

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА  
Д212.125.08 НА БАЗЕ ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО БЮДЖЕТНОГО  
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО  
ОБРАЗОВАНИЯ «МОСКОВСКИЙ АВИАЦИОННЫЙ ИНСТИТУТ  
(НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ)» (МАИ)  
МИНИСТЕРСТВА ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РФ ПО ДИССЕРТАЦИИ НА  
СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ КАНДИДАТА НАУК

аттестационное дело № \_\_\_\_\_

решение диссертационного совета от 06.10.2014 г. № 6

О присуждении Авдееву Алексею Валерьевичу, гражданину РФ, ученой степени кандидата технических наук.

Диссертация «Расчетно-теоретическое исследование характеристик и обоснование возможности создания многоцелевой космической энергоустановки на основе фтороводородных непрерывных химических лазеров» по специальностям 05.07.05 «Тепловые, электроракетные двигатели и энергоустановки летательных аппаратов» и 01.04.21 «Лазерная физика» принята к защите 3 июля 2014 г., протокол № 5 диссертационным советом Д212.125.08 на базе федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)» Министерства образования и науки РФ, 125993, г. Москва, Волоколамское шоссе, д. 4., приказы Минобрнауки РФ: о создании диссертационного совета - № 2249-1460 от 02.11.2007 г., об изменении состава диссертационного совета - № 1986-540/1460 от 21.11.2008 г., о продлении срока действия диссертационного совета - № 1925-601 от 08.09.2009 г., о соответствии диссертационного совета Положению о совете по защите диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук - № 105/нк от 11.04.2012 г., об изменении состава диссертационного совета - № 580/нк от 22.08.2012 г.

Соискатель Авдеев Алексей Валерьевич 1987 года рождения, работает старшим преподавателем в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего профессионального образования «Московский авиационный

институт (национальный исследовательский университет)» Министерства образования и науки РФ.

В 2010 году соискатель окончил с отличием федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)». В 2013 году окончил очную аспирантуру федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)».

Диссертация выполнена на кафедре «Энерго-физические системы» федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)» Министерства образования и науки РФ.

Научный руководитель – доктор технических наук Каторгин Борис Иванович, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)», кафедра «Энерго-физические системы», заведующий кафедрой.

**Официальные оппоненты:**

1. Солдатов Валерий Иванович, доктор технических наук, Государственный научный центр РФ ОАО «Национальный центр лазерных систем и комплексов «Астрофизика», главный научный сотрудник;
2. Троценков Сергей Викторович, кандидат физ.-мат. наук, ОАО «Объединенная двигательная корпорация», отдел ракетных двигателей, начальник отдела;

дали положительные отзывы о диссертации.

**Ведущая организация:** федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Балтийский государственный технический университет «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова», г. Санкт-Петербург, в своем положительном заключении, подписанном Борейшо Анатолием Сергеевичем, доктором технических наук, профессором, заведующим кафедрой «Лазерная техника», указала, что 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. Аprobация 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 фтороводородных непрерывных химических лазеров» удовлетворяет требованиям ВАК РФ, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а автор достоин присуждения ему степени кандидата технических наук.

Соискатель имеет 33 опубликованные работы, в том числе по теме диссертации 20 работ, опубликованных в рецензируемых научных изданиях 8 работ. 20 научных работ по теме диссертации (из них 10 написаны единолично, 10 в соавторстве) имеют общий объём 26,85 печатных листов, в том числе 2 монографии (написаны единолично) и 8 статей (из них 3 написаны единолично, 5 в соавторстве (в них соискателем получены новые научные результаты, например, обоснованы требования к излучению многоцелевой космической лазерной энергоустановки (МКЛЭУ) для защиты КА от фрагментов космического мусора (ФКМ), выполнена оценка массогабаритных основных составляющих частей МКЛЭУ и разработана компоновочная схема такой установки на борту КА, выводимого в космос)) в научных журналах и изданиях, которые включены в перечень российских рецензируемых научных журналов и изданий для опубликования основных научных результатов диссертаций, а также 1 работа (в соавторстве, соискателем разработана схема получения сверхмощного импульсно-периодического излучения в непрерывных химических лазерах с непрерывной накачкой, разработана модель расчета усиленного спонтанного излучения в таких лазерах) в зарубежных научных изданиях, 1 патент на изобретение (в соавторстве), 1 свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ (написан единолично), 7 работ (3 написаны единолично и 4 - в соавторстве), опубликованных в материалах всероссийских и международных конференций по теме диссертации; имеется 4 публикации в электронных научных изданиях.

Наиболее значимые научные работы по теме диссертации:

1. Авдеев А.В., Башкин А.С., Каторгин Б.И., Парфеньев М.В. Анализ возможности очистки околоземного пространства от опасных фрагментов космического мусора с помощью космической лазерной установки на основе автономного непрерывного химического HF-лазера // Квантовая электроника, 2011, 41 (7), С. 669–674.
2. Авдеев А.В., Башкин А.С., Курдюков М.В., Парфеньев М.В., Семенов С.Н. О выхлопных устройствах фтороводородных космических лазерных установок // Труды НПО «Энергомаш им. Академика В.П. Глушко», 2011, том 28, С. 318-330.
3. Авдеев А.В., Башкин А.С., Шушарин Е.И. Анализ параметров космической лазерной установки на основе HF-НХЛ для очистки околоземного пространства // Труды НПО «Энергомаш им. Академика В.П. Глушко» 2010, том 27, С. 284-304.
4. Avdeev A.V., Bashkin A.S., Katorgin B.I., Parfen'ev M.V. About possibilities of clearing near-earth space from dangerous debris by a spaceborne laser system with an autonomous cw chemical hf laser // Quantum Electronics. 2011. 41 (7). P. 669-674.
5. Авдеев А.В. Требования к параметрам космической лазерной установки на основе HF-НХЛ для очистки околоземного пространства от опасных фрагментов космического мусора// “Электронный журнал «Труды МАИ», 2011, выпуск № 45: <http://www.mai.ru/science/trudy/published.php?ID=25331> (дата публикации 09.06.2011).
6. Авдеев А.В. Особенности получения и усиления коротких импульсов излучения в активных средах HF-НХЛ // Электронный журнал «Труды МАИ», 2012, выпуск № 52: <http://www.mai.ru/science/trudy/published.php?ID=29454> (дата публикации 05.04.2012).
7. Авдеев А.В. К вопросу борьбы с космическим мусором с помощью лазерной космической установки на основе HF-НХЛ // Электронный журнал «Труды МАИ», 2012, выпуск № 61: <http://www.mai.ru/science/trudy/published.php?ID=35496> (дата публикации 24.12.2012).
8. Авдеев А.В., Башкин А.С., Каторгин Б.И., Парфеньев М.В., Семенов С.Н. Компоновка многоцелевой лазерной космической установки на основе HF(DF)-НХЛ на борту КА // Электронный журнал «Труды МАИ», 2013 г., выпуск № 71: <http://www.mai.ru/science/trudy/published.php?ID=46728> (дата публикации 26.12.2013).
9. Авдеев А.В. Космическая лазерная установка для защиты КА от космического мусора. LAP LAMBERT Academic Publishing, 2011. 108с.

10. Авдеев А.В. Теоретические основы создания многоцелевой космической лазерной установки на основе фтороводородных непрерывных химических лазеров (НХЛ). LAP LAMBERT Academic Publishing, 2013. 228с.

11. Авдеев А.В., Башкин А.С. Химический импульсно-периодический лазер с непрерывной накачкой и модуляцией добротности резонатора. // Патент на изобретение. Патент на изобретение РФ № 2494510 от 27.09.2013 г.

12. Авдеев А.В. Программа для расчета воздействия импульсно-периодического лазерного излучения космической лазерной установки на опасные фрагменты космического мусора // Программа для ЭВМ. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2012616468 от 18.07.2012 г.

На диссертацию и автореферат поступили отзывы:

Отзыв официального оппонента, главного научного сотрудника Государственного научного центра РФ ОАО «Национальный центр лазерных систем и комплексов «Астрофизика», д.т.н. Солдатова В.И. Замечания: на стр. 8 опечатка во фразе «инверсии населенности». Должно быть «инверсии населенностей»; в разделе 1.7 диссертации производится расчет мощности непрерывного излучения системы, состоящей из задающего генератора и предусилителя мощности с единым ГАС, в качестве прототипа которого взят ГАС МГ5 разработки НПО «Энергомаш». При этом не приведены сопоставления этих результатов с экспериментами данными НПО «Энергомаш»; на стр. 88 и 179 словосочетание «предельно-допустимая» нужно писать отдельно в два слова: «предельно допустимая».

Отзыв официального оппонента, начальника отдела ракетных двигателей ОАО «Объединенная двигательная корпорация», к.ф.-м.н. Троценкова С.В. Замечания: на странице 94 диссертационной работы в расчетах принято, что траектории фрагментов космического мусора и космического аппарата пересекаются под углом  $\pm 7,5^\circ$ , при этом обоснования выбора этого положения не представлено; в разделе 4.3 диссертационной работы оценки экономии на стоимости запуска спутника с подзаряжаемой аккумуляторной батареей выполнены в долларах США. Было бы логично эту оценку произвести в рублях с учетом того, что запуск многоцелевой космической лазерной установки предполагается проводить российскими средствами выведения с космодрома Байконур; в тексте диссертационной работы несколько раз встречается словосочетание «выполнена компоновка». Для теоретической работы

более подходяще в данном контексте представляется словосочетание «разработана компоновочная схема».

Отзыв ведущей организации федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Балтийский государственный технический университет «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова» составлен Борейшо Анатолием Сергеевичем, доктором технических наук, профессором, заведующим кафедрой «Лазерная техника» и утвержден Ивановым К. М., доктором технических наук, профессором, ректором. Замечания:

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

- не пронумерованы формулы на стр. 37, 168, 169, 170;
- отсутствует указание на источники рисунков 7, 26;
- в тексте описание рисунка 16, приведенном 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 два 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 прошел государственную экспертизу по критериям мировой новизны, изобретательский уровень и промышленная применимость.

3. На стр. 94 приведен некорректный расчет энергопотребления твердотельного локационного неодимового лазера, не учитывающий эффективность

оптической накачки, а также эффективность параметрического преобразования во вторую гармонику.

4. При проведении технико-экономической оценки возможности применения фтороводородного непрерывного химического лазера для дистанционного энергосбережения КА в расчетах были использованы параметры аккумуляторных батарей, несоответствующих современному уровню техники.

Отзыв зав. лабораторией химических лазеров ИПХФ РАН, к.ф.-м.н. Бравого Б.Г. Замечания: в автореферате упоминается, что средняя мощность НХЛ в импульсно-периодическом режиме (ИПР) ниже, чем мощность НХЛ в непрерывном режиме. Чтобы можно было судить о величине неизбежных в ИПР потерь и о действительной эффективности организации ИПР, хотелось бы видеть в автореферате точные значения снижения мощности; из текста автореферата не ясно учитывались ли пространственные фильтры при расчёте максимальной длины активной среды предварительного и конечных усилителей, при которой усиленное спонтанное излучение еще не сильно влияет на инверсию. Вызывает сомнение, что среда с таким большим  $k \cdot L \sim 20$  ( $k=0,06 \text{ см}^{-1}$  и  $L=340 \text{ см}$ ), и, к тому же, с большой апертурой ( $100 \text{ см}^2$ ), может сохранить инверсию; ссылки [1] и [4] тождественны.

Отзыв начальника лаборатории №306 ФГУП «РНС «Прикладная химия» доктора технических наук профессора Фёдорова И.А. Замечания: в названии диссертации фигурируют только фтороводородные лазеры, а по ходу изложения материала появляются и фтордейтериевые. Очевидно, что в название следовало включить оба типа лазеров; в автореферате отсутствует обоснование по выбору исходных данных (частота повторения импульсов  $\sim 100 \text{ кГц}$ , длительность импульса  $10 \text{ нс}$ , энергия в импульсе  $\sim 1 \text{ Дж}$ ) и величины среднего коэффициента усиления  $0,06 \text{ см}^{-1}$ , положенных в основу теоретической разработки системы формирования импульсно-периодического излучения HF-НХЛ. Не указано, какая при этом необходима мощность исходного непрерывного излучения; утверждается, что оптическая схема задающего генератора с предусилителем мощности при переходе от генератора активной среды с HF-НХЛ к генератору активной среды с DF-НХЛ остается без изменений. Однако хорошо известно, что средний коэффициент усиления у первого генератора в 2 раза выше, чем у второго. Очевидно, что этот факт не может не отразиться на этой схеме. Кроме того, при рассмотрении схемы «задающий

генератор-усилитель мощности» в автореферате обойден вопрос о пространственно-временном согласовании спектров излучения задающего генератора и усилителя.

Отзыв научного руководителя ОАО «МКБ «Факел», д.т.н. Светлова В.Г. Замечания: на стр. 4 абзац 3 - «КА» не расшифровано, расшифровка дана позже; на стр. 9, где представлен алгоритм расчета воздействия импульсно-периодического излучения на динамику сближения фрагментов космического мусора с КА логично было бы привести уравнения, на которых базируется численный алгоритм; на стр. 22 в пункте 5 имеется опечатка в словосочетании «достижима полная энергию», должно быть «достижима полная энергия».

Отзыв зам. начальника проектного центра ФГУП «НПО им. С.А. Лавочкина», д.т.н. Сысоева В.К. Замечания: излишнее использование автором жаргона, например: с.4,6 «подпитка» энергией..., с.7 «вредного» мощного..., с.8 «по реальному» полученному... и т.д.; излишнее употребление сокращений, приводящих к усложненному восприятию материала автореферата; некоторые утверждения автора вызывают сомнения, например, на с.3 «Химический к.п.д. НХЛ значительно превосходит к.п.д. других лазеров»; вызывает большое сомнение утверждение автора о так называемой «подпитке» излучением НФ лазеров других космических аппаратов. Во-первых, автор не описывает схему такой «подпитки». Во-вторых, как известно, для преобразования лазерного излучения в электричество, возможно с использованием фотопреобразователей, но для спектрального диапазона излучения НФ лазеров не существует высокоэффективных фотопреобразователей, а так называемые приемные системы типа «наноантенны» существуют в виде микро площадок и не ясны перспективы их масштабировки; автор, предложив оригинальный вариант импульсного периодического лазера НФ, не показал, есть ли отличие спектров излучения такого типа лазера от имеющихся непрерывных НФ лазеров; утверждение автора о возможности использования разработанного им импульсного периодического химического лазера для дистанционного анализа углеводородов в атмосфере не подтверждено схемами такого анализа и расчётом чувствительности таких схем измерения.

Отзыв первого заместителя главного конструктора ОАО «НПО Энергомаш им. академика В.П. Глушко, к.т.н. Лёвочкина П.С. Замечания: предложение автора «разбить по высоте на две части» разработанный в ОАО «НПО Энергомаш»



генератор активной среды Н00 представляет собой достаточно сложную техническую задачу, а оценка уменьшения стоимости запуска КА с подпиткой аккумуляторных батарей с помощью предложенной в диссертации МКЛЭУ приведена в автореферате без сравнения со стоимостью запуска самой МКЛЭУ.

Отзыв ОАО «НПП «Темп» им. Ф. Короткова составлен главным конструктором Хлебановым В.И., ведущим инженером конструктором, к.т.н. Истоминым Е.А. и ведущим инженером конструктором, к.т.н. Белуковым А.А. и утвержден генеральным директором Ивановым Д.В. Замечания: из текста автореферата не ясно, были ли сделаны оценки стоимости создания разрабатываемой МКЛЭУ, запуска её в космос и дозаправки компонентами лазерного топлива; на странице 4 сокращение ФКМ впервые встречается в тексте в третьем абзаце, а само сокращение ФКМ расшифровано только в четвертом абзаце.

Выбор официальных оппонентов обосновывается тем, что они являются компетентными учеными в области диссертационного исследования, что, в том числе, подтверждается их научными публикациями. Выбор ведущей организации обуславливается широкой известностью ее достижений в области научных исследований, рассматриваемых в диссертации.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

- разработана оптическая система совмещения силового канала излучения многофункциональной космической лазерной энергоизлучающей установки и её принимающего локационного канала. Обосновано использование в качестве приемного локационного телескопа выходного телескопа силового канала излучения с диаметром главного зеркала 1 м, что позволяет снизить массогабаритные характеристики разрабатываемой лазерной энергоустановки;
- предложено и обосновано применение в оптической схеме фтороводородного химического лазера с непрерывной накачкой системы формирования импульсно-периодического силового излучения вида «задающий генератор с двумя электрооптическими затворами – предусилитель – оконечный усилитель мощности», обеспечивающей получение цуга мощных импульсов лазерного излучения (длительность  $\sim 10$  нс, частота повторения 100 кГц, энергия в импульсе  $\sim 1$  Дж, пиковая мощность  $\sim 10^8$  Вт);

- доказана перспективность использования рассматриваемой в диссертации многофункциональной космической лазерной энергоизлучающей установки.

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что:

- доказана необходимость применения после задающего генератора предусилителя мощности для обеспечения достаточного уровня насыщения активной среды в усилительных каскадах помимо оконечного усилителя мощности (ОУМ) HF-излучения. Его применение обеспечивает работу ОУМ в насыщающемся режиме практически с самого входного сечения;
- применительно к проблематике диссертации результативно (эффективно, то есть с получением обладающих новизной результатов) использована система уравнений Навье-Стокса в приближении узкого канала при расчете мощности непрерывного излучения на выходе предусилителя мощности;
- изложена методика расчета, описывающая распространение усиленного спонтанного излучения (УСИ) в ОУМ;
- раскрыты аспекты формирования коротких мощных импульсов в энергоизлучающих установках на основе фтороводородных непрерывных химических лазеров;
- изучена связь мощности усиленного спонтанного излучения в ОУМ, возникающего в промежутках между импульсами, в зависимости от длины ОУМ, и влияние прямой и обратной волны усиленного спонтанного излучения на суммарную его мощность;
- проведена модернизация численных методов, используемых при расчете распространения и усиления излучения в активных средах непрерывных химических лазеров для случая усиления и распространения коротких ( $\sim 10$  нс) импульсов.

Значение полученных соискателем результатов исследования для практики подтверждается тем, что:

- разработаны и внедрены в учебный процесс МАИ методы получения коротких импульсов излучения в энергоизлучающих установках на основе фтороводородных непрерывных химических лазеров с непрерывной накачкой активной среды;
- определены перспективы практического использования многоцелевой космической лазерной энергоизлучающей установки: предприятиями Федерального космического агентства, где ищутся перспективы для решения одной из актуальнейших проблем – защиты космических аппаратов от опасных ФКМ, подпитки энергией КА; организациями экологического мониторинга атмосферы, осуществляющими

дистанционный контроль экологической обстановки в приземной атмосфере и обнаружение потенциальных газовых и нефтяных месторождений по газовым выбросам над ними и утечек в газовых магистралях, геолого-разведывательными организациями.

- сформулированы практические рекомендации по обнаружению и воздействию на фрагменты космического мусора и очистке околоземного пространства с помощью многоцелевой космической лазерной энергоизлучающей установки;
- представлены рекомендации предприятиям и организациям при разработке фтороводородных НХЛ для получения импульсно-периодического режима излучения, когда при некотором снижении средней мощности могут быть получены сверхвысокие мощности в импульсе (превышающие  $10^8$  Вт), превосходящие на порядки соответствующие значения, достигнутые в непрерывном режиме генерации.

Оценка достоверности результатов исследования выявила:

- теория подтверждается адекватностью использованных физических и математических методов, результаты численных экспериментов имеют достаточный объём, подвергнуты статистическому анализу и воспроизводимы;
- использованы известные из литературы экспериментальные параметры лучевой стойкости электрооптических кристаллов, экспериментальные данные из проекта «ORION» по исследованию импульса отдачи разных материалов при воздействии на них лазерного излучения в вакууме;
- установлено соответствие теоретических результатов расчета мощности импульсов излучения, извлекаемых из активной среды непрерывных химических лазеров с расчетными данными, полученными другими авторами;
- использованы современные автоматизированные системы сбора и обработки информации.

Личный вклад соискателя состоит в непосредственном участии в получении исходных данных и научных экспериментах, обработке и интерпретации полученных данных, результаты которых были обобщены в ряд имеющих практическую и научную значимость выводов; в личном участии в апробации результатов исследования; в разработке моделей и написании расчетных программ на базе этих моделей; в личной подготовке автором основных публикаций и докладов по выполненной работе.

На заседании 06.10.2014 г. диссертационный совет принял решение присудить Авдееву А.В. ученую степень кандидата технических наук.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 22 человек, из них 7 докторов наук по специальности 05.07.05 «Тепловые, электроракетные двигатели и энергоустановки летательных аппаратов» и 3 доктора наук по специальности 01.04.21 «Лазерная физика», участвовавших в заседании, из 30 человек, входящих в состав совета, из них 3 человека дополнительно введены на разовую защиту, проголосовали: за присуждение учёной степени 22, против присуждения учёной степени 0, недействительных бюллетеней 0.

Председатель диссертационного совета



Равикович

Юрий Александрович

Ученый секретарь диссертационного совета



Зуев

Юрий Владимирович

6 октября 2014 г.

