



УДК 535.314

Мьо Мьинт Ньен, О.А. Евтихиева, О.В. Петрова, Е.И. Зубарев

*Национальный исследовательский университет «МЭИ», Россия,
111250, Москва, Красноказарменная ул., 14*

ОСОБЕННОСТИ БЕСКОНТАКТНОЙ ДИАГНОСТИКИ ОПТИЧЕСКИХ ДЕТАЛЕЙ

АННОТАЦИЯ

В работе показаны результаты экспериментального исследования качества оптических элементов теневым фоновым методом. Приведены векторные поля распределения смещения, пропорционального градиенту показателя преломления при наличии царапин, сколов, свилей и других недостатков оптических деталей. Обработка экспериментальных данных производилась в программе PIVVIEW 1.7.

ТЕНЕВОЙ ФОНОВЫЙ МЕТОД, ГРАДИЕНТ ПОКАЗАТЕЛЯ ПРЕЛОМЛЕНИЯ, КАЧЕСТВО ОПТИЧЕСКИХ ДЕТАЛЕЙ

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время бесконтактные методы диагностики потоков получают все большее распространение. В основном, это оптические методы диагностики [1]. Наиболее широко распространенными методами являются теневой, интерференционный, голографический, а также методы, основанные на поглощении света и изменении состояния поляризации. Отдельную группу составляют лазерные методы, позволяющие осуществлять как точечные, так и пространственные измерения с высокой точностью. Самыми известными методами являются Лазерная Доплеровская Анемометрия (ЛДА) [2], Фазовая Доплеровская Анемометрия (ФДА) и Анемометрия Изображения Частиц (АИЧ) [3]. Недавно был разработан теневой фоновый метод (ТФМ).

В данной работе разработаны методика исследования оптически прозрачных деталей на качество их изготовления, алгоритм обработки изображений теневого фонового метода и способ нормировки получаемых смещений точек фонового изображения.

ВИЗУАЛИЗАЦИЯ ВНУТРЕННИХ НАПРЯЖЕНИЙ В СТЕКЛЯННОЙ ПЛОСКОПАРАЛЛЕЛЬНОЙ ПЛАСТИНЕ

Для экспериментальных исследований специально была взята плоскопараллельная пластина плохого качества. На ней присутствуют на всех четырех краях сколы и напряжения. На пластине есть царапины и область с пузырьками воздуха, находящимися внутри стекла.

В результате кросскорреляционной обработки с большой областью опроса визуализированы сколы пластины и краевые напряжения. Однако, не видно влияния царапин и пузырьков воздуха, так как они являются мелкомасштабными (рис. 1, 2).

Следующим шагом на пластину была нанесена с помощью мела область, моделирующая множественные царапины.

В результате обработки получено, что данная область четко выражена на картине распределения коэффициентов корреляции (рис. 3, 4).



Рис. 1. Фотография плоскопараллельной пластины

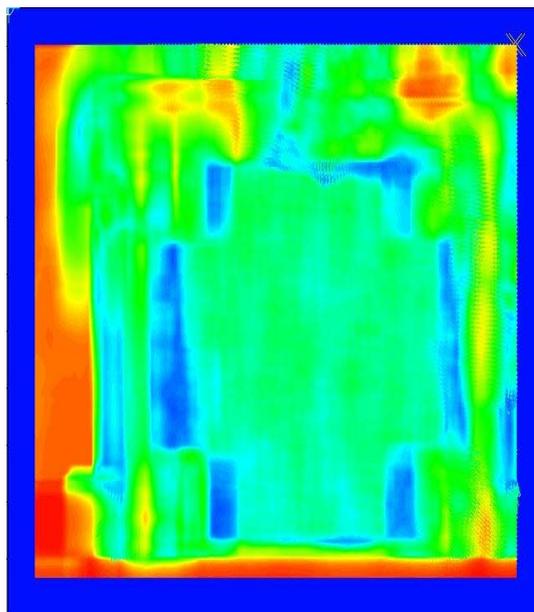


Рис. 2. Результат кросскорреляционной обработки с большой областью опроса

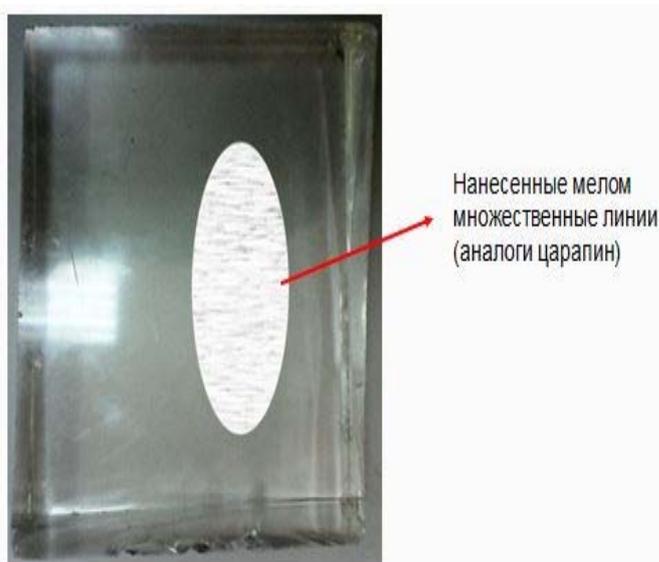


Рис. 3. Добавление аналогов механических повреждений

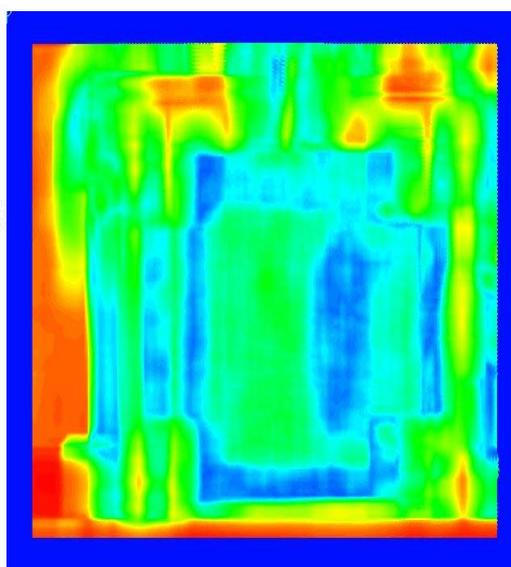


Рис. 4. Результат кросскорреляционной обработки

МОДЕЛИРОВАНИЯ СМЕЩЕНИЯ ИЗОБРАЖЕНИЯ ТОЧКИ

Для нахождения величины смещения лучей оптическим клином были проведены следующие геометрические расчеты.

Фоновый экран представляет собой картинку с изображением точек, расположенных упорядоченно или хаотично на определённых расстояниях друг от друга. Оптический клин смещает лучи, а, следовательно, и изображения точек в плоскости регистрации тоже смещаются. Точки не должны смещаться более, чем на расстояние между ними. Эти смещения линейно зависят от расстояния между клином и плоскостью регистрации. Прямой

ход луча через оптический клин показан на рис. 5. С помощью расчётов находится смещение лучей на плоскости регистрации. Плоскость регистрации изображения в данном случае является ПЗС матрицей видеокамеры.

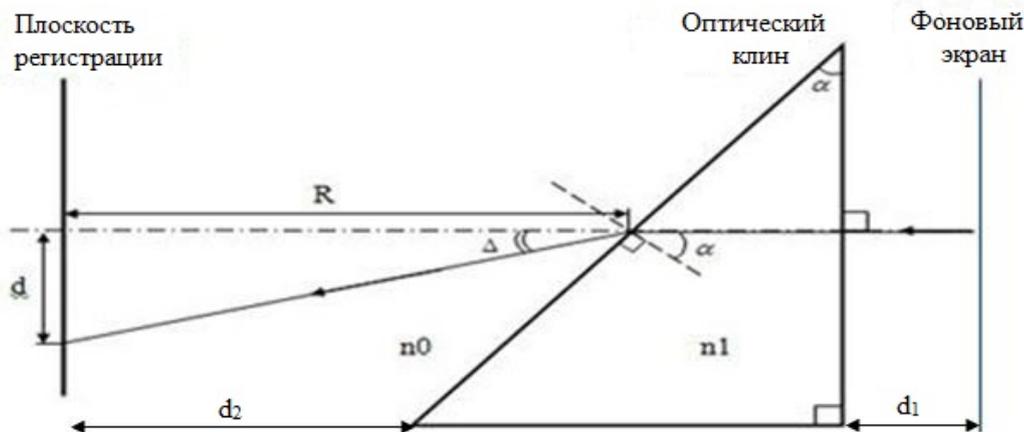


Рис. 5. Прямой ход луча через оптический клин

Первое положение оптического клина: d_1 – расстояние от фонового экрана до оптического клина; d_2 – расстояние от оптического клина до плоскости регистрации; d – отклонение луча; n_0, n_1 – показатели преломления.

Из геометрических соображений видно, что смещение лучей находится по формуле:

$$d = l \cdot \operatorname{tg}(\arcsin(\frac{n_1}{n_0} \sin(\alpha)) - \alpha).$$

Затем таким же образом рассчитывается обратный ход лучей (рис. 6).

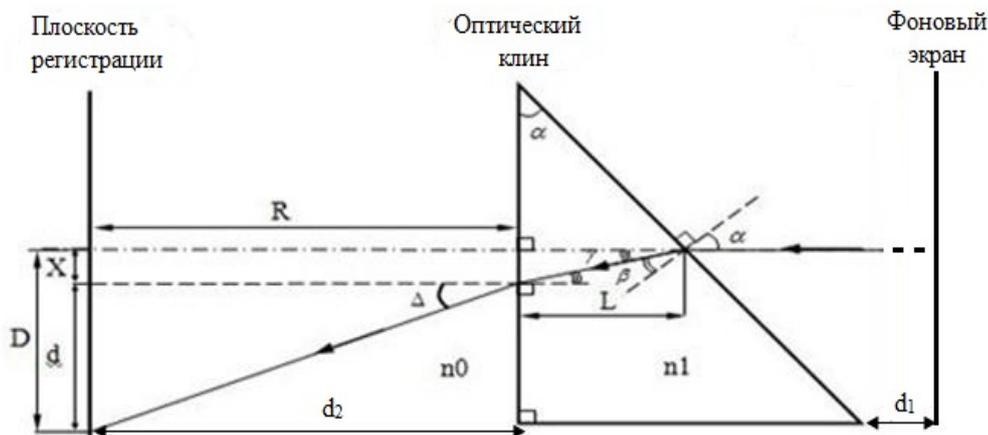


Рис. 6. Обратный ход луча через оптический клин

Второе положение оптического клина: X – смещение лучей внутри оптического клина, D – общее смещение лучей, d_1 – расстояние от фонового экрана до оптического клина; d_2 – расстояние от оптического клина до плоскости регистрации; n_0, n_1 – показатели преломления; L – толщина клина в плоскости падения

Общее смещение имеет вид:

$$D_{\text{общ}} = d \cdot \operatorname{tg}(\alpha - \arcsin(\frac{n_0}{n_1} \sin(\alpha))) + l \cdot \operatorname{tg}(\arcsin(\frac{n_1}{n_0} \sin(\alpha - \arcsin(\frac{n_0}{n_1} \sin(\alpha))))).$$

Была разработана программа, написанная в среде Mathcad, с помощью которой находится значение R и строится зависимость $R(d)$. Построенная зависимость приведена на рис. 7.

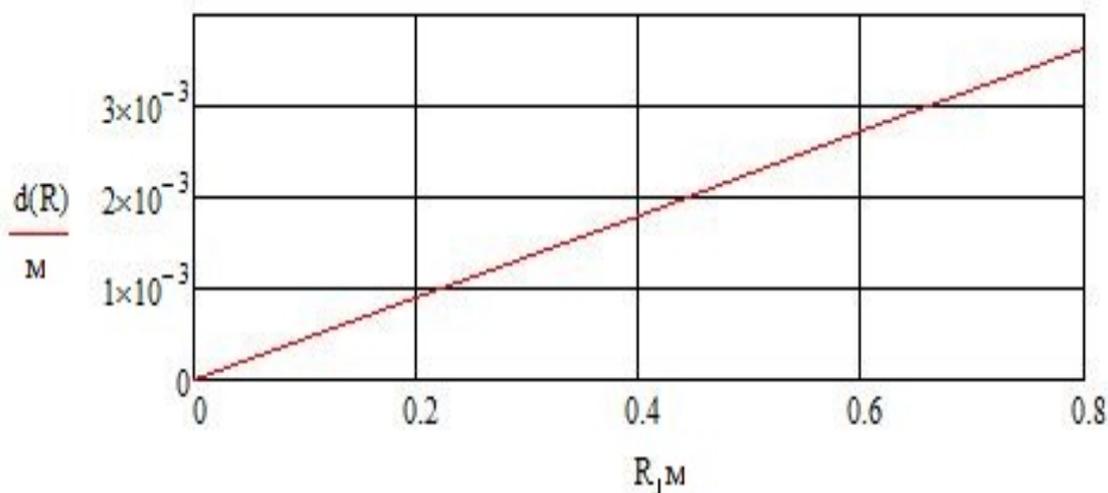


Рис. 7. Зависимость смещения d от расстояния R при прямом ходе лучей через оптический клин

Из графика на рис. 7 видно, что с увеличением угла клиновидности оптического клина зависимость $R(d)$ возрастает быстрее.

На рис. 8 представлена зависимость смещения D от расстояния R при обратном ходе лучей через оптический клин.

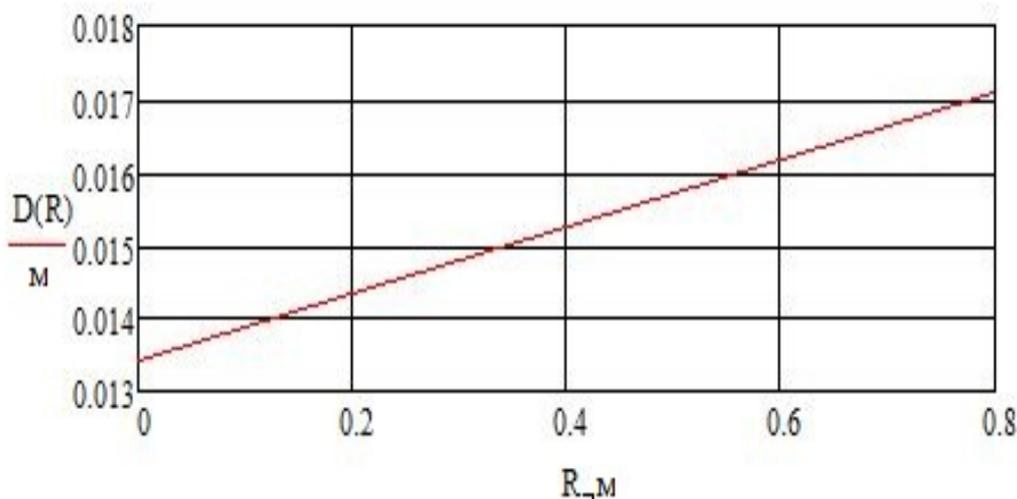


Рис. 8. Зависимость смещения D от расстояния R при обратном ходе лучей через оптический клин

ЭКСПЕРИМЕНТ С ОПТИЧЕСКИМИ КЛИНЬЯМИ

В данном эксперименте исследуется градиент показателя преломления клиньев с помощью компьютерной обработки изображений фонового экрана.

Схема экспериментальной установки представлена на рис. 9.

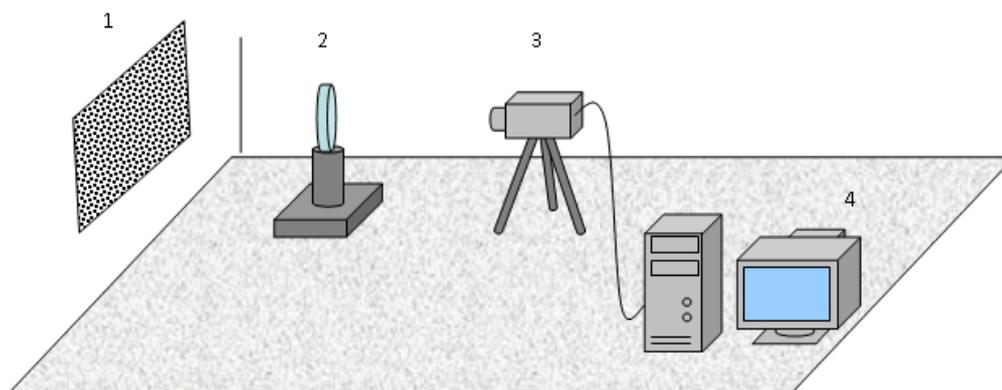


Рис. 9. Схема экспериментальной установки для визуализации качества клина или положительной линзы

Оптическая схема состоит из фонового экрана (1), исследуемого клина (2), видеокамеры ВИДЕОСКАН (3) и компьютера для обработки результатов измерений (4). В качестве фонового экрана можно использовать изображение горизонтальных или вертикальных полос, точек, расположенных либо упорядоченно, либо хаотически.

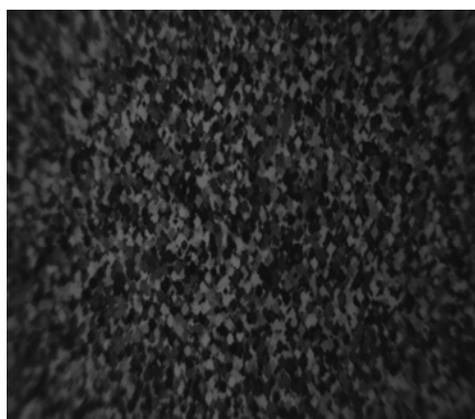
Искажения изображения фонового экрана, зарегистрированного видеокамерой, вызваны отклонениями градиента показателя преломления клиньев. Видеокамерой регистрируется изображение фонового экрана на разных расстояниях от него вначале без искажения (без клина), а затем с клином в канале передачи. Для дальнейшей визуализации картин теневого фонового метода обрабатываются два снимка фонового экрана. Один из этих снимков без искажений (рис. 10, а), а другой снимок с возмущённой средой (рис. 10, б). Эти возмущения изображения пропорциональны отклонению градиентов показателя преломления. Затем с помощью программы PIVVIEW сравниваются две картины, и по их различию получается информация об исследуемом объекте (клине).

Важно, чтобы экспериментальная установка была отъюстирована, то есть фондовый экран, клин и объектив видеокамеры лежали на оптической оси для получения оптимального изображения, а видеокамера зафиксирована в определённом положении, чтобы избежать смещения всего изображения относительно исходного.

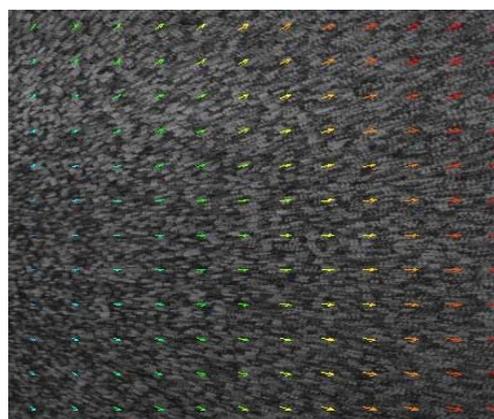
Для получения качественных снимков видеокамера фокусируется на фондовый экран, так как дальнейшая обработка изображений будет проводиться именно с его структурированной картиной.

Регистрация изображений проводится на разных расстояниях от видеокамеры до фонового экрана с использованием оптического и цифрового увеличения (zoom). После этого выбирается пара изображений с наилучшим качеством.

На рис. 10 – 12 приведены результаты регистрации изображений без компьютерной обработки.



Экспериментальное изображение

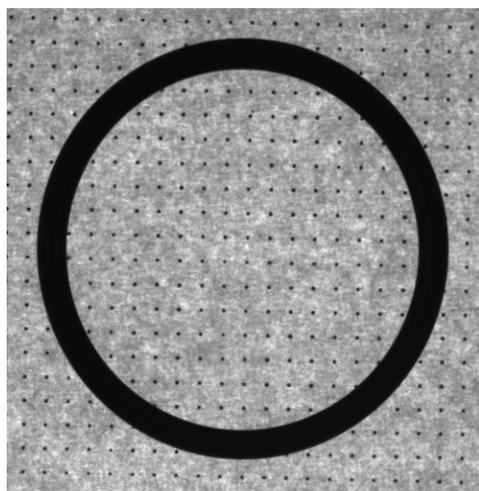


Результат кросскорреляционной

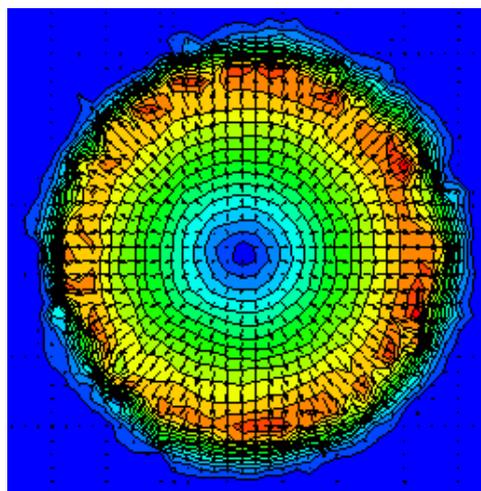
без обработки

обработки

Рис. 10. Результаты эксперимента для части положительной линзы



Экспериментальное ТФМ изображение

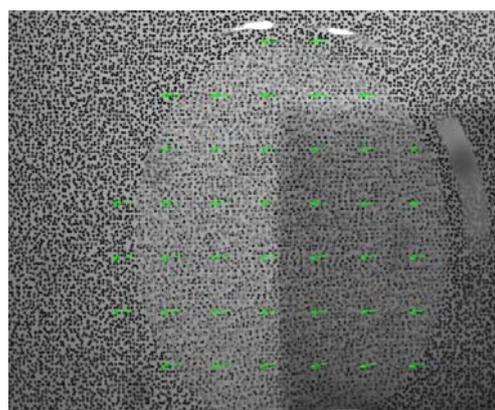


Результаты обработки

Рис. 11. Результаты эксперимента для положительной линзы



Экспериментальное изображение
клин толщина 15 см угол 30 градусов



Результат кросскорреляционной
обработки

Рис. 12. Результаты эксперимента для оптического клина

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В данной работе был рассмотрен принцип теневого фонового метода, применяемого для диагностики потоков. Основными преимуществами этой техники по сравнению с другими оптическими методами диагностики потоков, такими как тенеграфический, обычный теневой, спекл интерферометрический, являются ее чрезвычайно скромные технические требования: обычно только одна цифровая видеокамера, фоновый экран и компьютер. Теневой фоновый метод не требует никаких оптических устройств для создания изображений.

Проведено моделирование смещения точки фонового экрана при наличии оптической неоднородности в виде клина между экраном и видеокамерой или фотоаппаратом. Представлен оптический расчет в прямом и обратном ходе лучей.

Эксперимент показал возможность получения количественных характеристик при исследовании оптического клина или положительной линзы. Также было исследовано влияние параметров кросскорреляционной обработки на получаемые результаты.

СПИСОК ОБОЗНАЧЕНИЙ

α – угол наблюдения;
 n_0, n_1 – показатели преломления;
 d_1 – расстояние от фонового экрана до оптического клина;
 d_2 – расстояние от оптического клина до плоскости регистрации;
 d – отклонение луча;
 X – смещение лучей внутри оптического клина;
 D – общее смещение лучей;
 L – толщина клина в плоскости падения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Ринкевичюс Б.С.** Лазерная диагностика потоков / Под ред. В. А. Фабриканта. – М.: МЭИ, 1990. – 287 с.
2. **Дубнищев Ю.Н., Ринкевичюс Б.С.** Методы лазерной доплеровской анемометрии. – М.: «Наука», 1982. – 303 с.
3. **Kompenhans J., Raffel M., Dieterle L. etc.** Particle Image Velocimetry in Aerodynamics: Technology and Applications in Wind Tunnels. // Proc. of VSJ-SPIE98. 1998. Yokohama. JAPAN.
4. **Васильев Л.А.** Теневые методы. – М.: «Наука», 1968.
5. **Meier G.E.A.** Computerized background-oriented schlieren // Experiments in Fluids. 33. 2002. P. 181 – 187.
6. **Richard H., Raffel M., Rein M. and etc.** Demonstration of the applicability of a Background Oriented Schlieren (BOS) method // Proc. of the 10th int. symposium on applications of laser techniques to fluid mechanics, Lisbon. Springer, Berlin: Heidelberg: New York: 2000.
7. **Попова Е.М., Толкачев А.В., Скорнякова Н.М.** Применение фонового теневого метода для исследования естественной конвекции. Труды VII МНТК «Оптические методы исследования потоков». М.: Изд-во МЭИ, 2003. С. 126-129.

Myo Myint Nyein, O.A. Yevtikhieva, O.V. Petrova, E.I. Zubarev

*National Research University (MPEI), Russia,
111250, Moscow, Krasnokazarmennaya st., 14*

THE PECULARITIES OF CONTACTLESS DIAGNOSTICS OF OPTICAL DETAILS

ABSTRACT

The paper shows the results of an experimental study of the optical elements quality by background oriented schlieren method. Given the distribution of displacement vector fields, proportional to the gradient of the refractive index in the presence of scratches, chips, striae and other shortcomings of optical parts. The experimental data was performed in the program PIVVIEW 1.7.

BACKGROUND ORIENTED SCHLIEREN METHOD, GRADIENT REFRACTIVE INDEX,
QUALITY OF OPTICAL DETAILS