Всеволод Владимирович,  
доцент, кандидат технических наук,  
доцент кафедры «Динамика и управление полетом ракет и космических аппаратов»  
федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего  
образования «Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана»  
Служебный адрес: 105005, Российская Федерация, г. Москва, Госпитальный переулок, дом  
10. Сайт организации <https://www.bmstu.ru>;  
тел. +7(499) 261-45-90; e-mail: vkoryanov@bmstu.ru

Щеглов Георгий Александрович,  
профессор, доктор технических наук,  
профессор кафедры «Аэрокосмические системы» федерального государственного  
бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский  
государственный технический университет имени Н.Э. Баумана»  
Служебный адрес: 105005, Российская Федерация, г. Москва, Госпитальный переулок, дом  
10. Сайт организации <https://www.bmstu.ru>  
тел. +7 499 263 63 10  
e-mail: [shcheglov\\_ga@bmstu.ru](mailto:shcheglov_ga@bmstu.ru)

Подписи доцента Корянова В.В. и профессора Щеглова Г.А. заверяю,  
Декан факультета Специальное машиностроение  
МГТУ им. Н.Э. Баумана  
Луценко Александр Юрьевич



17.02.2025