



ул. Ленина, д. 52, г. Железногорск, ЗАТО Железногорск, Красноярский край, Российская Федерация, 662972
Тел. (3919) 76-40-02, 72-24-39, Факс (3919) 72-26-35, 75-61-46, e-mail: office@iss-reshetnev.ru, http: //www.iss-reshetnev.ru
ОГРН 1082452000290, ИНН 2452034898

от 10.02.2020 исх № 104-3/210
на № _____ от _____

Проректору по научной работе
Московского авиационного института
(национального исследовательского
университета)
д.т.н., проф. Ю.А.Равиковичу
125933, г. Москва, Волоколамское шоссе, д.4, А-
80, ГСП-3

Уважаемый Юрий Александрович!!

Высылаю Вам отзыв АО «Информационные спутниковые системы» имени академика М.Ф. Решетнёва» на диссертационную работу Старченко Александра Евгеньевича на тему «Траектории многовитковых перелётов космических аппаратов с минимальной радиационной нагрузкой» представленную на соискание учёной степени кандидата технических наук по специальности: 05.07.09 – «Динамика, баллистика, управление движением летательных аппаратов».

Приложение:

1. Отзыв в 2-х экземплярах, на 5 листах каждый.

**Заместитель генерального конструктора по разработке
космических систем, общему проектированию
и управлению космическими аппаратами**



А.В.Кузовников



ул. Ленина, д. 52, г. Железногорск, ЗАТО Железногорск, Красноярский край, Российская Федерация, 662972
Тел. (3919) 76-40-02, 72-24-39, Факс (3919) 72-26-35, 75-61-46, e-mail: office@iss-reshetnev.ru, http://www.iss-reshetnev.ru
ОГРН 1082452000290, ИНН 2452034898

Экз №

«УТВЕРЖДАЮ»

Председатель секции №1 НТС предприятия,
Заместитель генерального конструктора по
разработке космических систем, общему
проектированию и управлению космическими
аппаратами, кандидат технических наук



А.В. Кузовников

2020г.

ОТЗЫВ

ведущей организации на диссертационную работу Старченко Александра Евгеньевича на тему «Траектории многовитковых перелётов космических аппаратов с минимальной радиационной нагрузкой» представленную на соискание учёной степени кандидата технических наук по специальности: 05.07.09 – «Динамика, баллистика, управление движением летательных аппаратов»

1. Актуальность темы диссертационной работы

Проектирование космических аппаратов (КА), функционирующих на геостационарной орбите (ГСО), является сложным многошаговым процессом, включающим в себя, в том числе, задачи проектирования этапа выведения КА на целевую орбиту. Траектория перелёта, как и тип используемой двигательной установки, существенно влияет на облик, компоновку и массовую эффективность КА в целом. Традиционно для доставки КА на геостационарную орбиту используются разгонные блоки (РБ) с двухкомпонентными химическими двигательными установками (ДУ). При этом время выведения составляет несколько часов. В связи с возрастающей конкуренцией на рынке геостационарных связных аппаратов и ограниченной доступностью запуска на ракетах-носителях (РН) тяжелого класса актуальной задачей является увеличение массы КА, доставляемого на целевую орбиту при использовании доступных средств выведения.

Отдел документационного
обеспечения МАИ

Вх. №
« 11 » 02 2020

Одним из перспективных способов увеличения массы КА, доставляемой на целевую орбиту и, соответственно, массы полезной нагрузки КА, является применение электроракетных двигательных установок (ЭРДУ) в качестве маршевой ДУ на этапе выведения на геостационарную орбиту. Высокий удельный импульс ЭРДУ позволяет существенно уменьшить массу рабочего тела и системы его хранения и подачи по сравнению с использованием других типов двигателей. При этом, однако, в связи с относительно малой величиной тяги существующих ЭРДУ время выведения увеличивается до нескольких месяцев. Столь длительное выведение создаёт много проблем, среди которых в частности проблема продолжительного воздействия космической радиации на бортовые системы КА.

В частности, воздействие космической радиации на фоточувствительные элементы солнечных батарей (СБ) приводит к деградации максимальной электрической мощности, генерируемой СБ в полёте. Снижение доступной электрической мощности на борту за счёт радиационной деградации по мере выведения создаёт комплексную проблему при проектировании системы электропитания, ЭРДУ и КА в целом. Существует несколько подходов к решению данной проблемы.

Одним из подходов является попытка использовать всю мощность, доступную на данный момент на борту для работы ЭРДУ (за исключением потребностей других систем). В этом случае возникает необходимость разработки системы подачи рабочего тела и управления, работающей на нескольких уровнях входной мощности. Это приводит к значительному увеличению стоимости этой системы, поскольку необходим подбор параметров разряда ЭРДУ и ее наземная отработка на всех планируемых уровнях мощности. Кроме того, падение мощности СБ приводит к снижению тяги и удельного импульса ЭРДУ. При этом увеличивается длительность выведения и издержки ожидания ввода в эксплуатацию, которые могут быть существенны для коммерческих связей КА.

Другой подход к этой проблеме состоит в использовании ЭРДУ, работающей на одной постоянной мощности, а также использовании СБ с некоторым избытком мощности. При этом избыток мощности подбирается так, чтобы на всех этапах полёта вплоть до конца срока активного существования (САС) КА доступной мощности на борту с учётом радиационной деградации было достаточно для номинальной работы ЭРДУ. Недостатком этого подхода является увеличенная площадь СБ, усложнение конструкции СБ и увеличение стоимости КА в целом. Также это приводит к увеличению стартовой массы КА, либо снижению массы полезной нагрузки при фиксированной начальной массе КА.

Кроме снижения мощности СБ, воздействие ионизирующих излучений космического пространства на компонентную базу бортовой электроники КА приводит к накоплению в них больших доз радиации, деградации их характеристик и досрочному выходу из строя. В случае логических схем воздействие космической радиации может даже повлиять на исполняемую логику и нарушить работу бортовых алгоритмов управления. Для защиты от указанных

воздействий радиации чаще всего подбирают соответствующую радиационно-стойкую элементную базу, либо проводят наземные радиационные испытания по отбору особенно радиационно-стойких образцов среди коммерческой или промышленной элементной базы. Для радиационной защиты приборов используют утолщение стенок их корпусов и перекомпоновку КА. Всё это приводит к усложнению КА, увеличению его стоимости и снижению массы полезной нагрузки.

Таким образом, во всех случаях радиационное воздействие на аппаратуру КА приводит к ослаблению положительного эффекта от применения ЭРДУ. Поэтому задача снижения влияния космического излучения на бортовые системы, рассматриваемая в диссертационной работе, является на сегодняшний день актуальной научно-технической задачей.

2. Новизна полученных результатов

При проектировании бортовой электроники геостационарных КА с учётом ионизирующего воздействия космического пространства величина предполагаемого радиационного воздействия на каждый компонент бортовой аппаратуры рассчитывается индивидуально. При этом используются существующие эмпирические модели (в форме отраслевых стандартов) и исходные данные о траектории движения КА, а сама траектория считается заданной. В рассматриваемой диссертационной работе предлагается альтернативный подход к обеспечению радиационной стойкости аппаратуры КА, заключающийся в том, что форма траектории предполагается не фиксированной, а варьируется с целью снижения уровня воздействия космического излучения на бортовую аппаратуру. Данный подход не является стандартным, и содержит в себе большую долю научной новизны.

Также следует отметить, что новизна диссертационной работы состоит в применении принципа максимума Л. С. Понтрягина для решения задач оптимизации траекторий межорбитальных перелётов с радиационной нагрузкой в качестве целевого функционала. В частности, в диссертационной работе содержится ряд новых постановок задач и обобщенная методика их решения.

3. Научная и практическая значимость работы

В работе рассматривается оптимальная схема выведения КА с ЭРДУ на геостационарную орбиту, в которой бортовой комплекс управления должен отрабатывать сложную программу управления ЭРДУ с большими отклонениями вектора тяги по тангажу и рысканью, а также возможными выключениями ЭРДУ. Оптимальная схема позволяет вывести на целевую орбиту КА максимально возможной массы при фиксированном времени выведения или доставить на целевую орбиту КА заданной массы за минимальное время. В связи с ограниченной доступностью РН тяжелого класса, интерес к выведению по оптимальной схеме в последнее время возрастает.

В диссертационной работе Старченко А.Е. рассматривается один из возможных вариантов развития оптимальной схемы выведения, где оптимизируемыми параметрами являются не только время перелёта или масса доставляемой полезной нагрузки, но и величина радиационного воздействия космического излучения на бортовые системы. Практическая значимость данной работы состоит в том, что предложена конкретная методика оптимизации траектории выведения КА с ЭРДУ на ГСО с определённым теоретическим обоснованием, а также эта методика доведена до программной реализации. Полученный программный комплекс достаточно универсален и может быть использован при проектировании этапа выведения КА с ЭРДУ на ГСО.

4. Достоверность и обоснованность результатов

Обоснованность и достоверность научных выводов и результатов, полученных в диссертации, основаны на корректности принятых допущений, строгости теоретических выкладок и обоснований применяемого методического и алгоритмического обеспечения. Автор использует корректные математические модели, описывающие движение КА с ЭРДУ. Эффективность предлагаемых в диссертации методик показана на нескольких примерах задач оптимизации перелётов КА с ЭРДУ на ГСО. О достоверности полученных результатов свидетельствует и то, что они согласуются с результатами, полученными другими исследователями. Результаты, полученные в диссертации, опубликованы в 5 статьях в рецензируемых научных журналах и неоднократно докладывались на всероссийских и зарубежных научных конференциях.

5. Замечания

К диссертационной работе могут быть сделаны следующие замечания:

5.1. В третьей главе в рамках задачи максимизации остаточной мощности СБ на конец срока активного существования не рассмотрен вариант использованием всей доступной на борту электрической мощности. Не рассмотрены условия оптимальности для этого случая и соответствующая краевая задача.

5.2. В работе не рассмотрена важная с практической точки зрения задача максимизации конечной массы КА при ограничениях на уровень радиационной нагрузки на бортовые системы КА с ЭРДУ.

5.3. Используемая при расчётах модель радиационного окружения ограничена и включает в себя только заряженные частицы радиационных поясов Земли. Не показано почему остальные источники радиации можно не учитывать и каково соотношение вкладов в дозу радиации и деградацию СБ заряженных частиц радиационных поясов и всех остальных источников радиации.

Несмотря на указанные недостатки, можно утверждать, что представленная диссертационная работа выполнена на хорошем научном уровне, а развиваемые в ней методы имеют большое практическое и методологическое значение.

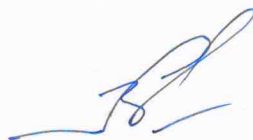
6. Заключение

Полученные соискателем новые научные результаты имеют существенное значение для науки и практики и могут быть **рекомендованы к использованию** на предприятиях, занимающихся проектированием КА и средств выведения, а также в научно-исследовательских институтах, сопровождающих их разработку – АО «ИСС», ПАО «РКК «Энергия», АО «НПО им. С.А.Лавочкина», АО «ГКНПЦ им. М.В.Хруничева», АО «ЦНИИмаш», НИИ ПМЭ МАИ, ИПМ им. М.В.Келдыша РАН. Разработанные автором методики могут быть использованы при проектно-баллистическом анализе выведения перспективных геостационарных КА с ЭРДУ.

Диссертационная работа А.Е. Старченко на тему «Траектории многовитковых перелётов космических аппаратов с минимальной радиационной нагрузкой» является законченной научно-квалификационной работой, содержащей решение актуальной задачи снижения радиационной нагрузки на участке выведения КА на ГСО с использованием ЭРДУ и по своему содержанию, научной новизне и практической ценности соответствует требованиям (п.9-14) «Положения о присуждении ученых степеней...» ВАК Министерства науки и образования РФ, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а её автор, Старченко Александр Евгеньевич, заслуживает присуждения степени кандидата технических наук по специальности 05.07.09 «Динамика, баллистика, управление движением летательных аппаратов».

Отзыв на диссертацию и автореферат обсужден и утвержден на заседании секции НТС №1 10 февраля 2020 года.

Ведущий инженер – конструктор
доктор технических наук, профессор



Чеботарев
Виктор
Евдокимович

Ведущий инженер сектора разработки
баллистического и навигационного обеспечения КА



Булынин
Юрий
Леонидович

Ученый секретарь НТС секции №1



Кульков
Александр
Николаевич