

О Т З Ы В

официального оппонента Трунова Владимира Ивановича на диссертацию 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 А.В.Котова посвящена исследованиям и разработкам, направленным на развитие методов управления параметрами лазерного излучения, такими как размер, положение и форма пятна в фокальной области при фокусировке сверхмощных импульсов, а также развитию методов диагностики лазерно-плазменного взаимодействия.

Актуальность выбранной темы не вызывает сомнений и связана с развитием сверхмощных лазерных систем, нацеленных на достижение предельно высоких интенсивностей. Развитие таких систем открывает новые перспективы в исследовании свойств материи, находящейся в экстремальном состоянии, ускорения заряженных частиц, генерации когерентного рентгеновского и гамма излучений, лазерного термоядерного синтеза, моделирования астрофизических явлений. Для достижения предельно высокой пиковой интенсивности требуются прецизионные методы контроля и управления такими параметрами сверхмощных импульсов как волновой фронт, определяющий качество фокусировки так и спектральная фаза, влияющая на длительность импульса. В мощных лазерных системах основным инструментом управления волновым фронтом являются адаптивные оптические системы (АОС) на основе деформируемых зеркал.

Диссертация состоит из введения, трёх глав, заключения и списка литературы. Объем работы составляет 129 страниц. Список цитируемой литературы содержит 124 наименования.

Первая глава посвящена развитию методов повышения точности восстановления фазовых фронтов одиночных импульсов на основе нейросетей, а также развитию методов коррекции волновых фронтов одиночных сверхмощных импульсов с использованием АОС на основе деформируемых зеркал. Преимуществом использования нейронных сетей является возможность достижения высокой точности восстановления волнового фронта за малое число итераций. Рассмотрены причины возникновения разностных и динамических искажений, их влияние на работу АОС, а также предложены метод динамического переопределения эталонного волнового фронта и модель нейросети для восстановления волнового фронта на основе распределений флюенса в фокусе и в окрестности фокуса.

Показано, что использование обученной модели для итерационной коррекции в численном эксперименте позволяет достичь числа Штреля порядка 0.95 за небольшое число итераций.

Проверка работы предложенной модели на реальных данных показала хорошее соответствие реальных и восстановленных распределений в фокусе и в окрестности фокуса, и эффективность порядка 0.65 при уровне среднеквадратичных отклонений искажений волнового фронта 0.4λ .

Вторая глава посвящена исследованию возможности контроля и управления пространственной фазой сверхмощного лазерного импульса на лазерной установке PEARL, как в случае наличия линейных искажений волнового фронта, так и в случае наличия нелинейных искажений, возникающих при фазовой самомодуляции импульса, применяемой для уширения спектра.

Выполнено сравнение двух подходов к коррекции волнового фронта сверхмощного пучка: предварительная коррекция по частотному режиму и коррекция непосредственно в разовом режиме. При коррекции по частотному режиму экспериментально показано, что существует достаточно большой разброс числа Штреля между пучками в разовом и частотном режимах, а также значительное отклонение между точками в разовом режиме. При коррекции по разовому режиму продемонстрированы более стабильные результаты и лучшая фокусировка сверхмощных пучков. Показано, что на лазерной установке PEARL различия между пучками в настройном и разовом режимах больше, чем различия между пучками в разовом режиме, и финальная коррекция волнового фронта должна производиться непосредственно в разовом режиме.

Проведено исследование особенностей фокусировки сверхмощного фемтосекундного лазерного излучения после посткомпрессии. Выполнен анализ нелинейных фазовых искажений (НФИ), которые возникают в результате фазовой самомодуляции и приводят к ухудшению фокусировки. Проанализировано два подхода к коррекции НФИ. Первый подход основан на использовании при коррекции эффективной формы волнового фронта, измеренной в полном спектре, а второй – на основе измерений в узкой спектральной полосе около центральной длины волны.

Приведены результаты экспериментальной реализации этих двух подходов при фокусировке излучения системы PEARL, а также излучения этой системы после посткомпрессии. Показана возможность фокусировки излучения системы PEARL до числа Штреля 0.73, а после посткомпрессии до числа Штреля 0.43. Согласно этим данным, использование АОС после посткомпрессии сверхмощных фемтосекундных импульсов позволило увеличить сфокусированную пиковую интенсивность в 3.5 раза за счет компенсации нелинейных фазовых искажений.

Третья глава посвящена экспериментальным методам позиционирования фокального пятна на мишени и улучшению временного и пространственного разрешения в схемах диагностики лазерно-плазменного взаимодействия. В данной главе предложены и проанализированы подходы к позиционированию излучения на мишени при помощи АОС и управлению формой фокального пятна в области взаимодействия. Показано, что возможность АОС задавать необходимую форму деформируемого зеркала позволяет осуществлять быструю перестройку между различными формами фокального пятна. Автором экспериментально подтверждено, что АОС может использоваться не только для коррекции искажений волнового фронта пучка, но и для настройки положения фокуса на мишени и создания требуемых распределений интенсивности на мишени, что делает АОС важным инструментом оптимизации лазерно-плазменного взаимодействия.

Для повышения временного разрешения оптической диагностики накачка-зондирование при исследовании релятивистских объектов предложено использовать нелинейное сжатие зондирующих импульсов. Приведены результаты численного моделирования для лазерной системы J-KAREN-P, которые показали, что импульсы могут быть сжаты с 47 до 12 фс при посткомпрессии. Предложенная схема сжатия позволила экспериментально достигнуть длительности 23 фс, уменьшить размытие движения примерно в 2,6 раза, а также повысить отношение сигнала зондирующего импульса к собственному излучению плазмы.

В целом Диссертация содержит важные экспериментальные и теоретические результаты, имеющие принципиальное значение для разработки и создания сверхинтенсивных лазерных систем, развития методов наведения сфокусированного излучения на мишень и развития методов диагностики лазерно-плазменного взаимодействия.

Результаты работы опубликованы в ведущих российских и зарубежных научных изданиях, индексируемых международными базами данных Scopus и Web of Science, хорошо известны специалистам, а также прошли апробацию на научных конференциях и симпозиумах.

В то же время, по тексту диссертационной работы имеется ряд замечаний

- 1) Пятое защищаемое положение «Адаптивная оптическая система за счет коррекции искажений волнового фронта и возможности управления положением фокуса обеспечивает субрэлеевскую точность совмещения острого края мишени с фокусом», как мне кажется, звучит слишком обобщенно. Действительно ли оно справедливо при любых размерах фокального пятна или есть какой-то диапазон допустимых значений?

- 2) Экспериментальная реализация фокусировки мощного лазерного излучения в пятно диаметром порядка 5 мкм с использованием разработанной автором адаптивной системы является важным достижением. К сожалению, автором в диссертации не обсуждается перспективность использования разработанной системы компенсации фазовых искажения для формирования пятна с размером порядка длины волны. Какие факторы будут в этом случае определяющими, ограничивающие возможность формирования такого предельно малого размера пятна в фокусе параболического зеркала?
- 3) В тексте диссертации автор указывает в нескольких местах длительность импульса после посткомпрессии. При этом не уточняется, это средняя длительность по сечению пучка, или локальная (например, на оси пучка). Как длительность сжатого импульса варьируется по сечению пучка? Вследствие пространственно-временной связи, длительность импульса может варьироваться по сечению фокального пятна, что важно для определения реальной максимальной пиковой интенсивности.
- 4) При моделировании процесса уширения спектра и последующего сжатия чирпированными зеркалами автором учитывается дисперсия только второго порядка. В диссертации не приводится никаких оценок, обосновывающих применимость данного приближения применительно к анализу экспериментальных данных, обсуждаемых в данной работе.
- 5) На странице 81 используется термин «плотная фокусировка», однако нигде в тексте этот термин не определяется и далее не используется.

Указанные замечания не уменьшают ценности результатов, полученных в диссертации.

Заключение по диссертационной работе

Тема диссертации является актуальной. Научные положения и выводы диссертации научно обоснованы. Результаты, диссертации обладают практической значимостью, научной новизной, прошли апробацию, представлены в опубликованных трудах автора. Достоверность результатов подтверждается их воспроизводимостью и согласованностью с результатами численного моделирования.

Диссертация А.В.Котова является законченной научно-квалификационной работой. Автореферат достаточно полно отражает содержание диссертации. Диссертация удовлетворяет всем требованиям к кандидатским диссертациям, установленным Положением о присуждении ученых степеней, утвержденным постановлением Правительства Российской Федерации № 842 от 24 сентября 2013 года, а ее автор, Котов

Александр Владимирович, заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.19 - «Лазерная физика».

Официальный оппонент:

к.ф.-м.н. Трунов Владимир Иванович

заведующий лабораторией Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института лазерной физики Сибирского отделения Российской академии наук (ИЛФ СО РАН)

Российская федерация, 630090, Новосибирск, проспект академика Лаврентьева, 15Б, ИЛФ СО РАН

тел.: +7 (913)739-74-73

e-mail: trunov@laser.nsc.ru

/ Трунов Владимир Иванович /

18.09.25

Подпись Трунова Владимира Ивановича заверяю:

Покасов Павел Викторович

Ученый секретарь Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института лазерной физики Сибирского отделения Российской академии наук (ИЛФ СО РАН), к.ф.-м.н.,

Российская федерация, 630090, Новосибирск, проспект академика Лаврентьева, 15Б, ИЛФ СО РАН

тел.: +7(383)330-89-21

e-mail: pokasov@laser.nsc.ru



/ Покасов Павел Викторович /

18.09.25