



Государственная корпорация  
по космической деятельности «Роскосмос»  
Государственный научный центр Российской Федерации –  
федеральное государственное унитарное предприятие

**«Исследовательский центр  
имени М.В.Келдыша»**

**(ГНЦ ФГУП «Центр Келдыша»)**

Онежская ул, д. 8, г. Москва, Россия, 125438  
Тел. +7 (495) 456-4608 Факс: +7 (495) 456-8228  
ОКПО 07547339 ОГРН 1027700482303 ИНН/КПП 7711000836/774301001  
kerc@elnet.msk.ru; http://www.kerc.msk.ru

19.04.2019 № 48-11/15

на № 010/1040 от 28.06.2019

Ученому секретарю  
диссертационного совета Д 212.125.10  
ФГБОУ «Московский авиационный институт  
(национальный исследовательский  
университет)» (МАИ)

к.т.н., доценту Денискиной А. Р.

125 993 г. Москва, А-80, ГСП-3,  
Волоколамское шоссе, д. 4

## ОТЗЫВ

официального оппонента Е.Ю. Кувшиновой

на диссертационную работу Ахмедова Муслима Ринатовича

по теме: **«Методика проектирования орбитальных**

**и транспортных модулей с солнечными батареями большой мощности»**,

представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук

по специальности 05.07.02 «Проектирование, конструкция и производство

летательных аппаратов»

Диссертация Ахмедова М.Р. посвящена разработке методики проектирования и расчёта модулей орбитальных станций и многоразовых электроракетных межорбитальных буксиров с системой электроснабжения на основе солнечных батарей большой мощности, учитывающей условия их эксплуатации.

### 1. Актуальность

Планы по развитию космонавтики предусматривают развитие орбитальных станций (ОС), как средств для отработки новых перспективных технологий. Для реализации проекта по освоению Луны рассматривается эффективное средство межорбитальной транспортировки на базе маршевых электроракетных двигателей – многоразовый электроракетный межорбитальный буксир (ЭМБ). Целевые возможности ОС и ЭМБ определяются мощностью системы электроснабжения (СЭС). В качестве источника электроэнергии в СЭС современных космических

ОБЩИЙ ОТДЕЛ МАИ

Вх. № 31 07 2019

аппаратов (КА) используются солнечные батареи (СБ), основными элементами которых являются фотоэлектрические преобразователи (ФЭП). Повышение эффективности СЭС на основе СБ может быть достигнуто не только за счёт применения современных высокоэффективных ФЭП, но и выбора рациональных схемно-технических и проектно-конструкторских решений СЭС. Поэтому важная роль в создании КА с СБ большой мощности в направлении повышения её эффективности и существенного снижения затрат на экспериментальную отработку отводится математическому моделированию работы элементов СЭС с учётом условий её эксплуатации и определения проектного облика.

Поэтому, **актуальной** для разработки перспективных модулей ОС и многоразовых ЭМБ представляется методика проектирования и расчета модулей СЭС.

## **2. Научная новизна** заключается:

– в предложенной методике вероятностного расчета мощности СБ для исследования влияния частичного затенения СБ на её работу и выполненной верификации математической модели работы СБ с использованием телеметрии служебного модуля российского сегмента Международной космической станции (РС МКС);

– в предложенной математической модели расчёта деградации СБ ЭМБ от ионизирующего излучения радиационных поясов Земли, выполненном комплексном анализе деградации СБ с учетом параметров траектории МБ и конструктивных особенностей СБ (толщины защитного покрытия) и оценке эффективности способов снижения деградации СБ ЭМБ в радиационных поясах Земли, в предложенных эмпирических формулах для проектного расчета деградации СБ;

– в предложенных оригинальных методиках учёта требований теплового режима для расчёта допустимой нагрузки на СЭС и проектного расчёта освещенности интерьера пилотируемого КА с учетом отраженного света.

## **3. Достоверность полученных результатов, выводов и рекомендаций**

**Достоверность** полученных результатов следует из использования апробированных и достоверных методов исследования и непротиворечивости исходных теоретических положений.



В диссертационной работе проведённые исследования основаны на математическом моделировании физических процессов с последующим экспериментальным подтверждением.

Разработанные в ходе исследования расчётные методики апробированы в ПАО «РКК «Энергия» при проектировании научно-энергетического модуля (НЭМ) для РС МКС. Корректность методики расчета производительности СБ орбитального КА с учетом затенения планетой и элементами конструкции подтверждена экспериментально телеметрическими данными служебного модуля РС МКС. Теоретические выводы о влиянии температуры на производительность СБ подтверждены экспериментально телеметрией космического корабля «Прогресс МС».

**4. Значимость для науки и практики** полученных автором результатов заключается в определении характера и законов влияния затенения СБ планетой и конструктивными элементами КА и ионизирующего излучения радиационных поясов Земли на мощность СЭС ОС и ЭМБ, предложенных экспериментально подтверждённых методиках расчёта и оценке эффективности способов снижения деградации СБ ЭМБ от ионизирующего излучения радиационных поясов Земли.

С использованием предложенных методик в ПАО «РКК «Энергия» выполнен проект НЭМ для РС МКС, что определяет практическую значимость работы. На основе предложенной методики разработано программное обеспечение и выработаны практические рекомендации по выбору проектных параметров СЭС для НЭМ и для перспективных ОС и ЭМБ.

**5. Конкретные рекомендации по использованию результатов выводов диссертации**

Предложенная автором методика проектирования и расчёта модулей ОС и многоцветных ЭМБ с СЭС на основе СБ большой мощности может быть использована при проектировании перспективных ОС, модулей РС МКС, как дополнение к использованным при проектировании НЭМ, и ЭМБ, в частности, для реализации больших грузопотоков по программе освоения Луны.

**6. Оценка содержания диссертации и её завершенности**

Содержание диссертационной работы изложено во введении, 4 главах, заключении. Список использованных источников состоит из 68 наименований.

Диссертационная работа написана системно, структурно и логично, в достаточном объёме (186 страниц).

В первой главе представлен анализ опыта разработки и эксплуатации СЭС станций «Мир» и МКС. Выполнена постановка задачи исследования.

Во второй главе предложена методика проектирования СЭС орбитальных станций и многоразовых ЭМБ, учитывающая затенение СБ планетой и элементами КА, влияние ионизирующего излучения радиационных поясов Земли, изменение расстояния до Солнца, требования теплового режима и ресурса с выработкой рекомендаций по определению оптимальных проектных решений.

В третьей главе приведены результаты использования методики при проектировании НЭМ разработки ПАО «РКК «Энергия» для РС МКС с выделением личного вклада автора.

В четвертой главе приведен сравнительный анализ расчетной и экспериментальной производительности СБ орбитального КА на примере служебного модуля РС МКС. Результаты эксперимента подтвердили расчётные данные производительности СБ. Для подтверждения выводов о влиянии температуры на мощность СБ выполнено экспериментальное исследование с использованием телеметрии грузового космического корабля «Прогресс МС».

Содержание автореферата отражает основные положения диссертационной работы.

#### **7. Достоинства и недостатки в содержании и оформлении диссертации, мнение о научной работе соискателя в целом**

**Достоинства** диссертационной работы приведены в предыдущих пунктах отзыва.

К **недостаткам** диссертационной работы можно отнести следующее:

1. При расчёте траектории перелета солнечного ЭМБ с околоземной орбиты высотой 350 км на целевую орбиту высотой порядка 10 радиусов Земли не учтены затенение буксира Землей, аэродинамическое торможение ЭМБ и различие в начальных массах при перелётах «околоземная стартовая орбита – целевая орбита» и «целевая орбита – околоземная стартовая орбита».

2. Не оценено влияние снижения деградации СБ ЭМБ в радиационных поясах Земли на выбор оптимального управления вектором тяги маршевой



электроракетной двигательной установки и требований к энергодвигательному обеспечению ЭМБ для реализации транспортной задачи.

3. В работе не представлена структура методики проектирования орбитальных и транспортных модулей и не определено в ней место разработанных методик расчёта отдельных элементов СЭС ОС и ЭМБ.

### **8. Заключение о соответствии диссертации критериям, установленным Положением о порядке присуждения учёных степеней**

Несмотря на отмеченные недостатки, диссертационная работа Ахмедова Муслима Ринатовича является законченной научно-квалификационной работой, выполненной автором самостоятельно на высоком научном уровне, в которой содержится решение задачи установления взаимосвязи проектных параметров модулей орбитальных станций и электроракетных многоразовых буксиров с солнечными батареями большой мощности с факторами космического пространства и требованиями назначения модуля, разработки и совершенствования методик расчёта производительности системы.

Представленная диссертационная работа соответствует требованиям пункта 9 «Положения о порядке присуждения учёных степеней», утверждённого постановлением правительства Российской Федерации от 24.09.2013 года № 842, предъявляемым к диссертациям на соискание учёной степени кандидата технических наук, а ее автор – Ахмедов Муслим Ринатович заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.07.02 «Проектирование, конструкция и производство летательных аппаратов».

Официальный оппонент – ведущий научный сотрудник

ГНЦ ФГУП «Центр Келдыша»,

кандидат технических наук

Е.Ю. Кувшинова

Подпись официального оппонента Е.Ю. Кувшиновой удостоверяю.

Ученый секретарь

ГНЦ ФГУП «Центр Келдыша»,

кандидат военных наук



Ю.Л. Смирнов