

УДК 535:778.38:004.932

*В.В. ДЁМИН, А.Ю. ДАВЫДОВА***ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ДИФФУЗНОГО ОСВЕЩЕНИЯ ДЛЯ ПОДАВЛЕНИЯ ПОМЕХ ОТ МНИМОГО ИЗОБРАЖЕНИЯ В ЦИФРОВОЙ ГОЛОГРАФИИ ЧАСТИЦ<sup>1</sup>**

Рассмотрен метод, позволяющий уменьшить влияние волн, распространяющихся от мнимого изображения, на действительное изображение частицы, восстановленное с осевой цифровой голограммы. Метод предполагает регистрацию нескольких осевых цифровых голограмм с использованием диффузного освещения частицы. Приведены результаты численного моделирования и предварительные экспериментальные результаты.

**Ключевые слова:** *цифровая голография частиц, подавление помех, мнимое изображение, диффузное освещение.*

Реализация преимуществ цифровой голографии в задачах исследования частиц, заключающихся в возможности определения с одной голограммы формы, размеров, координат каждой из частиц, расположенных в объеме среды на этапе регистрации, может быть затруднена тем, что при восстановлении цифровой голограммы в изображениях частиц присутствуют искажения (шумы), чаще всего, в виде паразитных полос различной конфигурации [1–3]. Эти искажения снижают качество восстановленных изображений, затрудняют процесс определения вышеперечисленных характеристик частиц и, как следствие, усложняют распознавание частиц. Особенно сильно такие искажения могут мешать при исследовании динамики частиц путем регистрации временной последовательности голограмм и реализации т.н. голографического видео [4]. В этом случае в каждом кадре необходимо следить за несколькими выделенными характерными точками голографического изображения частицы, чтобы идентифицировать тип движения (поступательное, вращательное, поворот) [5], поэтому любые паразитные шумы усложняют эту задачу.

Шумы в голографическом изображении частицы, как и качество восстановленного изображения в целом, связаны с дискретностью и ограниченностью цифровой голограммы, размером пикселя ПЗС-матрицы, на которую регистрируют голограмму, другими параметрами эксперимента и алгоритма восстановления [1, 6].

Одним из видов таких искажений является система полос, оконтуривающих частицу в восстановленном голографическом изображении. Подобные искажения обусловлены взаимодействием волн, соответствующих мнимому и действительному изображениям частицы, восстановленным с осевой цифровой голограммы [2]. Для подавления этих искажений могут быть использованы методы, требующие восстановления с цифровой голограммы и дальнейшей обработки голографических изображений частиц, например, пространственно-частотный и итерационный (метод вычитания) методы, которые описаны в работе [2]. Одним из преимуществ использования цифровой голографии при регистрации частиц является возможность предварительной (без операции восстановления) обработки цифровой голограммы в целях уменьшения искажений и улучшения качества восстановленных изображений частиц. К этой группе методов относятся такие методы, как фильтрация фурье-спектра голограммы [7] и метод восстановления фазы на основе алгоритма Гершберга – Сакстона [3, 8]. Реализованный метод восстановления фазы показал свою высокую эффективность [3], но требует больше времени для обработки, по сравнению с пространственно-частотным методом и методом вычитания. Другой подход к уменьшению изучаемых искажений – это внесение изменений в схему регистрации цифровых голограмм. Наиболее известный из этих методов – регистрация цифровой голограммы по внеосевой схеме [9, 10], тогда при восстановлении голограммы волны, соответствующие мнимому и действительному изображениям, распространяются в разных направлениях и не взаимодействуют в области формирования действительного изображения. Реализация этого метода затруднена в связи с тем, что при регистрации внеосевой голограммы существенно возрастают требования к разрешающей способности (размеру пикселя) ПЗС-матрицы, на которую регистрируется цифровая голограмма.

Каждый из перечисленных методов имеет свои особенности, ограничения и области применения, поэтому расширение количества подобных методов может обеспечить повышение качества голографических изображений частиц различной природы, расположенных в различных средах

<sup>1</sup> Работа выполнена в рамках Госзадания Минобрнауки РФ, шифр проекта 2.4305.2011.

(воздух, вода и т.д.), при решении различных классов задач океанологии, биологии, оптики атмосферы и океана.

В настоящей работе рассмотрен еще один из методов, требующих внесения изменений в схему регистрации: метод с использованием диффузного освещения частицы [11].

Для пояснения этого метода рассмотрим схему регистрации цифровых голограмм, представленную на рис. 1. Частица, расположенная на расстоянии  $z$  от плоскости ПЗС-матрицы, освещается излучением, прошедшим диффузный рассеиватель. Опорная плоская волна заводится в схему с помощью светоделителя и падает нормально на ПЗС-матрицу. При внесении диффузного рассеивателя в схему регистрации голограммы когерентность излучения, освещающего частицу (а следовательно, предметной волны) уменьшается, что в дальнейшем и ослабляет взаимное влияние

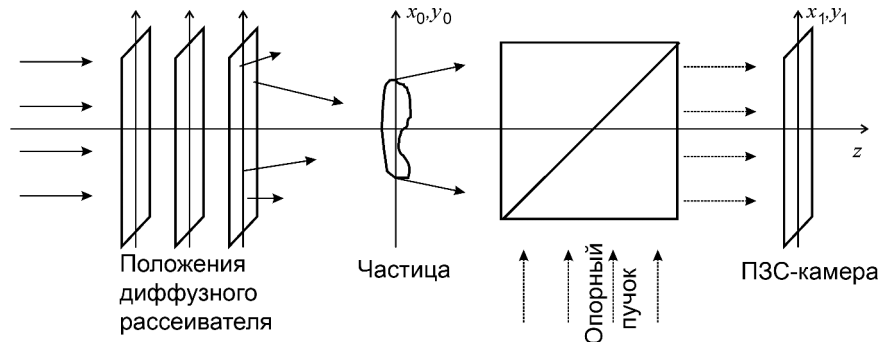


Рис. 1. Схема регистрации цифровой голограммы с использованием диффузного освещения частицы

когерентных волн, соответствующих мнимому и действительному изображениям. В то же время при восстановлении такой цифровой голограммы в изображении частицы возникают спеклы, которые, очевидно, связаны с диффузным рассеивателем. Чтобы уменьшить влияние спекл-картины, необходимо зарегистрировать несколько статистически независимых цифровых голограмм [11] и усреднить распределения интенсивности в восстановленных изображениях частицы. Пусть таким образом зарегистрировано  $N$  цифровых голограмм, а статистическая независимость обеспечена различным положением диффузного рассеивателя относительно частицы вдоль оси  $z$  при каждом экспонировании (рис. 1). Затем с каждой цифровой голограммы восстанавливается изображение частицы на расстоянии  $z$ , распределение интенсивности в плоскости восстановления  $n$ -й цифровой голограммы обозначим как  $I_z^n(x, y)$ . Среднее распределение интенсивности в плоскости восстановления по  $N$  восстановленным цифровым голограммам

$$\langle I_z(x, y) \rangle = \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N I_z^n(x, y). \quad (1)$$

В работе [11] показано, что рассчитанное таким образом среднее распределение интенсивности в плоскости действительного изображения частицы не содержит помех от ее мнимого изображения.

В настоящей работе этот метод реализован и апробирован на численно рассчитанных осевых цифровых голограммах круглой частицы диаметром 125,8 мкм, расположенной на расстоянии 150 мм от плоскости регистрации. На рис. 2 представлено изображение частицы (размер кадра 512×512 пикселей), восстановленное с цифровой голограммы, для численного расчета которой не использовалось диффузное освещение частицы.

На рис. 3 представлены изображения этой же частицы, полученные при усреднения 51, 101, 193 и 293 изображений (кадров), восстановленных с цифровых голограмм, записанных при случайных, не совпадающих положениях диффузного рассеивателя (для наглядности представлены кадрированные изображения 150×150 пикселей).

При визуальном сравнении изображений частицы на рис. 2 и 3 отчетливо видно подавление системы полос, окон-

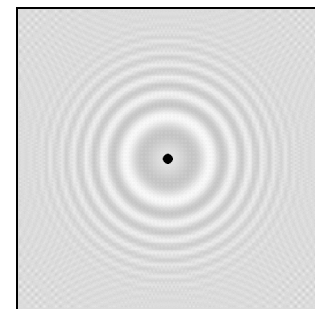


Рис. 2. Изображение частицы, восстановленное с численно рассчитанной осевой цифровой голограммы

туривающих частицу, но при этом общий контраст изображения частицы уменьшается за счет спекл-картины.

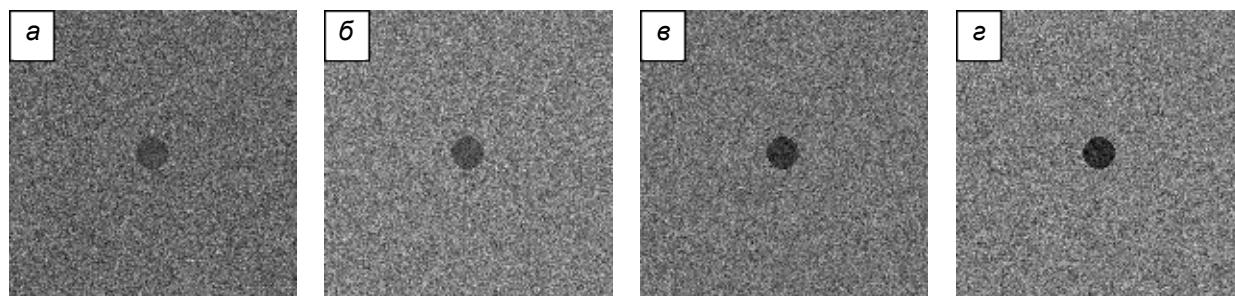


Рис. 3. Изображение частицы, полученное при усреднении изображений, восстановленных с 51 (а), 101 (б), 193 (в) и 293 (г) цифровых голограмм, записанных при случайных, не совпадающих положениях диффузного рассеивателя

Таким образом, предварительные результаты численных экспериментов показали, что реализованный метод позволяет подавить помехи от мнимого изображения частицы в цифровой голографии, но требует дальнейшей доработки, например, исследования влияния параметров диффузного рассеивателя на эффективность удаления шумов.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Дёмин В.В., Ольшук А.С., Наумова Е.Ю., Мельник Н.Г. // Оптика атмосферы и океана. – 2008. – Т. 21. – № 12. – С. 1089–1095.
2. Дёмин В.В., Старинщикова А.Ю. // Изв. вузов. Физика. – 2010. – Т. 53. – № 9/3. – С. 42–45.
3. Дёмин В.В., Давыдова А.Ю. // Изв. вузов. Физика. – 2012. – Т. 55. – № 9/2. – С. 238–239.
4. Дёмин В.В., Ольшук А.С., Дзюба Е.В. // Изв. вузов. Физика. – 2010. – Т. 53. – № 8. – С. 81–89.
5. Дёмин В.В., Ольшук А.С. // Оптический журнал. – 2012. – Т. 79. – № 6. – С. 42–46.
6. Дёмин В.В., Каменев Д.В. // Изв. вузов. Физика. – 2012. – Т. 55. – № 11. – С. 61–67.
7. Denis L., Fournier C., Fournel T., et al. // Measur. Sci. Technol. – 2008. – V. 19. – P. 1407–1425.
8. Fienup J.R. // Appl. Opt. – 1982. – V. 21. – No. 15. – P. 2758–2769.
9. Pasko S., Jozwicki R. // Opto-electronics review. – 2003. – V. 11. – No. 3. – P. 203–209.
10. Cuhe E., Marquet P., and Depeursinge Ch. // Appl. Opt. – 2000. – V. 39. – No. 23. – P. 4070–4075.
11. Monaghan D.S., Kelly D.P., Pandey N., et al. // Opt. Lett. – 2009. – V. 34. – No. 23. – P. 3610–3612.

Национальный исследовательский Томский государственный университет,  
г. Томск, Россия  
E-mail: dyomin@mail.tsu.ru

Поступила в редакцию 15.07.13.

Дёмин Виктор Валентинович, к.ф.-м.н., доцент, декан РФФ;  
Давыдова Александра Юрьевна, аспирантка, мл. науч. сотр.

V.V. DYOMIN, A.Yu. DAVYDOVA

#### THE USE OF DIFFUSE ILLUMINATION FOR REDUCING THE NOISE FROM VIRTUAL IMAGE IN PARTICLE DIGITAL HOLOGRAPHY

Method is considered which allows reducing the virtual image influence on real image of particle reconstructed from in-line digital hologram. Considered method assumes several digital hologram registrations using diffuse field to illuminate the particle. The results of numerical modeling are presented.

**Keywords:** digital holography of particles, noise reducing, twin image, diffuse illumination.