

УТВЕРЖДАЮ

И. о. директора

Института теоретической и прикладной механики
им. С.А. Христиановича СО РАН

д.ф.-м.н.

Е.И. Краус

« 7 » октября 2026 г.



ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

на диссертационную работу Андросенко Владислава Николаевича
«Управление потоками, генерируемыми оптическими разрядами различных
типов, с целью стабилизации их характеристик», представленную на
соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по
специальности 1.1.9 «Механика жидкости, газа и плазмы»

Диссертационная работа Андросенко В.Н. посвящена, главным образом, вопросам стабилизации непрерывных (НОР) и импульсно-периодических (ИПОР) оптических разрядов, поддерживаемых в замкнутых разрядных объемах с ксеноном и аргоном высокого давления лазерами ближнего ИК-диапазона. Диссертация представляет собой экспериментальное исследование явлений, связанных с генерацией направленных течений плазмообразующего газа в НОР и ИПОР в различных условиях.

До настоящего времени большинство работ, посвященных оптическим разрядам, так или иначе, рассматривали оптические разряды во внешнем потоке газа со скоростями, варьирующимися от величин порядка метров в секунду до сверхзвуковых. Это связано с рядом потенциально важных технологических и специальных применений оптических разрядов. С развитием техники лазеров ближнего ИК-диапазона на первый план вышло использование оптических разрядов в источниках широкополосного

излучения высокой яркости, имеющих уникальные преимущества для различных применений. В таких системах оптические разряды, как правило, реализуются в замкнутых прозрачных колбах с инертными газами высокого давления, где в условиях отсутствия внешних потоков особую роль приобретают потоки, генерируемые самими разрядами. В случае НОР основным механизмом генерации выступает термогравитационная конвекция, а в случае ИПОР – динамические механизмы расширения и коллапса области нагретого газа, образующейся вследствие частичного поглощения газом или плазмой энергии лазерного импульса. В условиях акустического резонанса с собственными частотами разрядного объема при импульсно-периодических разрядах могут возникать также акустические течения. Образование потоков нагретого газа из зоны разряда влияет на стабильность непрерывных разрядов, а в случае импульсно-периодических разрядов на повторяемость характеристик от импульса к импульсу.

Актуальность темы диссертации обусловлена, с одной стороны, быстрым развитием и широким применением технических устройств, использующих оптические разряды. С другой стороны, информация по условиям поддержания и характеристикам плазмы оптических разрядов недостаточно представлена в научной литературе. Здесь присутствует разрыв между практическими применениями и их научным обоснованием, затрудняющий дальнейший прогресс в области применения оптических разрядов.

В диссертации Андросенко В.Н. удалось решить или наметить пути решения актуальных проблем стабильности НОР в условиях термогравитационной конвекции, а также повторяемости характеристик ИПОР с частотой повторения импульсов до 200 кГц. Особое внимание в диссертации уделяется влиянию индуцируемых разрядами потоков на стабильность и повторяемость от импульса к импульсу характеристик самих разрядов. В частности, исследуются потоки, индуцируемые ИПОР в режиме тихого разряда, а также при переходе из режима тихого разряда в режим оптического пробоя. Исследуются возможности управления потоками,

возникающими при ИПОР в режиме оптического пробоя, а также при термогравитационной конвекции вокруг НОР в аргоне и ксеноне высокого давления.

Судя по представленным результатам, **тематику диссертационной работы** можно квалифицировать как соответствующую избранной специальности 1.1.9. «Механика жидкости газа и плазмы» по направлениям исследований: физико-химическая гидромеханика (течения с химическими реакциями, горением, детонацией, с фазовыми переходами, при наличии излучения и др.); тепломассоперенос в газах и жидкостях; гидромеханика сред, взаимодействующих с гравитационным и электромагнитным полями, динамика плазмы; экспериментальные методы исследования динамических процессов в жидкостях и газах.

Диссертация содержит 163 страницы, 59 рисунков, 6 таблиц и 180 ссылок на литературные источники.

Основное содержание диссертации разделено на 5 глав.

Первая глава представляет собой обзор литературы по теме диссертации.

Во второй главе приведены результаты экспериментального исследования НОР в аргоне, поддерживаемого излучением лазера на длине волны 1,08 мкм. Получены данные по пороговой мощности поддержания НОР и характеристикам плазмы разряда. Определена частота пульсации факела термогравитационной конвекции вокруг НОР в диапазоне давлений от 23 до 50 бар. Показано, что пульсации конвективного факела НОР могут приводить не только непосредственно к пульсациям яркости, но и к нарушению однородности плазмы. Проведено сопоставление полученных экспериментальных данных с теоретическими оценками.

В третьей главе приведены результаты исследования эффекта стабилизации (подавления пульсаций) потока термогравитационной конвекции НОР в ксеноне в зависимости от расстояния между вспомогательными электродами. Экспериментально показана связь волн плотности, вызываемых пульсациями конвективного факела в

цилиндрическом разрядном объеме, с нарушением однородности и стабильности плазмы НОР.

Четвёртая глава посвящена исследованию газовых потоков, возникающих при ИПОР. Исследуются квазистационарные направленные потоки в режимах тихого оптического разряда и оптического пробоя, а также при переходе ИПОР от одного режима к другому. Теневыми методами с применением лазерно-плазменного источника излучения визуализируются квазистационарные потоки, а также начальные стадии формирования потоков при ограниченном количестве разрядных импульсов. Исследуется влияние аббераций оптической системы и дефокусировки тепловой линзой на расположение газовых струй, генерируемых разрядом.

В пятой главе показаны возможности управления направлением потоков, индуцируемых при ИПОР в режиме оптического пробоя, с целью повышения стабильности и повторяемости характеристик плазмы в схеме фокусировки лазерного излучения с двумя пересекающимися лучами. Для стабилизации ИПОР в режиме оптического пробоя предложена оптическая схема, в которой плазма расположена в области пересечения двух сфокусированных лазерных лучей. Показано, что данная схема позволяет управлять структурой и направлением потоков, индуцируемых разрядом.

В заключении сформулированы основные результаты диссертации.

Научная новизна диссертационной работы Андросенко В.Н. выражается в том, что впервые были получены следующие результаты.

1. Измерены параметры плазмы и определены пороговые мощности поддержания НОР в аргоне высокого давления излучением лазера ближнего ИК-диапазона, а также частоты пульсации конвективного факела вокруг НОР в указанных условиях.

2. Экспериментально продемонстрирован эффект подавления пульсаций потока термогравитационной конвекции вокруг НОР, а также представлены явные указания на механизмы наблюдаемого эффекта.

3. Обнаружен эффект самовоздействия НОР в разрядном объёме с ксеноном высокого давления посредством образования волн плотности в нисходящем потоке во внешней области разрядного объёма вследствие пульсаций конвективного факела от плазмы НОР.

4. Исследовано изменение структуры газовых потоков и поглощения лазерного излучения при переходе между режимами тихого импульсно-периодического оптического разряда и импульсно-периодического оптического пробоя.

5. Предложен и реализован метод повышения стабильности и повторяемости характеристик ИПОР в режиме оптического пробоя путем применения схемы фокусировки с пересекающимися лазерными лучами. Получены высокие характеристики средней по времени спектральной яркости плазмы ИПОР, в первую очередь за счет хорошей повторяемости от импульса к импульсу, достигнутые путем воздействия на направление потока, генерируемого разрядом.

6. Обнаружен эффект изменения картины течения газа вокруг ИПОР при возникновении резонансных акустических колебаний в разрядном объёме.

Результаты получены автором за счет использования современных методов исследования плазмы и газовых потоков, таких как теневые методы с использованием НОР в качестве точечного источника широкополосного излучения высокой яркости, эмиссионная спектроскопия плазмы, фотометрия лазерного излучения, различные способы возбуждения оптических разрядов.

Достоверность полученных результатов обусловлена сочетанием различных экспериментальных методов, независимыми измерениями параметров лазерного излучения и разрядной плазмы, высокой воспроизводимостью полученных результатов, их согласием с полученными ранее теоретическими и экспериментальными данными, а также с результатами других авторов, полученных в сопоставимых условиях.

Автореферат диссертации соответствует содержанию работы и отражает суть полученных результатов.

К диссертационной работе можно сделать ряд **замечаний**.

1. Один из заявленных новых результатов работы состоит в том, что обнаружен эффект самовоздействия НОР в разрядном объёме с ксеноном высокого давления из-за образования волн плотности в нисходящем потоке во внешней области разрядного объёма, что приводит к неустойчивости плазмы. Но в работе не только обнаружен новый источник неустойчивости. Также предложен способ воздействия на конфигурацию газовых потоков путем изменения геометрии разрядного объема и найдена такая конфигурация, при которой влияние пульсаций газового потока на лазерный луч минимально и неоднородности плазмы не наблюдаются. Этот результат имеет прямое отношение к управлению потоками, и его тоже можно было включить в итоговые формулировки.

2. В параграфе 2.2.4 «Определение радиальных профилей температуры и концентрации электронов НОР в аргоне» на с. 49 сказано: «Для расчёта распределения концентрации электронов использовалась формула Бибермана-Нормана [166] для плазмы водородоподобного газа». Фраза является противоречивой, так как формула Бибермана-Нормана выведена для случая сложного многоэлектронного атома, а для плазмы водородоподобного газа была предложена исторически более ранняя формула Унзольда — Крамерса. Остается неясным, на основании какой модели рассчитывалась концентрация электронов.

3. При рассмотрении задач нестационарной конвекции представляется полезным дать численные оценки ключевых безразмерных параметров, таких как числа Рэлея, Грасгофа, Струхала и др. К сожалению, подобные оценки в диссертации не приведены.

4. В тесте диссертации встречаются терминологические неточности и жаргонные выражения, например, «направленность излучения» или «длины волн обоих лазеров практически равноправны».

5. В подписи к рисунку 4.10 при указании на осциллограммы импульсов прошедшего излучения перепутаны тихий разряд и оптический пробой.

6. При сравнении на рисунке 2.3 полученных в работе результатов пороговой мощности поддержания НОР с ранее полученными результатами в тексте дана ссылка на литературный источник [97], а в поле рисунка – на источник [71].

Эти замечания имеют методический и технический характер, они не подвергают сомнению достоверность полученных результатов, их научную и практическую значимость.

Следует также отметить **практическое значение** диссертационной работы.

В диссертации исследованы новые явления, связанные со стабилизацией непрерывных и импульсно-периодических оптических разрядов путем воздействия на генерируемые разрядами потоки. Полученные результаты могут быть рекомендованы для дальнейшего развития в научных исследованиях и технических разработках в данной области, они могут быть использованы для повышения характеристик и создания новых устройств, использующих разряды данного типа. В частности, результаты диссертации могут служить основой для совершенствования и дальнейшего развития источников широкополосного излучения высокой яркости на оптических разрядах.

Результаты, полученные в диссертации, будут полезны в организациях, занимающихся научными исследованиями и технологическими разработками в области оптических разрядов, таких как ОИВТ РАН, ИПЛИТ-Шатура, Институт спектроскопии РАН, ИОФ РАН, ИТПМ СО РАН, ИЛФ СО РАН, ТРИНИТИ, Физический институт РАН, ИАиЭ СО РАН и других.

В **заключение** следует отметить, что рассмотренная диссертация представляет собой завершённую научно-исследовательскую работу на

актуальную тему. Её автор Андросенко В.Н. решил ряд научных проблем и актуальных практических задач в области управления потоками, генерируемыми непрерывными и импульсно-периодическими оптическими разрядами, что создаёт возможности для дальнейшего прогресса в области исследования и применения оптических разрядов различных типов.

Научные положения, сформулированные в диссертации, достаточно обоснованы и не вызывают сомнений. Результаты диссертации известны специалистам, опубликованы в высокорейтинговых научных журналах соответствующего профиля и активно цитируются. Результаты получили достаточную апробацию на Всероссийских и международных научных конференциях.

Диссертация удовлетворяет требованиям п. 9 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 г. № 842, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата наук, а ее автор Андросенко Владислав Николаевич заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.1.9 «Механика жидкости, газа и плазмы».

Научный доклад Андросенко В.Н. по теме диссертации был заслушан и одобрен на заседании общеинститутского научного семинара «Теоретическая и прикладная механика» Института теоретической и прикладной механики им. С.А. Христиановича Сибирского отделения Российской академии наук 25 сентября 2026 года. Отзыв на диссертационную работу Андросенко В.Н. обсужден и получил положительное заключение на заседании лаборатории 3 «Лазерные технологии» ИТПМ СО РАН.

Главный научный сотрудник,
заведующий лабораторией 3 «Лазерные технологии»
д.т.н., профессор РАН

А.Г. Маликов

Старший научный сотрудник,
лаборатории 3 «Лазерные технологии»
д.т.н.

В.Б. Шулятьев

Подписи А. Г. Маликова и В.Б. Шулятьева удостоверяю
Ученый секретарь ИТПМ СО РАН
к.ф.-м.н.



Ю.В. Кратова

Ведущая организация:

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки

Институт теоретической и прикладной механики им. С.А. Христиановича
Сибирского отделения Российской академии наук

Сокращенное наименование: ИТПМ СО РАН

630090, г. Новосибирск, ул. Институтская, 4/1

телефон: +7 (383) 330-42-68

электронная почта: admin@itam.nsc.ru

web-сайт: <https://www.itam.nsc.ru>