

О Т З Ы В

официального оппонента Кабанова Андрея Михайловича на диссертационную работу Мирошниченко Ильи Борисовича **«Энергетические и спектральные характеристики ударных волн, создаваемых оптическим пульсирующим разрядом, горящим на поверхности твердых тел»**, представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.05 – оптика

В диссертации И.Б. Мирошниченко исследуются энергетические и спектральные свойства ударных волн, создаваемых при облучении твердых тел (далее – мишень) мощным импульсно-периодическим лазерным излучением с высокой частотой повторения импульсов ~ 100 кГц.

Актуальность темы диссертации. Исследования, результаты которых изложены в диссертации, вносят существенный вклад в проблему дистанционного формирования мощного интенсивного звука, с перестройкой спектра в инфра- ультразвуковом диапазоне частот. Высокая интенсивность звука ~ 130 - 150 дБ достигается в результате генерации ударных волн оптическим пульсирующим разрядом (ОПР), локализованном на малых размерах зоны облучения. В традиционных методах акустики дальность и интенсивность ограничена расходимостью низкочастотного звука, сильным поглощением ультразвука или низкой эффективностью (амплитудная модуляция, генерации разностной частоты). В диссертации показано, что ОПР и звук могут создаваться на мишенях из всех практически значимых материалов – сталь, титан, серебро (сильное отражение), стекло оконное, оргстекло. Уникальные свойства лазерного источника звука основаны на механизме объединения ударных волн (МОВ), который проявляется при высокой частоте повторения лазерных импульсов.

Фундаментальное значение результатов диссертации - впервые доказана применимость МОВ для ОПР на поверхности мишени. Ранее механизм исследовался в газах и в плазме с магнитным полем. В отличие от

точечных взрывов МОВ позволяет с малыми затратами энергии создавать низкочастотные волны

С учетом решаемых в диссертации задач, эксперименты проведены на двух лазерных стендах, возможности которых дополняют друг друга. В первой части экспериментов использовались цуги мощных широкоапертурных импульсов с энергией ~ 200 Дж, что соответствует облучению мишени, находящейся на большом расстоянии от лазера. Во второй части исследований использовалось лазерное излучение с управляемой временной структурой: импульсно-периодическое периодическое излучение с частотой, варьируемой в диапазоне $f \sim 3 - 150$ кГц; периодические цуги с низкой частотой следования $F \ll f$. По мере повышения f усиливается проявление МОВ, что приводит к изменению структуры спектра ударных волн и увеличению доли мощности, содержащейся на частоте повторения цугов лазерных импульсов.

Новизна результатов диссертации состоит в следующем.

1. Впервые показано, что механизм объединения ударных волн действует при горении плоского ОПР на поверхности мишени. Найдены критерии проявления механизма, позволяющие определить частоту повторения лазерных импульсов в зависимости от их энергии и давления воздуха.
2. Определена энергия лазерных импульсов, при которой эффективно формируются ударные волны на мишенях из различных материалов.
3. Впервые определены параметры импульсно-периодического лазерного излучения (частота повторения и энергия импульсов), при которых спектр звука оптического пульсирующего разряда имеет качественно разную структуру, что связано с действием механизма объединения ударных волн. Граничные частоты, имея безразмерный вид, позволяют найти частоту повторения лазерных импульсов, при которой спектр звука содержит большое количество линий, несколько или одну ультразвуковую линию или одновременно низкочастотную линию и ультразвуковую на частоте следования лазерных импульсов.

Практическая ценность результатов диссертации заключается в следующем.

Впервые обоснован единственно возможный на настоящее время метод создания интенсивного инфра-ультразвука на большом расстоянии от энергетического источника. Кроме того, в прикладных задачах имеет большое значение перестройка спектра звука в инфра- ультразвуковом диапазоне частот.

Достоверность экспериментальных результатов обеспечивается: калибровкой датчиков по общепринятой методике; сравнением данных, полученных в диссертации, с данными других авторов для давления при точечном взрыве и КПД преобразования энергии лазерной искры в ударную волну, измеренному по импульсу отдачи на мишени.

Диссертация состоит из введения, четырех глав и заключения. Структура диссертации построена достаточно последовательно в соответствии с решением поставленных задач. Каждая глава содержит краткие выводы, сформулированные автором на основе полученных результатов. Диссертация содержит большой объем информации о результатах, которые иллюстрируются большим количеством рисунков и графиков.

Во **введении** к диссертации обоснована актуальность темы, сформулирована цель исследований и задачи, решение которых определяет достижение поставленной цели.

В **главе 1** содержится обзор имеющихся в мире результатов оптоакустических исследований, традиционных акустических методов создания звука. Обоснованы преимущества рассмотренного в диссертации лазерного метода генерации инфра- ультразвука по сравнению с известными методами. Проведен обстоятельный обзор современного состояния мощных лазеров и показана возможность дистанционного создания лазерных источников звука большой мощности.

Вторая глава посвящена обоснованию применимости МОВ для условий, когда геометрия периодических оптических пробоев на мишени близка к плоской (толщина много меньше диаметра), что соответствует облучению широкоапертурными импульсами мишени, находящейся на большом расстоянии от лазера. С использованием мощных лазерных импульсов экспериментально показано, что при размере пятна лучей меньше некоторого, применимы критерии МОВ, полученные ранее для точечного ОПР. Радиус зоны облучения соответствует мощности, достижимой в ближайшей перспективе. Глава содержит методическую часть, в которой представлена постановка эксперимента, методика измерения давления и энергии ударных волн. Эксперименты с мишенями из качественно различных материалов доказали возможность решения прикладных задач, связанных с созданием интенсивного мощного низкочастотного звука на мишени из различных материалов.

В третьей главе представлены результаты экспериментов по исследованию условий эффективной генерации ударных волн, создаваемых при горении оптического пульсирующего разряда на поверхности твердых тел из разных материалов. Найдена оптимальная плотность энергии лазерных импульсов ~ 10 Дж/см², при которой в ударные волны преобразуется ~ 20 % от мощности подводимого импульсно-периодического лазерного излучения. Показано, что возможность дальнейшего повышения эффективности процесса ограничена оптическими пробоями на аэрозолях воздуха. Результаты главы 2 и главы 3 позволяют определить параметры лазерного излучения при дистанционном создании инфра- ультразвука на мишенях из различных материалов (в пределе – материал неизвестен).

В четвертой главе исследуется спектр ударных волн в зависимости от частоты и мощности импульсно-периодического лазерного излучения. С использованием критериев МОВ найдены имеющие безразмерный вид граничные частоты, выделяющие частотные диапазоны импульсно-периодического излучения, в которых спектр звука имеет следующий вид:

большое количество линий, несколько линий или одна линия, или линии в области ультразвуковых частот и линии низкочастотные, соответствующие частоте повторения цугов лазерных импульсов. Важнейшим результатом главы и диссертации следующий результат: на плоскости параметров лазерного излучения (частота повторения импульсов, мощность лазера) представлены области, в которых спектр звука имеет принципиально различную структуру.

В заключении сформулированы наиболее значимые результаты диссертации.

Диссертант зарекомендовал себя сложившимся специалистом в области нелинейной оптики и оптоакустики. Большинство полученных автором результатов носит приоритетный характер, удовлетворяет критериям новизны, имеет значительный потенциал развития в решении проблемы дистанционного создания инфра- ультразвука. Наиболее актуальны следующие задачи: прохождение мощного импульсно-периодического лазерного излучения с высокой частотой следования импульсов на протяженных атмосферных трассах; возбуждение звука и вибраций в облучаемой мишени; влияние частоты и мощности импульсно-периодического излучения на спектр и радиус локализации интенсивного звука; применения уникального источника звука в биологии, зондировании атмосферы и специальных задачах.

По диссертации имеются следующие критические замечания.

1. В качестве подтверждения достоверности результатов, измеренные значения давления, энергии ударных волн и их длительности сравниваются с данными других авторов в разных главах по ходу изложения основных результатов. Это затрудняет восприятие методической части работы.

2. Список обозначений содержит не полный перечень символов и обозначений.

3. В диссертации имеются опечатки и стилистические неточности.

4. В качестве рекомендаций о развитии прикладных исследований следует отметить приоритетные задачи: возбуждение звука и вибраций в облучаемой мишени; влияние поглощения в воздухе ультразвуковых частот на структуру спектра звука и радиус локализации высокой интенсивности звука.

Указанные недостатки не влияют на общую высокую оценку выполненной И.Б. Мирошниченко работы. Диссертация является глубокой, законченной научно-исследовательской работой, в которой нашла отражение высокая профессиональная подготовка автора. Совокупность полученных результатов и сформулированных положений соответствует критериям ВАК РФ, предъявляемым к диссертациям на соискание степени кандидата физико-математических наук. Автореферат соответствует содержанию диссертации. Считаю, что Мирошниченко Илья Борисович заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.05 – Оптика.

Официальный оппонент,

главный научный сотрудник
Института оптики атмосферы им.
В.Е. Зуева СО РАН
доктор физ.-мат. наук
д.ф.-м.н.

А.М. Кабанов

Подпись д.ф.-м.н. А.М. Кабанова
заверяю:

Ученый секретарь ИОА СО РАН
к.ф.-м.н.



О.В. Тихомирова

18.05.2016 г.