

*Двенадцатая Международная научно-техническая конференция  
«Оптические методы исследования потоков»  
Москва, 25 — 28 июня 2013 г.*

УДК 535.08.001.5

Б.С. Ринкевичюс, А.А. Савин, А.В. Толкачев

*Национальный исследовательский университет Московский энергетический институт,  
Россия, 111250, Москва, Красноказарменная ул., 14, E-mail: rinkevbs@mail.ru*

**ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ТЕСТИРОВАНИЕ АЛГОРИТМА ОТСЛЕЖИВАНИЯ  
ДВИЖЕНИЯ ЧАСТИЦ**

**АННОТАЦИЯ**

В работе рассматриваются особенности применения световых лазерных маркеров на поверхности объекта. Приводятся полученные в ходе экспериментов результаты.

**СВЕТОВЫЕ ЛАЗЕРНЫЕ МАРКЕРЫ, ЦИФРОВАЯ ОБРАБОТКА ВИДЕОИЗОБРАЖЕНИЙ**

**ВВЕДЕНИЕ**

Целью данной работы являлось тестирование алгоритма определения смещения движущихся частиц, методом формирования смещаемых световых маркеров (активная система зондирования), а не использованием частиц, движущиеся в потоке

**ЭКСПЕРИМЕНАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ**

**Экспериментальная установка со сдвигом световых лазерных маркеров**

На первом этапе объектом исследования была поворачивающаяся относительно вертикальной оси металлическая пластина, на поверхности которой с помощью ДОО (дифракционного оптического элемента фирмы «LASIRIS») и маломощного (1 мВт) газового He-Ne лазера с длиной волны излучения 0,6328 мкм формировалась система световых маркеров в виде сетки.

В модельном эксперименте объектом исследования был неподвижный экран, на поверхности которого с помощью ДОО (дифракционного оптического элемента фирмы «LASIRIS») и маломощного (1 мВт) газового He-Ne лазера с длиной волны излучения 0,6328 мкм формировалась система световых маркеров в виде сетки. Смещение маркеров в горизонтальном направлении по поверхности пластины имитировало процесс перемещения частиц в этом направлении.

Схема экспериментальной установки и вид сетки световых маркеров на плоской пластине приведены на рис. 1.

Элементы с 1-го по 3-й располагались на общем основании, закрепленном на координатнике 6, и могли, как одно целое, перемещаться перпендикулярно направлению распространения лазерного излучения (поперечное перемещение в горизонтальном направлении). При этом отсчетное устройство (индикатор часового типа с ценой деления 0,01 мм) обеспечивало фиксацию положения блока формирования зондирующего излучения с погрешностью, менее  $\pm 0,005$  мм.

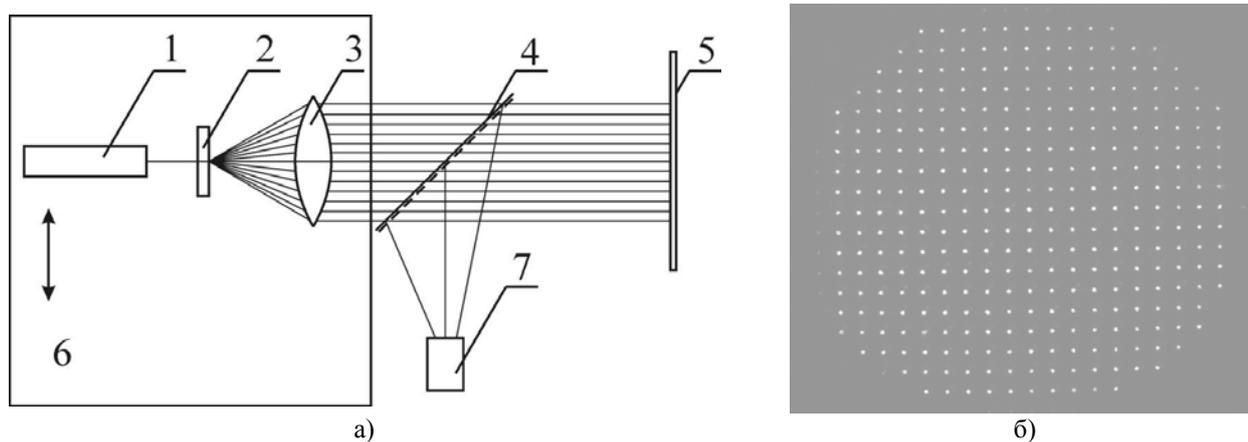


Рис. 1. Структурная схема экспериментальной установки (а) и вид сетки световых маркеров на плоской пластине (б): 1- лазер; 2 – дифракционный оптический элемент; 3 - длиннофокусная сферическая линза; 4 - полупрозрачное зеркало; 5 – неподвижная пластина; 6 – координатное устройство; 7 – цифровые видеокамера или фотоаппарат

В экспериментах использовалась: длиннофокусная сферическая линза с фокусным расстоянием 400 мм и световым диаметром 80 мм, черно-белая цифровая видеокамера фирмы ВИДЕОСАН или цифровой фотоаппарат «Nikon 1 J1» с объективом «Nikon 1 NIKKOR 10 – 30». За счет перемещения блока формирования зондирующего излучения осуществлялось перемещение сетки световых маркеров по неподвижной пластине в горизонтальном направлении.

Задачей эксперимента являлось определение величины смещения маркеров по методике, описанной в работе [1] и сопоставление полученных значений с величинами смещений, определяемых по отсчетному устройству координатника 6.

Методика проведения эксперимента состояла в следующем:

- первоначально для определения масштаба проводилась фоторегистрация миллиметровой линейки, закрепленной на поверхности пластины 5;
- затем получалось исходное, базовое изображение сетки световых маркеров на поверхности пластины. Оно являлось опорным при цифровой обработке видеок кадров;
- после этого задавалось смещение световых маркеров на величины 0,05; 0,5; 1,0. мм и проводилась видеорегистрация соответствующих изображений сеток световых маркеров для последующей цифровой обработки [1].

Так как в данном эксперименте для получения изображений световых маркеров была использована цифровая видеокамера, то для каждого значения смещения последних, регистрировалось большое количество видеоизображений (более 100), а это позволило использовать методы статистического анализа для повышения точности алгоритма.

При обработке более сотни кадров для значения смещения световых маркеров 0,05 мм усредненное векторное поле представлено на рис. 2. Векторы смещений световых маркеров на рис. 2 для наглядности представления векторного поля существенно увеличены. Для этого случая математическое ожидание относительной погрешности равно 46 %, а СКО – 31 %. Погрешность в данном случае состоит из двух частей: ошибка определения центра маркеров и ошибка определения количества пикселей в 1 мм (в данных изображениях в одном мм примерно 10 пикселей). Видно, что картина векторов смещений световых маркеров носит довольно случайный характер. Реальное же смещение световых маркеров происходило только в горизонтальной плоскости.

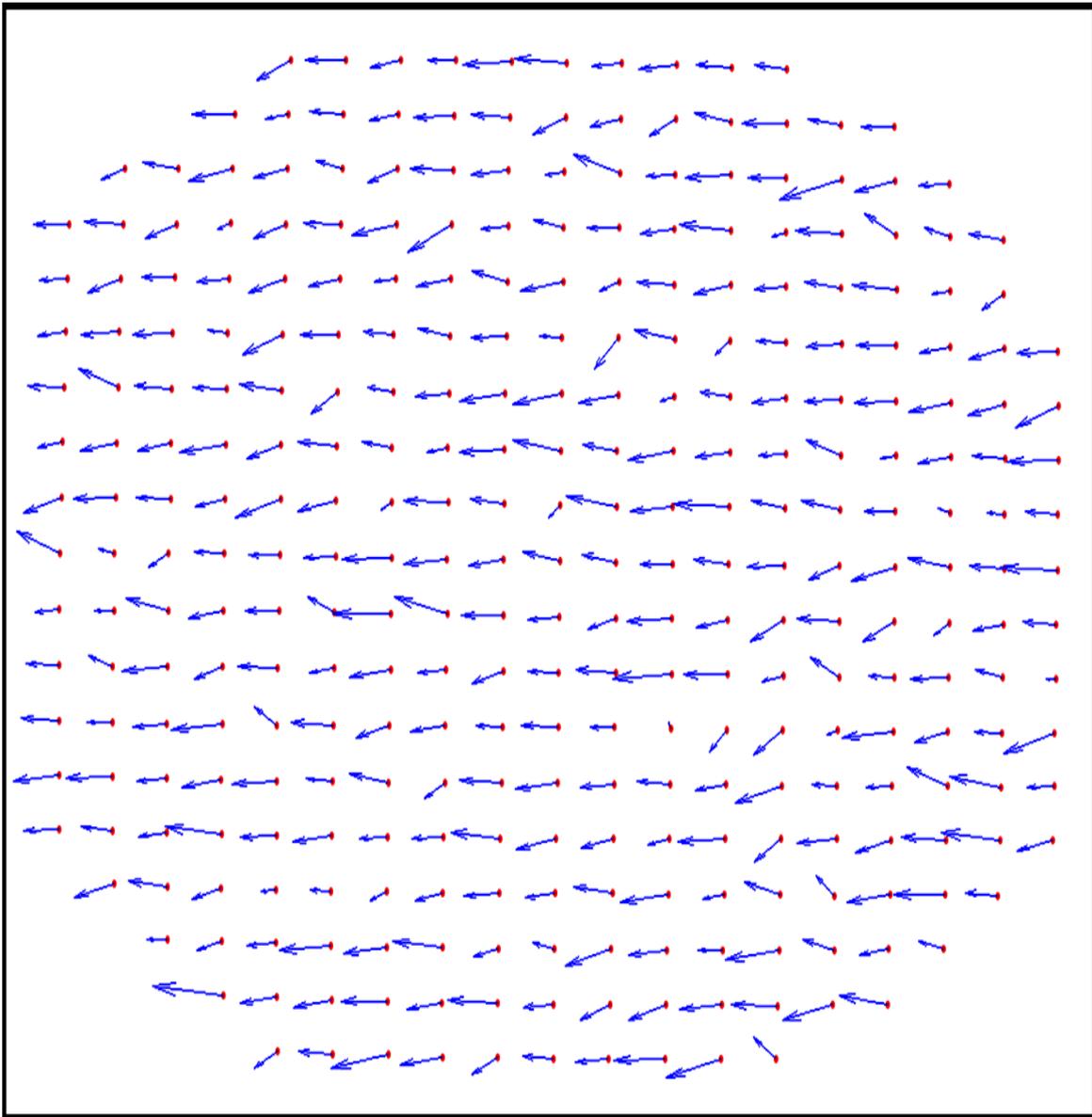


Рис. 2. Смещение 0,05 мм – усредненное векторное поле (модули векторов смещений световых маркеров существенно увеличены)

Для других значений величин смещения световых маркеров (0,5 и 1,0 мм) на соответствующих рисунках будут показаны не векторные поля, а поля значений модулей векторов смещения с указанием их величины в миллиметрах. На последующих рисунках правые точки соответствуют исходному положению световых маркеров, а левые – смещенному. Вектора смещений направлены справа налево. Цифры дают значения модулей векторов смещения в миллиметрах.

Для значения смещения 0,5 мм модули векторов смещений световых маркеров для усредненного поля представлены на рис. 3. Математическое ожидание относительной погрешности равно 6,0: %, а СКО – 4,68%. Эти значения являются не слишком пригодными для оценки величины смещения световых маркеров.

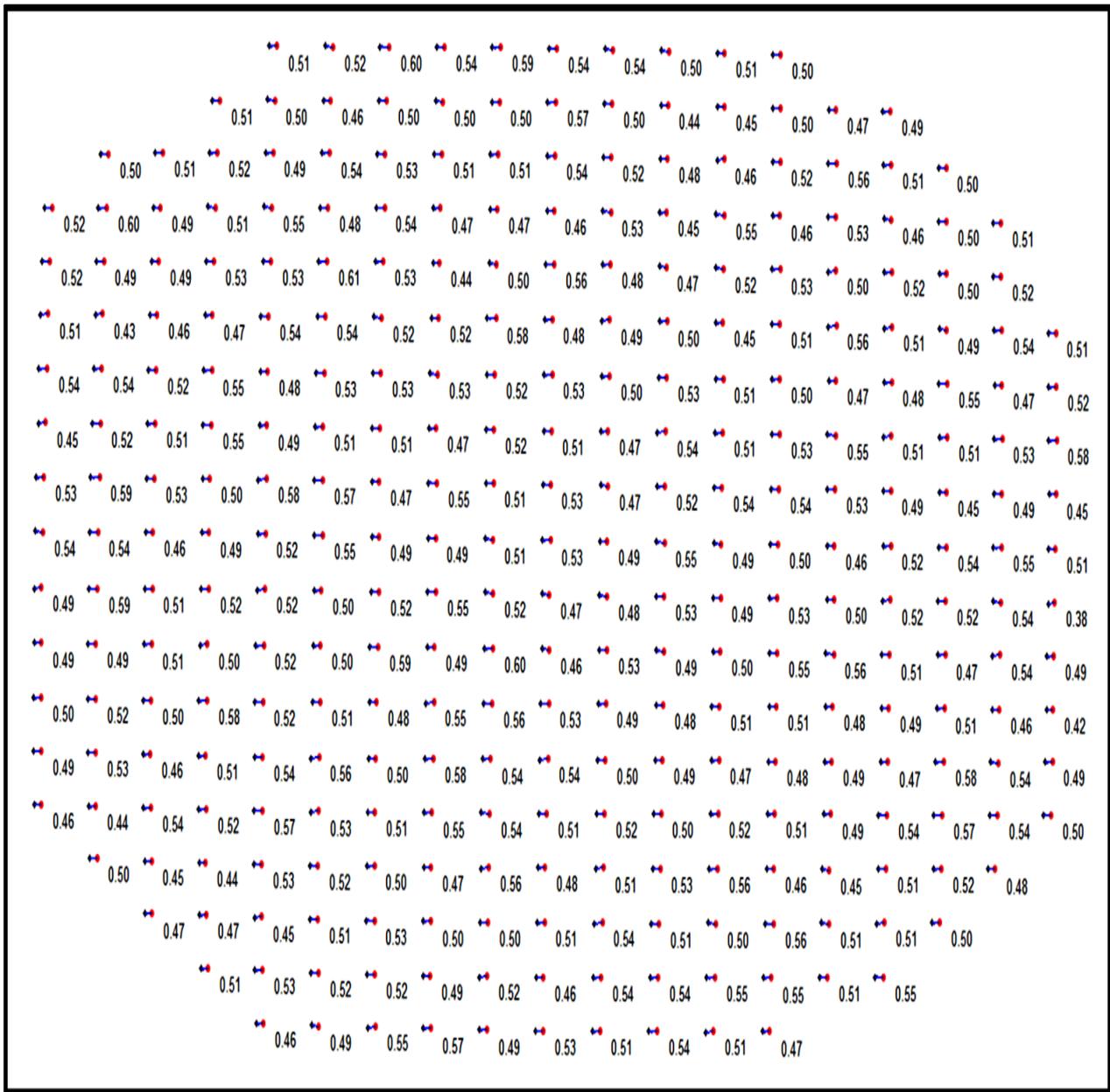


Рис. 3. Модули векторов. Смещение световых маркеров 0,5 мм – усредненное векторное поле

Для значения смещения 1,0 мм модули векторов смещений световых маркеров для усредненного поля представлены на рис. 4. Математическое ожидание относительной погрешности равно 2,0 %, а СКО –1,9 %. Этот результат может быть признан вполне удовлетворительным с точки зрения оценки погрешностей измерения.

Рис. 3 и 4 наглядно иллюстрируют направление и величины векторов смещений световых маркеров при их смещении по плоской неподвижной пластине. А для случая, представленного на рис. 2, можно говорить только о качественной картине смещения световых маркеров.

Погрешность определения величины смещения световых маркеров является удовлетворительной для случая, когда реальное их смещение составляет величину 1 мм.

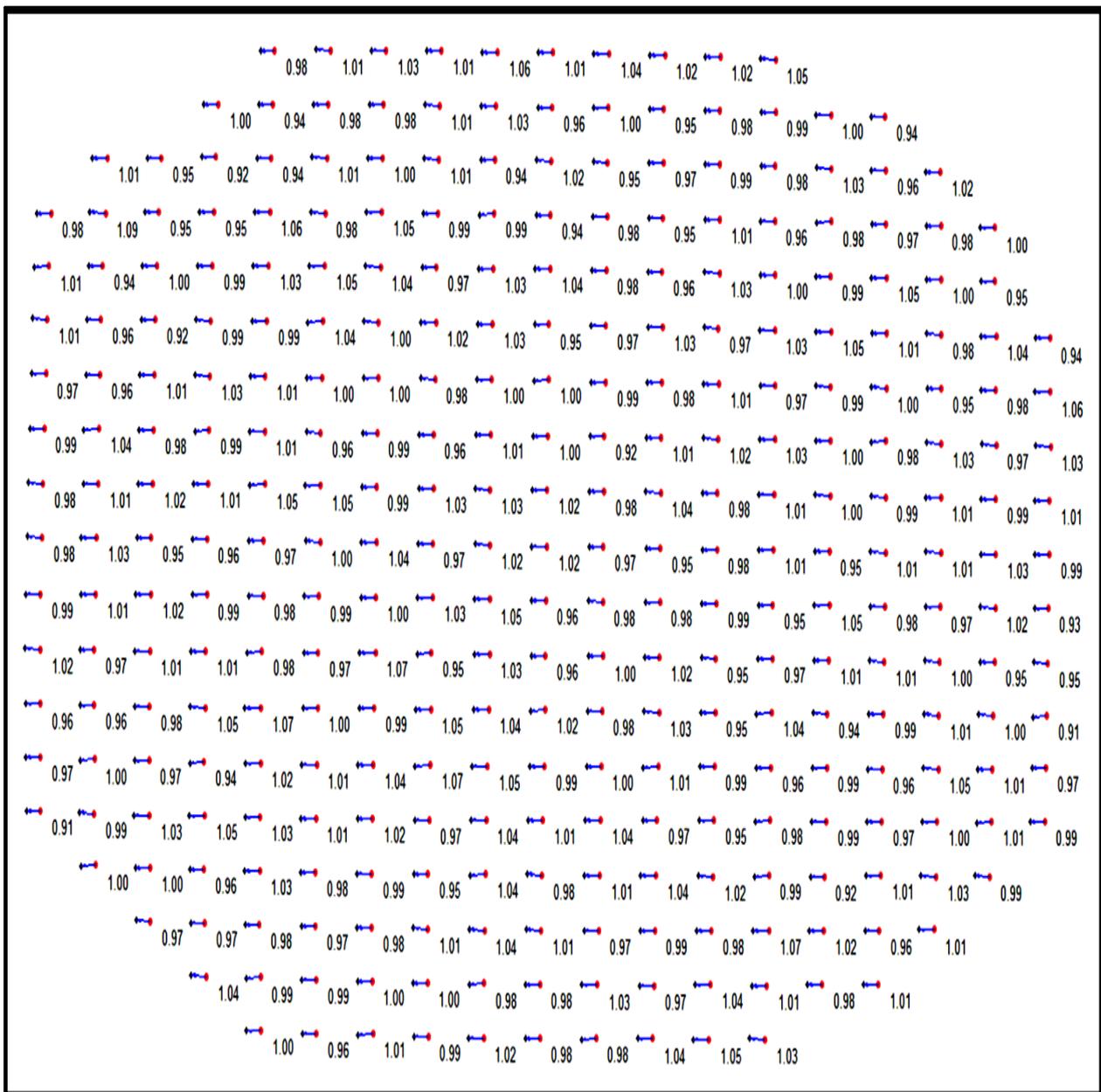


Рис. 4. Модули векторов. Смещение световых маркеров 1,0 мм – усредненное векторное поле

В заключение приведем графики погрешностей, рассчитанные для различных условий эксперимента. Первый случай – обработка только двух изображений с видеокамеры, второй – статистическая обработка сотни изображений с видеокамеры и третий случай – обработка двух изображений, полученных с помощью цифрового фотоаппарата. Использовались следующие значения смещений: 0,05, 0,1, 0,25, 0,5, 1, 2, и 3 мм.

На рис. 5 показан график математического ожидания и среднеквадратического отклонения относительной погрешности измерения для всех трех экспериментов. Видно, что расчет по сотне кадров не дает в случае изображений с видеокамеры существенных улучшений, обе кривые ведут себя практически одинаково, хотя статистическая обработка дает некоторое уменьшение погрешности. Зато использование фотоаппарата позволяет уменьшить погрешность еще на несколько процентов. Схожим образом себя ведет и среднеквадратическое отклонение относительной ошибки измерения, график которого для всех трех случаев представлен на рис. 5 справа. Отметим, что снижение кривых обусловлено тем, что абсолютная погрешность измерения меняется значительно медленнее, чем абсолютное значение смещения. Поэтому с увеличением смещения относительная погрешность будет постоянно уменьшаться.

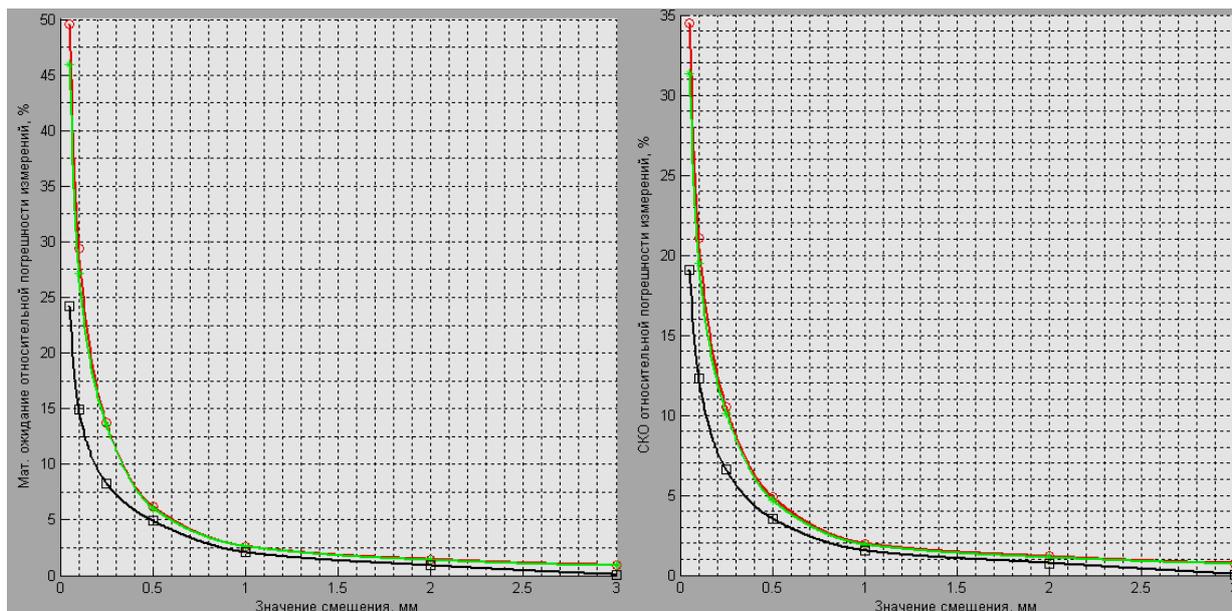


Рис. 5. Математическое ожидание (слева) и среднее квадратическое отклонение (справа) относительной погрешности измерения (красная кривая – обработка двух кадров с видеокамеры, зеленая кривая – обработка по сотне кадров с видеокамеры, черная кривая – обработка двух кадров с фотоаппарата)

На рис. 6 показан график математического ожидания абсолютной погрешности измерения для всех трех экспериментов.

Видно, как и из графиков на рис. 5, что погрешность при статистической обработке несколько меньше, и погрешность при обработке изображений с фотоаппарата также меньше, чем для видеокамеры. Это связано с тем, что размер маркеров в пикселях у фотоаппарата больше и, соответственно, лучше передается форма маркеров.

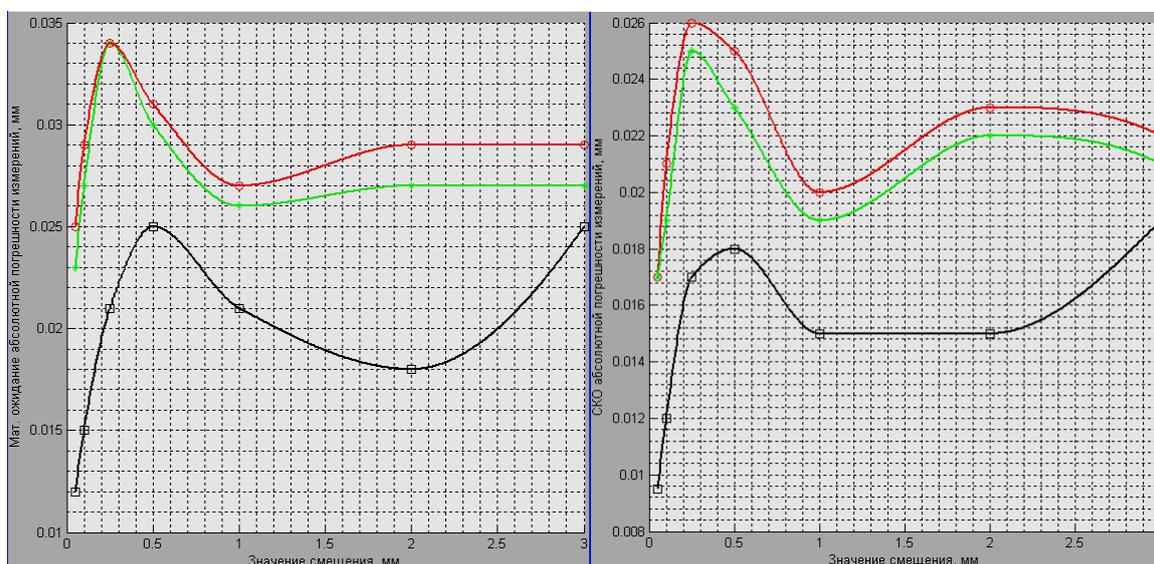


Рис. 6. Математическое ожидание (слева) и среднее квадратическое отклонение (справа) абсолютной погрешности измерения (красная кривая – обработка двух кадров с видеокамеры, зеленая кривая – обработка по сотне кадров с видеокамеры, черная кривая – обработка двух кадров с фотоаппарата)

В итоге отметим, что на величину погрешности влияет также погрешность определения истинного размера смещения. Можно заметить, что сетка маркеров расположена немного под наклоном (ряды и столбцы маркеров не параллельны краям кадра). Это также вносит некоторый вклад в погрешность, так как истинное смещение маркеров, используемое для расчета погрешности, уже не равно указанному в условиях эксперимента.

## **ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

Результаты этих экспериментов позволили сделать несколько выводов о применимости описанного метода диагностики алгоритма обработки смещений частиц и носят характер тестовых измерений.

1. Методика обработки видеоизображений системы смещающихся световых маркеров на поверхности деформируемого объекта позволяет получить достоверную информацию о параметрах перемещения маркеров, когда их смещение происходит в пределах находящейся на фиксированном расстоянии от фокуса оптической системы предметной плоскости.

2. Уменьшение погрешностей измерения модулей векторов смещения световых маркеров связано с требованием улучшения их формы и, следовательно, с более достоверным определением их центров. Это приведет и к увеличению чувствительности измерительной системы, то есть к обеспечению возможности измерения меньших по величине смещений световых маркеров. Отметим, что уменьшение погрешности можно достигнуть путем увеличения разрешения снимков, как в примере с цифровым фотоаппаратом.

3. Необходимо более качественное задание масштаба видеорегистрации изображений сеток световых маркеров.

## **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. **Савин А.А.** Алгоритм отслеживания частиц на основе математической трактовки многочастичных задач (в настоящем сборнике)

B. S. Rinkevichyus, A. A. Savin, A.V. Tolkachev

*National Research University "Moscow Power Engineering Institute", Russia,  
111250, Moscow, Krasnokazarmennaya st., 14, E-mail: rinkevbs@mail.ru*

### **EXPERIMENTAL TESTING OF ALGORITHMS FOR TRACKING PARTICLES MOVEMENT**

*The features of application of light laser markers on deformed object surface are considered in this paper. Received experimental results are shown.*

**LIGHT LASER MARKERS, DIGITAL PROCESSING OF VIDEOIMAGES**