

ОТЗЫВ официального оппонента
о диссертации Андросенко Владислава Николаевича
«Управление потоками, генерируемыми оптическими разрядами различных
типов, с целью стабилизации их характеристик», представленной на
соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по
специальности 1.1.9. Механика жидкости, газа и плазмы

Работа Андросенко В.Н. посвящена исследованию процессов, протекающих при оптическом разряде в аргоне и ксеноне высокого давления, возбуждаемом лазерным излучением ближнего ИК диапазона. Прикладное значение работы связано с применением таких разрядов в перспективных широкополосных источниках света УФ диапазона, разрабатываемых для различных задач в электронике, медицине и научном оборудовании. Одной из проблем, которые встают перед разработчиками при попытке повысить яркость и эффективность ламп, является стабилизация характеристик источника света - оптического разряда.

Актуальность конкретных задач, поставленных в диссертации, обусловлена большой ролью газодинамических процессов в развитии оптических разрядов в газах высокого давления. Горение разряда как в непрерывном (непрерывной оптический разряд, НОР), там и в импульсно-периодическом (ИПОР) режимах сопровождается формированием турбулентных течений, играющих важнейшую роль в динамике плазменного образования и структуре оптического поля лазерного луча. Сами по себе механизмы, отвечающие за формирование таких течений, хорошо изучены за более чем 40-летнюю историю исследований оптических разрядов. В то же время практическое использование разряда в источниках света ставит новые прикладные задачи на стыке физики плазмы и газовой динамики. В частности, появление мощных непрерывных и импульсных волоконных лазеров, работающих на длине волны порядка 1мкм, требует дополнительного изучения разряда, поддерживаемого такими источниками. При уменьшении длины волны по сравнению с лазерами дальнего ИК диапазона роль оптических неоднородностей, создаваемых конвективными течениями, растет. Описание газодинамических процессов в условиях реального разрядного объема (в присутствии стенок и вспомогательных электродов), а также осознанный выбор схемы возбуждения разряда с целью стабилизировать такие течения являются, безусловно, важным и новым этапом в понимании принципов работы источников света на базе оптических разрядов.

Научная новизна. В работе получен ряд новых результатов, наиболее важными из которых, на мой взгляд, являются следующие:

Показано, что частоты колебаний конвективного потока НОР в аргоне при использовании лазеров ближнего ИК диапазона подчиняются общему закону масштабирования частот с размером тепловой каверны разряда. Показано, что конвективные течения, вызванные нагревом электродов или иных тел в пространстве колбы могут подавлять сдвиговую неустойчивость конвективного течения вокруг НОР. Показано, что пульсации конвективного факела НОР могут приводить не только непосредственно к пульсациям яркости, но и к нарушению однородности плазмы.

Детально исследованы течения, возникающие в тихом оптическом разряде и импульсно-периодическом оптическом пробое при использовании различных оптических схем возбуждения разряда. Продемонстрировано, что формирование отдельных точек фокуса при использовании двух независимых лучей для получения ИПОР позволяет управлять направлением струй, возникающих при пробое, убирая оптические неоднородности с пути лазерного луча и стабилизируя параметры разряда. Обнаружено, что для этого режима существуют частоты акустического резонанса, позволяющие вовсе подавить турбулизацию индуцированного разрядом течения. Полученные результаты позволили добиться снижения вариаций оптического потока в отдельных импульсах до уровня 10%. Сделаны оценки прохождения излучения лазера через плазменную неоднородность, которые позволили оценить параметры плазмы разряда.

Прикладная значимость результатов, полученных в работе, подтверждается патентами, полученными автором на способы организации разряда.

Достоверность полученных результатов обусловлена физической обоснованностью постановки экспериментальных задач, применением надежных методов регистрации параметров газовых потоков и лазерного излучения, полнотой и соответствием полученных экспериментальных данных теоретическим расчетам и оценкам, повторяемостью результатов экспериментов, а также соответствием полученных результатов результатам других авторов.

Диссертационная работа содержит 163 страницы текста и состоит из введения, пяти глав и заключения.

Во введении определен объект исследования, обоснована актуальность выбранной темы, перечислены цели и задачи работы, охарактеризованы применяемые экспериментальные методы, отмечена новизна, научное и

практическое значение работы, сформулированы научные положения, выносимые на защиту.

В первой главе дан обзор литературы по оптическим разрядам стационарного типа с лазерами средне- и коротковолнового ИК-диапазонов. Основное внимание уделено применению оптических разрядов в источниках широкополосного излучения высокой яркости, анализу работ, в которых приводятся экспериментальные данные по характеристикам НОР в аргоне, известным способам борьбы с конвективной неустойчивостью НОР, генерации потоков газа в различных режимах ИПОР, в том числе в режиме тихого оптического разряда и импульсно-периодического оптического пробоя.

Во второй главе приведены результаты экспериментального исследования НОР в аргоне с лазером на длине волны 1,08 мкм. Получены данные по пороговой мощности поддержания НОР и характеристикам плазмы разряда. Определена частота пульсации потока свободной конвекции вокруг НОР в диапазоне давлений от 23 до 50 бар. На основе полученных данных, а также измеренных характеристик лазерного луча, оптической системы и геометрических характеристик конвективного потока проведено сопоставление с теоретическими оценками и данными экспериментов других авторов, показавшее хорошее согласие.

В третьей главе приведены результаты исследования эффекта стабилизации (подавления пульсаций) конвективного потока от НОР в ксеноне в зависимости от лазерной мощности и расстояния между вольфрамовыми электродами, расположенными вблизи разряда. Результаты проведенных экспериментов позволили предположить, что стабилизация конвективного потока происходит по достижении электродами определенной температуры не менее 1000 °К, при которой конвективные потоки от электродов начинают оказывать влияние на основной поток от плазмы.

Установлена связь волн плотности, вызываемых пульсациями конвективного потока от НОР в цилиндрическом разрядном объеме, с неоднородностями плазмы НОР.

Четвертая глава посвящена исследованию квазистационарных газовых потоков, возникающих при ИПОР в режиме тихого оптического разряда и импульсно-периодического оптического пробоя, а также при переходе от одного режима к другому. Экспериментально исследовано поглощение лазерного излучения в режиме тихого разряда и импульсно-периодического оптического пробоя, как среднее по времени, так и в течение импульса.

В пятой главе показаны возможности управления направлением потоков, индуцируемых при импульсно-периодическом оптическом пробое, с

целью повышения стабильности и повторяемости характеристик плазмы в схеме фокусировки лазерного излучения с двумя пересекающимися лучами. Средние по времени характеристики плазмы импульсно-периодического разряда сравниваются с характеристиками непрерывного оптического разряда в той же оптической схеме, при том же уровне средней лазерной мощности.

В заключении собраны выводы диссертационной работы.

При общей положительной оценке диссертационной работы можно высказать ряд замечаний:

1. При достаточно большом объеме экспериментального материала, приведенного в работе, обобщению результатов, сопоставлению их с теоретическими закономерностями и анализу расхождений, наблюдаемых при таком сопоставлении, уделяется довольно мало внимания.

2. На рисунке 2.3 в главе 2 приведена зависимость пороговой мощности поддержания непрерывного оптического разряда в аргоне от давления газа. Данные эксперимента сопоставляются с теоретической кривой, полученной на основе сопоставления энергии, полученной плазмой от лазерного луча, и совокупными потерями. Видно, что данные хорошо согласуются с теоретической зависимостью лишь до давлений до 30 атм, при больших давлениях модель недооценивает мощность луча, потребную для поддержания разряда. В диссертации автором не проводится объяснения этого расхождения.

3. При описании конвективных процессов, протекающих в окрестности НОР, не приводятся безразмерные параметры, отвечающие за возникновение конвективного течения.

4. Частота пульсаций НОР в разделе 2.2.3 изменяется в очень небольших пределах, менее чем на 10%. Такие оценки предполагают высокую стабильность колебательного процесса. Из материалов, представленных в диссертации, неясно, каким образом определялась эта частота, и насколько она стабильна во времени. Аналогично, на рис.2.10 (и далее, при сравнении с общей закономерностью) следовало бы указать ошибки, которые позволили бы оценить точность определения масштабного коэффициента a .

5. Описание некоторых методов, использованных при обработке результатов эксперимента, дано очень поверхностно. Так, для преобразования Абеля в п.2.2.4 не указан метод решения обратной задачи, как для самого преобразования, так и для преобразования свертки для учета сглаживающего эффекта конечных размеров датчика.

6. Подавление конвекции нагревом электродов явно имеет место, однако при интерпретации результатов следует иметь в виду, что такое воздействие влияет также на симметрию течения, превращая восходящий поток с цилиндрической симметрией в плоский. Характеристики устойчивости такого течения в целом другие.

7. Движущей силой развития неустойчивости в конвективном течении вокруг НОР, скорее всего, действительно является неустойчивость Кельвина-Гельмгольца. В то же время в малом объеме разрядной камеры обратные течения и акустические пульсации могут играть большую роль, замыкая естественную обратную связь и провоцируя абсолютную неустойчивость течения. Этот вопрос в диссертации не обсуждается.

8. Автором при исследовании течений в окрестности тихого оптического разряда выполняется оценка скорости струй на основе скорости перемещения оптических неоднородностей на их границе (например, с.85). Следует отметить, что такие оценки могут существенно (до двух раз) занижать скорость течения, так как фазовая скорость волн неустойчивости в сдвиговых течениях меньше скорости основной струи.

9. При измерении интенсивности прошедшего излучения в гл.5. наблюдается максимум, который автор связывает с рефракцией лазерного излучения на плазменной неоднородности. Задержка этого максимума относительно начала импульса составляет примерно 100нс, что значительно больше времени собственно формирования плазмы. Физические процессы эволюции плазменного образования, которые могли бы привести к возникновению такой задержки, в работе не обсуждаются.

Приведенные замечания, тем не менее, не могут повлиять на общую оценку работы и обоснованность полученных результатов.

На основании сказанного можно заключить, что представленная диссертация вносит существенный вклад в решение важных задач приоритетной области стабилизации оптических разрядов и повышения их характеристик за счет правильной организации взаимодействия разрядов с индуцируемыми ими же потоками газа. Автор диссертации Андросенко В.Н. продемонстрировал высокую квалификацию в области экспериментальных методов гидродинамики и взаимодействия лазерного излучения с веществом.

Результаты диссертации известны широкому кругу специалистов в нашей стране и за рубежом, были представлены в докладах автора на научных конференциях по механике и физике плазмы, опубликованы в 4 научных статьях в международных журналах Q1 и одной Q2, индицируемых Web of

Science и Scopus , первого уровня Белого списка и входящих в список ВАК, шести патентах на изобретения, а также 10 статьях в трудах всероссийских и международных конференций.

Автореферат соответствует содержанию диссертации, а содержание самой диссертации соответствует указанной научной специальности 1.1.9. Механика жидкости, газа и плазмы.

Считаю, что диссертационная работа Андросенко В.Н. представляет собой законченную научно-квалификационную работу, полностью удовлетворяющую требованиям, предъявляемым к диссертация на соискание ученой степени кандидата наук Положением о присуждении ученых степеней, утвержденным постановлением Правительства РФ от 24.09.2013 №842 (с изменениями, внесенными постановлением Правительства РФ от 21.04.2016 №335), а ее автор Андросенко Владислав Николаевич заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.1.9. Механика жидкости, газа и плазмы.

Официальный оппонент Моралев Иван Александрович, кандидат физико-математических наук, зав. лаб. 21.3 ОИВТ РАН

Адрес: Ижорская ул., 13, с.2 , Москва, 125412

тел.: +79165971887 ,

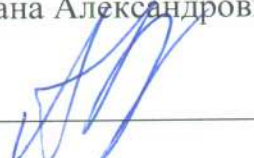
E-mail: morler@mail.ru



Подпись зав. лаб.21.3 , к.ф.-м.н. Моралева Ивана Александровича заверяю.

Ученый секретарь ОИВТ РАН

Киверин А.Д.



23 октября 2026 г.

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Объединенный институт высоких температур Российской академии наук
Адрес: 125412, Москва, улица Ижорская, дом 13, строение 2

Тел.: +7 (495) 485-8345

E-mail: office@ihed.ras.ru Сайт: jiht.ru