

# ПРАКТИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ ПРОИЗВОДСТВА

УДК 535.347

## МНОГОСПЕКТРАЛЬНАЯ УСТАНОВКА НА БАЗЕ ВНЕОСЕВОГО ЗЕРКАЛЬНОГО КОЛЛИМАТОРА ДЛЯ КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА ОПТИЧЕСКИХ СИСТЕМ

© 2015 г. В. А. Горшков, канд. техн. наук; В. А. Чурилин

Научно-производственное объединение “Оптика”, Москва

E-mail: optikal@prooptica.ru

Рассмотрены принципиальная схема и технические характеристики многоспектральной установки на базе внеосевого зеркального коллиматора для контроля качества оптических систем.

*Ключевые слова:* пространственная частота, коэффициент передачи модуляции, функция передачи модуляции, функция рассеяния точки, функция рассеяния линии, функция рассеяния края полуплоскости.

Коды OCIS: 220.1140

Поступила в редакцию 29.12.2014

В ОАО НПО “Оптика” на базе внеосевого зеркального коллиматора создана установка, позволяющая проводить оценку качества изображения прецизионных оптических систем, работающих в различных областях спектра от видимого до дальнего инфракрасного (ИК) диапазонов:  $\Delta\lambda_1$  от 0,4 до 1,1 мкм,  $\Delta\lambda_2$  от 3 до 5 мкм,  $\Delta\lambda_3$  от 8 до 12 мкм.

Установка обеспечивает измерение функции рассеяния линии, функции рассеяния точки, функции рассеяния края полуплоскости и расчет на основе анализа этих измерений функции передачи модуляции (ФПМ), а также определение плоскости наилучшего изображения и определение рабочего отрезка измеряемого объекта [1].

Общий вид установки приведен на рис. 1 ее принципиальная блок-схема – на рис. 2, технические характеристики – в табл. 1.

Для контроля широкой номенклатуры оптических систем предусмотрены различные варианты тест-объектов, которые входят в состав осветителей (рис. 2, поз. 3, 4): целевая диафрагма переменной ширины, граница темного и светлого полей (полуплоскость), набор точечных диафрагм.

Объективы переноса изображения увеличивают изображения тест-объектов, полученные в плоскости анализа испытуемой системы, и трансформируют их на чувствительную площадку приемных камер.

В трех спектральных диапазонах измерений используются соответствующие приемники излучения: камеры ЗАО “Лептон” ( $\Delta\lambda$  от 0,4 до 1,1 мкм), TVC 300ML-Sp ООО “СТК Силар” ( $\Delta\lambda$  от 3 до 5 мкм), IR-118 (Тайвань) ( $\Delta\lambda$  от 8 до 14 мкм).

В зависимости от варианта тест-объекта используются различные алгоритмы вычисления ФПМ, предусмотренные программным обеспечением установки [2].



Рис. 1. Общий вид установки.

**Таблица 1.** Технические характеристики многоспектральной установки

Параметр	Значение параметра
Фокусное расстояние коллиматора (внеосевое асферическое зеркало), мм	1850
Световой диаметр коллиматора, мм	250
Щелевая диафрагма переменной ширины, мм	от 0 до 0,4
Граница темного и светлого полей (полуплоскость), мм	20
Спектральный диапазон излучения осветителей $\Delta\lambda$ , мкм лампы КГМ 12-100 металлокерамического излучателя типа К5	от 0,4 до 1,1 от 1,1 до 14
Характеристики сменных приемников излучения Камера цифровая ЗАО “Лептон” с матрицей ПЗС “Kodak” спектральный диапазон $\Delta\lambda$ , мкм количество элементов, пиксели размеры элемента, мкм Камера ООО “СТК Силар” TVC 300ML-Sp спектральный диапазон $\Delta\lambda$ , мкм количество элементов, пиксели размер элемента, мкм охлаждение приемника Камера IR-118 спектральный диапазон $\Delta\lambda$ , мкм количество элементов, пиксели размер элемента, мкм	от 0,2 до 1,1 1920×1080 5,5×5,5  от 1,1 до 5 320×256 40×40 жидкий азот  от 8 до 14 384×288 25
Кратность увеличения объектива переноса изображения, крат для $\lambda$ от 0,4 до 1,1 мкм для $\lambda$ от 3 до 5 мкм для $\lambda$ от 8 до 14 мкм	20 14 8
Спектральный диапазон измерения ФПМ, мкм $\Delta\lambda_1$ $\Delta\lambda_2$ $\Delta\lambda_3$	от 0,4 до 1,1 от 3 до 5 от 8 до 12
Диапазоны пространственных частот измерения ФПМ, $\text{мм}^{-1}$ видимая область ИК область	от 0 до 150 от 0 до 40
Угловое поле контролируемых оптических систем $2\omega$ , град	90
Линейное поле в плоскости анализа $2y'$ , мм	30
Фокусное расстояние контролируемых объективов, мм	от 10 до 1000
Погрешность измерения ФПМ, отн.ед., не более	0,05
Габаритные размеры, мм оптико-механический блок вычислительный блок	2975×1560×1650 1000×600×1000
Масса установки, кг	1600

Определение плоскости наилучшего изображения проводится в реальном времени перемещением анализатора вдоль оптической оси установки до получения максимального значения ФПМ на заданной пространственной частоте [3–5].

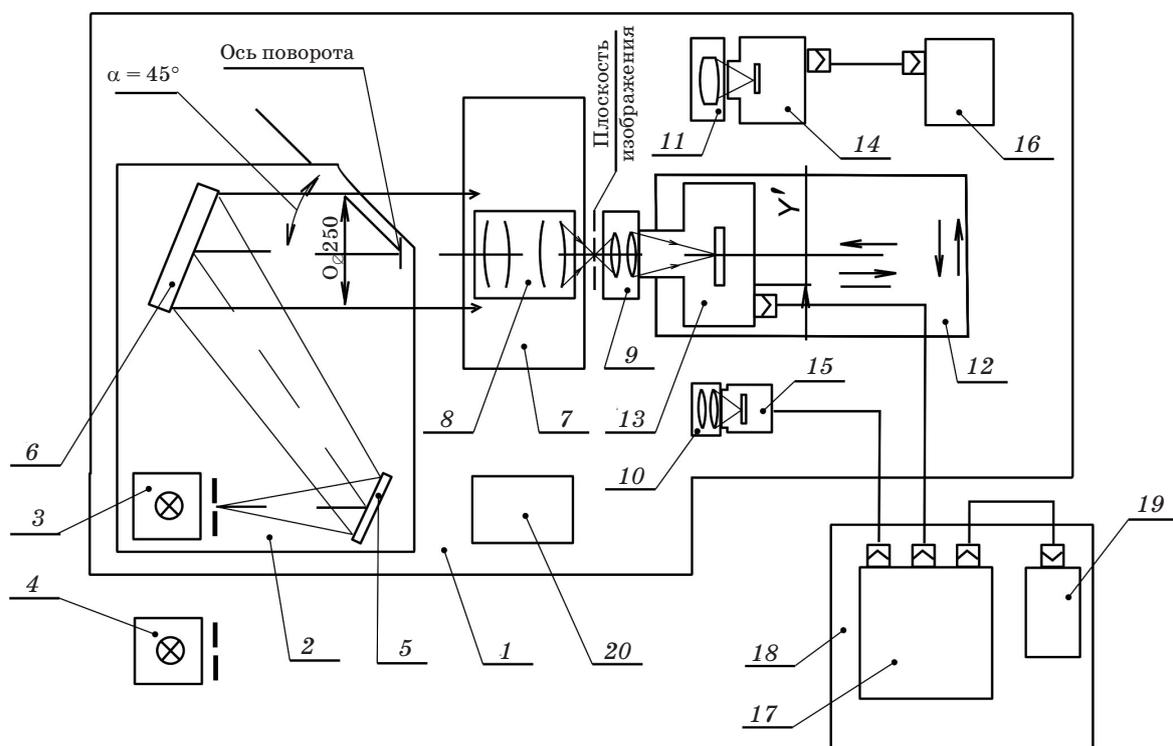
Аттестация установки проводилась в трех спектральных диапазонах с объективами интерферометра разработки ОАО НПО “Оптика”, имеющими дифракционное качество изображения (среднеквадратическое отклонение сферического волнового фронта не более  $\lambda/40$ ) с относительными отверстиями  $D/f'$ , равными 1:6

для  $\lambda = 0,63$  мкм, 1:2 для  $\Delta\lambda$  от 3 до 5 мкм, 1:1 для  $\Delta\lambda$  от 8 до 12 мкм.

Результаты аттестации установки приведены в табл. 2.

Рис. 3 демонстрирует пример одного из вариантов измерения ФПМ (тест-объект – щелевая диафрагма).

Погрешность измерения ФПМ указанных объективов составила 0,04 относительной единицы во всех спектральных диапазонах, что не превышало требования технического задания на установку.

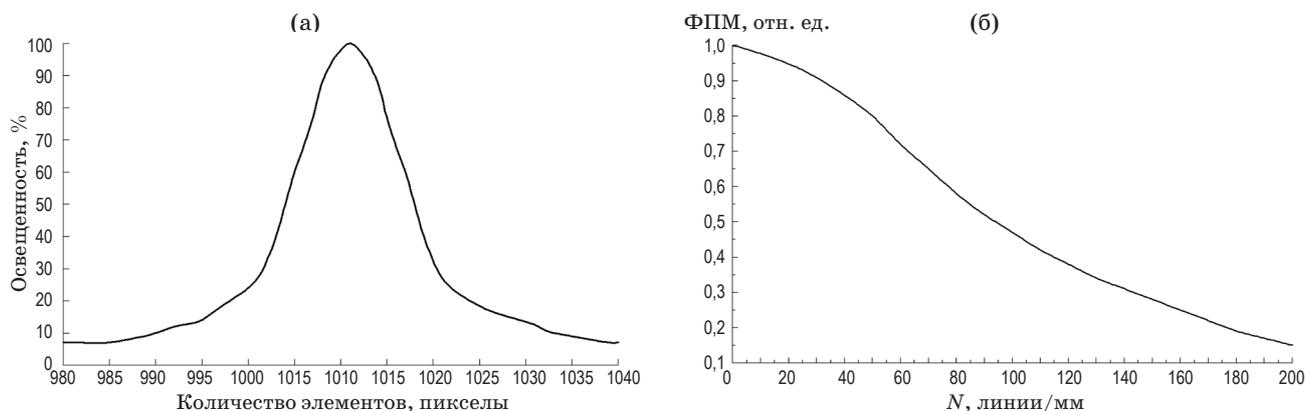


**Рис. 2.** Принципиальная блок-схема установки. 1 – базовая плита с виброизоляцией, 2 – платформа поворотная, 3 – осветитель с металлокерамическим источником типа К5, 4 – осветитель с лампой КГМ, 5 – зеркало, 6 – зеркало внеосевое асферическое, 7 – объективодержатель, 8 – испытуемый объектив, 9 – объектив переноса изображений  $8\times$ , 10 – объектив переноса изображений  $14\times$ , 11 – объектив переноса изображения  $20\times$ , 12 – анализатор, 13 – камера IR-118, 14 – камера ЗАО “Лептон”, 15 – камера TVC 300ML-Sp, 16 – ноутбук, 17 – компьютер, 18 – столик компьютерный, 19 – принтер, 20 – контролируемое изделие (тепловизор).

**Таблица 2.** Результаты аттестации установки в различных спектральных диапазонах

Пространственная частота $N$ , лин/мм	Спектральный диапазон, мкм	Относительное отверстие $D/f'$	Расчетное значение ФПМ	Измеренное значение ФПМ
5	3–5	1:2	0,95	0,94
10			0,90	0,90
15			0,84	0,84
20			0,80	0,80
30			0,69	0,72
50	0,63	1:6	0,77	0,76 (0,74)*
100			0,57	0,53 (0,50)*
150			0,38	0,34 (0,35)*
10	8–12	1:1	0,87	0,88
20			0,73	0,74
30			0,59	0,58
40			0,48	0,46

Примечание. \* Результаты измерений на установке OTS 500 (ФРГ).



**Рис. 3.** Измерение ФПМ (тест-объект – щелевая диафрагма). Распределение освещенности предмета (щели) в плоскости изображения на матрице ПЗС (а). Зависимость ФПМ от пространственной частоты (б).

\* \* \* \* \*

### ЛИТЕРАТУРА

1. Кирилловский В.К., Ле Зуи Туан. Оптические измерения. Часть 6. Инновационные направления в оптических измерениях и исследованиях оптических систем. СПб.: ИТМО, 2008. 131 с.
2. Иванов Д.В., Хропов А.А., Кузьмин Е.П., Карпов А.С., Лемпицкий В.С. Лекция 7: Дискретизация. Антиалиасинг. Геометрические преобразования растровых изображений: версия для печати и PDA/Алгоритмические основы растровой графики. 2007 [Электронный ресурс]: <<http://www.intuit.ru/department/graphics/rastrgraph/7/>>
3. Шулман М.Я. Измерение передаточных функций оптических систем. Л.: Машиностроение, 1980. 208 с.
4. Шеннон Р., Вайнт Д. Проектирование оптических систем. М.: Мир, 1983. 430 с.
5. Системы для измерения MTF (ЧКХ) для промышленного применения. 2014 [Электронный ресурс]: <<http://blms.ru/sistemy-izmereniya-chkh>>