

«Утверждаю»

Ректор федерального государственного
автономного образовательного учреждения высшего
образования «Новосибирский национальный
исследовательский государственный университет»

д.ф.- м.н., профессор М.П. Федорук

12 мая 2016 г.



ОТЗЫВ

ведущей организации на диссертационную работу

Мирошниченко Ильи Борисовича

**«Энергетические и спектральные характеристики ударных волн,
создаваемых оптическим пульсирующим разрядом, горящим на
поверхности твердых тел»,**

представленной на соискание ученой степени кандидата

физико-математических

наук по специальности 01.04.05 — Оптика

в диссертационный совет Д 003.024.01 при Федеральном государственном
бюджетном учреждении науки «Институт лазерной физики СО РАН»

Создание мощных импульсно-периодических лазеров с высокой частотой повторения импульсов ~ 100 кГц и оптического пульсирующего разряда (ОПР), горящего в газе в фокусе импульсно-периодического (ИП) излучения, имеет междисциплинарное значение: аэрокосмические задачи – управление обтеканием сверхзвуковых тел, стабилизация горения топлива; лазерно-плазменные технологии модификации поверхности материалов. Возможности оптоакустических методов существенно расширяет механизм объединения ударных волн (МОВ), создаваемых ОПР. В экспериментах показано, что взаимодействие ударных волн позволяет создавать звук, спектр которого управляемо перестраивается в инфра- ультразвуковом диапазоне частот.

Исследования проведены для горящего в газе ОПР, где высокий порог пробоя ограничивает дальность и, тем самым, практическую значимость ОПР как уникального источника звука.

В диссертации И.Б. Мирошниченко впервые исследуются энергетические и спектральных характеристик ударных волн, создаваемых оптическим пульсирующим разрядом, горящим на поверхности твердых тел, где порог пробоя на два порядка ниже.

В диссертации решены задачи, ориентированные на применение ИП излучения и МОВ для создания интенсивного звука большом расстоянии от лазера, где зона облучения имеет большие размеры, и свойства материала мишени могут быть неизвестны.

С использованием мощных CO_2 -лазеров решены следующие задачи.

1. Определены условия проявления механизма объединения ударных волн, создаваемых при облучении мишени широкоапертурным излучением.
2. Исследована эффективность генерации ударных волн, создаваемых оптическим пульсирующим разрядом, горящим на поверхности мишеней из различных материалов.
3. Изучен спектр звука оптического пульсирующего разряда при высокой частоте повторения лазерных импульсов.

Наиболее значимые научные результаты диссертации И.Б. Мирошниченко заключаются в следующем:

1. Впервые показано, что МОВ проявляется не только в газах, но при горении ОПР на поверхности твердых тел из разных материалов, поглощающих лазерное излучение в поверхностном слое.
2. Определены критерии проявления МОВ при горении ОПР на поверхности твердых тел. Критерии имеют безразмерный вид, что позволяет определить частоту повторения ИП излучения в зависимости от его средней мощности. При облучении мишени широкоапертурным ИП лазерным излучением, когда форма оптических пробоев близка к "плоской", критерии имеют тот же вид, что и для точечного ОПР. Критерии применимы во всем диапазоне мощностей,

достижимых в ближней перспективе ~ 10 МВт (размер лучей на мишени ~ 10 см).

3. Оптический пульсирующий разряд, горящий на мишенях из различных материалов, поглощающих лазерное излучение в тонком в поверхностном слое, преобразует в звук $\sim 20\%$ от мощности подводимого импульсно-периодического излучения при оптимальной плотности энергии на мишени ~ 10 Дж/см² для импульсов СО₂-лазера длительностью ~ 1 мкс. Возможность увеличения КПД ограничена оптическими пробоями на аэрозолях воздуха при более высокой плотности энергии в лучах. Использование лазерных импульсов с коротким передним пиком позволяет в ~ 2 раза понизить порог оптического пробоя на мишени.

4. Впервые показано, что взаимодействие ударных волн, создаваемых ОПР, при высокой частоте ИП излучения сопровождается генерацией звука, имеющего уникальный спектр. Например, одновременная генерация интенсивного инфразвука и ультразвука с управляемым соотношением интенсивности спектральных линий.

5. Спектр звука при облучении мишени периодическими цугами ИП излучения зависит от параметров лазера. На низких частотах f следования импульсов в цугах, когда МОВ не действует, спектр звука содержит большое количество линий. Увеличение f и/или мощности излучения сопровождается уменьшением числа линий, возможна генерация одной линии. Действие МОВ в области высоких частот сопровождается качественным изменением структуры спектра по мере повышения f : линия на частоте f ; одновременно линии на частоте f и частоте цугов $F \ll f$.

Научная новизна заключается в том, что впервые получены:

Критерии проявления механизма объединения ударных волн, создаваемых при облучении мишеней широкоапертурным импульсно-периодическим лазерным излучением.

Условия эффективного преобразования энергии лазерных импульсов в ударные волны, создаваемые при горении оптического разряда на поверхности твердых тел из различных материалов.

Параметры импульсно-периодического лазерного излучения (частота повторения и энергия импульсов), при которых спектр звука оптического пульсирующего разряда имеет качественно различную структуру, что связано с проявлением механизма объединения ударных волн.

Практическая ценность результатов заключается в следующем

1. Впервые показано, что МОВ и ИП лазерное излучение с высокой частотой повторения импульсов позволяют создать звук с уникальным спектром на большом расстоянии от лазера. Управление временной структурой ИП излучения, обеспечивает перестройку спектра в инфра-ультразвуковом диапазоне частот. Например, генерация одновременно интенсивного инфра и ультразвука с управляемой интенсивностью линий. В ранее известных методах оптоакустики (низкие частоты ИП повторения импульсов) ударные волны не взаимодействуют между собой, и спектр содержит большое количество линий. Возможности традиционных акустических излучателей ограничены широкой диаграммой направленности низкочастотного звука и поглощением ультразвука в воздухе.
2. Безразмерный вид критериев МОВ применим для расчета структуры спектра звук в зависимости от мощности лазерного ИП излучения во всем диапазоне достижимых мощностей. Выявлены области частот и мощностей, где спектр содержит большое количество линий, одну линию на частоте ИП излучения и линии на низкой частоте повторения цугов и лазерных импульсов в цугах.
3. Лазерно-плазменные технологии обработки материалов. Метод позволяет управлять влиянием звука и ударных волн на технологический процесс и персонал, что достижимо за счет изменения частоты повторения импульсов и плотности энергии лучей на поверхности обрабатываемых изделий.

Результаты работы достаточно обоснованы. Достоверность обеспечивается сравнением промежуточных результатов экспериментов с данными других авторов и подтверждается апробацией работы на конференциях, а также рецензиями в научных журналах.

По диссертации имеются следующие замечания:

1. В тексте диссертации присутствуют стилистические, орфографические и пунктуационные ошибки.
2. В главе 3 на странице 75 отмечается, что при облучении органической мишени мощным лазерным импульсом отличительной особенностью (в сравнении с металлическими мишенями) является формирование светящегося облака, которое, как правило, оторвано от поверхности. Однако, не приводится причина возникновения данного облака, а также нет обсуждения его возможного влияния на эффективность формирования ударных волн.
3. В главе 4 приведено недостаточно полное пояснение к рисункам 4.17 и 4.18 - отсутствует информация о том, что схематичное изображение структуры спектра в области, соответствующей сильному проявлению МОВ, дано для случая цугов лазерных импульсов.

Указанные замечания не влияют на общую положительную оценку диссертационной работы Мирошниченко И.Б. Материалы работы могут представлять интерес для следующих организаций: Институт общей физики им. А.М. Прохорова РАН, Акустический институт имени академика Н.Н. Андреева РАН, Институт оптики атмосферы им. В.Е. Зуева, СО РАН, Институт гидродинамики им. М.А. Лаврентьева, СО РАН, Московский государственный университет им. М. В. Ломоносова, Институт теоретической и прикладной механики им. С.А. Христиановича СО РАН, Институт лазерной физики СО РАН, Новосибирский государственный университет. Автореферат правильно отражает содержание диссертации. Основные результаты опубликованы в трёх

