

## ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА

кандидата технических наук Дворецкого Дмитрия Алексеевича на диссертационную работу Худякова Максима Маратовича «Эрбиеевые волоконные усилители с повышенным порогом вынужденного рассеяния Мандельштама-Бриллюэна», представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности  
01.03.19 – Лазерная физика.

Диссертация посвящена исследованию способов повышения пиковой мощности и эффективности волоконных усилителей спектрально-ограниченных наносекундных импульсов в спектральной области вблизи 1,55 мкм.

Актуальность тематики связана с тем, что такие источники являются востребованными в ряде различных современных применений, например, дистанционное зондирование атмосферы или лидары для дорожных систем и беспилотного транспорта из-за безопасного для глаз лазерного излучения в области длин волн 1,55 мкм.

Основной препятствием для повышения пиковой мощности спектрально-ограниченных наносекундных импульсов на килогерцовых частотах является вынужденное рассеяние Мандельштама-Бриллюэна. По этой причине повышение порога ВРМБ в волоконных усилителях – ключевая задача диссертационной работы. В диссертационной работе так же решается актуальная проблема повышения эффективности в волоконных усилителях спектрально-ограниченных наносекундных импульсов с высокой пиковой мощностью.

Работа состоит из четырёх глав, введения, заключения и списка литературы. Общий объем диссертации составляет 156 страниц, включая 59 рисунков, 6 таблиц и библиографию, содержащую 106 наименований.

В первой главе представлен содержательный обзор современного состояния области исследования волоконных усилителей спектрально-ограниченных наносекундных импульсов в спектральной области вблизи 1,55 мкм. Обозначена проблема достижения высокой эффективности в таких усилителях при высокой пиковой мощности. В главе также рассмотрены способы повышения порога ВРМБ в пассивных волоконных световодах и показано, что для пассивных световодов с большим полем моды эффективных методов разработано не было.

Вторая глава посвящена исследованию эрбьевых волоконных световодов в рамках поставленной ключевой задачи. Описывается новая матрица сердцевины эрбьевых волоконных световодов, которая не уступает по эффективности существующим и имеет другую резонансную частоту ВРМБ, что позволило повысить порог ВРМБ в усилителе, состоящем из двух типов эрбьевых световодов в полтора раза без потери эффективности.

Исследована возможность повышения эффективности эрбийевых волоконных световодов с накачкой по оболочке за счёт увеличения соотношения диаметра сердцевины к диаметру оболочки, что привело к рекордной эффективности для эрбийевых (без иттербия) волоконных световодов с накачкой по оболочке на 976 нм. Так же рассматривается эрбийевый световод-конус, который позволил повысить порог ВРМБ в 5 раз по сравнению с известными литературными данными до 20 кВт.

В третьей главе описываются эрбий-иттербийевые волоконные световоды и усилители на их основе. Описывается новая матрица стекла для эрбий-иттербийевых световодов, которая позволяет создать одномодовую сердцевину с эффективностью сравнимой с лучшими коммерчески-доступными эрбий-иттербийевыми волоконными световодами. Автором экспериментально продемонстрированы и объяснены причины малой эффективности в эрбийевых и эрбий-иттербийевых волоконных усилителях. Представлен комбинированный эрбийевый/эрбий-иттербийевый усилитель, который позволил впервые продемонстрировать высокую эффективность до 23 % одновременно с высокой пиковой мощностью до 3,7 кВт в спектрально ограниченных наносекундных импульсах.

Четвёртая глава посвящена методам подавления ВРМБ в пассивных волоконных световодах. Предложен метод создания акустически многомодовой структуры для повышения порога ВРМБ. В световодах с большой апертурой и малой сердцевиной показано подавление ВРМБ на 6,4 дБ, а в световодах с малой апертурой и большой сердцевиной – на 4,8 дБ. Также продемонстрирована возможность дальнейшего повышения порога ВРМБ на 10,5 дБ в световодах с большой апертурой с использованием вариации деформации по длине световода.

Несмотря на положительную, в целом, оценку диссертационной работы считаю необходимым сделать некоторые замечания, а именно:

1. В диссертационной работе не приводится анализ необходимых характеристик и преимуществ разработанных источников излучения для основного применения в виде лидаров, а также отсутствует сравнение разработанных источников излучения со спектрально-ограниченными волоконными лазерами на основе конкурирующих активных сред на ионах Nd, Yb или Tm.
2. В диссертационной работе не приводится подробный математический анализ предложенных методов исследования порогов ВРМБ, как исходя из импульсной нестабильности, так и исходя из интенсивности стоксовой волны ВРМБ. Отсутствует оценка погрешностей определения порогов ВРМБ и погрешности измеренных спектров усиления ВРМБ.

3. В работе не приводится систематического исследования стабильности выходных характеристик разработанных узкополосных волоконных источников излучения. Например, исследование долговременной стабильности линии генерации узкополосного лазера на высокой пиковой выходной мощности дает значимую информацию о применимости разработанных источников в качестве лидаров. В диссертационной работе приводится исследование долговременной стабильности средней выходной мощности только для одного волоконного усилителя.

Вместе с тем, указанные замечания не умаляют значимости диссертационного исследования, выполненного на высоком научном уровне и содержащего важные научные и практические результаты. Диссертация отвечает требованиям, установленным ВАК для специальности 01.03.19 – «Лазерная физика». Автореферат диссертации корректно отражает её содержание. Таким образом, соискатель Худяков Максим Маратович заслуживает присуждения учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.03.19 – «Лазерная физика»

Доцент кафедры РЛ-2 лазерные и

оптико-электронные системы

ФГБУО ВО МГТУ им. Н. Э. Баумана,

кандидат технических наук

 Д.А. Дворецкий

Подпись Дворецкого Д.А. удостоверяю



Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский государственный технический университет имени Н. Э. Баумана (национальный исследовательский университет)»

105005, Москва, 2-я Бауманская улица, дом 5

тел.: +79037838807

e-mail: ddvoretskiy@bmstu.ru