

41. Опыт взаимной калибровки фотометрической установки ЮС-113 ПАО КМЗ и разрабатываемых в ГИПО интерферометрических средств контроля параметров ИК-объективов

А. В. Лукин¹, И. Р. Осипович², А. В. Берденников¹, Т. А. Кузнецова², В. И. Курт¹,
С. В. Маврин¹, А. Н. Мельников¹, А. Р. Насыров¹, С. Н. Скляров², А. Ф. Скочилов¹

¹ АО «НПО «Государственный институт прикладной оптики», Казань, Россия

² ПАО «Красногорский механический завод им. С. А. Зверева», Красногорск, Россия

В докладе рассмотрены особенности контроля параметров инфракрасных объективов при помощи аппаратуры, основанной на принципах интерферометрии и фотометрии. На примере инфракрасного объектива световым диаметром 50 мм и относительным отверстием 1:1 проведена взаимная калибровка фотометрической установки ЮС-113 ПАО КМЗ и макета интерферометрического испытательного стенда, разрабатываемого в ГИПО. В обоих случаях использовался одномодовый CO₂-лазер (длина волны 10,6 мкм). Приведены сравнительные результаты тестирования объектива, которые свидетельствуют об их удовлетворительном соответствии.

Ключевые слова: Инфракрасный объектив, Контроль оптических параметров, Интерферометр, Фотометрическая установка, CO₂-лазер, Интерферограмма, Функция рассеяния линии, Модуль оптической передаточной функции, Коэффициент Штреля.

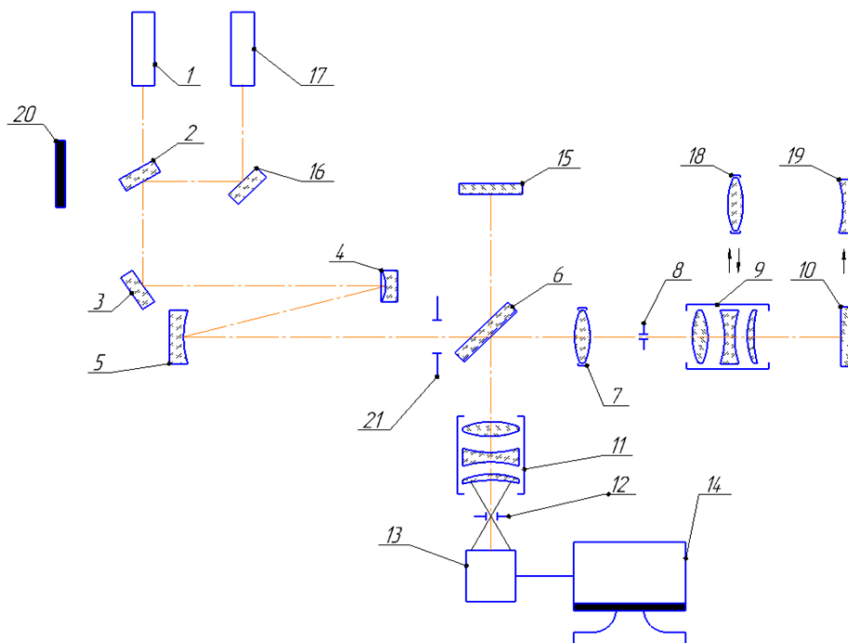
Цитирование: Лукин, А. В. Опыт взаимной калибровки фотометрической установки ЮС-113 ПАО КМЗ и разрабатываемых в ГИПО интерферометрических средств контроля параметров ИК-объективов / А. В. Лукин, И. Р. Осипович, А. В. Берденников, Т. А. Кузнецова, В. И. Курт, С. В. Маврин, А. Н. Мельников, А. Р. Насыров, С. Н. Скляров, А. Ф. Скочилов // HOLOEXPO 2019 : XVI международная конференция по голографии и прикладным оптическим технологиям : Тезисы докладов. — М. : МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2019. — С. 216–221.

В технологической цепочке современного объективостроения «слабым звеном» являются методы и средства аттестационного контроля параметров объективов, а также их компонентов и элементов. Особенно это актуально для инфракрасных (ИК) объективов.

Как вариант решения этой проблемы предлагается использование процедуры взаимной калибровки реально применяемых на предприятиях оптико-электронной промышленности контрольно-измерительных средств. При этом в качестве тест-объекта целесообразно использовать ИК-объектив хорошего оптического качества или паспортизованный синтезированный голограммный оптический элемент [1, 2].

В процедуре взаимной калибровки были использованы:

– макет интерферометрического испытательного стенда, разрабатываемого в АО «НПО ГИПО», принципиальная оптическая схема и общий вид которого приведены на рисунках 1 и 2;



1 – CO₂-лазер (10,6 мкм); 2, 6 – светоделители; 3, 16 – поворотные зеркала; 4, 5 – сферические зеркала коллиматора; 7 – сменный формирующий объектив; 8, 12 – диафрагмы; 9 – испытуемый объектив; 10 – плоское образцовое зеркало (световым диаметром 300 мм); 11 – сопрягающий панкратический объектив; 13 – регистрирующая камера; 14 – персональный компьютер; 15 – плоское опорное зеркало; 17 – двухдлинноволновый He-Ne-лазер (0,6328 и 3,39 мкм); 18 – образцовый объектив (паспортизованный синтезированный голограммный оптический элемент); 19 – вогнутое образцовое сферическое зеркало; 20 – защитный экран; 21 – ирисовая диафрагма
Рис. 1. Принципиальная оптическая схема макета интерферометрического испытательного
стенда

– фотометрическая установка ЮС-113 ПАО КМЗ, функциональная схема и общий вид которой представлены на рисунках 3 и 4.

Тест-объектом был выбран ИК-объектив с рабочим спектральным диапазоном от 8 до 12 мкм, световым диаметром 50 мм и относительным отверстием 1:1.

Результаты интерферометрического контроля тест-объекта представлены на рисунке 5. Полученная интерферограмма (см. рисунок 5а) была расшифрована при помощи лицензионной программы WinFringe.

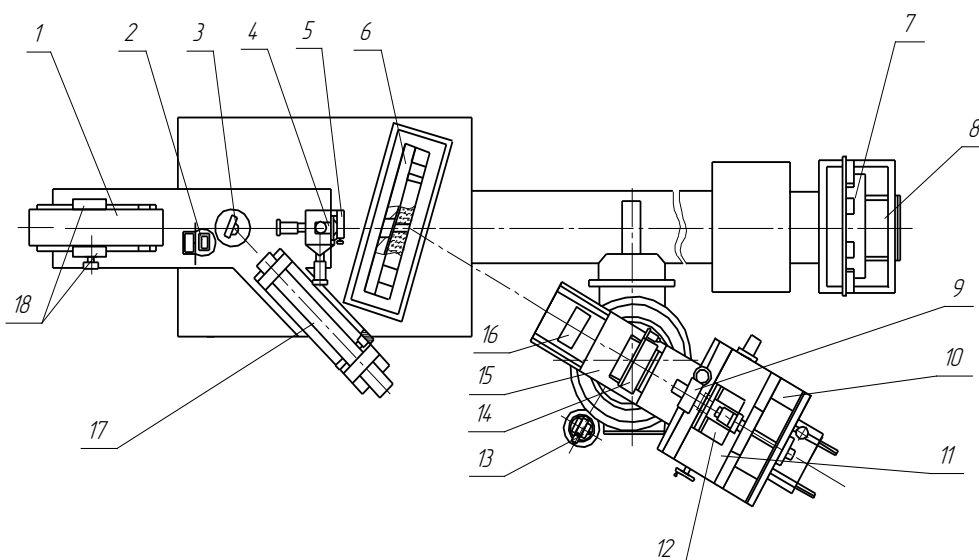
Результаты фотометрического контроля тест-объекта приведены на рисунке 6. Модуль оптической передаточной функции (частотно-контрастная характеристика) тест-объекта в этом случае получен путем математической обработки функции рассеяния линии, измеренной экспериментально. При этом использовалось оригинальное программное обеспечение разработки ПАО КМЗ.

Сравнительные результаты тестирования основных оптических параметров ИК-объектива представлены в таблице.



1 — плоское образцовое зеркало; 2 — испытуемый ИК-объектив; 3 — монитор; 4 — формирующий объектив; 5 — светоделитель; 6 — плоское опорное зеркало; 7 — регистрирующая камера; 8 — сопрягающий панкратический объектив; 9 — персональный компьютер; 10 — плоское ломающее зеркало; CO₂-лазер размещен под оптическим столом

Рис. 2. Общий вид макета интерферометрического испытательного стенда



1 — CO₂-лазер (10,6 мкм); 2 — модулятор; 3 — узел переключающего зеркала; 4 — узел конденсора; 5 — узел тест-объектов; 6 — узел ломающего зеркала; 7 — узел коллиматорного зеркала; 8 — станина; 9 — фотоприемное устройство; 10 — продольный позиционер; 11 — поперечный позиционер; 12 — вертикальный позиционер; 13 — теодолит; 14 — объективодержатель; 15 — поворотное устройство; 16 — блок охлаждения фотоприемного устройства; 17 — He-Ne-лазер (3,39 мкм); 18 — вентиляторы охлаждения лазера

Рис. 3. Функциональная схема фотометрической установки ЮС-113

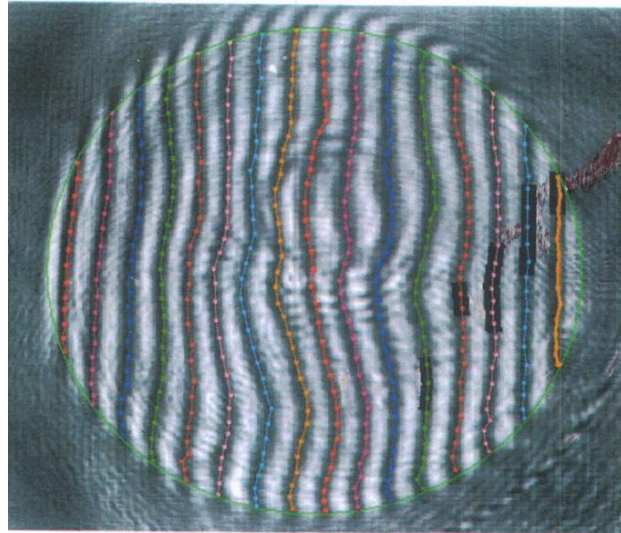


1 — станина; 2 — узел переключающего зеркала; 3 — CO₂-лазер (10,6 мкм); 4 — модуляторы; 5 — He-Ne-лазер (3,39 мкм); 6 — узел конденсора и тест-объектов; 7 — узел ломающего зеркала; 8 — усилитель; 9 — аналогово-цифровой преобразователь; 10 — осциллограф; 11 — объективодержатель; 12 — анализатор изображения; 13 — трехкоординатный позиционер; 14 — резервуар с дистиллированной водой; 15 — узел коллиматорного зеркала; 16 — поворотное устройство; 17 — персональный компьютер

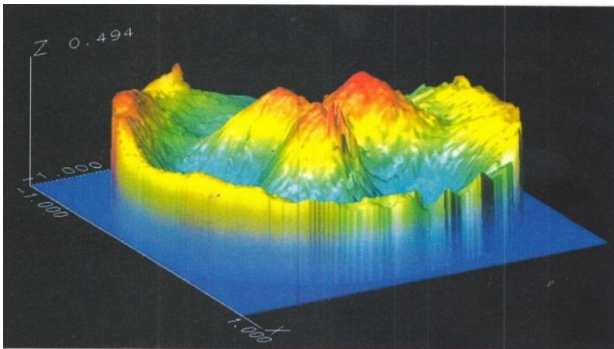
Рис. 4. Общий вид фотометрической установки ЮС-113

Таблица. Сравнительные результаты тестирования ИК-объектива

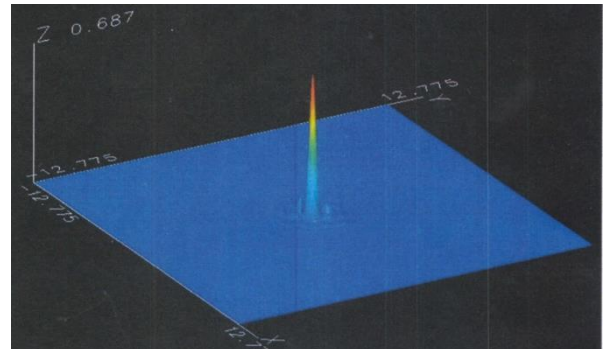
Параметр тестируемого ИК-объектива	Расчетное значение	Экспериментальное значение, полученное при помощи:		Примечание
		макета интерферометрического испытательного стенда АО «НПО ГИПО»	фотометрической установки ЮС-113 ПАО КМЗ	
Модуль оптической передаточной функции (частотно-контрастная характеристика) при контрасте 0,1, лин/мм	67(дифракционный предел)	62	57	Согласно [3, 4]
Среднеквадратичное отклонение волнового фронта, в долях длины волны λ ($\lambda = 10,6$ мкм)	—	0,097	—	Согласно [3]
Коэффициент Штреля	—	0,69	—	Согласно [3]



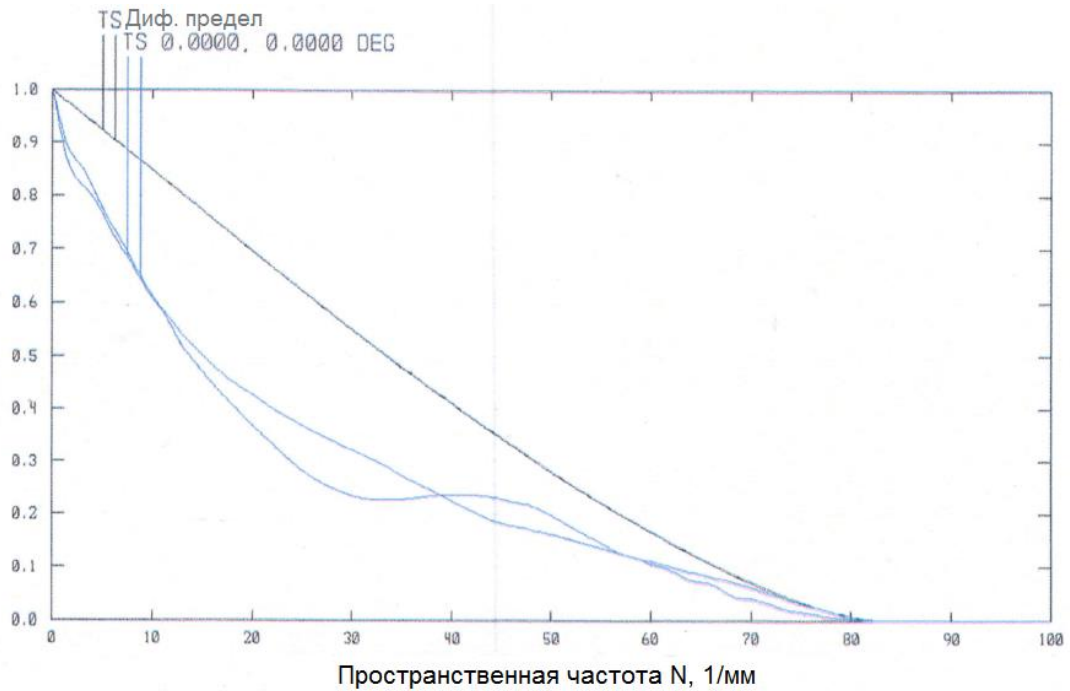
а) интерферограмма с оцифровкой полос (кратность интерферограммы равна двум)



б) 3D-график волнового фронта
(в долях длины волны λ , где $\lambda = 10,6$ мкм)

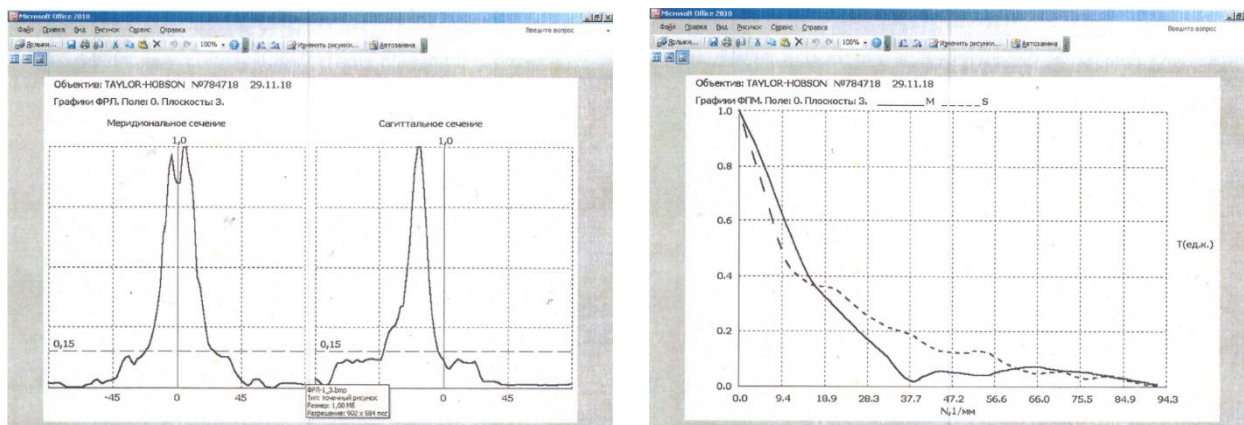


в) 3D-график функции рассеяния точки
(коэффициент Штреля равен 0,69)



г) график модуля оптической передаточной функции (частотно-контрастная характеристика)

Рис. 5. Результаты интерферометрического контроля тест-объекта



а) функция рассеяния линии (в меридиональном и сагитальном сечениях)

б) график модуля оптической передаточной функции (частотно-контрастная характеристика)

Рис. 6. Результаты фотометрического контроля тест-объекта

Из выполненной взаимной калибровки следует:

- результаты тестирования основных оптических параметров ИК-объектива, полученные в ГИПО на макете интерферометрического испытательного стенда и на фотометрической установке ЮС-113 ПАО КМЗ, удовлетворительно согласуются;
- различия находятся в пределах погрешностей измерений использованных контрольно-измерительных средств и обусловлены, главным образом, различием физических принципов измерений;
- при этом интерферометрический контроль является более информативным, что видно из представленной таблицы результатов.

Считаем целесообразным начатые работы по взаимной калибровке контрольно-измерительных средств для объективов инфракрасного и видимого диапазонов спектра продолжить с привлечением других предприятий оптико-электронной отрасли, заинтересованных в развитии отечественного объективостроения.

Список источников

- [1] Сборник отраслевых стандартов ОСТ 3–4730–80 — ОСТ 3–4732–80. Детали оптические с асферическими поверхностями. Метод контроля с помощью синтезированных голограмм. — М.: ЦНИИ «Комплекс», 1980. — 69 с.
- [2] Белозёров А. Осевые синтезированные голограммные оптические элементы: история развития, применения. Часть I / А. Белозёров, Н. Ларионов, А. Лукин, А. Мельников // Фотоника. — 2014. — № 4. — С. 12–32.
- [3] ОСТ 3–4961–81. Объективы. Метод измерения волновых aberrаций. — М.: ЦНИИ «Комплекс», 1981. — 36 с.
- [4] ОСТ 3–6816–94. Объективы для инфракрасной области спектра. Методы испытаний. — М.: ЦНИИ «Комплекс», 1994. — 30 с.