



МИНИСТЕРСТВО ОБОРОНЫ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
(МИНОБОРОНЫ РОССИИ)

**ВОЕННО-КОСМИЧЕСКАЯ
АКАДЕМИЯ ИМЕНИ
А.Ф.МОЖАЙСКОГО**

г. Санкт-Петербург, 197198

«15» 08 2019 г. № 15/1323

На № _____

Председателю диссертационного совета
Д 212.125.10 на базе Федерального
государственного бюджетного
образовательного учреждения высшего
образования «Московский авиационный
институт (национальный
исследовательский университет)»
доктору технических наук профессору
Ю.И.ДЕНИСКИНУ
Волоколамское шоссе, дом 4,
г. Москва, А-80, ГСП-3, 125993

Уважаемый Юрий Иванович!

Высылаю отзыв ведущей организации на диссертационную работу Ахмедова Муслима Ринатовича на тему «Методика проектирования орбитальных и транспортных модулей с солнечными батареями большой мощности» на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.07.02 «Проектирование, конструкция и производство летательных аппаратов».

- Приложения: 1. Отзыв..., экз. № 1, 2, на 7 листах.
2. Заключение о возможности открытого опубликования, № _____ /ИБ от _____ 201__ г., экз. № 1, на 2 листах.
3. Диссертация, 1 кн.
4. Автореферат, 1 кн.
Приложения – только адресату.

Врио начальника академии

С.Чистяков

ОБЩИЙ ОТДЕЛ МАИ
В. № 20 08 2019

УТВЕРЖДАЮ



Врио начальника Военно-космической академии
имени А.Ф.Можайского
кандидат технических наук, доцент
генерал-майор

С.Чистяков

14 августа 2019 г.

ОТЗЫВ

ведущей организации
на диссертационную работу Ахмедова Муслима Ринатовича
на тему «Методика проектирования орбитальных и транспортных модулей
с солнечными батареями большой мощности»
на соискание ученой степени кандидата технических наук
по специальности 05.07.02
«Проектирование, конструкция и производство летательных аппаратов»

На отзыв представлена работа на соискание учёной степени кандидата технических наук, посвященная обоснованию научно-технических решений по выбору, построению и реализации модулей орбитальных станций и многоразовых электроракетных буксиров с системой электроснабжения на основе солнечных батарей большой мощности с повышенными удельными характеристиками и ресурсом. В работе выполнено исследование зависимости проектных параметров модулей и системы от условий эксплуатации и требований назначения, предложены, верифицированы и применены на практике методики расчета, выработаны рекомендации по выбору оптимальных проектных решений.

Актуальность темы исследования обусловлена государственной политикой Российской Федерации в области космической деятельности («Основные положения государственной политики Российской Федерации в области космической деятельности на период до 2030 года и дальнейшую перспективу», утвержденные Президентом Российской Федерации 19 апреля 2013 г., № Пр-906; «Концепция российской пилотируемой космонавтики»), необходимым средством реализации которой представляются орбитальные станции и электроракетные межорбитальные буксиры. Электроснабжение – одна из ключевых проблем создания орбитальных станций и электроракетных межорбитальных буксиров. Функциональные возможности КА определяются характеристиками системы электроснабжения (СЭС), и

ОБЩИЙ ОТДЕЛ МАИ

Вх. № 20 08 2019

требования к ее выходной мощности для крупных комплексов очень высоки. Ключевые возможности орбитальных космических комплексов зависят от обеспечения электроэнергией, наилучшим источником которой по совокупности характеристик являются солнечные батареи. Большое количество элементов в системах электроснабжения на основе солнечных батарей, сложные внутренние связи и тесная связь с параметрами модулей делают необходимым поиск оптимальных проектных решений, обеспечивающих максимально эффективную работу каждого элемента. Высокие требования к удельной мощности и ресурсу систем требуют развития методик расчета и проектирования модулей в части систем электроснабжения.

Диссертация Ахмедова М.Р. посвящена решению **актуальной научной задачи** – установлению зависимости проектных параметров модулей орбитальных станций (ОС) и многоразовых электроракетных межорбитальных буксиров (ЭМБ) с солнечными батареями большой мощности, имеющих связь с системой электроснабжения, от факторов космического пространства и требований назначения модуля, разработке и совершенствованию методик расчета производительности системы, определение влияния проектных параметров модуля на удельные характеристики и ресурс системы, верификации методик на основе данных космических экспериментов, постановке, проведению и анализу результатов космических экспериментов.

Целью диссертационной работы является разработка методики проектирования и расчета модулей ОС и многоразовых ЭМБ с системой электроснабжения на основе солнечных батарей большой мощности с повышенным ресурсом и удельными характеристиками, а также выработка рекомендаций по определению оптимальных проектных решений с учетом:

- затенения СБ планетой и элементами КА;
- влияния ионизирующего излучения радиационных поясов Земли;
- изменения расстояния до Солнца;
- требований теплового режима;
- требований ресурса.

Содержание работы. Диссертационная работа состоит из введения и четырех глав.

Во введении изложено обоснование актуальности исследования, сформулированы его цели и основные задачи. Отмечены научная новизна и практическая значимость полученных результатов, приведены сведения об их апробации. Описана структура диссертации и указаны положения, выносимые на защиту.

В первой главе приведен анализ опыта разработки и эксплуатации систем электроснабжения модулей станции «Мир» и Международной космической станции, а также станций «Салют», постановлена задача исследования.

Во второй главе изложена методика проектирования систем электроснабжения на основе солнечных батарей для модулей орбитальных станций и многоразовых электроракетных межорбитальных буксиров. Предложены методики расчета электрической мощности с учетом затенения солнечных батарей планетой и конструктивными элементами станции; электрических процессов в солнечных батареях, потерь энергии в буферных аккумуляторах, требований обеспечения теплового режима, изменения расстояния до Солнца. Исследовано влияние ионизирующего излучения радиационных поясов Земли на ресурс солнечных батарей ЭМБ, предложена методика учета влияния ионизирующего излучения радиационных поясов Земли на работу многоразового солнечного ЭМБ. Выработаны рекомендации по выбору рациональных проектных решений.

В третьей главе описано применение предложенных методик при разработке научно-энергетического модуля (НЭМ) для Российского сегмента МКС. Приведены расчеты производительности системы электроснабжения, оптимизированы ее параметры и состав. Принципиальной особенностью расчета является совместный учет периодического затенения СБ конструктивными элементами станции, КПД аккумуляторных батарей, КПД аппаратуры регулирования и контроля, а также требований обеспечения теплового режима. Выбран состав СЭС, обеспечивающий наименьшие суммарные затраты на создание и эксплуатацию. Выполнен анализ вариантов на эффективность и техническую реализуемость. Показано, что технически возможно создание СЭС НЭМ, используя СБ с ФЭП на основе арсенида галлия. На основании выполненных расчетов сделан вывод о предпочтительности никель-водородных аккумуляторных батарей, как обеспечивающих более высокую технико-экономическую эффективность. Предложена методика учета требований теплового режима при расчете допустимой нагрузки и методика проектного расчета освещенности интерьера пилотируемых КА, показано ее применение при разработке НЭМ.

В четвертой главе представлено экспериментальное исследование корректности методики расчета производительности солнечных батарей, выполненное путем космических экспериментов на основе телеметрии служебного модуля Российского сегмента МКС и космического корабля «Прогресс-МС».

Заключение четко и логично даёт общую оценку диссертационной работе, отражает основные новые научные и практические результаты и принципиальные положения диссертации, показывает внедрение результатов работы и её практическую полезность.

Замечаний по построению заключения и по формулировкам нет.

Список использованной литературы.

Список использованной литературы с необходимой полнотой охватывает тематику и положения, изложенные в диссертации.

Научная новизна исследования и полученных результатов: предложены новые математические модели и методики расчета мощности солнечных батарей с учетом частичного затенения; корректность методики

подтверждена экспериментально путем космического эксперимента; предложены новые математические модели и методики расчета деградации солнечных батарей КА с непрерывной тягой в радиационных поясах Земли; впервые выполнен комплексный анализ процесса деградации; наряду с величиной и темпом деградации впервые определена их зависимость от толщины защитного покрытия и параметров траектории; впервые предложены эмпирические формулы, применимые в инженерной практике; выработаны новые практические рекомендации по снижению деградации.

Обоснованность и достоверность научных положений, выводов и рекомендаций. Достоверность и обоснованность полученных результатов обеспечена непротиворечивостью исходных теоретических положений, внутренней логикой исследования, применением достоверных методов, описывающих сущность изучаемого явления и отвечающих поставленным целям и задачам работы. Предложенные методики апробированы в ПАО «РКК «Энергия» при проектировании НЭМ для российского сегмента МКС. Корректность методики расчета мощности СБ орбитального КА с учетом затенения подтверждена путем анализа результатов космических экспериментов на базе служебного модуля российского сегмента МКС и космического корабля «Прогресс МС».

Теоретическая и практическая значимость результатов работы. В научном плане значимыми являются предложенная методика расчета мощности солнечных батарей при частичном затенении, а также подтверждение ее корректности путем космических экспериментов. Значимыми являются полученные впервые представления о характере деградации солнечных батарей КА с непрерывной тягой в радиационных поясах Земли. Предложенная математическая модель, методика и программное обеспечение могут быть использованы в дальнейшем при более глубоком изучении явления.

Результаты работы представляют интерес для инженерной практики как нацеленные на использование при создании модулей орбитальных станций и электроракетных межорбитальных буксиров. В работе предложены расчетные методики и выработаны рекомендации по выбору оптимальных проектных параметров модулей и систем их электроснабжения.

Результаты исследования применены на практике в ПАО «РКК «Энергия» при проектировании научно-энергетического модуля для Российского сегмента МКС.

Рекомендации по практическому использованию результатов работы. Результаты исследования могут быть рекомендованы для применения в практике проектирования модулей ОС, ЭМБ и других орбитальных космических аппаратов на предприятиях отрасли (ПАО «РКК «Энергия», АО «ГКНПЦ им. М.В. Хруничева», ФГУП «ЦНИИмаш»), а также в процессе подготовки специалистов отрасли в вузах (ФГБОУ ВО «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)», ФГБОУ ВО «МГТУ имени Н.Э. Баумана», ФГАОУ ВО

«Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева»).

Результаты работы **опубликованы** в шести статьях в рецензируемых научных журналах из перечня рекомендованных ВАК Минобрнауки РФ («Известия РАН. Энергетика» и «Космическая техника и технологии»), а также доложены на конференциях, семинарах и научно-техническом совете.

Личный вклад автора составляют: математические модели и методики расчета, постановка, проведение и анализ результатов космических экспериментов для верификации методик, разработка и участие в разработке программного обеспечения, анализ влияния факторов космического полета на характеристики систем электроснабжения, выработка рекомендаций по выбору проектных решений, участие в проектировании изделий космической техники. Соискатель является единоличным автором трех из шести опубликованных научных статей.

В диссертационной работе выявлены следующие недостатки:

1. В работе не проведена верификация методики вероятностного расчета мощности солнечных батарей при частичном затенении с учетом электрических процессов.

2. В работе не учтено влияние различных факторов космического пространства на деградацию выходных характеристик солнечных батарей, не показана доля этих факторов в общей деградации при совместном действии.

3. В работе не дано определение солнечной батареи большой мощности и не показаны особенности ее влияния на конструкцию солнечных батарей и устройство систем их ориентации.

4. Вывод, постулированный автором, о нецелесообразности применения экстремальных регуляторов на космических аппаратах, бортовая аппаратура которых рассчитана на заранее заданную потребляемую мощность, требует доказательства.

5. По нашему мнению работа бы только выиграла, если разработанные методики представить в виде последовательных этапов (шагов).

6. Понятие «наиболее вероятная средневитковая мощность», используемая автором требует правильного квалиметрического определения.

Отмеченные недостатки не снижают общего высокого научного уровня и практической значимости диссертационной работы и не изменяют её общей положительной оценки. Диссертационная работа соответствует требованиям ВАК.

Соответствие паспорту специальности. Данная диссертация соответствует паспорту специальности 05.07.02 – «Проектирование, конструкция и производство летательных аппаратов» в том числе по разделам:

– п.3 «Разработка методов поиска оптимальных конструкторско-технологических решений на ранних стадиях проектирования ЛА»;

– п.5 «Создание и отработка принципиально новых конструктивных решений выполнения узлов, систем ЛА в целом. Исследования их характеристик и оценка перспектив применения»;

– п.9 «Разработка методов, моделей и программного обеспечения для принятия оптимальных решений с целью исследования проектно-конструкторских задач при заданных ограничениях с учетом их компромиссного характера, риска и различимости сравниваемых вариантов изделий (процессов)».

Апробация работы.

Материалы диссертационной работы **доложены и обсуждены** на конференциях, семинарах и научно-техническом совете: конференция «XLI академические чтения по космонавтике», Москва, МГТУ им. Н.Э. Баумана, 24-27 января 2017 г.; конференция «Актуальные проблемы ракетно-космической техники – V Козловские чтения», г. Самара, 11-15 сентября 2017 г.; семинары по вопросам электроракетного движения, Москва, МАИ, институт двигателестроения, кафедра 208 «Электроракетные двигатели, энергетические и энергофизические установки», 17.01.2018 и 20.03.2019; заседание секции № 2 Пилотируемые космические комплексы и системы» научно-технического совета ПАО «РКК «Энергия», 4 декабря 2018 г.

Автореферат с необходимой полнотой отражает содержание диссертации и позволяет составить целостное представление о проделанной работе.

Материалы диссертации изложены достаточно грамотно, логически последовательно и представлены в лаконичной форме. По оформлению и объёму автореферат и диссертация соответствуют требованиям ВАК.

Общая оценка работы.

Представленная на отзыв диссертация представляет собой самостоятельную завершённую научно-квалификационную работу на актуальную тему, связанную с решением научной задачи по установлению зависимости проектных параметров модулей орбитальных станций (ОС) и многоцветных электроракетных межорбитальных буксиров (ЭМБ) с солнечными батареями большой мощности, имеющих связь с системой электроснабжения, от факторов космического пространства и требований назначения модуля. В работе выполнены разработка и совершенствование методик расчета производительности системы, определение влияния проектных параметров модуля на удельные характеристики и ресурс системы, верификация методик на основе данных космических экспериментов, постановка, проведение и анализ результатов космических экспериментов. Разработаны методики проектирования и расчета модулей ОС и многоцветных ЭМБ с системой электроснабжения на основе солнечных батарей большой мощности с повышенным ресурсом и удельными характеристиками. Выработаны рекомендации по определению оптимальных проектных решений с учетом: затенения СБ планетой и элементами КА; влияния ионизирующего излучения радиационных поясов Земли; изменения расстояния до Солнца; требований теплового режима; требований ресурса.

Заключение.

Диссертационная работа соответствует критериям, предъявляемым п.п. 9, 10, 11, 13 и 14 «Положения о присуждении ученых степеней»

(принятым Постановлением Правительства РФ от 24 сентября 2013 года №842) к кандидатским диссертациям, а ее автор Ахмедов Муслим Ринатович заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.07.02 – «Проектирование, конструкция и производство летательных аппаратов».

Отзыв обсужден и одобрен на заседании кафедры Космических аппаратов и средств межорбитальной транспортировки, протокол № 20 от 26.07.2019 года.

Начальник кафедры космических аппаратов и средств межорбитальной транспортировки
доктор технических наук, доцент

А. Абдурахимов

Профессор кафедры космических аппаратов и средств межорбитальной транспортировки
доктор технических наук, профессор

В. Никольский

Докторант кафедры Оперативного искусства и тактики кандидат технических наук, доцент
полковник

Д. Мосин

Доцент кафедры космических аппаратов и средств межорбитальной транспортировки
кандидат технических наук, доцент
подполковник

И. Уртминцев

Старший преподаватель кафедры космических аппаратов и средств межорбитальной транспортировки
кандидат технических наук
подполковник

А. Левандович

Почтовый адрес: 197198, г. Санкт-Петербург, ул. Ждановская, д. 13,
ФГБВОУ ВПО «ВКА имени А.Ф. Можайского» МО РФ, тел. 8 (812) 237-12-49.