

ФАЗОВЫЙ ИНТЕРФЕРЕНЦИОННЫЙ КОНТРОЛЬ ОПТИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ ЛАЗЕРНОЙ УСТАНОВКИ НОВОГО ПОКОЛЕНИЯ

*Деркач Ирина Николаевна, Высоцкая Вероника Владимировна (vvladejschikova@vniief.ru),
Лобачев Денис Иванович, Чернов Илья Евгеньевич, Енцов Руслан Сергеевич,
Зеленкина Дарья Андреевна, Кирейчева Валерия Ильинична*

ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ», г. Саров Нижегородской обл.

В работе изложены основные принципы работы интерферометра фазового сдвига и приведена статистика контроля партий оптических элементов различных производителей для мощной лазерной установки.

Ключевые слова: лазерная установка, интерференционный контроль, крупногабаритные оптические элементы.

PHASE INTERFERENCE CONTROL OF OPTICAL ELEMENTS FOR LASER INSTALLATION OF NEW GENERATION

*Derkach Irina Nikolaevna, Vysotsky Veronika Vladimirovna (vvladejschikova@vniief.ru),
Lobachev Denis Ivanovich, Chernov Ilya Evgenievich, Entsov Ruslan Sergeevich,
Zelenkina Daria Andreevna, Kirejcheva Valeria Iliinichna*

FSUE «RFNC-VNIIEF», Sarov Nizhny Novgorod region

The paper sets forth main principles of a phase shift interferometer operation and presents statistics related to control of batches of optical elements for a high-power laser installation produced by different manufacturers.

Keywords: laser installation, interference control, large optical elements.

Введение

Современные мощные лазерные установки [1–2] представляют собой сложные многоканальные, многопроходные усилительные системы, в состав каждого канала которых входит большое количество дорогостоящих оптических элементов. Расчетные значения энергии на выходе силовых каналов установки могут достигаться только при строгом соответствии характеристик используемых оптических элементов требованиям конструкторской документации.

Одним из важнейших методов контроля характеристик оптических элементов является интерференционный контроль, который позволяет определять оптические неоднородности на поверхности и в объеме оптических элементов.

В данной работе приведено описание стенда широкоапертурного фазового интерферометра и приведена статистика контроля партий оптических элементов различных производителей для мощной лазерной установки.

Стенд для проведения измерений

Перед использованием оптических элементов по назначению и монтажом в оптические системы все оптические элементы проходят контроль посредством широкоапертурного интерферометра фазового сдвига (ШИФС), который осуществляется систематически, как правило, сразу же после поставки оптических элементов изготовителями.

ШИФС предназначен для измерения характеристик отражающих и преломляющих оптических эле-

ментов с плоскими поверхностями световым диаметром до 630 мм. [3]

Контроль оптических элементов осуществляется путем измерения искажений волнового фронта излучения при его прохождении через оптический элемент или отражении от контролируемой поверхности

оптического элемента в трех пространственных диапазонах, имеющих следующие пространственные масштабы неоднородностей: от 33 до 630 мм, от 2,5 до 33 мм и от 0,12 до 2,5 мм. Технические характеристики ШИФС приведены в табл. 1.

Таблица 1

Технические характеристики ШИФС

Характеристика	Значение
Длина волны зондирующего излучения, нм	633
Апертура зондирующего пучка, мм	630
Поперечное разрешение в пространственном диапазоне I (от 33 до 630 мм), мм	0,63
Поперечное разрешение в пространственном диапазоне II (от 2,5 до 33 мм), мм	0,63
Поперечное разрешение в пространственном диапазоне III (от 0,12 до 2,5 мм), мм	0,1
Точность измерений	$\lambda/1000$
Повторяемость измерений	$\lambda/1000$
Разрешение фотоприемной системы, пиксели×пиксели	1024×1024

Оптическая схема ШИФС приведена на рис. 1.

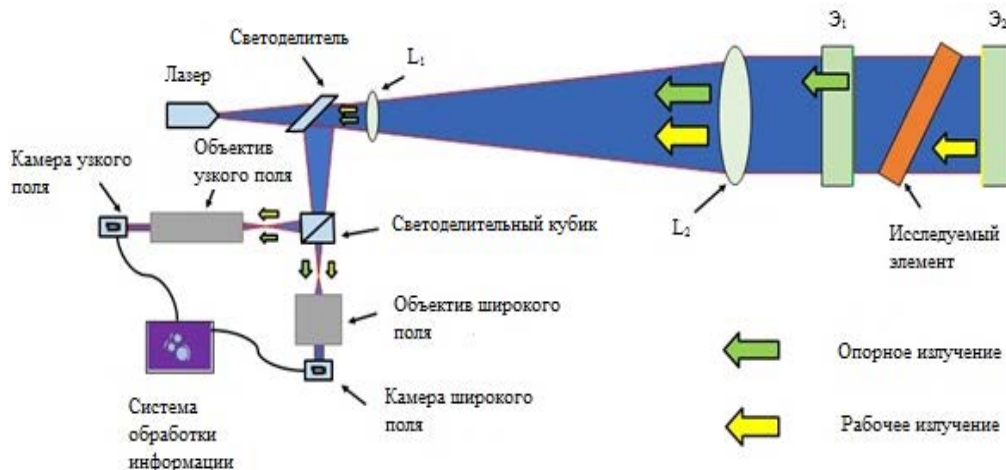


Рис. 1. Оптическая схема ШИФС

Таблица 2

Характеристики оптических элементов партии

Оптический элемент	Габаритные размеры, мм×мм×мм	Материал	Страна-производитель	Количество оптических элементов в партии, шт.
Дисковый активный элемент	808×458×41	фосфатное стекло КНФС-3, легированное неодимом	Россия	55
Дисковый активный элемент	808×458×41	фосфатное стекло N31, легированное неодимом	КНР	27
Зеркало транспортировочное	600×425×80	СО-115М	Россия	13
Оптический нелинейный элемент преобразования частоты	410×410×19	кристалл KDP	Россия	3

В работе представлены полученные при помощи ШИФС результаты контроля нескольких партий оптических элементов в общем количестве 98 шт. для мощной лазерной установки. Характеристики оптических элементов представлены в табл. 2.

Дисковые активные элементы

В табл. 3 указаны параметры волнового фронта, которые измеряются во время входного контроля дисковых активных элементов (ДАЭ) и требуемые значения, приведенные в конструкторской документации (КД).

Таблица 3

Параметры волнового фронта, измеряемые при входном контроле ДАЭ

Параметр	Требуемое значение КД	Пространственный диапазон
PV, λ	$\leq 0,3$	от 33 до 630 мм
RMS gradient, нм/см	≤ 7	от 33 до 630 мм
Rq, нм	$\leq 1,8$	от 2,5 до 33 мм

На рис. 2 представлено характерное распределение отклонений волнового фронта во II пространственном диапазоне при контроле ДАЭ производства Россия.

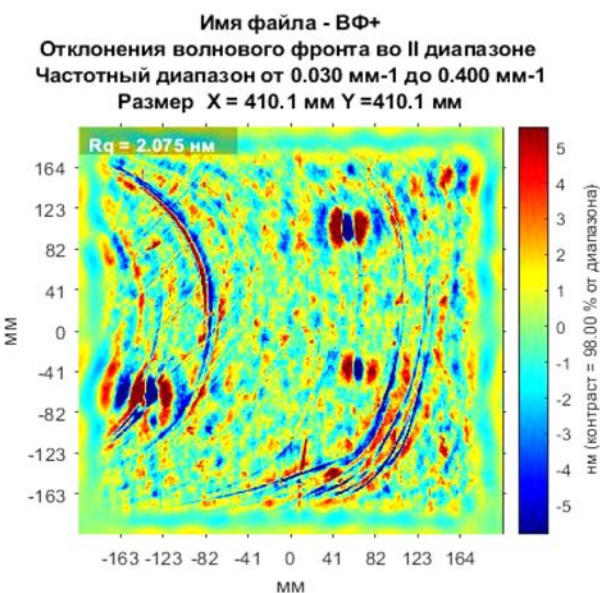


Рис. 2. Характерное распределение отклонений волнового фронта во II пространственном диапазоне при контроле ДАЭ производства Россия

На рис. 3 приведено характерное распределение отклонений волнового фронта во II пространственном диапазоне при контроле ДАЭ производства КНР.

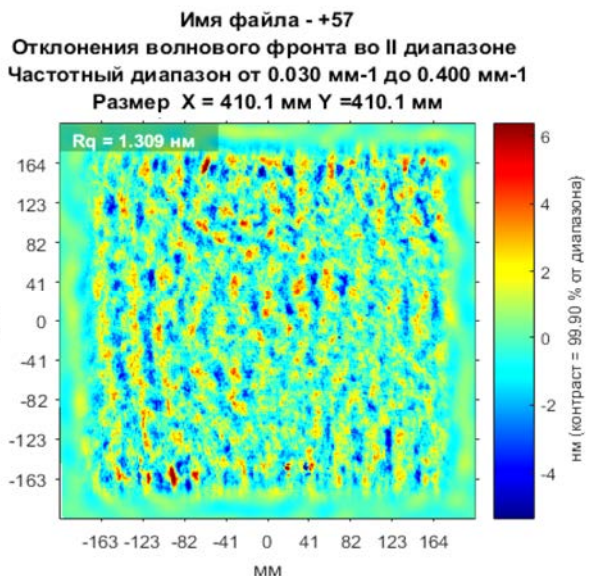


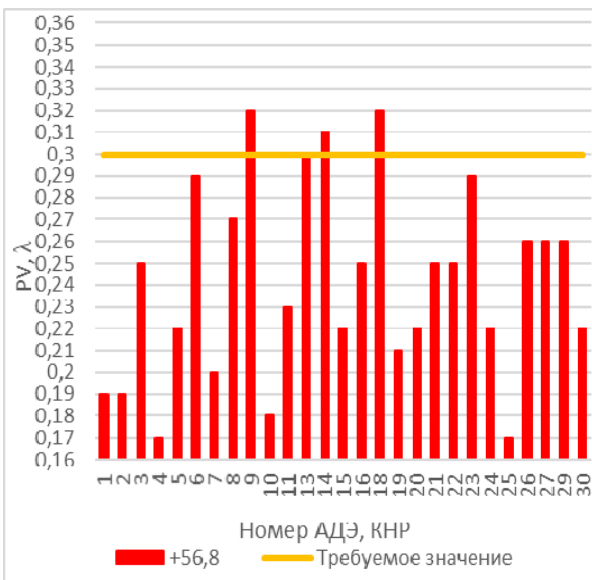
Рис. 3. Характерное распределение отклонений волнового фронта во II пространственном диапазоне при контроле ДАЭ производства КНР

На рис. 4,а приведены максимальные размахи отклонений волнового фронта в I пространственном диапазоне под рабочим углом $56,8^\circ$ для комплекта ДАЭ производства КНР. На рис. 4,б приведены максимальные размахи отклонений волнового фронта в I пространственном диапазоне под рабочим углом минус $56,8^\circ$ для комплекта ДАЭ производства КНР.

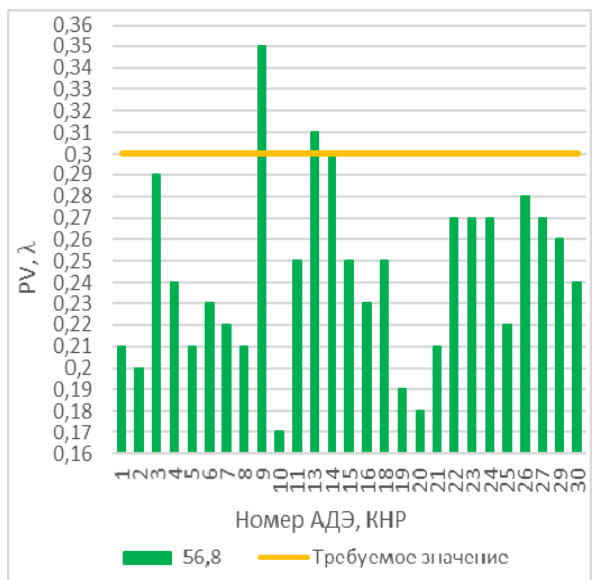
На рис. 5,а приведены максимальные размахи отклонений волнового фронта в I пространственном диапазоне под рабочим углом $56,8^\circ$ для комплекта ДАЭ отечественного производства. На рис. 5,б приведены максимальные размахи отклонений волнового фронта в I пространственном диапазоне под рабочим углом минус $56,8^\circ$ для комплекта ДАЭ отечественного производства.

На рис. 6,а приведены среднеквадратические отклонения градиента волнового фронта в I пространственном диапазоне под рабочим углом $56,8^\circ$ комплекта ДАЭ производства КНР. На рис. 6,б приведены среднеквадратические отклонения градиента волнового фронта в I пространственном диапазоне под рабочим углом минус $56,8^\circ$ комплекта ДАЭ производства КНР.

На рис. 7,а приведены среднеквадратические отклонения градиента волнового фронта в I пространственном диапазоне под рабочим углом $56,8^\circ$ комплекта ДАЭ отечественного производства. На рис. 7,б приведены среднеквадратические отклонения градиента волнового фронта в I пространственном диапазоне под рабочим углом минус $56,8^\circ$ комплекта ДАЭ отечественного производства.

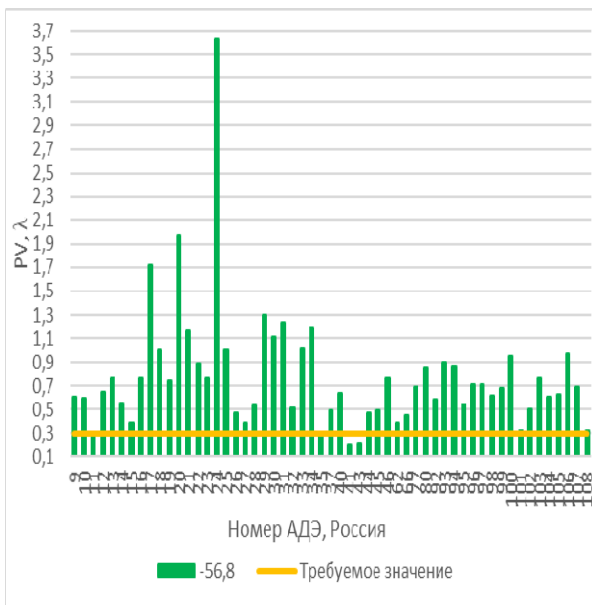


а

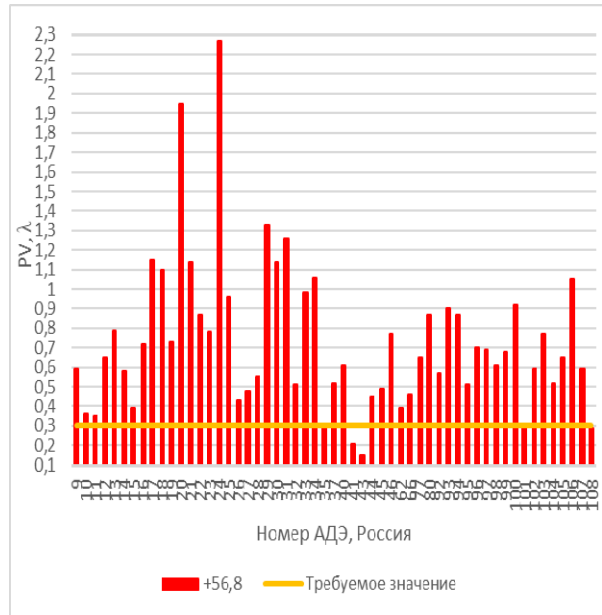


б

Рис. 4. Максимальный размах отклонений волнового фронта в I пространственном диапазоне комплекта ДАЭ производства КНР



а



б

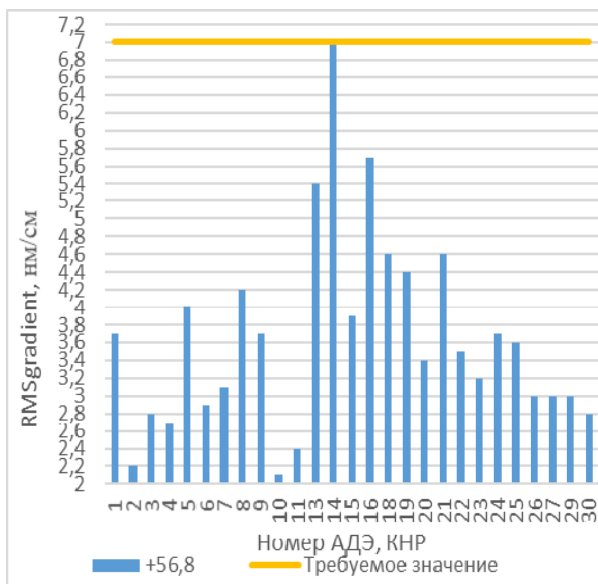
Рис. 5. Максимальный размах отклонений волнового фронта в I пространственном диапазоне комплекта ДАЭ отечественного производства

По представленным данным видно, что ДАЭ отечественного производства в основной своей массе превышают требования КД в I и II диапазонах. Наибольший вклад в I диапазоне дает недостаточная обработка крупномасштабным инструментом, а во II диапазоне на ошибку очень сильно влияет недостаточная однородность стекла. Производство отечественных ДАЭ из 55 штук – 48 штук не удовлетворяют требованиям КД в I – II пространственном диапазо-

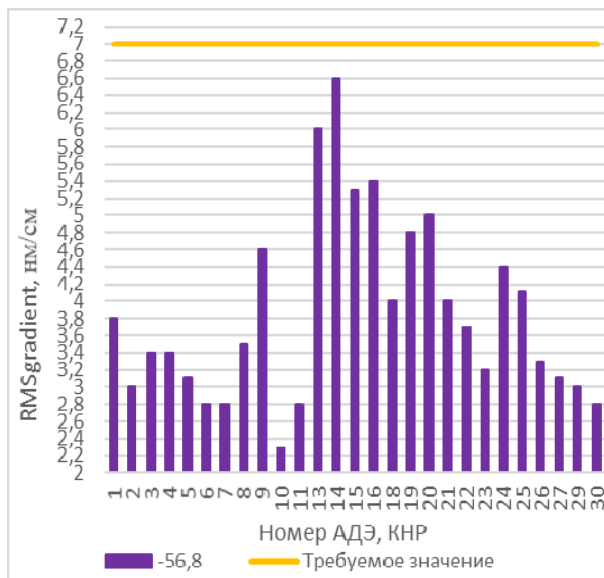
не. В то же время, из 27 штук ДАЭ производства КНР, 24 удовлетворяют требованиям КД в I – II пространственном диапазоне.

Зеркала транспортировочные

В табл. 4 указаны параметры волнового фронта, которые измеряются во время входного контроля

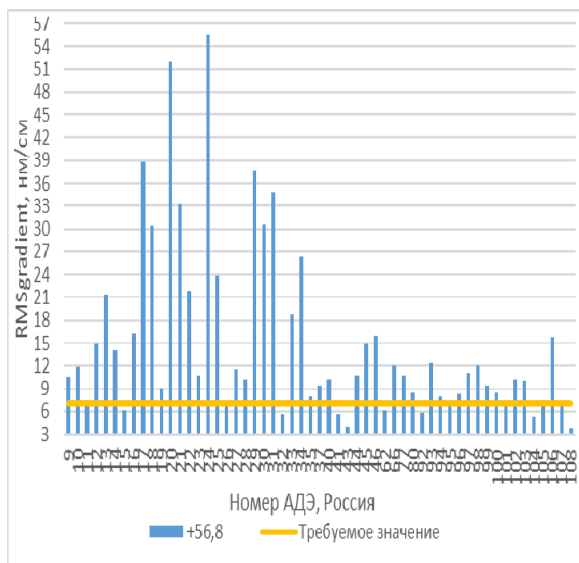


а

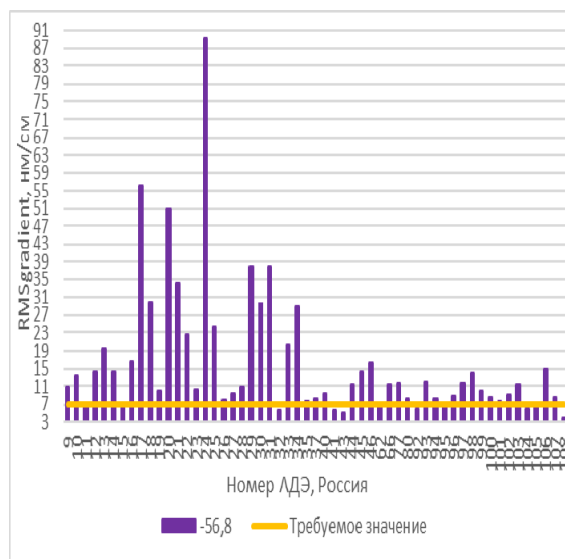


б

Рис. 6. Среднеквадратическое отклонение градиента волнового фронта в I пространственном диапазоне комплекта ДАЭ производства КНР



а



б

Рис. 7. Среднеквадратическое отклонение градиента волнового фронта в I пространственном диапазоне комплекта ДАЭ отечественного производства

Таблица 4

Параметры волнового фронта, измеряемые во время входного контроля зеркал транспортировочных, при контроле на отражение рабочей поверхности

Параметр	Требуемое значение КД	Пространственный диапазон
PV, λ	$\leq 0,25$	от 33 до 630 мм
RMS, λ	$\leq 0,025$	от 33 до 630 мм
$D(N)$	$\leq 0,25$	от 33 до 630 мм

зеркал транспортировочных при исследовании формы поверхности зеркала на отражение и требуемые значения, приведенные в КД.

На рис. 8 представлено характерное распределение волнового фронта при контроле зеркала транспортировочного на отражение от рабочей поверхности.

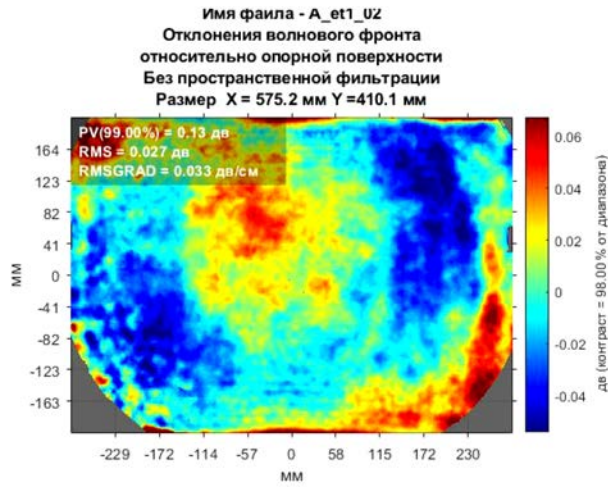


Рис.8. Характерное распределение отклонений волнового фронта при контроле зеркала транспортировочного в I пространственном диапазоне на отражение от рабочей поверхности, за вычетом $D(N)$

На рис. 9 представлен максимальный размах отклонений волнового фронта при контроле зеркал транспортировочных в I пространственном диапазоне на отражение от рабочей поверхности, за вычетом $D(N)$.

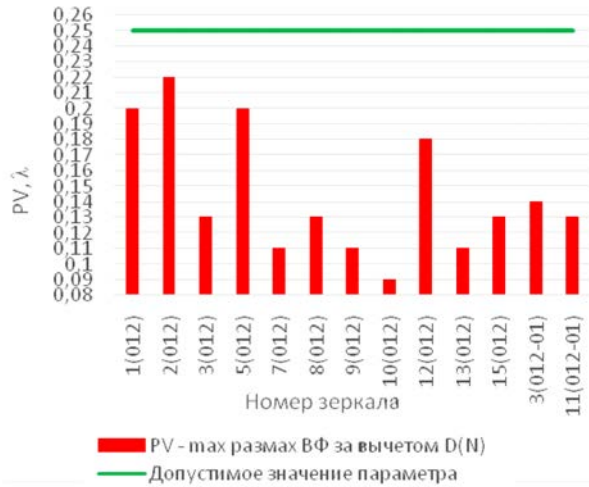


Рис. 9. Максимальный размах отклонений волнового фронта при контроле зеркал транспортировочных в I пространственном диапазоне на отражение от рабочей поверхности, за вычетом $D(N)$

На рис. 10 представлено среднеквадратическое отклонение волнового фронта при контроле зеркал транспортировочных в I пространственном диапазоне на отражение от рабочей поверхности, за вычетом $D(N)$.

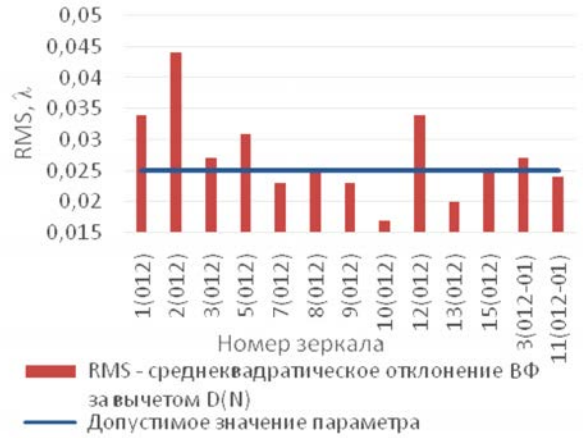


Рис. 10. Среднеквадратическое отклонение волнового фронта при контроле зеркал транспортировочных в I пространственном диапазоне на отражение от рабочей поверхности, за вычетом $D(N)$

На рис. 11 представлен максимальный размах отклонений волнового фронта при контроле зеркал транспортировочных в I пространственном диапазоне на отражение от опорной поверхности.



Рис. 11. Максимальный размах отклонений волнового фронта при контроле зеркал транспортировочных в I пространственном диапазоне на отражение от опорной поверхности

Контроль формы поверхности из 13 зеркал транспортировочных показал небольшое превышение требуемых значений в 6 из них – это связано с недостаточной обработкой формы поверхности оптического элемента.

Оптический нелинейный элемент преобразования частоты

В табл. 5 указаны параметры волнового фронта, которые измеряются во время входного контроля оптических нелинейных элементов и требуемые значения, приведенные в КД.

Таблица 5

Параметры волнового фронта, измеряемые при входном контроле оптических нелинейных элементов

Технический параметр	Требуемое значение КД	Пространственный диапазон
PV, λ	$\leq 0,5$	от 33 до 630 мм
Rms gradient, нм/см	≤ 15	от 33 до 630 мм

На рис. 12 представлено характерное распределение отклонений волнового фронта в I пространственном диапазоне при контроле оптических нелинейных элементов.

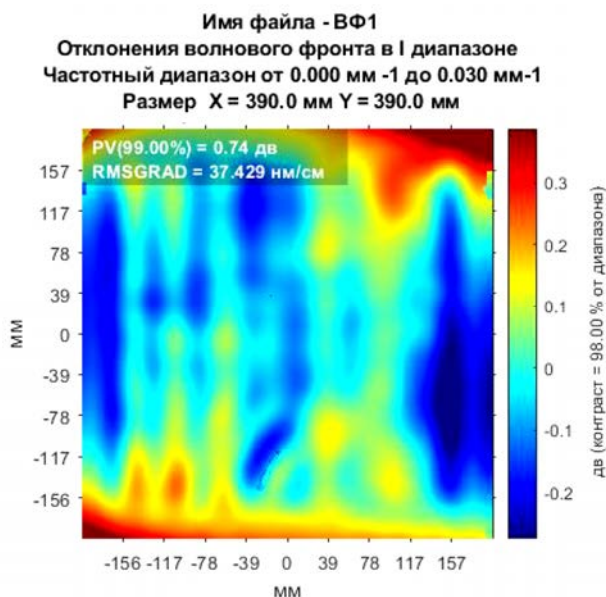


Рис. 12. Характерное распределение отклонений волнового фронта в I пространственном диапазоне при контроле оптических нелинейных элементов

На рис. 13 представлен максимальный размах отклонений волнового фронта при контроле оптических нелинейных элементов в I пространственном диапазоне.

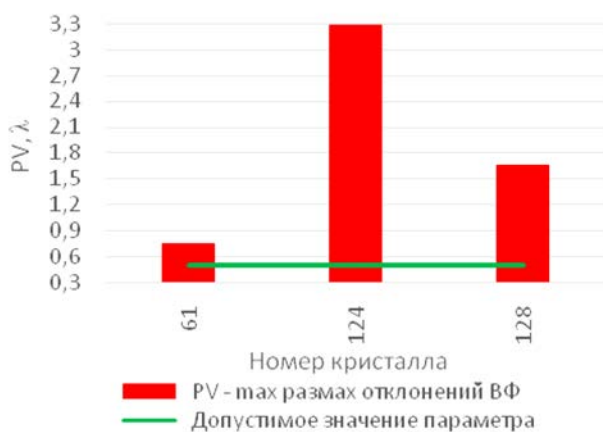


Рис. 13. Максимальный размах отклонений волнового фронта оптических нелинейных элементов в I пространственном диапазоне

На рис. 14 представлено среднеквадратическое отклонение градиента волнового фронта оптических нелинейных элементов в I пространственном диапазоне.

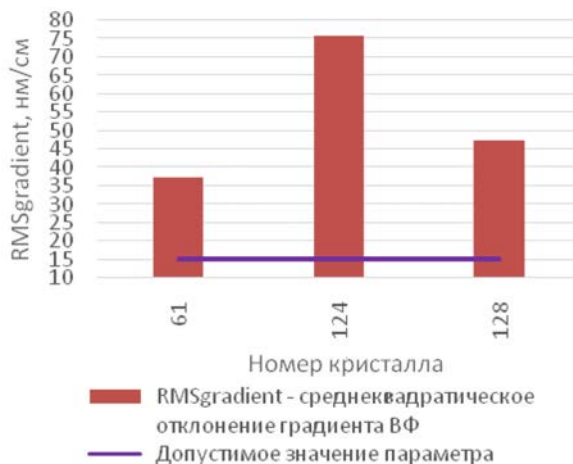


Рис. 14. Среднеквадратическое отклонение градиента волнового фронта оптических нелинейных элементов в I пространственном диапазоне

Контроль комплекта оптических нелинейных элементов в I пространственном диапазоне показал, что существующая технология обработки поверхностей не позволяет достигнуть требуемых значений КД.

Заключение

1. Представлены результаты контроля нескольких партий оптических элементов в общем количестве 98 шт. для мощной лазерной установки, полученные при помощи измерений на ШИФС.

2. Дисковые активные элементы отечественного производства из 55 штук – 48 штук и из 27 штук –

4 штуки производства КНР, не удовлетворяют требованиям КД в I и II пространственном диапазоне, это связано с неоднородностью материала.

3. Контроль формы поверхности комплекта зеркал транспортировочных в I пространственном диапазоне показал небольшое превышение требуемых значений на $0,01\lambda$ – это связано с недостаточной обработкой формы поверхности оптического элемента.

4. Контроль комплекта оптических нелинейных элементов в I пространственном диапазоне показал, что существующая технология обработки поверхностей не позволяет достигнуть требуемых значений КД. При данной технологии обработки получаются неоднородности низкой частоты, которые сильно повышают параметр Rms gradient.

5. Рассмотренные результаты контроля нескольких разнотипных партий оптических элементов показали, что оптические элементы, изготовленные

отечественными производителями, на текущий момент немного превышают требования КД. Несмотря на это ведется совместная тесная работа по отладке технологий обработки оптических элементов. И новые партии элементов обещают быть в допуске.

Список литературы

1. John T. Hunt, et al. National Ignition Facility Performance Review. 1999. LLNL ICF September 2000. UCRL-LR-138120-99.

2. Galakhov I. V., Garanin S. G., Eroshenko V. A., Kirillov G. A., Kochemasov G. G., Murugov V. M., Rukavishnikov N. N., Sukharev S. A. Concept of the Iskra-6 Nd laser facility. Fusion Engineering and Design. 1999. Vol. 44. P. 51–56.

3. Кожеватов И. Е., Силин Д. Е. Широкоапертурный интерферометр фазового сдвига // Руководство по эксплуатации. Н. Н.: ИПФРАН, 2016.