СИСТЕМА УДАЛЕННОЙ ДИАГНОСТИКИ ПОВРЕЖДЕНИЙ ОПТИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ МОЩНОЙ ЛАЗЕРНОЙ УСТАНОВКИ

И. Н. Воронич, И. Н. Деркач, А. В. Добиков, Н. А. Филатова

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

Решить проблему разрушения покрытий и материалов оптических элементов (ОЭ) в мощных лазерных установках под действием собственного излучения не удается. При сильном износе оптических деталей существует риск их полного разрушения. Для предотвращения возникновения таких угроз разрабатываются системы удаленного контроля состояний оптических компонентов [1, 2]. В задачи систем контроля входят определение местоположений повреждений и оценка их размеров.

В настоящее время в институте лазерно-физических исследований ведется строительство мощной многоканальной лазерной установки [3]. Для диагностики повреждений оптических компонентов в будущей установке предусмотрено наличие соответствующей системы контроля. Система состоит из двух подсистем. Одна подсистема предназначена для диагностики повреждений ОЭ усилительных каналов, другая – для диагностики повреждений ОЭ системы транспортировки и финального оптического модуля. Принципиальные схемы диагностики представлены на рис. 1.

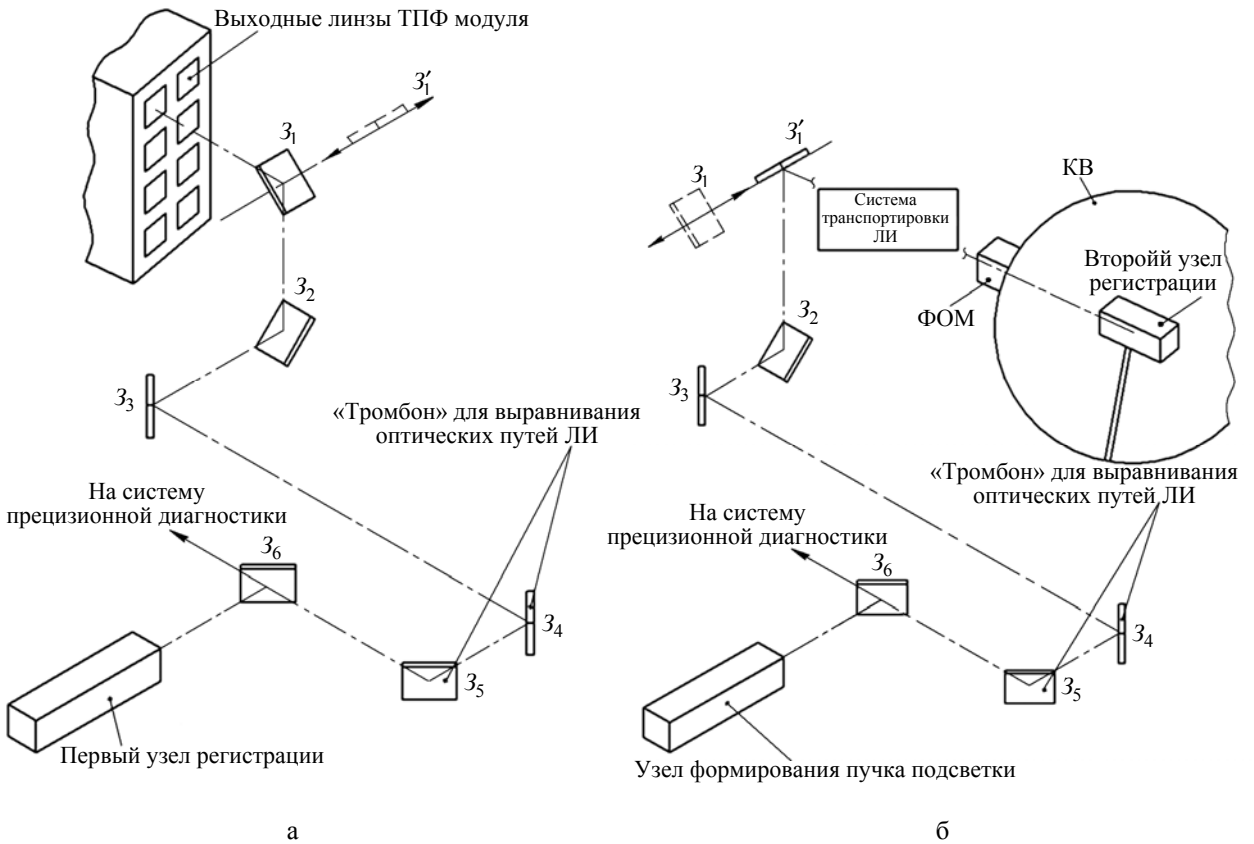


Рис. 1. Принципиальная схема диагностики повреждений оптических элементов: а – усилительных каналов; б – системы транспортировки и финального оптического модуля

Для контроля состояний ОЭ усилительных каналов предполагается использовать телескопическую пару линз с кратностью 12,8 и матричный приемник излучения. На рис. 1,а эти элементы

обозначены как первый узел регистрации. Узел располагается на расстоянии 50 метров от выходной линзы транспортного пространственного фильтра. Принцип диагностики заключается в перестроении телескопической парой изображений оптических компонентов канала на матричный приемник излучения. Для освещения элементов планируется использовать юстировочное излучение задающего генератора (λ = 1,053 мкм). Ввод и вывод излучения осуществляется через транспортный пространственный фильтр. В каналах организован четырехпроходный режим усиления лазерного импульса, поэтому пучок подсветки совершает в оптическом тракте также четыре прохода. В соответствии с рис. 1,б, диагностика повреждений элементов системы транспортировки и финального оптического модуля будет выполняться вторым узлом регистрации. Узел состоит из объектива и матричного приемника излучения. Для освещения элементов будет использоваться пучок излучения (λ = 0,527 мкм), формируемый специальным узлом подсветки.

Для оценки возможностей создаваемой системы диагностики было проведено расчетное моделирование работ ее узлов регистраций. Имитация диагностики повреждений ОЭ усилительного канала первым узлом регистрации выполнялась с помощью программного пакета FRESNEL [4]. На каждый ОЭ модели усилительного канала размещался амплитудный дефект размером 3 мм. А затем в заранее найденных плоскостях их изображений регистрировалось пространственное распределение интенсивности излучения. Схема перестроения изображений линз пространственных фильтров и адаптивного зеркала приведена на рис. 2. Цифрами с 1 по 26 в схеме обозначены элементы канала, а плоскости их изображений соответственно 0'-26'. ОЭ узла ввода излучения и реверсора на рисунке не показаны. Информация о положении плоскостей изображений всех элементов, представленных на рис. 2, приведена в таблице.

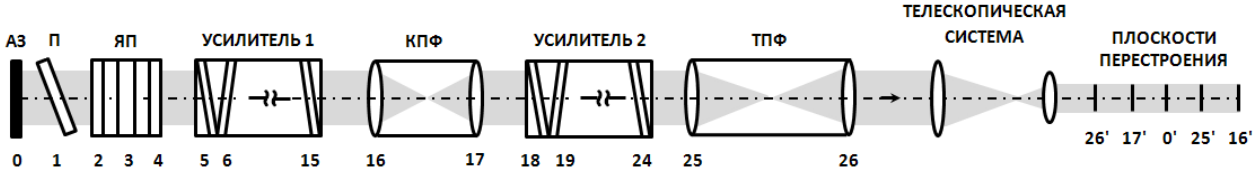


Рис. 2. Схема перестроения изображений линз пространственных фильтров и адаптивного зеркала усилительного канала при диагностике: АЗ – адаптивное зеркало; П – поляризатор; ЯП – ячейка Поккельса; КПФ – кюветный пространственный фильтр; ТПФ – транспортный пространственный фильтр

Сведения о положении плоскостей изображений ОЭ усилительного канала

Название ОЭ (обозначение)		Обозначение плоскости изображения	Расстояние от окуляра телескопа до плоскости изображения, мм
Линза ТПФ (26)		26'	812,4
Линза КПФ (17)		17'	1020,5
Дисковые активные элементы усилителя 2	(18)	18'	1059,7
	(19)	19'	1064,7
	(20)	20'	1069,7
	(21)	21'	1074,7
	(22)	22'	1079,6
	(23)	23'	1084,6
	(24)	24'	1089,6
Адаптивное зеркало	(0)	0'	1089,9
Поляризатор концевого затвора	(1)	1'	1094,1
Элементы ячейки Поккельса	(2)	2'	1097,0
	(3)	3'	1097,2
	(4)	4'	1097,4

Окончание таблицы

Название ОЭ (обозначение)		Обозначение плоскости изображения	Расстояние от окуляра телескопа до плоскости изображения, мм
Дисковые активные элементы усилителя 1	(5)	5'	1108,2
	(6)	6'	1113,3
	(7)	7'	1118,5
	(8)	8'	1123,7
	(9)	9'	1128,9
	(10)	10'	1134,1
	(11)	11'	1139,3
	(12)	12'	1144,5
	(13)	13'	1149,7
	(14)	14'	1154,8
	15)	15'	1160,0
Линза ТПФ (25)		25'	1165,2
Линза КПФ (16)		16'	1204,8

Принципиальная схема размещения амплитудных дефектов на дисковых активных элементах, линзах, поляризаторах в расчетной модели показана на рис. 3.

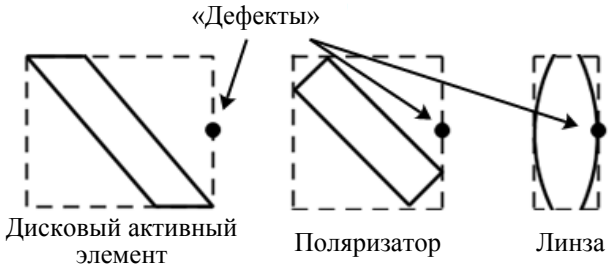


Рис. 3. Принципиальная схема размещения амплитудных дефектов на оптических элементах в расчетной модели усилительного канала

Часть результатов проведенного моделирования приведена на рис. 4 – 7.

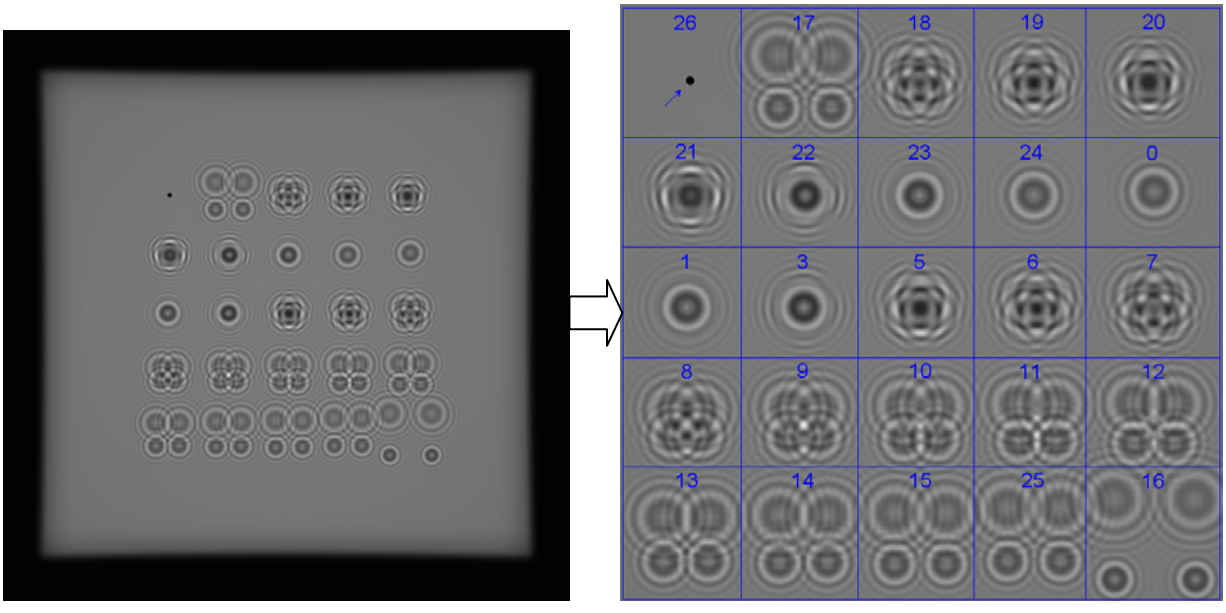
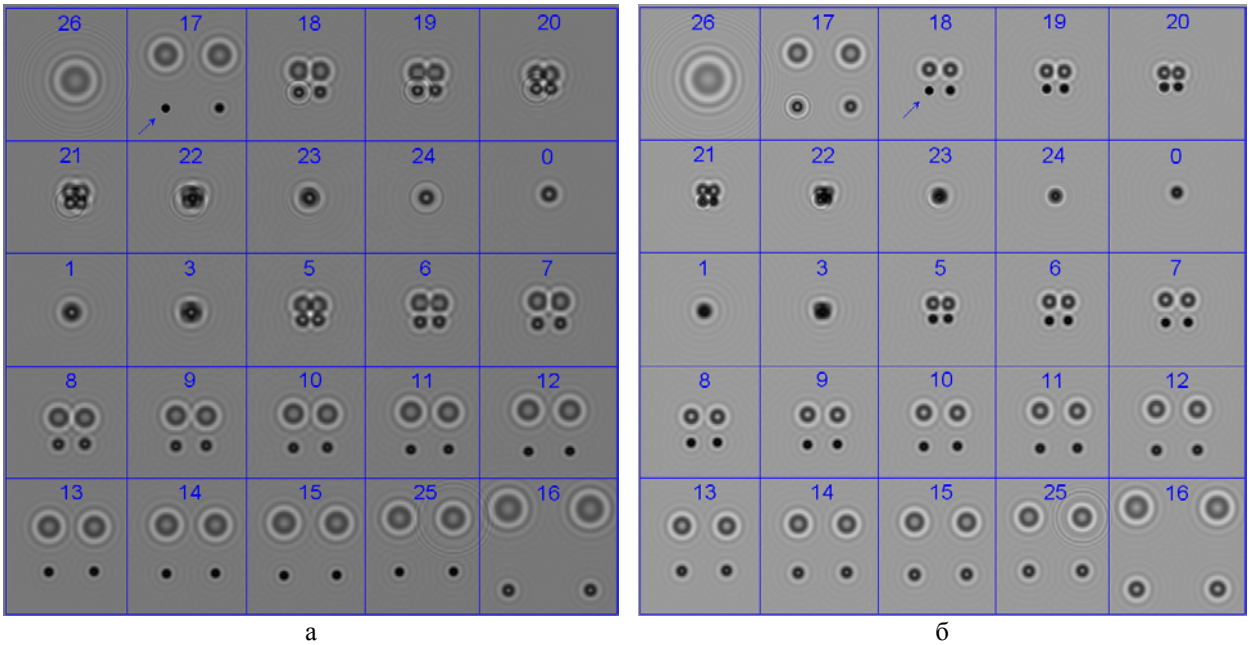
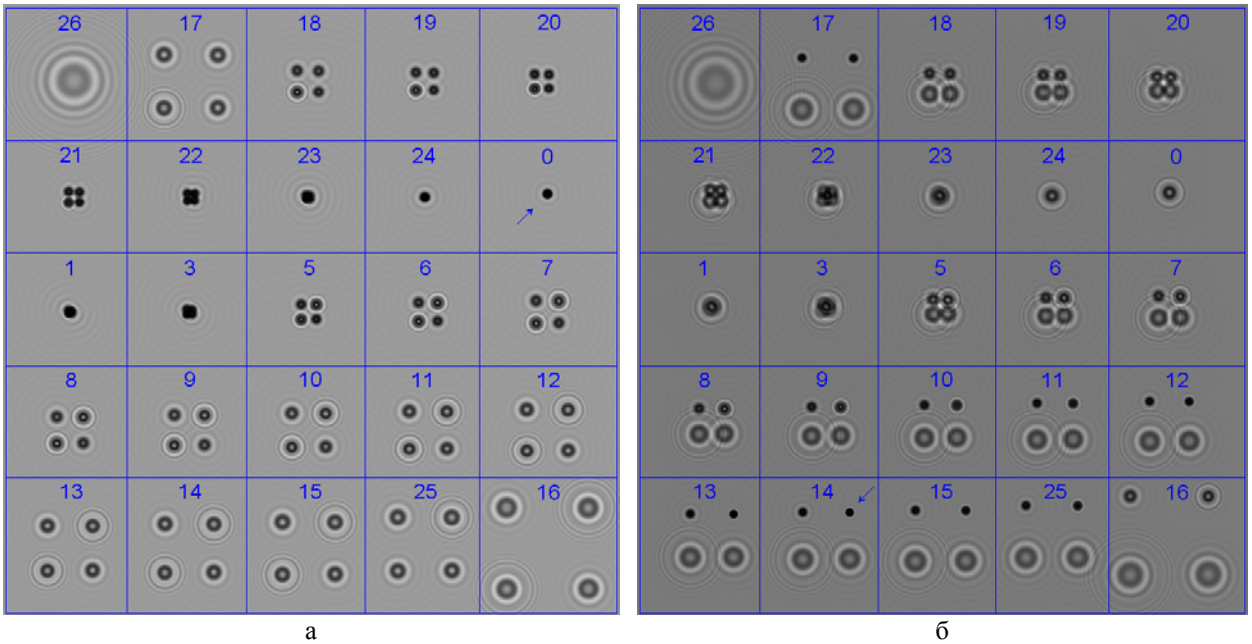


Рис. 4. Пространственное распределение интенсивности излучения в плоскости 26'



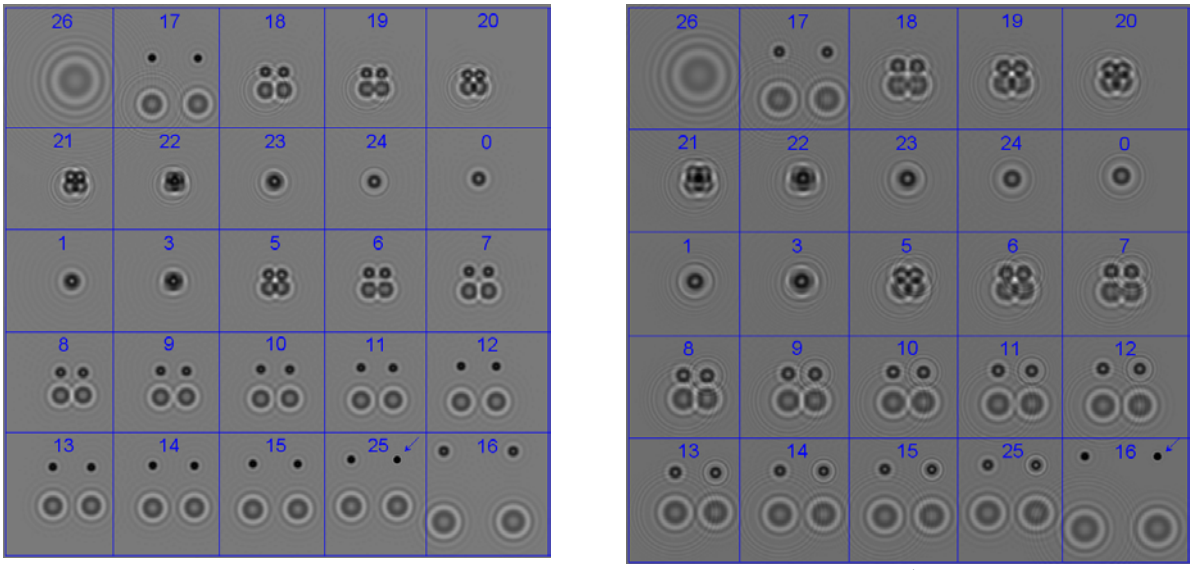
а б

Рис. 5. Пространственное распределение интенсивности излучения в плоскостях 17' (а), 18' (б)



а б

Рис. 6. Пространственное распределение интенсивности излучения в плоскостях 0' (а), 14' (б)



а б

Рис. 7. Пространственное распределение интенсивности излучения в плоскостях 25' (а), 16' (б)

Как видно из полученных результатов, первый узел регистрации имеет несколько ограничений, связанных с идентификацией местоположений дефектов (повреждений). Первое ограничение касается точности определения местонахождений повреждений в усилителях. Согласно результатам, она примерно составляет 3–4 дисковых активных элемента. Второе ограничение заключается в невозможности отдельной оценки степени деградации торцевого адаптивного зеркала и дискового активного элемента 24 второго усилителя (рис. 2). Это связано с тем, что изображение торцевого адаптивного зеркала транслируется на вход второго усилителя. Стоит добавить, что торцевое адаптивное зеркало сопряжено еще с торцевым зеркалом реверсора, которое на рис. 2 не представлено.

Для того чтобы выяснить какие минимальные повреждения позволит обнаружить первый узел регистрации в силовых каналах, было проведено расчетное моделирование еще одной ситуации. Группа из девяти амплитудных дефектов с размерами 5 мм, 3 мм, 2 мм, 1 мм, 500 мкм, 300 мкм, 200 мкм, 100 мкм, 50 мкм размещалась в плоскости самого удаленного от узла регистрации ОЭ – адаптивного зеркала. И в плоскости его изображения – 0' регистрировалось пространственное распределение интенсивности излучения. Результат моделирования представлен на рис. 8.

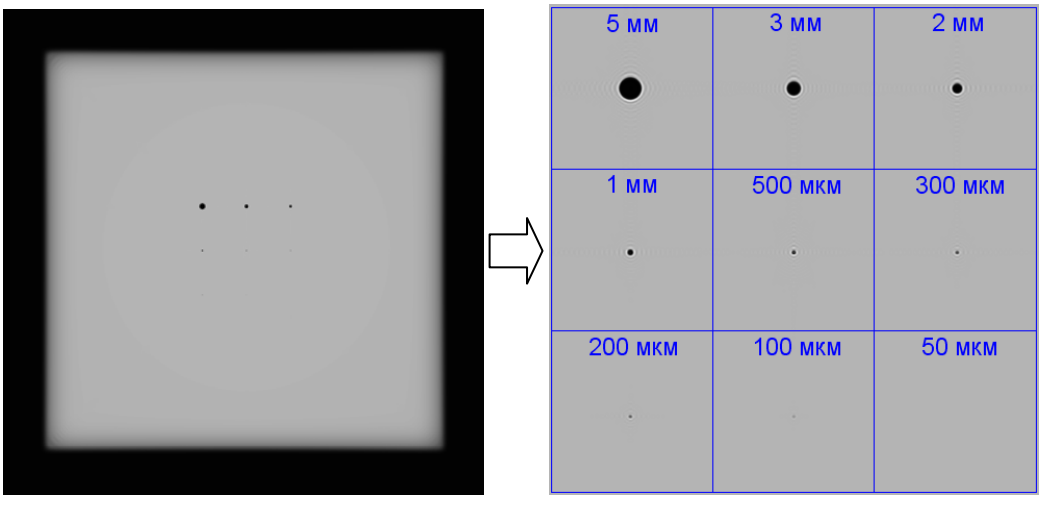


Рис. 8. Пространственное распределение интенсивности излучения в плоскости 0'

На основании полученного результата можно сделать вывод, что узел регистрации способен выявлять в ОЭ усилительных каналов повреждения размером от ≈ 200 мкм.

Определение возможностей второго узла регистрации оценивалось аналогично. Установлено, что он также позволит обнаруживать повреждения размером от 200 мкм. Ограничений, связанных с идентификацией местонахождений повреждений, у него не выявлено.

Список литературы

1. Conder A., Alger T., Azevedo S., Chang J., Glenn S., Kegelmeyer L., Liebman J., Spaeth M., Whitman P. Final Optics Damage Inspection (FODI) for the National Ignition Facility. Proceedings of Boulder Damage Symposium. Boulder, CO, September, 2007.
2. Thompson C. E., Knopp C. F., Decker D. E. Optics Damage Inspection for the NIF. Proceedings of Conference on Solid State Lasers for Application to Inertial Confinement Fusion. Monterey, CA, June 1998.
3. Бельков С. А., Воронич И. Н., Гаранин С. Г., Деркач И. Н. и др. Оптическая система мощной неодимовой лазерной установки. Доклад на 32-й Европейской конференции по взаимодействию лазерного излучения с веществом, сборник аннотаций, 2012 г., P-14, Варшава.
4. Серов Р. В., Епатко И. В., Касьянов Ю. С. Руководство пользователя «Fresnel», 2004 г.
www.wavesimsoft.com