

## **ОТЗЫВ**

### **официального оппонента**

на диссертационную работу Галактионова Ильи Владимировича  
«Увеличение эффективности фокусировки рассеянного лазерного излучения  
методами адаптивной оптики»,  
представленную на соискание учёной степени кандидата физико-математических  
наук  
по специальности 01.04.03 — «Радиофизика»

### **Актуальность темы**

В диссертационной работе И.В. Галактионова исследуется эффективность фокусировки лазерного излучения на длине волны 0.65 мкм, распространяющегося сквозь слой оптически-рассеивающей среды.

Из литературных источников известно, что рассеяние света на частицах атмосферного аэрозоля оказывает негативное влияние на передачу энергии и информации лазерным пучком. В результате рассеяния часть энергии перераспределяется из центральной области фокального пятна в ореол, при этом уменьшается как пиковая интенсивность, так и плотность мощности в пятне. Решению указанной проблемы посвящена диссертационная работа И.В. Галактионова. Представленные в диссертации результаты получены на основе методов численного моделирования и в лабораторном эксперименте. Указанный подход существенно увеличивает достоверность приводимых в работе данных.

Для проведения экспериментальных исследований автором была построена лабораторная установка, в которой в качестве корректора волнового фронта использовалось биморфное деформируемое зеркало со световой апертурой 50 мм и 48 управляющими электродами, а в качестве рассеивающей среды, моделирующей атмосферный туман средней плотности, – суспензия полистироловых микросфер диаметром 1 мкм, взвешенных в дистиллированной воде. Оптическая толщина среды варьировалась в диапазоне от 1 до 10.

Значительный объем работы занимает теоретическая часть, посвящённая моделированию распространения ограниченного коллимированного лазерного пучка сквозь слой рассеивающей среды а также измерению искажений усреднённого волнового фронта пучка на основе метода Шака-Гартмана.

Выбранная тема диссертационной работы, полученные данные, используемые подходы, современные приборы и модели, все это является актуальным в настоящее время, а разработанные автором методики и результаты численных и лабораторных экспериментов представляют интерес для научной общественности.

### **Научная новизна и практическая значимость исследований**

Представленные в работе результаты обладают научной новизной и имеют практическую значимость. В частности, автором установлено, что в усреднённом волновом фронте лазерного излучения видимого диапазона при распространении сквозь рассеивающую среду с оптической толщиной в диапазоне от 1 до 10 и фактором анизотропии 0.9 присутствует не только такие искажения как

дефокусировка, но и сферические aberrации второго и четвёртого порядков. С ростом концентрации рассеивателей в среде величина этих aberrаций возрастает.

Впервые экспериментально установлено, что применение метода фазового сопряжения в адаптивной оптической системе включающей датчик Шака-Гартмана и биморфное зеркалом с 48 управляющими электродами, позволяет увеличить пиковую интенсивность фокального пятна излучения, распространяющегося сквозь слой рассеивающей среды с оптической толщиной в диапазоне от 1 до 10 и фактором анизотропии 0.9, не менее чем на 13 %, а применение метода апертурного зондирования — не менее чем на 60 %.

Полученные автором результаты демонстрируют возможность использования адаптивной коррекции для увеличения дальности распространения лазерного пучка через рассеивающий аэрозоль, т.е. целесообразность применения методов адаптивной оптики в системах беспроводной передачи энергии и информации в атмосфере, для увеличения глубины проникновения зондирующего излучения в биологические ткани и во многих других прикладных задачах современной оптики.

**Достоверность результатов** диссертационной работы, не вызывает сомнений. Достоверность подтверждается экспериментальными данными, сравнением экспериментальных результатов с результатами, полученными при численном моделировании.

**Степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций.** Вводы и защищаемые положения логически вытекают из представленного в диссертации материала.

### **Структура диссертационной работы**

Диссертационная работа И.В. Галактионова состоит из введения, трех глав и заключения. В конце диссертации приведён список цитируемой литературы и список публикаций автора по теме выполненных исследований. Работа изложена на 159 страницах, включает 75 рисунков и 7 таблиц. Список цитируемой литературы содержит 200 наименований. Результаты диссертационной работы опубликованы в 3 рецензируемых статьях и доложены на многочисленных международных и российских конференциях.

Диссертационная работа включает следующие разделы:

Во **введении** обосновывается актуальность выбранной темы, научная новизна и практическая значимость, приводятся основные положения, выносимые на защиту, кратко излагается содержание и структура диссертации по главам.

**Первая** глава посвящена обзору литературных источников, в которых рассматриваются методы наблюдения и задачи фокусировки лазерного излучения сквозь рассеивающие среды. В главе приводится определение рассеяния оптического излучения, описываются особенности упругого и неупругого рассеяния, в ней также помещены основные характеристики оптически рассеивающих сред.

**Во второй** главе представлена созданная автором компьютерная программа регистрации искажений усреднённого волнового фронта рассеянного излучения, работающая на основе метода Шака-Гартмана. Приведена численная модель

распространения пучка в среде с различными концентрациями рассеивателей. Помещено описание основных компонентов лабораторной установки, предназначенной для подтверждения результатов моделирования. Также в главе подробно рассмотрена используемая в экспериментах рассеивающая среда, представляющая собой суспензию полистироловых микросфер диаметром 1 мкм, взвешенных в дистиллированной воде. Концентрация рассеивающих частиц в суспензии варьируется от  $10^5 \text{ мм}^{-3}$  до  $10^6 \text{ мм}^{-3}$ .

**Третья** глава посвящена описанию разработанной лабораторной адаптивной оптической системы, включающей биморфное зеркало, датчик Шака-Гартмана и анализатор интенсивности. Система предназначена для улучшения качества фокусировки лазерного излучения, распространяющегося сквозь слой рассеивающей среды с концентрацией частиц от  $10^5 \text{ мм}^{-3}$  до  $10^6 \text{ мм}^{-3}$ . В главе представлен алгоритм численной оценки эффективности коррекции искажений усреднённого волнового фронта, основанный на разложении экспериментально измеренной средней фазовой поверхности излучения по функциям отклика электродов биморфного адаптивного зеркала. Также в главе помещен подробный литературный обзор типов существующих корректоров волнового фронта с локальными и модальными функциями отклика и предъявляемых к ним требований. На основе обзора сформулированы требования к корректору, используемому для решения поставленной задачи фокусировки излучения сквозь рассеивающий аэрозоль.

#### **Замечания к содержанию и тексту диссертационной работы:**

К сожалению, данная диссертационная работа не свободна от недостатков, основными из которых являются следующие:

1. В работе не обоснован выбор в качестве рассеивателей частиц с диаметром именно 1 мкм.
2. В параграфе 1.7.3 «Верификация модели» проведено сравнение результатов расчетов, выполненных с использованием разработанного автором программного обеспечения, и расчетов полученных в модели «МСМЛ». Непонятно, почему при наличии уже существующей модели, которую автор, судя по представленным результатам, может использовать, требовалось создавать специальное компьютерное приложение.
3. Не всегда можно согласиться с методами оформления диссертационной работы. В частности, пункт 5 раздела «Практическая ценность» сформулирован следующим образом: «Коррекция искажений рассеянного излучения с помощью адаптивной оптической системы необходима для увеличения дальности распространения лазерного пучка ...» Приведенный тезис совершенно справедлив, коррекция необходима, но где здесь содержится доказательство практической значимости диссертации?

#### **Заключение:**

Диссертация И.В. Галактионова является законченным научным исследованием, она посвящена решению актуальной задачи управления рассеянным лазерным излучением с помощью средств и методов адаптивной оптики.

Автореферат и публикации по теме работы в достаточной мере отражают

основное содержание диссертации и характеризуют полученные автором результаты.

Приведенные в отзыве замечания не снижают существенно значимости выполненного исследования.

Диссертация «Увеличение эффективности фокусировки рассеянного лазерного излучения методами адаптивной оптики» **является завершённой научно-квалифицированной работой, соответствующей требованиям ВАК,** предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук, а её автор И.В. Галактионов заслуживает присуждения учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.03 – «Радиофизика».

Официальный оппонент:

доктор физико-математических наук,  
ведущий научный сотрудник  
Федерального государственного бюджетного  
учреждения науки «Институт оптики атмосферы  
им. В.Е. Зуева Сибирского отделения  
Российской академии наук»

Канев Фёдор Юрьевич



«26» 08 2021 г.

Контактные данные:

тел.: +7 952 180 96 46, e-mail: [mna@iao.ru](mailto:mna@iao.ru)

Специальность, по которой официальным оппонентом  
защищена докторская диссертация: 01.04.05 — «Оптика»

Адрес места работы:

634055, Россия, г. Томск, площадь Академика Зуева, 1

Федеральное государственное бюджетное  
учреждение науки Институт оптики атмосферы  
им. В.Е. Зуева Сибирского отделения

Российской академии наук (ИОА СО РАН)

Тел: (3822) 492738, e-mail: [contact@iao.ru](mailto:contact@iao.ru)

Согласен на обработку персональных данных



/ Ф.Ю. Канев /

Подпись Ф.Ю. Канева удостоверяю  
Учёный секретарь ИОА СО РАН



/ О.В. Тихомирова /