

## ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертацию  
**Трикшева Антона Игоревича**  
«Когерентное сложение лазерных пучков волоконных лазеров», представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.21 – «Лазерная физика»

Диссертационная работа **Трикшева Антона Игоревича** направлена на создание полностью волоконной системы когерентного сложения лазерных пучков волоконных лазеров ближнего ИК диапазона. Создание полностью волоконной системы потребовало проведения исследований, связанных с поддержанием постоянной разности фаз между лазерными каналами в условиях случайного изменения фазы излучения в каждом канале. Кроме того, при проведении исследований учитывалось, что создаваемая лазерная система должна являться частью более мощной лазерной установки с усилителями на кристаллах, легированных ионами неодима, в выходных каскадах.

Современное развитие техники и технологий ставит задачу создания лазеров как с высокой мощностью (несколько десятков киловатт), так и высокими требованиями к параметрам лазерного излучения. Увеличение мощности лазерного излучения с сохранением его высокого качества возможно при использовании когерентного и спектрального сложения лазерных пучков. Метод когерентного сложения лазерных пучков позволяет получать высокие выходные мощности без концентрации всей мощности излучения на одном оптическом элементе, что невозможно в случае спектрального сложения лазерных пучков, однако требует контроля и поддержания фазы излучения в каждом канале с высокой точностью.

Автор диссертации пошел именно по пути контроля и поддержания фазы излучения, впервые предложил, теоретически исследовал и экспериментально реализовал способ и устройство когерентного сложения лазерных пучков с синхронным детектированием. В такой постановке задачи исследование является **актуальным** и, безусловно, имеет как **научную**, так и **практическую** значимость.

**Научная ценность** работы заключается в том, что в ней впервые предложены, теоретически исследованы и экспериментально реализованы способ и устройство когерентного сложения лазерных пучков с синхронным детектированием.

**Новизна полученных результатов** определяется тем, что на основе реализованного метода когерентного сложения лазерных пучков с синхронным детектированием впервые реализована гибридная лазерная

система генерации одночастотного излучения с выходной мощностью до 130 Вт на коническом иттербиевом волокне и впервые созданы двух- и семиканальная полностью волоконные системы с когерентным сложением излучения с выходной мощностью до 60 и 35 ватт соответственно с использованием оптоволоконных корректоров фазы пьезоэлектрическим управлением и быстродействием лучше 0,1 с.

**Практическая значимость** полученных результатов связана в первую очередь с тем, что лазерные системы с излучением высокой мощности и качества могут быть использованы как в научных, так и в прикладных целях. Использование такого лазерного излучения может внести значительный вклад в исследования, связанные с генерацией структурированных световых пучков и их взаимодействием с веществом, в частности, при зондировании атмосферы. Мощное лазерное излучение высокого качества, в том числе и структурированное, необходимо и при обработке материалов. Следует также отметить, что по результатам диссертации получен патент RU 2488862 С1 "Способ когерентного сложения лазерных пучков с синхронным детектированием и устройство для когерентного сложения лазерных пучков с синхронным детектированием".

В качестве основного метода когерентного сложения лазерных пучков был выбран метод сложения с синхронным детектированием. Всесторонний анализ рассматриваемых физических процессов, выбор адекватных моделей, основанный на грамотном анализе результатов предыдущих работ, свидетельствует **об обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации.**

**Достоверность и обоснованность** результатов исследования обеспечиваются применением корректных экспериментальных методов, адекватных оценок и экспериментально реализованных методов, демонстрацией работоспособности гибридной лазерной системы генерации одночастотного излучения с выходной мощностью до 130 Вт на коническом иттербиевом волокне и двух- и семиканальной полностью волоконных систем с когерентным сложением излучения с выходной мощностью до 60 и 35 ватт соответственно с использованием оптоволоконных корректоров фазы с пьезоэлектрическим управлением и быстродействием лучше 0,1 с.

**К основным научным и практическим результатам** диссертационного исследования А.И. Трикшева можно отнести следующее:

Создан гибридный одночастотный лазер на основе двухкаскадного волоконного усилителя и задающего одночастотного полупроводникового лазерного диода с ВБР. Выходная мощность составила 2,5 Вт при коэффициенте усиления около 20 дБ и максимальной дифференциальной эффективности около 80%. Степень поляризации излучения после усиления сохранялась на уровне выше 0,9.

Впервые предложена и разработана система контроля и управления фазой излучения с использованием оптоволоконных корректоров фазы с пьезоэлектрическим управлением и быстроедействием лучше 0,1 с.

Впервые создана гибридная одночастотная лазерная система на основе иттербиевого двухкаскадного волоконного усилителя с использованием двух типов активных волокон (GTWave-волокно в первом каскаде усиления и коническое волокно с двойным покрытием во втором каскаде). При мощностинакачки в 250 Вт на длине волны 915нм получена выходная мощность 160 Вт, из которых 130 Вт приходилось на одночастотное излучение.

Создана гибридная одночастотная лазерная система на основе 4-х каскадного волоконного усилителя. Первые три каскада усиления представляли собой активное GTWave-волокно. В выходном каскаде использовано активное волокно с широким полем моды (LMA волокно). При мощности накачки в 175 Вт на длине волны 975 нм получена выходная мощность около 120 Вт, из которых 117 Вт приходилось на одночастотное излучение.

Создана и исследована двухканальная полностью волоконная лазерная система с когерентным сложением каналов и суммарной мощностью до 60 Вт, работоспособная при внешних механических возмущениях и флуктуациях температуры. Продемонстрирована устойчивая работа системы обратной связи при компенсации разности фаз в лазерных каналах при тепловом и механическом воздействии на активную среду с характерным временем фазировки около 0,1 с.

**Структура и объем работы.** Диссертационная работа состоит из Введения, 5 глав, заключения и списка цитируемой литературы. Общий объем работы составляет 139 страниц, включая 90 рисунков, 9 таблиц, и библиографию из 108 наименований.

Во *Введении* обоснована актуальность выбранной темы диссертации, сформулированы цель и основные задачи исследований.

В *первой главе* содержится обзор современного состояния проблемы, последовательно и логично обосновывается необходимость проводимых исследований.

*Вторая глава* содержит результаты определения основных параметров излучения полупроводникового одночастотного лазерного диода с ВБР.

В *третьей главе* приводятся результаты фазировки семи каналов при когерентном сложении лазерных пучков с максимальной суммарной мощностью до 35 Вт.

*Четвертая глава* посвящена созданию и исследован параметров одночастотного гибридного лазера мощностью 160 Вт на основе одночастотного полупроводникового лазерного диода с ВБР и активного волокна конической формы.

В *пятой главе* приведены результаты создания одночастотного гибридного лазера мощностью 120 Вт на основе одночастотного полупроводникового лазерного диода с ВБР и активного волокна с широким

полем моды а также фазировке двух каналов при когерентном сложении лазерных пучков суммарной мощностью до 60 Вт.

В *Заключении* сформулированы основные результаты диссертационной работы.

Следует отметить высокое качество литературного обзора, в котором очень последовательно и логично, основываясь на результатах, полученных в работах предшественников, обосновывается необходимость и своевременность проведенных исследований. Не меньше впечатляют работы по реализации метода фазирования лазерных пучков, который позволил экспериментально реализовать лазерные установки.

Результаты диссертации А.И. Трикшева опубликованы в 6 работах в научных журналах из списка перечня рецензируемых научных изданий ВАК, и одном патенте. Результаты работы и широко обсуждались на различных конференциях, включая зарубежные. Опубликованные работы, которые известны специалистам, содержат основные результаты диссертации А.И. Трикшева.

Текст диссертации логически выстроен и написан хорошим языком. Автореферат соответствует содержанию диссертации.

В диссертации можно отметить следующие **недостатки**:

В работе для оценки поляризации суммарного излучения используется параметр степень поляризации, который не позволяет определить, что вносит изменения в состояние поляризации – деполяризация на случайных неоднородностях, или же наведенное двулучепреломление.

В работе не исследовалась фаза суммарного пучка, хотя эта информация может иметь большое значение для создания структурированного излучения.

Из рисунка 39 и текста, описывающего рисунок, неясно, по какому критерию оценивалась ширина пучка, на полувысоте, или по критерию  $1/e^2$ .

Принцип работы контроллера поляризации и аттенюатора описывается только на стр. 76, хотя ранее приводятся схемы, в которых используются эти элементы.

Можно отметить некоторые небрежности в оформлении, например, в выражении (18) функция синуса написана италикком и с большой буквы; рисунки 33 и 34 имеют совершенно идентичные подписи, хотя из текста следует, что рисунки разные; в десятичных дробях используются точки, а не запятые.

Указанные замечания, без сомнения, не снижают высокой оценки представленной диссертационной работы, тем более что часть из них представляют собой скорее пожелания для проведения последующих научных исследований.

Диссертация А.И. Трикшева является научно-квалификационной работой, в которой в соответствии с требованиями п. 9 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 г. № 842 (ред. от

10.06.2017), предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата наук, содержится решение научной задачи, имеющей значение для развития лазерной физики, а ее автор заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.21 – «Лазерная физика».

Официальный оппонент  
 заведующая лабораторией нелинейной оптики  
 Института электрофизики Уральского отделения РАН,  
 доктор физико-математических наук (01.04.05 – Оптика),  
 профессор по специальности «Оптика»



Кундикова Наталья Дмитриевна  
 тел.: +7 (351) 267-91-37,  
 e-mail: kundikovand@susu.ru

2 ноября 2018 г.

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт электрофизики Уральского отделения Российской академии наук (620016, Екатеринбург, ул. Амундсена, 106, тел.: +7(343) 267-87-96, e-mail: admin@ier.uran.ru, http://www.ier.uran.ru)

Подпись заведующей лабораторией нелинейной оптики,  
 доктора физико-математических наук  
 Натальи Дмитриевны Кундиковой подтверждаю:

Ученый секретарь ИЭФ УрО РАН




Е.Е. Кокорина

С отзывом ознакомлен  
 05.11.2018 