

Н.Г. Иванов, В.Ф. Лосев, Ю.Н. Панченко

ВЛИЯНИЕ ВИДА ОПТИЧЕСКОЙ АБЕРРАЦИИ НА ТОЧНОСТЬ ОВФ ПРИ ВРМБ ПУЧКА ХеСІ-ЛАЗЕРА

Экспериментально исследуются степень искажения волнового фронта и возможность его восстановления при ОВФ пучка ХеСІ-лазера. При транспортировке пучка диаметром 150 мм на расстояние 25 м за счет aberrаций на турбулентности воздуха его расходимость возрастает до $20 \theta_d$. В случае ОВФ пучка, волновой фронт которого искажен aberrациями на оптических элементах ($\theta \leq 150 \theta_d$), происходит практически полная их компенсация. Если же основной вклад в aberrации вносит турбулентность воздуха, то точность ОВФ уменьшается.

1. Введение

Экимерные лазерные системы являются в настоящее время наиболее перспективными источниками для достижения максимальной плотности излучения, благодаря пропорциональной зависимости предельной яркости от квадрата отношения D/λ (D – диаметр лазерного пучка, λ – длина волны излучения). Во-первых, эксимерные лазеры имеют короткую длину волны и высокую интенсивность выходного излучения, во-вторых, нет принципиальных ограничений на увеличение поперечных размеров их активной среды. Однако на практике с ростом сечения пучка возникают определенные трудности по сохранению дифракционной расходимости излучения из-за наличия aberrаций как в активной среде, так и в остальном оптическом тракте.

Известно, что использование явления ОВФ при ВРМБ позволяет устранять aberrации в оптической системе. При этом точность воспроизведения волнового фронта (ВФ) во многом зависит от вида и степени его искажения [1–4]. Однако в большинстве случаев как в теории, так и на практике искажение ВФ задается фазовой пластинкой, и, таким образом, в области фокальной перетяжки имеется статистически однородное распределение интенсивности излучения. В этих условиях расходимость излучения накачки, при которой качество ОВФ максимально, ограничена диапазоном $10^2 < \theta/\theta_d < 10^3$ (θ_d – дифракционный угол). Случай же слабоискаженных пучков ($\theta/\theta_d < 10^2$) считается менее благоприятным для ОВФ из-за появления различного рода искажений, например «змеечных». В то же время сообщения о наличии ОВФ-излучения эксимерных лазеров [5–8] (как правило, это двухпроходные электроразрядные усилители с бриллиантовым зеркалом) относятся именно к этому случаю, когда устраняются незначительные aberrации, возникающие на неоднородностях накачки лазера. Необходимо, однако, отметить, что при небольшом превышении расходимости пучка накачки над дифракционным пределом (в 1,5–3 раза) регистрируемое улучшение расходимости отраженного и вновь усиленного излучения может происходить также и за счет его пространственной фильтрации [13, 14]. Для пучков с большим сечением (диаметр пучка $\varnothing \geq 75$ мм), как нами было показано в [9], aberrации в оптическом тракте без активной среды начинают существенно превышать aberrации на неоднородностях накачки и вклад процесса ОВФ должен быть более заметен.

Настоящая статья посвящена определению степени искажений ВФ пучка ХеСІ-лазера диаметром до 150 мм при его транспортировке и изучению возможности их компенсации при ОВФ.

2. Эксперимент

В экспериментах использовалась лазерная система, состоящая из трех электроразрядных ХеСІ-лазеров (рис. 1). Формирование мощного высоконаправленного узкополосного излучения осуществлялось в неустойчивом резонаторе лазера УЛ, работающего в режиме инжекционной синхронизации [10]. Поляризованное излучение задающего генератора ЗГ с шириной линии $\Delta\nu \leq 0,01$ см⁻¹ и энергией $E \leq 1$ мДж инжектировалось в резонатор УЛ через полупрозрачное сферическое зеркало 4. Выходным зеркалом резонатора УЛ служило плоское зеркало с переменным коэффициентом отражения. Излучение УЛ с энергией $E \leq 80$ мДж, длительностью импульса $\tau_{0,5} \leq 100$ нс коллимировалось линзами 6, 7 и, пройдя поляризационную развязку 8, 9, далее расширялось телескопом 10. Длина пути, проходимого расширенным пучком, составляла 2×12 м. Возвращаясь обратно под небольшим углом к встречному потоку, лазерный пучок вновь сжимал-

ся до диаметра около 2 см и после дополнительного усиления в *OU* до энергии ≤ 50 мДж фокусировался в кювету с нелинейной средой линзой *12*.

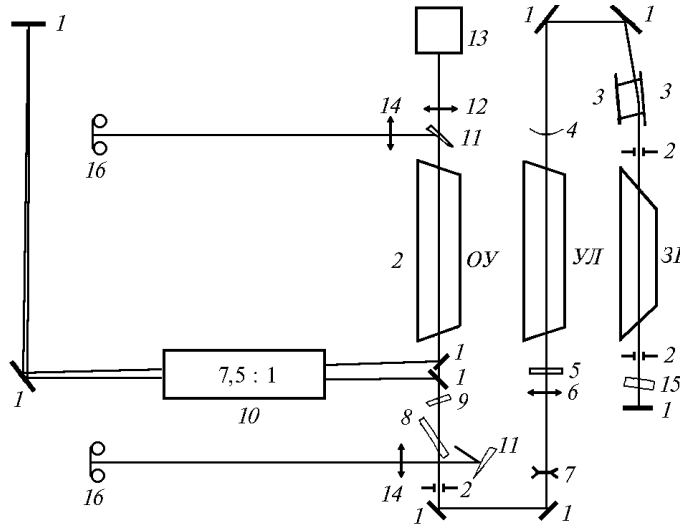


Рис. 1. Оптическая схема эксперимента: 1 – зеркало полного отражения; 2 – диафрагма; 3 – дифракционная решетка (2400 штр./мм); 4 – выпуклое зеркало с фокусным расстоянием $f = -634$ мм; 5 – зеркало с переменным коэффициентом отражения; 6 – линза с $f = 550$ мм; 7 – линза с $f = -200$ мм; 8 – поляризатор; 9 – четвертьволновая пластинка; 10 – телескоп (линзы с $f = 1500, -200, -460$ мм); 11 – клин; 12 – линза с $f = 0,5$; 1; 2 м; 13 – кювета с SF₆ (давление $p = 10$ атм); 14 – линза с $f = 3$ м; 15 – эталон Фабри–Перо; 16 – фотопленка

Контроль за расходимостью излучения накачки осуществлялся путем фотографирования излучения в фокусе линзы *14* и непосредственным измерением энергетического распределения с помощью калиброванных диафрагм и измерителя ИМО-2Н. Энергетическое распределение отраженного излучения, прошедшего оптический тракт, рассчитывалось из денситограмм с учетом нелинейного диапазона пленки.

3. Результаты эксперимента и их обсуждение

На рис. 2,*а* представлено угловое распределение энергии излучения, падающего на нелинейную среду при диаметре расширенного пучка $\varnothing = 75$ и 150 мм. Несколько большая расходимость пучка во втором случае обусловлена, судя по фотографиям фокальных пятен (рис. 3), в основном турбулентностью воздуха. При этом, как видим, фокальное пятно распадается на отдельные хаотично расположенные сгустки (рис. 3,*з*). В случае внесения дополнительной турбулентности в тракте транспортировки пучка $\varnothing = 75$ мм путем подогрева отдельного его участка фокальные пятна обоих пучков становились одинаковыми по структуре.

На рис. 4 приведены фотографии фокальных пятен и их денситограммы для излучения, отраженного от нелинейной среды и вновь прошедшего оптический тракт. Пунктиром на денситограммах показан размер дифракционного ядра. Как видим, степень компенсации искажений для разных диаметров пучка различна. Ее количественную оценку можно сделать из рассчитанных распределений энергии излучения, представленных на рис. 2,*б*. При диаметре пучка 75 мм возвращенное назад излучение имеет практически дифракционную расходимость, т.е. меньшую, чем у исходного излучения (рис. 2,*б*, кривая 3), что вызвано его пространственной фильтрацией в оптическом тракте. Для диаметра пучка 150 мм реализуется неполная компенсация из-за появления вокруг дифракционного ядра спеклового структуры, несущей на себе значительную долю энергии. Изменение фокусного расстояния линзы *12* качества ОВФ при этом практически не меняло. Похожая картина наблюдалась и в случае внесения дополнительных искажений ВФ пучка $\varnothing = 75$ мм путем подогрева отдельного участка пути его следования (рис. 2,*з* и 4,*б*). Такое поведение, на наш взгляд, может быть обусловлено двумя причинами. Первая из них связана с существенно разной интенсивностью сгустков излучения в фокальной перетяжке, такой, что в отдельных ее областях не достигается должного инкремента усиления и часть информации о фазе в отраженном пучке исчезает. Кроме того, с увеличением мощно-

сти излучения накачки возрастает степень искажений за счет усиления компонент, некоррелированных с падающей волной в областях с повышенной интенсивностью. Вторая причина может заключаться в том, что полное восстановление ВФ возможно только при определенной структуре распределения сгустков из-за нарушения механизма четырехволнового смещения [11].

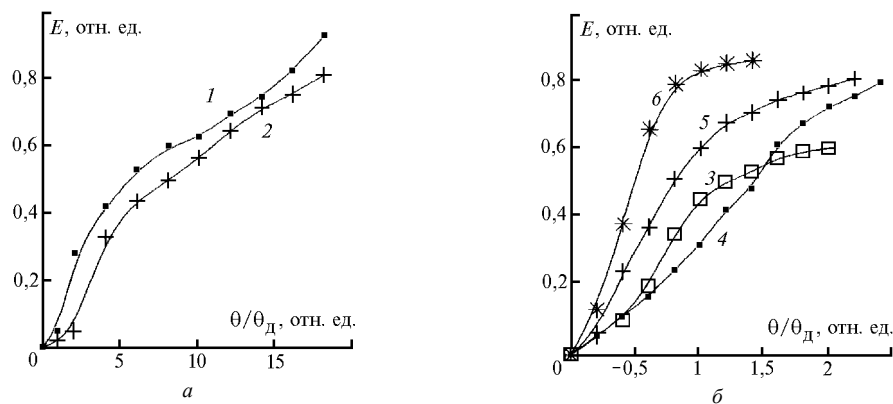


Рис. 2. Угловое распределение энергии излучения, падающего на нелинейную среду (1, 2) – а, вышедшего из УЛ (3), отраженного и вновь прошедшего оптический тракт (4–6) – б; диаметр пучка равен 150 мм (2, 4) и 75 мм (1, 5, 6); кривая 5 снята при нагреве отдельного участка оптического тракта

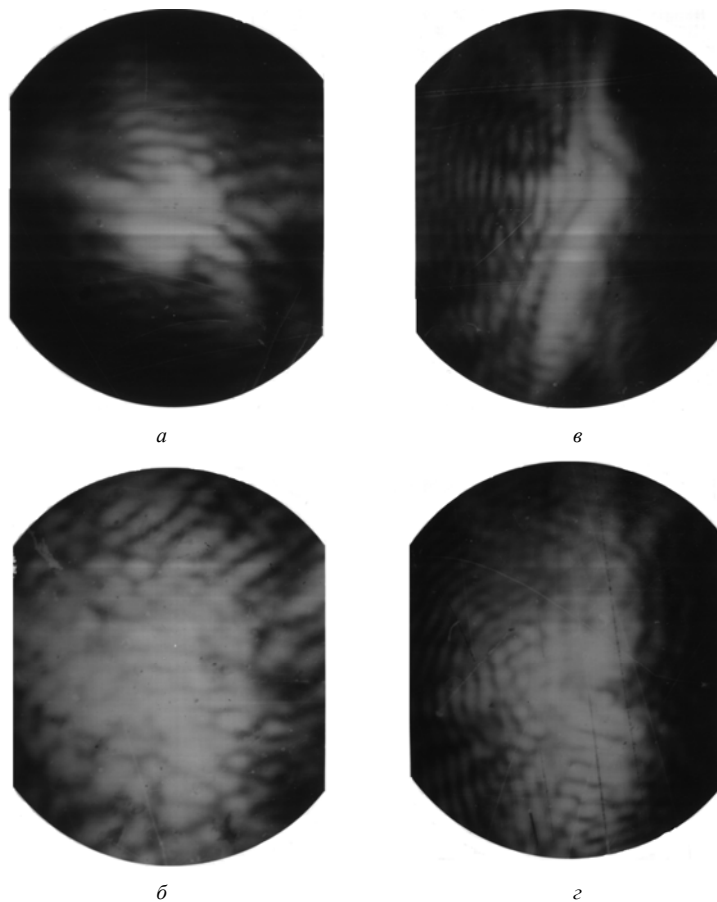


Рис. 3. Фотографии фокальных пятен излучения пучка $\varnothing = 75$ мм (а, б) и 150 мм (в, з) с тепловым нагревом отдельного участка оптического тракта (б), при укороченном – 4 м (в) и полном – 24 м (з) пути транспортировки. Фотографии даны примерно в одном масштабе относительно дифракционного угла

Таким образом, анализ экспериментальных результатов показывает, что при транспортировке пучка $\varnothing = 150$ мм на расстояния порядка 25 м его расходимость за счет турбулентности возду-

ха может возрастать примерно до $20\theta_d$. Высокая точность воспроизведения волнового фронта при ВРМБ сфокусированного излучения ХеСl-лазера реализуется при значительном (около $15\theta_d$) превышении расходимости пучка накачки над дифракционным пределом в случае, если искажения ВФ происходят на оптических элементах. При дальнейшем увеличении aberrаций за счет турбулентности воздуха точность ОВФ снижается и, возможно, для ее сохранения уже необходимо использование фазовой пластинки [1] либо четырехволнового смещения [11,12].

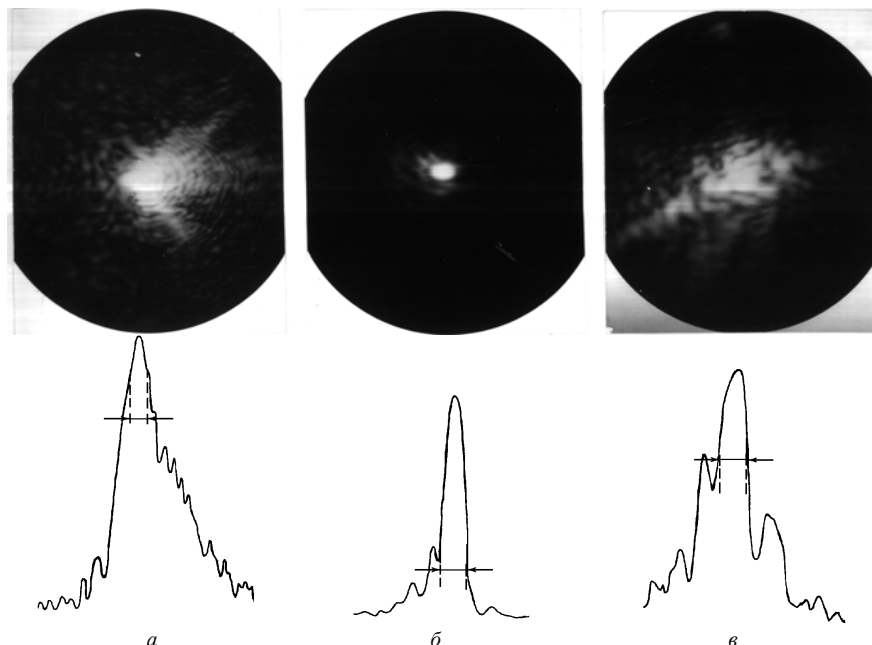


Рис. 4. Фотографии фокальных пятен и денситограммы излучения, отраженного от нелинейной среды и вновь прошедшего оптический тракт. Диаметр расширенного пучка равен 150 мм (а), 75 мм (б,в). На последней фотографии ВФ дополнительно искажался нагревом участка оптического тракта

1. Обращение волнового фронта излучения в нелинейных средах / Под ред. В.И. Беспалова. Горький: Изд-во ИПФ АН СССР, 1982. 247 с.
2. Беспалов В.И., Бетин А.А., Пасманик Г.А. // Радиофизика. 1977. Т. 20. С. 791.
3. Зельдович Б.Я., Пилипецкий Н.Ф., Шкунов В.В. Обращение волнового фронта. М.: Наука, 1985. 252 с.
4. Белоусов В.Н., Низиенко Ю.К., Пилипецкий Н.Ф., Рагульский В.В. // ДАН СССР. 1981. Т. 71. С. 261.
5. Caro R.G., Gower M.C. // Optics Letters. 1981. V. 6. N 11. P. 557–559.
6. Osborne M.R., Schroeder W.A., Damzes M.J. and Hutchinson M.H.R. // Appl. Phys. V. 1989. V. 48. P. 351–356.
7. Бычков Ю.И., Лосев В.Ф., Панченко Ю.Н. // Квантовая электроника. 1992. Т. 19. С. 688.
8. Sugii M., Okare M., Watanabe A., Sasaki K. // IEEE J. Quantum Electronics. 1988. V. 24. P. 2264.
9. Бычков Ю.И., Иванов Н.Г. и др. // Конф. «Оптика лазеров»: Тезисы докл. СПб.: Изд. ГОИ, 1993. С. 177.
10. Иванов Н.Г., Коваленко С.Е., Лосев В.Ф., Панченко Ю.Н. // Оптика атмосферы и океана. 1995. Т. 8. N 11. С. 1590–1594.
11. Davis G.M. and Gower M.C. // IEEE J. Quantum Electron. 1991. V. 27. N 3. P. 496–501.
12. Moyer R.H., Valley M. and Cimolino C. // J. Opt. Soc. Amer. B. 1988. V. 5. P. 2743.
13. Глазков Д.А., Гордеев А.А., Зубарев И.Г., Михайлов С.И. // Квантовая электроника. 1992. Т. 19. С. 286.
14. Яшин В.Е., Крыжановский В.И. // 3-я Всесоюзная конф. «Оптика лазеров»: Тезисы докл. Л.: Изд. ГОИ, 1981. С. 310.

Институт сильноточной электроники СО РАН,
Томск

Поступила в редакцию
10 февраля 1997 г.

N.G. Ivanov, V.F. Losev, Ju.N. Panchenko. **Influence of Optical Aberration Type on Accuracy of WFR at SSMB of XeCl-laser Beam.**

The degree of wavefront distortion and a possibility of its reconstruction at the XeCl-laser beam wavefront reversal were studied experimentally. When transporting the beam of 150 mm diameter for a distance of 25 m, its divergence increases to $20\theta_d$ due to the air turbulence aberration. In the case of the beam WFR, when the wavefront aberrations are caused by optical elements ($\theta \leq 15\theta_d$), practically complete their compensation takes place. If the aberrations are caused mainly by the air turbulence, then the WFR accuracy lowers.