



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, 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

28.11.2019 № 48-24/32

на № 15/150 От 28.10.2019

Председателю диссертационного  
совета Д 212.125.08  
на базе ФГБОУ ВО  
«Московский авиационный  
институт (национальный  
исследовательский университет)»,  
д.т.н., профессору  
Равиковичу Ю.А  
Волоколамское шоссе, д. 4, Москва,  
125993

Уважаемый Юрий Александрович!

Высылаю Вам отзыв официального оппонента, начальника отдела ГНЦ ФГУП «Центр Келдыша», д.т.н. Реброва Сергея Григорьевича на диссертацию Метельникова А.А. на тему: «Космическая лазерная энергетическая установка на основе волоконных лазеров», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.07.05 – «Тепловые, электроракетные двигатели и энергоустановки летательных аппаратов».

Приложение – Отзыв на 4 листах, 2 экз., н/с.

Ученый секретарь

Ю.Л. Смирнов

ОБЩИЙ ОТДЕЛ МАИ  
Вх. № 03 72 2019

## ОТЗЫВ

официального оппонента, доктора технических наук **Реброва Сергея Григорьевича** на диссертационную работу **Метельникова Артёма Александровича** «Космическая лазерная энергетическая установка на основе волоконных лазеров», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.07.05 «Тепловые, электроракетные двигатели и энергоустановки летательных аппаратов»

### Актуальность темы исследования

Сегодня для решения задачи очистки околоземного пространства от фрагментов космического мусора (ФКМ) рассматривается применение космических лазерных энергетических установок (КЛЭУ) на основе твердотельных лазеров на основе кристаллов и химических лазеров. Развитие современной техники позволяет использовать для решения очистки околоземного пространства от ФКМ и волоконные лазеры, которые, как известно, обладают рядом преимуществ по сравнению с твердотельными и химическими лазерами. Однако в современных работах, посвященных КЛЭУ на основе волоконных лазеров, основное внимание уделено подсистемам, решающим задачи генерации лазерного излучения и его наведения на ФКМ. Параметры подсистем, обеспечивающих работу такой установки, приводятся тезисно или вовсе опускаются. Подобный подход не позволяет учесть всех ограничений, накладываемых на энергомассовые характеристики КЛЭУ, а, следовательно, становится проблематичным определить эффективность ее применения. Поэтому целесообразно разработать методику оценки эффективности применения КЛЭУ для очистки околоземного пространства от ФКМ, учитывающую ограничения на энергомассовые характеристики подсистем КЛЭУ на основе волоконных лазеров, накладываемые подсистемами, обеспечивающими работу такой установки. Это обстоятельство обуславливает **актуальность темы** диссертации Метельникова А.А., **целью** которой является формирование структурного облика и параметрический синтез КЛЭУ на основе волоконных лазеров, решающей задачу очистки выбранной орбиты от опасных ФКМ.

Структура диссертации определяется решаемыми в ней научными и практическими задачами. Диссертация состоит из введения, 4 глав, заключения, списка литературы и приложения. Текст диссертации, изложенной на 112 страницах, содержит 34 таблицы, 41 рисунок и список литературы из 62 наименований.

В первой главе проведен обзор литературных источников, посвященных применению КЛЭУ для решения задачи очистки околоземного пространства от опасных ФКМ. Рассмотрены проекты КЛЭУ, решающие задачу очистки заданной орбиты от опасных ФКМ: их основные характеристики и структура. На основании проведенного обзора литературных источников

ОБЩИЙ ОТДЕЛ МАИ

Вх. № 8  
03 12 2019 г. 1

определена структура КЛЭУ на основе волоконных лазеров и основные связи между подсистемами КА и КЛЭУ.

Вторая глава посвящена разработке методики определения параметров режимов работы и эффективности применения КЛЭУ, решающей задачу очистки околоземного пространства от опасных ФКМ.

Третья глава посвящена разработке методики определения массы КА с КЛЭУ, исходных данных и параметров КЛЭУ на основе волоконных лазеров, решающей задачу очистки выбранной орбиты от опасных ФКМ.

В четвертой главе обобщены результаты, полученные во второй и третьей главах, и предложена методика, позволяющая проводить параметрический синтез КЛЭУ на основе волоконных лазеров, определять массу КА с такой КЛЭУ и эффективность применения КЛЭУ для решения задачи очистки выбранной орбиты от опасных ФКМ. Для двух орбит базирования проведен расчет массы КА с КЛЭУ на основе волоконных лазеров, решающей задачу очистки выбранной орбиты от опасных ФКМ, и эффективности применения такой КЛЭУ.

Исследования, проведенные А.А. Метельниковым, позволили ему:

1. предложить методику параметрического синтеза КЛЭУ, учитывающую ограничения на энергомассовые характеристики подсистем КА, обеспечивающие работу такой КЛЭУ.
2. определить ограничения на энергомассовые характеристики подсистем КЛЭУ и подсистем КА, обеспечивающих работу такой КЛЭУ.
3. провести параметрический синтез КЛЭУ, рассчитать массу КА с такой КЛЭУ и определить эффективность ее применения для очистки орбит с наклоном  $55^\circ$ , высотами 450 км и 850 км от опасных ФКМ.

Данные результаты, а также рекомендации по выбору системы генерации электрической энергии КА в зависимости от высоты базирования и режима работы КЛЭУ, являются основными научными результатами, полученными лично автором.

### **Степень обоснованности научных положений и выводов**

Автором на достаточно высоком научном уровне используются различные подходы и методы обоснования полученных результатов, выводов и рекомендаций, изучены и критически проанализированы известные достижения и теоретические положения других авторов.

### **Оценка новизны и достоверности**

**Научная новизна** диссертации заключается в создании методик определения массы КА с КЛЭУ и эффективности применения КЛЭУ для очистки околоземного пространства, которые, в отличие от существующих, позволяют учесть:



- 1) Особенности сценария воздействия КЛЭУ на ФКМ при определении эффективности применения КЛЭУ на основе волоконных лазеров;
- 2) Ограничения на массовые и энергетические параметры основных подсистем КА и КЛЭУ на основе волоконных лазеров при расчете массы КА с КЛЭУ.

**Достоверность** полученных результатов **обеспечивается** использованием:

- апробированных в научно-технической литературе математических моделей.
- данных наземных экспериментов по определению величины создаваемой тяги в зависимости от параметров лазерного излучения, которым был облучен материал.
- значений параметров существующих проектов КЛЭУ и подсистем КА при выборе исходных данных и ограничений на параметры КЛЭУ.

**Достоверность** полученных результатов **подтверждается** тем, что полученные в диссертации результаты согласуются с уже известными и обобщают их. А выводы, полученные в работе, логически вытекают из последовательно проведенных в диссертационной работе расчетов.

#### **Практическая значимость диссертации**

В дальнейшем результаты диссертации могут быть использованы:

1. При разработке методов оптимального согласования параметров и характеристик системы «силовая установка – летательный аппарат» и анализа ее эффективности.
2. В исследованиях, целью которых является определение характеристик энергетических установок летательных аппаратов, решающих задачу очистки околоземного пространства от ФКМ, при различных условиях их использования.
3. Предприятиями, подведомственными государственной корпорации по космической деятельности «Роскосмос», перед которыми стоит задача защиты КА и очистки околоземного пространства от ФКМ.

**Основные результаты работы** изложены в четырех статьях в рецензируемых научных изданиях из рекомендованного перечня ВАК. Результаты работы докладывались на семи международных конференциях. В соавторстве получено Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ.

#### **Замечания по диссертации.**

1. Эффективность очистки орбиты от мусора лазерным лучом будет иметь вероятностный характер и зависеть от формы фрагментов, скорости, массы, направления их вращения, материала. В диссертации не поставлен и не рассмотрен вопрос - какая доля из всех фрагментов,

на которые воздействует лазер, может быть заторможена с изменением траектории движения к Земле.

2. При расчете параметров системы электропитания на основе солнечных батарей в подразделе 3.3.1 не учитывается динамика изменения угла отклонения СБ от направления на Солнце.

3. При анализе энергомассовых характеристик установки следовало бы учесть параметры волоконных лазеров, разрабатываемых и изготавливаемых российской компанией – «ИРЭ-Полюс», г. Фрязино.


Высказанные выше замечания по диссертации ни в коей мере не снижают её общей высокой оценки.

### Заключение.

Диссертация А.А. Метельникова является законченной научно-квалификационной работой, в которой решена актуальная научная задача, заключающаяся в разработке научно-методического аппарата для: определения режимов работы КА с КЛЭУ с заданной структурой, с учетом ограничений на энергомассовые параметры подсистем КА с КЛЭУ, а также оценки эффективности применения КЛЭУ для очистки околоземного пространства от ФКМ. Диссертация выполнена автором самостоятельно и на высоком научном уровне. Автореферат с достаточной полнотой отражает основное содержание диссертации.

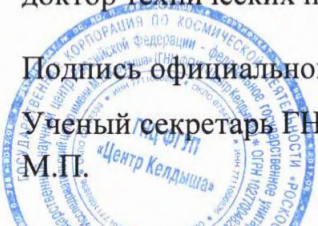
Диссертационная работа отвечает всем критериям Положения ВАК о порядке присуждения ученых степеней для диссертационных работ, предъявляемых на соискание ученой степени кандидата технических наук, а Метельников Артём Александрович заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.07.05 «Тепловые, электроракетные двигатели и энергоустановки летательных аппаратов».

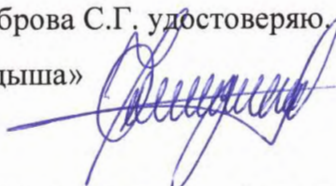
Начальник отдела отделения 3  
«Перспективных космических двигателей»  
ГНЦ ФГУП «Центр Келдыша»,  
доктор технических наук

28.11.2019 

С.Г. Ребров

Подпись официального оппонента д.т.н. Реброва С.Г. удостоверяю.

Ученый секретарь ГНЦ ФГУП «Центр Келдыша»  
М.П. 



Ю.Л. Смирнов

Полное название организации: Государственный научный центр российской федерации - федеральное государственное унитарное предприятие «Исследовательский центр имени М.В. Келдыша» (ГНЦ ФГУП «Центр Келдыша»).

Адрес: 125438, РФ, г. Москва, Онежская ул., д. 8.

Телефон: 8(495) 456-34-77, Факс: (495) 456-82-28

e-mail: kerc@elnet.msk.ru