



119991, ГСП-1, Москва,
Ленинский проспект, 53, ФИАН
Телефоны: (499) 135 1429
(499) 135 4264
Телефакс: (499) 135 7880
<http://www.lebedev.ru>
postmaster@lebedev.ru

Дата №
На № от

«УТВЕРЖДАЮ»

Заместитель директора
Физического института
им. П.Н. Лебедева РАН,
профессор,
д.ф.-м.н. В.А. Рябов



«19» сентября 2025 г.

ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

Федерального государственного бюджетного учреждения науки Физического
института им. П.Н. Лебедева Российской академии наук

на диссертационную работу Котова Александра Владимировича «Управление
параметрами фемтосекундного лазерного излучения при фокусировке на мишень и
диагностике лазерно-плазменного взаимодействия» представленную на соискание ученой
степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.19 – лазерная
физика.

Диссертационная работа Котова А.В. посвящена созданию и валидации методов
калибровки и применения адаптивной оптики в сверхмощных фемтосекундных лазерных
системах, а также разработке подходов оптимизации и диагностики лазерно-плазменного
взаимодействия. Исследование объединяет моделирование и эксперимент, охватывает
полный цикл — от юстировки мишени и поиска эталонного волнового фронта до
повышения качества фокусировки сверхмощного излучения при низкой частоте работы
лазерной системы и в условиях наличия нелинейных искажений волнового фронта.
Результаты работы получены на установке PEARL и ориентированы на практическое
внедрение, однако, разделы, связанные с исследованием нелинейных фазовых искажений и
созданием ультракороткого зондирующего импульса, имеют также фундаментальную
значимость.

Актуальность диссертационной работы обусловлена тем, что современные задачи
физики сверхсильных полей и лазерно-плазменных источников требуют максимальной
пиковой интенсивности в фокусе при строгом контроле пространственно-временных
параметров излучения. Достижение этой цели невозможно без корректного учета
линейных, динамических и нелинейных искажений фазы, возникающих в мощном
лазерном пучке. Так классические подходы к коррекции волнового фронта по

настроечному излучению неоптимальны для низкочастотных систем, где существует вариабельность параметров излучения от выстрела к выстрелу, при этом дополнительную сложность вносит использование технологии посткомпрессии сверхмощных импульсов, которая позволяет сократить длительность импульса, но вносит нелинейные искажения в волновой фронт пучка, которые значительно ухудшают фокусировку. В таких условиях для достижения максимальной пиковой интенсивности работа адаптивной оптической системы должна быть максимально эффективной на всех этапах, начиная от получения качественной калибровки, заканчивая наилучшей коррекцией волнового фронта одиночных выстрелов как без нелинейных фазовых искажений, так и при их наличии. Помимо обеспечения качественной фокусировки излучения, важными экспериментальными задачами являются настройка и диагностика лазерно-плазменного взаимодействия. Способность адаптивной оптики управлять волновым фронтом лазерного пучка позволяет осуществлять прецизионное наведение фокусного пятна на мишень, а также создавать и оперативно перестраивать распределение интенсивности на ее поверхности за счет контролируемого внесения аберраций. Это позволяет повысить эффективность лазерно-плазменного взаимодействия и расширить спектр возможных экспериментов. Разрешение оптической диагностики по схеме накачка–зондирование релятивистских объектов в лазерной плазме зависит от длительности зондирующего импульса. Интеграция технологии посткомпрессии в диагностический тракт дает шанс поднять ее разрешение без существенного усложнения схемы диагностики.

Диссертация состоит из введения, трех глав и заключения. Полный объем диссертации составляет 129 страниц, и включает 33 рисунка и 4 таблицы. Список литературы содержит 124 наименования.

Во введении изложены актуальность, научная новизна, практическая значимость работы, дан подробный анализ литературы и актуальных исследований, показывающие степень разработанности темы, сформулированы цели и задачи работы, приведены положения, выносимые на защиту и сведения об апробации полученных результатов.

Первая глава работы посвящена исследованию методов калибровки адаптивной оптической системы в условиях наличия динамических и разностных искажений волнового фронта. В главе рассмотрены, причины возникновения разностных и динамических искажений, их влияние на работу такой системы, а также предложены метод динамического переопределения эталонного волнового фронта и метод восстановления волнового фронта на основе сверточной нейронной сети.

Вторая глава работы посвящена исследованию возможности контроля волнового фронта мощного лазерного пучка как в случае наличия только линейных искажений волнового фронта, так и в случае наличия нелинейных фазовых искажений, возникающих при самомодуляции мощного фемтосекундного излучения в нелинейной среде.

Третья глава посвящена экспериментальным методам настройки и диагностики лазерно-плазменного взаимодействия. В данной главе предлагаются подходы для прецизионного позиционирования мишени и создания распределения в фокусе в виде полосы при помощи адаптивной оптической системы, а также предлагается техника укорочения зондирующего лазерного импульса при помощи CaFCA.

В заключении сформулированы основные результаты диссертационной работы

Научная новизна диссертационной работы заключается в разработке подходов к калибровке адаптивной оптической системы, коррекции волнового фронта сверхмощных лазерных импульсов с нелинейными фазовыми искажениями и сжатию зондирующих импульсов. В частности, разработан подход к калибровке адаптивной оптической системы, позволяющий минимизировать влияние динамических искажения волнового фронта в процессе калибровки, а также подход, обеспечивающий прямое восстановление волнового фронта из распределения интенсивности в околофокальной области на основе сверточной нейронной сети, что представляет собой альтернативу традиционным итерационным алгоритмам. Несомненно, новый и перспективный как с фундаментальной, так и с практической точек зрения результат получен при исследовании фокусировки излучения с нелинейными фазовыми искажениями. Так впервые была экспериментально реализована компенсация нелинейных фазовых искажений, возникающих при посткомпрессии сверхмощных лазерных импульсов при низкой частоте повторений и В-интеграле порядка 10. На основе нелинейного взаимодействия предложен и численно исследован подход к формированию ультракоротких зондирующих импульсов. Показано, что наличие пред- и постимпульсов, возникающих при посткомпрессии зондирующего импульса не приводит к существенной потере информативности оптической диагностики релятивистских объектов.

Практическая значимость работы не вызывает сомнений, что подтверждается следующими обстоятельствами. Разработанные методы калибровки адаптивной оптической системы, коррекции волнового фронта сверхмощных лазерных импульсов в том числе и при наличии нелинейных искажений волнового фронта уже позволили поднять пиковую интенсивность в экспериментах на лазерном комплексе PEARL в несколько раз. Также в экспериментах активно используются предложенные в работе подходы к позиционированию мишени и управлению распределением интенсивности. Предложенный подход к формированию ультракоротких зондирующих импульсов также показал свою эффективность в эксперименте на петаваттном лазерном комплексе J-KAREN-P.

Достоверность положений, выводов и рекомендаций подтверждается публикациями в рецензируемых научных журналах и их представлением на всероссийских и международных конференциях. Также результаты подкреплены сочетанием моделирования и эксперимента, показатели качества фокусировки в виде чисел Штреля и среднеквадратичного отклонения волнового фронта от эталонного приведены до и после коррекции, что позволяет оценить выигрыш количественно. Предложенные методики апробированы на установке PEARL и применяются в текущих экспериментах.

Все основные результаты диссертации получены при непосредственном участии диссертанта совместно с научным руководителем и соавторами. В каждый из полученных результатов автор внес определяющий вклад в подготовку и проведение эксперимента, обработку экспериментальных данных, анализ и интерпретацию результатов.

Автореферат в полной мере отражает содержание диссертационной работы.

Полученные в диссертационной работе результаты могут быть востребованы для работ на мощных лазерных системах, таких как РФЯЦ-ВНИИЭФ, РФЯЦ-ВНИИТФ, ФИАН, МГУ им. М.В. Ломоносова, ОИВТ РАН, ИОФ РАН и др.

Диссертация подготовлена на высоком уровне, однако по тексту и содержанию диссертационной работы могут быть сделаны следующие замечания:

1. Из-за большого количества аббревиатур, которые в том числе расшифровываются только при первом их появлении, текст диссертации оказывается очень сложным для прочтения и для понимания. Расшифровка аббревиатуры «СКО» не вошла из диссертации в автореферат. Возможно, автору диссертации стоило либо по возможности отказываться от их использования, либо дополнительно внести в диссертацию список сокращений. Часть аббревиатур написаны на русском, а часть на английском языке, что вызывает дополнительные трудности для восприятия, например, таких аббревиатур как «АОС».
2. В диссертации использовано латинское название для Predictor-Corrector, хотя в русском языке есть общепринятая версия на кириллице «предиктор-корректор». На странице 45 наоборот строчная формула написана с использованием кириллицы, что нехарактерно для физико-математических научных работ. Все вышеперечисленное делает текст диссертационной работы небрежным.
3. В первой половине диссертации не представлены формулы для расчета некоторых величин, таких как СКО, число Штреля, MAE, что могло бы значительно улучшить восприятие текста диссертации.
4. Исходя из подписи к рисунку 1.10, оранжевые и зеленые точки относятся к одному и тому же типу данных: «оранжевым цветом обозначены точки для моделей, которые обучались на средних искажениях; зеленым цветом обозначены точки для моделей, которые обучались на средних искажениях».
5. Не понятно, что на стр. 47 имеет в виду автор: «В то же время модели, обученные на 100 модах, демонстрируют разную максимальную эффективность, которая снижается с увеличением ширины обучающей выборки.» Поскольку общепринятого термина «ширина обучающей выборки» нет.
6. Вопрос к утверждению 6 на странице 48: проводились ли эксперименты с другими архитектурами нейронной сети (с увеличенным числом параметров) и с увеличенным набором данных для обучающей выборки, сгенерированной с использованием 100 мод, чтобы утверждать, что у модели снизилась способность к обобщению?
7. Какие ограничения могут возникнуть при использовании разработанных в работе методов? Какова устойчивость методов калибровки адаптивной оптической системы к различным типам искажений?

Тем не менее, материалы диссертации хорошо согласованы между собой, представляют цельную законченную работу. Все сформулированные научные положения и выводы обоснованы представленными результатами. Диссертационная работа Котова Александра Владимировича «Управление параметрами фемтосекундного лазерного излучения при фокусировке на мишень и диагностике лазерно-плазменного взаимодействия» удовлетворяет требованиям, установленным «Положением о порядке присуждения ученых степеней», а ее автор несомненно заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.19 – лазерная физика.

Доклад Котова А.В. по материалам диссертации был заслушан и обсужден на научном семинаре Отделения квантовой радиофизики им. Н.Г. Басова Федерального государственного бюджетного учреждения науки Физического института им. П.Н. Лебедева Российской академии наук 19 сентября 2025 года.

Отзыв составил:

Высококвалифицированный научный сотрудник
Сектора лазерно-плазменной физики высоких энергий
Отделения квантовой радиофизики
Физического института им. П.Н. Лебедева РАН
кандидат физико-математических наук,
специальность 1.3.19 — лазерная физика,
Тел.: +7(499)132-68-36
e-mail: ovais@lebedev.ru

 Вайс Ольга Евгеньевна.

Подпись О.Е. Вайс «удостоверяю»

Ученый секретарь ФИАН,
к.ф.-м.н.



А.В. Колобов

Сведения о ведущей организации:

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Физический институт им. П.Н. Лебедева Российской академии наук (ФИАН)
Адрес: 119991 ГСП-1 Москва, Ленинский проспект, д.53
Тел. 8 (499) 132-65-54
E-mail: office@lebedev.ru