



МИНОБРНАУКИ РОССИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования

«Балтийский государственный технический университет «ВОЕНМЕХ» им. Д. Ф. Устинова»
(БГТУ «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова)

Россия, Санкт-Петербург, 190005, 1-я Красноармейская ул., д.1. Тел.: (812) 316-2394, факс: (812) 316-2409,
e-mail: komdep@bstu.spb.su, www.voenmeh.ru
ИНН 7809003047

18.09.2014 № 41/179
На № _____ от _____

УТВЕРЖДАЮ

Ректор Балтийского государственного
технического университета «ВОЕНМЕХ»
им. Д. Ф. Устинова, д.т.н., профессор

К. М. Иванов



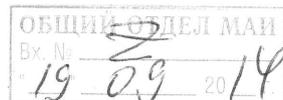
« _____ » 2014 г.

ОТЗЫВ

ведущей организации на диссертационную работу
Авдеева Алексея Валерьевича

«Расчетно-теоретическое исследование характеристик и обоснование
возможности создания многоцелевой космической энергоустановки
на основе фтороводородных непрерывных химических лазеров»,
представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук
по специальностям 05.07.05. Тепловые, электроракетные двигатели и
энергоустановки летательных аппаратов и 01.04.21 – Лазерная физика.

Диссертационная работа А. В. Авдеева «Расчетно-теоретическое
исследование характеристик и обоснование возможности создания
многоцелевой космической энергоустановки на основе фтороводородных
непрерывных химических лазеров» посвящена разработке энергоизлучающей
космической установки на базе различных модификаций автономных
фтороводородных химических лазеров; физическому и расчётно-
теоретическому моделированию рабочих процессов в ней; а также



проведению научно-технических оценок перспективного её применения для дистанционного воздействия на космические объекты, дистанционного энергоснабжения КА и зондирования Земли.

Целью диссертационной работы являлось: создание физико-математической модели системы генерации импульсно-периодического излучения фтороводородного химического лазера с непрерывной накачкой; исследование и теоретическая разработка данной системы, обеспечивающей генерацию импульсно-периодического лазерного излучения с энергией в импульсе ~ 1 Дж, длительностью импульса 10 нс и частотой следования импульсов ~ 100 кГц; разработка компоновочной схемы и расчетно-теоретическое исследование энергетических, массовых и габаритных характеристик энергоизлучающей установки на базе фтороводородного химического лазера на борту космического аппарата (КА); научно-техническое обоснование применения космической энергоизлучающей установки на базе фтороводородного химического лазера для дистанционного абляционного воздействия на космические объекты с целью защиты КА и очистки околоземного пространства, для дистанционного энергоснабжения КА и подзарядки их аккумуляторов, а также для дистанционного зондирования Земли и мониторинга приземной атмосферы.

Высокая актуальность выбранной темы подтверждается проводимыми в России и в мире аналогичными исследованиями и разработками энергоизлучающих лазерных установок, в том числе автономных мобильного (наземного), воздушного и космического базирования. Разработка последних имеет особую важность, так как позволяет решать актуальные задачи в космическом пространстве: дистанционное абляционное воздействие на различные космические объекты, дистанционное энергоснабжение КА, а также задачи дистанционного зондирования Земли. Автором диссертации было предложено новое решение поставленной проблемы на базе автономного фтороводородного химического лазера с непрерывной накачкой, для которого был разработан и исследован импульсно-периодический режим генерации, открывающий широкие возможности прикладного использования энергоизлучающей установки на его основе.

Научная новизна диссертационной работы А. В. Авдеева заключается в следующем:

1. Предложено и обосновано применение в оптической схеме фтороводородного химического лазера с непрерывной накачкой системы формирования импульсно-периодического излучения вида «задающий генератор с двумя электрооптическими затворами – предусилитель – оконечный усилитель мощности», обеспечивающей получение цуга мощных импульсов лазерного излучения с параметрами: энергия в импульсе ~ 1 Дж, длительность импульса ~ 10 нс, частота следования импульсов 100 кГц, пиковая мощность в импульсе $\sim 10^8$ Вт).

2. Оценена предельная длина активной среды в оконечном усилителе мощности (260 см при среднем коэффициенте усиления $0,06 \text{ см}^{-1}$), обусловленная возникновением вредного мощного усиленного спонтанного излучения в момент времени между импульсами излучения, когда усилительные свойства активной среды в оконечном усилителе фтороводородного лазера восстанавливаются до прежнего уровня, что может привести к существенному снижению запасенной в активной среде энергии ко времени прихода очередного импульса излучения на вход усилительных каскадов.

3. Разработана оптическая система совмещения силового канала излучения многофункциональной космической энергоизлучающей лазерной установки и её принимающего локационного канала. Обосновано использование в качестве приемной локационной оптической системы выходного телескопа силового канала излучения с диаметром главного зеркала 1 м, что позволяет снизить массогабаритные характеристики разрабатываемой космической энергоизлучающей установки.

4. Найдены условия получения генерации лазерного излучения в нескольких спектральных диапазонах на молекулах DF (3,55 ... 4,05 мкм) для обеспечения лидарного мониторинга атмосферы Земли из космоса. Показано, что для обнаружения территорий с надфоновыми концентрациями углеводородных газов достаточно использовать только задающий генератор с предусилителем без оконечного усилителя мощности.

В результате исследований по поставленной проблеме автором **на защиту выносятся следующие положения:**

1. Система формирования во фтороводородном химическом лазере с непрерывной накачкой импульсно-периодического излучения с энергией в импульсе ~ 1 Дж, длительностью импульсов 10 нс и частотой следования

импульсов ~ 100 кГц. Модель расчета распространения и усиления усиленного спонтанного излучения в активных средах фтороводородных химических лазеров и результаты расчета возможности подавления усиленного спонтанного излучения в оконечном усилителе мощности.

2. Расчётная оптимизация характеристик распространения и усиления усиленного спонтанного излучения в оконечном усилителе мощности, в результате чего найдена его предельная длина.

3. Система формирования силового излучения и информационно-прицельная система многофункциональной космической энергоизлучающей установки с выходным формирующим телескопом Кассегрена. Метод совмещения силового и локационного каналов.

4. Обоснование возможности размещения многофункциональной космической энергоизлучающей установки на борту КА, выводимого в космос ракетой-носителем «Протон-М» (общая полезная масса ~ 19700 кг).

5. Расчетная модель и результаты расчета изменения динамики и траектории полета фрагментов космического мусора, движущихся по эллиптическим орбитам при воздействии на них импульсно-периодическим лазерным излучением.

Достоверность полученных результатов и выводов обеспечивается адекватностью используемых физических моделей и математических методов, корректностью используемых приближений, воспроизводимостью расчетных и экспериментальных данных, а также их соответствием результатам, полученным другими авторами.

Полученные результаты востребованы:

- организациями - разработчиками и эксплуатантами фтороводородных химических лазеров для реализации импульсно-периодического режима генерации, характеризующегося сверхвысокими пиковыми мощностями в течение лазерных импульсов (более 10^8 Вт), широко востребованными в ряде приложений.

- Федеральным космическим агентством России (Роскосмос) и смежными предприятиями для создания энергоизлучающих лазерных установок космического базирования, предназначенных для дистанционного воздействия на космические объекты и дистанционного энергопитания КА;

- организациями – разработчиками средств дистанционного зондирования Земли для создания космического лидарного комплекса на базе химического фтороводородного лазера, предназначенного для дистанционного мониторинга экологической обстановки в приземной атмосфере, обнаружения газовых и нефтяных месторождений по газовым выбросам над ними, а также утечек в газовых магистралях.

Диссертационная работа А. В. Авдеева состоит из введения, обзора литературных источников, четырёх глав, заключения и списка литературы.

Во введении обоснована актуальность темы исследования; сформулированы цели и задачи работы; отражены новизна и практическая значимость работы.

В обзоре литературных источников рассматриваются и анализируются отечественные и зарубежные разработки мобильных лазерных комплексов на основе фтороводородных химических лазеров. Проведён аналитический обзор работ по получению импульсно-периодического режима генерации фтороводородного химического лазера, а также работ, посвящённых вопросам воздействия лазерным излучением на фрагменты космического мусора с целью очистки околоземного пространства и защиты КА.

В первой главе выполнена разработка оптической схемы многофункциональной энергоизлучающей комической установки на базе фтороводородного химического лазера с учётом требований выполнения поставленной целевой задачи. Проведена оценка удельной энергии наносекундных импульсов излучения, которые можно извлечь из активной среды HF химического лазера, используемого для абляционного воздействия на космические объекты. Проведен расчёт параметров задающего генератора HF химического лазера, его предусилителя и оконечного усилителя мощности, включая расчёт его предельной длины. Проведён расчёт параметров задающего генератора и усилителя DF химического лазера, используемого для лидарного дистанционного зондирования Земли. Проведён расчёт мощности непрерывного HF химического лазера, используемого для дистанционного энергоснабжения КА и подзарядки его аккумуляторов.

Во второй главе выполнена разработка системы формирования силового излучения и информационно-прицельной системы

многофункциональной космической энергоизлучающей установки на базе фтороводородного химического лазера, которые предназначены для обнаружения и отслеживания космических объектов, наведения на них силового лазерного излучения, наведения лазерного излучения на приемные устройства дистанционно снабжаемых энергией КА, а также для приёмопередачи лазерных импульсов дистанционного зондирования Земли. Проведён аналитический обзор материалов, применяемых для изготовления оптических элементов формирующей системы.

В третьей главе выполнена разработка общей компоновочной схемы многофункциональной космической энергоизлучающей установки на базе фтороводородного химического лазера на борту КА. Выбрана оптимальная ракета-носитель для вывода КА с разрабатываемой энергоизлучающей установкой в космос. Проведены оценки массогабаритных характеристик составных частей энергоизлучающей космической установки на базе фтороводородного химического лазера: системы импульсно-периодической генерации излучения, системы хранения и подачи компонентов лазерного топлива, формирующей оптической системы и системы лазерной локации. Произведена оценка длительности работы такой энергоизлучающей установки при различных режимах работы.

В четвертой главе сформулированы требования к параметрам излучения разрабатываемой многофункциональной космической энергоизлучающей установки на базе фтороводородного химического лазера в соответствии с выполняемыми ею задачами. Обосновано применение импульсно-периодического режима генерации фтороводородного химического лазера с частотой следования импульсов 105 Гц и длительностью импульсов 10 нс для дистанционного абляционного воздействия на космические объекты с целью защиты КА и очистки околоземного пространства, для дистанционного энергоснабжения КА и подзарядки их аккумуляторов, а также для дистанционного зондирования Земли и мониторинга приземной атмосферы с помощью разрабатываемой энергоизлучающей установки.

В качестве недостатков следует отметить следующее:

1. В работе присутствует небрежность при оформлении текстового, иллюстративного и формульного материала:

- не пронумерованы формулы на стр. 37, 168, 169, 170;

- отсутствует указание на источники рисунков 7, 26;
- в тексте описания рисунка 16, приведённом на стр. 85 диссертационной работы, некорректно указаны номера позиций зеркал согласующего телескопа, указаны номера 3 и 4 вместо номеров 4 и 5;
- на стр. 166 диссертационной работы приведена некорректная фраза «имеется 2 периода в году вблизи осеннего и весеннего равноденствия (примерно по месяцу каждый), когда спутники попадают в тень Земли; при этом максимальное затенение длится около 72 минут».

2. В первой главе диссертационной работы не приведено описание и обоснование выбранных решений оптических схем задающего генератора, предусилителя и оконечного усилителя мощности импульсно-периодического фтороводородного химического лазера в составе космической энергоизлучающей установки.

Следует отметить, что автором работы получен патент на изобретение (РФ №2494510 от 27.09.2013), в котором приведены эти недостающие в тексте диссертации сведения, а разработанный автором импульсно-периодический фтороводородный химический лазер с непрерывной накачкой прошёл государственную экспертизу по критериям мировой новизны, изобретательский уровень и промышленная применимость.

3. На стр. 94 приведён некорректный расчёт энергопотребления твердотельного локационного неодимового лазера, не учитывающий эффективность оптической накачки, а также эффективность параметрического преобразования излучения во вторую гармонику.

4. При проведении технико-экономической оценки возможности применения фтороводородного непрерывного химического лазера для дистанционного энергоснабжения КА в расчётах были использованы параметры аккумуляторных батарей, не соответствующих современному уровню техники.

Указанные недостатки не носят принципиального характера и не снижают научной и практической ценности диссертационной работы.

Диссертационная научная работа А. В. Авдеева является законченной научно-исследовательской работой, содержащей новое решение актуальной

научной задачи в области разработки новых энергетических установок и лазерной физики.

Апробация диссертационной работы представляется достаточной, основные результаты работы опубликованы в изданиях, рекомендованных ВАК. Выводы и рекомендации, приведённые в диссертации, достаточно обоснованы. Содержание автореферата диссертации соответствует основным положениям диссертации.

Считаем, что диссертация Авдеева Алексея Валерьевича «Расчетно-теоретическое исследование характеристик и обоснование возможности создания многоцелевой космической энергоустановки на основе фторводородных непрерывных химических лазеров» удовлетворяет требованиям ВАК РФ, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а автор достоин присуждения ему степени кандидата технических наук.

Отзыв на диссертацию и автореферат утвержден на заседании кафедры «Лазерная техника» Балтийского государственного технического университета «ВОЕНМЕХ» им. Д. Ф. Устинова (Протокол № 4 от «15» 09 2014 г.).

Заведующий кафедрой
БГТУ «ВОЕНМЕХ» им. Д. Ф. Устинова,
д.т.н., профессор



А. С. Борейшо

«17» 09 2014 г.