

Мария Сергеевна Лопатина

— ОАО «НПЦ „Завод Ленинец“», Санкт-Петербург; инженер-конструктор; E-mail: gulf_of_me_90@mail.ru

Сергей Сергеевич Митрофанов

— канд. техн. наук, доцент; Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики, кафедра компьютерной фотоники и видеоинформатики; E-mail: m1990s@mail.ru

Рекомендована кафедрой
компьютерной фотоники
и видеоинформатики НИУ ИТМО

Поступила в редакцию
17.11.13 г.

УДК 535.317.2

М. Е. ЗАЦЕПИНА, В. К. КИРИЛЛОВСКИЙ

ТЕНЕГРАММА ЛИНЕЙНОЙ РЕШЕТКИ КАК ГЕОМЕТРИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ИНТЕРФЕРОГРАММЫ СДВИГА

Исследованы и разъяснены принципы, на основании которых система изофот теневой картины ножа Фуко, сформированная при реализации разработанного количественного теневого метода в виде ряда параллельных полос, близких к прямым, может быть интерпретирована как геометрическая модель интерференционной картины поперечного сдвига.

Ключевые слова: теневой метод, нож Фуко, геометрическая модель интерферограммы поперечного сдвига, изофотометрия, деформации волнового фронта.

Введение. Теневой метод ножа Фуко, разработанный в 1856 г. и повсеместно применяемый в наши дни в оптическом производстве, определяет функцию искажений волнового фронта как полутоновую картину, позволяющую лишь качественно отображать деформации исследуемой оптической поверхности или волновые aberrации в выходном зрачке исследуемой оптической системы. Способ же количественной расшифровки теневых картин не был развит в метод измерения и соответственно не нашел практического применения [1].

Поэтому главной задачей, стоящей перед исследователями, является создание количественного теневого метода, базирующегося на традиционном качественном теневом методе, но имеющего ряд принципиальных отличий как по структуре, так и по новым непревзойденным возможностям, создаваемым благодаря современным достижениям высоких технологий, в том числе компьютерных.

Постановка задачи. Предметом исследования в данной статье является последовательное обстоятельное рассмотрение операций, инструментов и средств, использованных в процессе разработки количественного теневого метода, теоретическое обоснование метода и создание алгоритма его практической реализации. Основой построения такого алгоритма являются следующие этапы:

— подробный анализ теоретических и методических основ разрабатываемого метода на базе построения глубоких логических аналогий между создаваемым количественным теневым методом и традиционным методом двухлучевой интерферометрии;

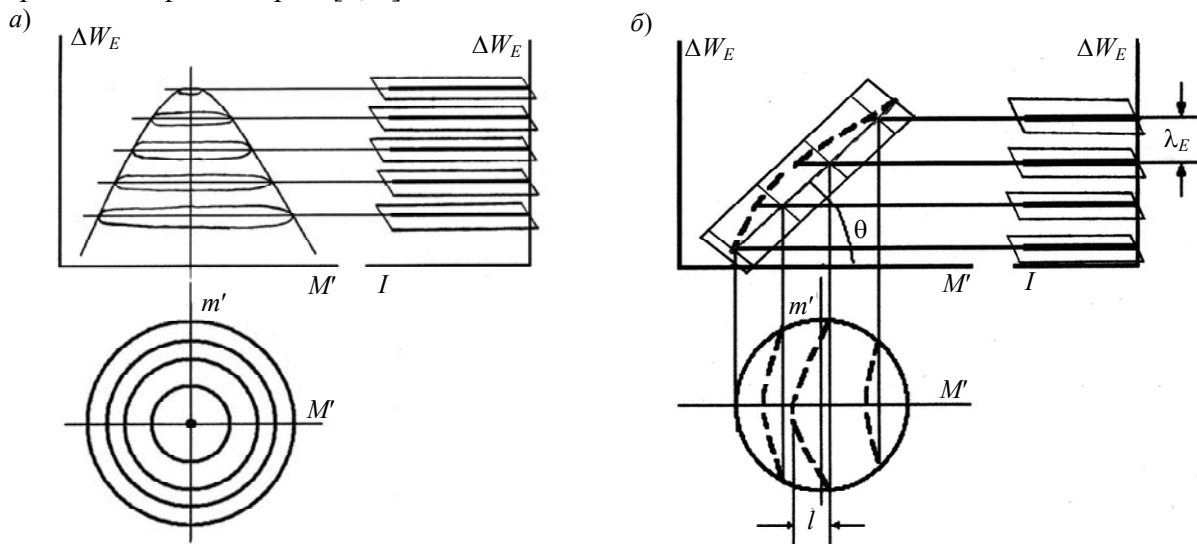
— исследование и количественный анализ связи между деталями полутоновой теневой картины как двумерной функции неравномерности освещенности и деформациями волнового фронта, возникающими при неровностях полированной поверхности или при наличии поперечных aberrаций в выходном зрачке исследуемой оптической системы;

— поиск и детальный анализ инструмента визуализации исследуемых деформаций волнового фронта; в качестве такого инструмента выбран разработанный авторами метод компьютерной изофотометрии.

Модернизация теневого метода ножа Фуко. Основными достоинствами теневых методов являются их высокая чувствительность (на уровне $0,1\lambda$), простота схемной реализации и интерпретации, высокая экономичность, в том числе и используемой аппаратуры.

Рассматриваемый процесс создания количественного теневого метода можно трактовать как модернизацию традиционного качественного теневого метода ножа Фуко. Основным инструментом модернизации можно считать предложенный и реализованный авторами способ формирования контурной карты теневой картины ножа Фуко в виде тенеграммы линейной решетки (аналогичной геометрической модели интерферограммы поперечного сдвига).

Сущность разрабатываемого изофотометрического теневого метода состоит в трансформации теневой картины ножа Фуко в контурную карту (топограмму) функции распределения освещенности исходной тенеграммы (см. рисунок). В качестве инструмента преобразования теневой картины в контурную карту предлагается метод компьютерной изофотометрии, визуализируемый многоимпульсной функцией преобразования исходного аргумента, получившей название „гребенка“ (англ. — Comb) [2]. Получение контурной карты осуществляется с помощью электронной матричной регистрации тенеграммы и последующей ее трансформации в программе изофотометрии [1, 3].



Деформации волнового фронта, выраженные в виде полутоновых деталей теневой картины, трансформируются в контурную карту с помощью функции „гребенка“ (см. рисунок, а). Функция „гребенка“, взаимодействуя с функцией отображения неровностей на теневой картине (полутоновое пятно), преобразует последнюю в карту, состоящую из контуров как линий (изофот), содержащих точки теневой картины, характеризующиеся одинаковой освещенностью [4]. Контурная карта осесимметричной неровности представляет собой систему замкнутых линий.

Идеология последующей расшифровки и математической обработки контурной карты тенеграммы требует преобразования „кольцевой“ топограммы в топограмму как систему прямолинейных параллельных контуров, расположенных периодически с равным интервалом [5].

Для такого преобразования топограммы фотометрический клин, генерированный в компьютере, накладывается на тенеграмму, содержащую полутоновое пятно, соответствующее местной деформации волнового фронта. Далее функция распределения освещенности в тенеграмме, дополненная клином, взаимодействует с функцией преобразования „гребенка“ и образует систему параллельных отрезков прямых линий — геометрическую модель теневой

линейной решетки. На этой модели неровности, отображаемые тенеграммой, будут изображены как соответствующие искривления прямых линий (см. рисунок, б). Такой механизм отображения неровностей в модели линейной решетки аналогичен, по признаку иллюстративного подобия, действию фазового клина в классическом интерферометре.

Для дальнейшей интерпретации оконтуренных теневых картин и восстановления карты неровностей волнового фронта необходимо обеспечить получение и регистрацию двух теневых картин, различающихся поворотом лезвия ножа Фуко на 90° .

Примечание. Для всех функций преобразования приняты единые обозначения функции и аргумента (см. рисунок): ΔW_E — независимая переменная, соответствующая исследуемому двумерному параметру (здесь — функции распределения относительной освещенности W_E в тенеграмме); I — зависимая переменная, соответствующая двумерному распределению относительной освещенности в оконтуренном изображении тенеграммы; θ — угол наклона клина, с которым связан период (l) полос геометрической модели линейной решетки; m' и M' — координаты входного зрачка; λ_E — период импульсов функции преобразования „гребенка“.

В результате при исследовании оптической системы (например, фотообъектива „Индустар-50“) формируются две изофотограммы — карты поверхности поперечных аберраций. Далее эти изофотограммы подвергаются расшифровке с применением специальной программы обработки интерферограмм сдвига „Tiger“ и обрабатываются как пара геометрических моделей теневой линейной решетки.

В результате компьютерной оцифровки пары изофотограмм теневых картин ножа Фуко получаем восстановленную поверхность деформаций волнового фронта (волновых аберраций) в виде профилей по осям X и Y , трехмерную диаграмму этой поверхности деформаций, таблицу коэффициентов Цернике, а также ряд функций как характеристик качества изображения, сформированного исследуемой оптической системой или поверхностью [6].

Проведенные сравнительные исследования [6] подтвердили достоверность и высокую эффективность количественного теневого метода на примере подобия двух отображений (интерферограмм) одного и того же волнового фронта, полученного двумя принципиально различными методами — теневой изофотометрии и классической интерферометрии.

Заключение. Итак, исследованы и разъяснены принципы, на основании которых система изофот теневой картины ножа Фуко, сформированная при реализации предложенного количественного теневого метода в виде ряда параллельных полос, близких к прямым, может быть интерпретирована как геометрическая модель интерференционной картины поперечного сдвига, пригодной для обработки в соответствующей компьютерной программе.

Впервые в мировой практике после изобретения теневого метода Фуко теневая картина становится источником как качественной, так и количественной информации для оценки и измерения характеристик качества оптической системы и поверхности, получения карты и трехмерного изображения поверхности деформаций волнового фронта, а также системы коэффициентов Цернике и комплекса функций — характеристик качества изображения оптической системы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Зацепина М. Е., Кирилловский В. К. Современный количественный теневой метод с применением средств компьютерных технологий // Научно-технические ведомости СПбГПУ. 2013. № 2(171). С. 226—230.
2. Кирилловский В. К. Оптические измерения. Ч. 5. Аберрации и качество изображения. СПб: СПбГУ ИТМО, 2008. 115 с.
3. Зацепина М. Е., Кирилловский В. К. Современный метод количественной расшифровки теневой картины линейной решетки // Тр. 10-й Междунар. конф. „Прикладная оптика — 2012“. Т. 2. СПб: Оптич. общ. им. Д. С. Рождественского, 2012. С. 130—133.

4. Зверев В. А., Кирилловский В. К., Соколовский М. Н. Применение метода изофотометрической фоторегистрации при исследованиях и аттестации главного зеркала БТА // ОМП. 1976. № 12.
5. Кирилловский В. К., Ле Зуи Туан. Оптические измерения. Ч. 6. Инновационные направления в оптических измерениях и исследованиях оптических систем. СПб: СПбГУ ИТМО, 2008. 131 с.
6. Зацепина М. Е., Кирилловский В. К. Реализация современного количественного теневого метода // Изв. вузов. Приборостроение. 2014. Т. 57, № 3. С. 68—73.

Сведения об авторах**Марина Евгеньевна Зацепина**

— аспирант; Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики, кафедра прикладной и компьютерной оптики; E-mail: marichka_z@list.ru

Владимир Константинович Кирилловский

— д-р техн. наук, профессор; Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики, кафедра прикладной и компьютерной оптики; E-mail: vkkir@mail.ru

Рекомендована кафедрой
прикладной и компьютерной оптики

Поступила в редакцию
10.02.14 г.

УДК 535.317

Ю. В. ФЕДОРОВ, А. Ю. ФЕДОРОВА

ПЕРФОРАЦИОННЫЕ ОЧКИ

Описано устройство перфорационных очков, принцип их действия, лечебный и тренажерный эффекты применения, а также их модификации.

Ключевые слова: аккомодация, тренажерный эффект, перфорация на цветном поле.

Перфорационные (или дырчатые) очки широко распространены, давно продаются в России и часто позиционируются как универсальное средство улучшения зрения без хирургического вмешательства.

Очки устроены следующим образом. На непрозрачной, например пластиковой, поверхности (основе) выполнены расположенные регулярно отверстия (диаметром от 0,9 до 1,5 мм в разных моделях), подобно сотовой структуре сетчатки глаза.

Поле зрения глаза (рис. 1), „вооруженного“ перфорационными очками [1], меньше, чем при наблюдении без очков и составляет ориентировочно 70° по вертикали и 90° по горизонтали. Каждый элемент пространства предметов может наблюдаться через одно или два-три смежных перфорационных отверстия, соответствующие малой части зрачка глаза.

На рис. 2 представлена схема, иллюстрирующая изменение глубины резкости изображения, формируемого оптической системой, от T_1 до T_2 относительно сопряженной с изображением области пространства предметов при изменении диаметра выходного зрачка от максимального D_1 до минимального D_2 , соответствующего диаметру перфорационного отверстия очков.

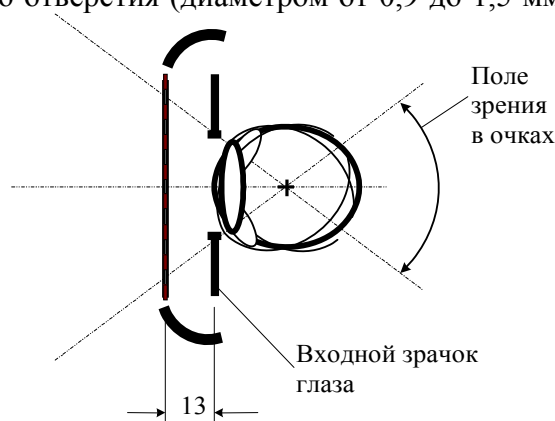


Рис. 1