

ОПТИЧЕСКАЯ СИСТЕМА С ТЕЛЕЦЕНТРИЧЕСКИМ ХОДОМ ЛУЧЕЙ ДЛЯ РЕГИСТРАЦИИ ЦИФРОВЫХ ГОЛОГРАММ

В. Г. Каменев, Н. А. Каменева

ФГУП «ВНИИА им. Н. Л. Духова», Москва

Исследование динамики частиц дисперсной фазы в быстропротекающих процессах является актуальной научной задачей. При выходе ударной волны на свободную поверхность образца происходит образование микрочастиц, известное как эффект пыления. Размеры частиц лежат в интервале от 0,1 до 100 микрон, поэтому для регистрации данного эффекта требуется высокая разрешающая способность.

Одним из методов, обеспечивающих высокое разрешение, является цифровая голография. Данный метод позволяет регистрировать частицы размером до 1 мкм. При этом качество оптической системы для регистрации цифровых голограмм тоже должно быть высоким. Поэтому предъявляются повышенные требования к методам контроля качества настройки и юстировки оптической системы. К тому же экспериментальным способом проверено, что любой применяемый метод контроля качества оптической системы в одиночку дает не полную картину оптических aberrаций.

Для голографической регистрации процессов пыления наиболее подходящей является фраунгоферовская голография по схеме Соренсона (рис. 1).

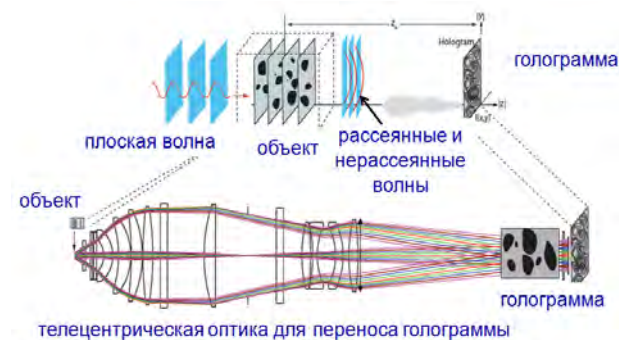


Рис. 1. Схема Соренсона

Лазерный пучок распространяется слева направо через объем движущихся частиц. Часть света рассеивается на частицах, образуя сигнальную волну, часть – проходит насквозь, образуя опорную волну. Эти два волновых фронта интерферируют в плоскости регистрации и формируют голограмму.

Одним из преимуществ Фраунгоферовской техники является то, что требуется только один лазерный пучок, что является существенным преимуществом в сравнении с экспериментальными техниками, где требуется два разделенных пучка. Поскольку сигнальная и опорная волна проходят один и тот же путь, данная техника наименее чувствительна к виб-

рациям. Для обеспечения высокого разрешения и защиты регистратора от воздействия сверхзвуковых микрочастиц используется оптическая система, позволяющая переносить изображение исследуемого объекта из взрывозащитной камеры в удаленную зону регистрации. Данная конфигурация представлена в нижней части рис. 1.

Волновой фронт, содержащий рассеянную и нерассеянную части света, переносится из взрывозащитной камеры в зону регистрации с помощью телецентрической оптической системы.

Регистратор располагается напротив исследуемого объема, где рассеянный и нерассеянный фронты интерферируют и образуют голографическую картину. При этом происходит оптическое увеличение голограммы.

На рис. 2 показаны фотография микрочастиц (сделанная с помощью оптического микроскопа), цифровая голограмма, полученная от данных частиц, и восстановленное изображение частиц. Последнее изображение более высокого качества, чем фотография частиц.

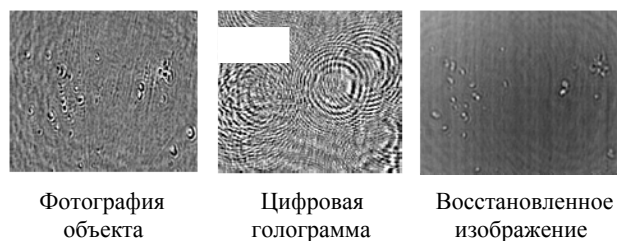


Рис. 2. Фотография микрочастиц, цифровая голограмма и восстановленное изображение частиц

При записи цифровых голограмм существует необходимость переноса и масштабирования волнового фронта для обеспечения корректной регистрации его структуры на цифровые матрицы. Оптическая система должна обеспечивать отображение исследуемого трёхмерного объема без искажения пропорций и с одинаковым оптическим увеличением в пределах глубины регистрируемой области. Данный эффект обеспечивается в телецентрических оптических системах (рис. 3).

В такой системе главные лучи идут параллельно оптической оси. В пространстве предметов перемещение объекта вдоль оси не влияет на размер изображения, а изображения объектов, протяженных вдоль оси, не будут наклонными. В пространстве

изображений расположение плоскости изображения также не влияет на размер изображения, так как в пределах регистрируемой области изменение их линейного увеличения вдоль оптической оси взаимно компенсируется. В нижней части рисунка 3 показана общая схема телецентрического объектива. В нем используется фокусирующий элемент, отвечающий за построение изображения, и компенсирующий элемент, который обладает обратной перспективой, и который, соответственно, устраняет перспективу, даваемую фокусирующим элементом.

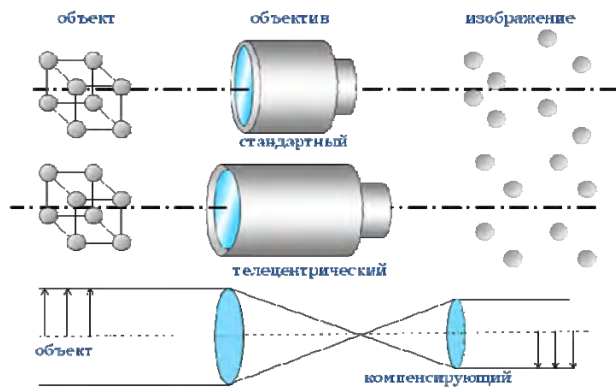


Рис. 3. Сравнение стандартного объектива с телецентрическим

На рис. 4 представлены изображения мира, полученные при смещении ее вдоль оптической оси. На рис. 4а мира находится в объектной плоскости. На рис. 4б она смещена на 3 мм. На рис. 4в – на 6 мм. При смещении мира происходит потеря резкости, зато размер изображения остается тем же. Достигается телецентрический эффект. Для голографии расфокусировка изображения не является препятствием для восстановления изображения частиц.

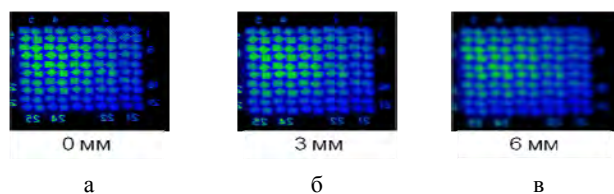


Рис. 4. Полученные изображения мира в зависимости от места ее расположения на оптической оси: а – мира находится в объектной плоскости; б – мира смещена на 3 мм от объектной плоскости; в – мира смещена на 6 мм от объектной плоскости

Для контроля разрабатываемой оптической системы предложено использовать два метода – изофотометрию функции рассеяния точки (ФРТ) с изменяющимся временем накопления и интерферометрию сдвига.

Результаты регистрации функции рассеяния точки этими двумя способами даны на рис. 5.

Изофотометрия ФРТ с изменяющимся временем накопления, рис. 5,б, отличается от стандартной изо-

фотометрии ФРТ, рис. 5,а, тем, что ей регистрируется серия кадров с разной временной экспозицией, что позволяет расширить динамический диапазон до 10^5 .

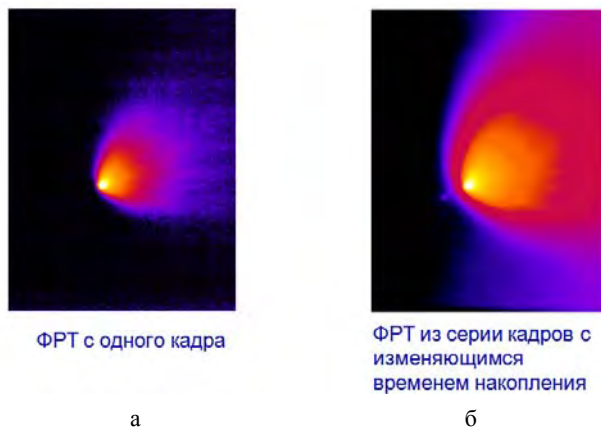


Рис. 5. Результаты регистрации функции рассеяния точки: а – изофотометрия ФРТ стандартная; б – изофотометрия ФРТ с изменяющимся временем накопления

Картина ФРТ из серии кадров свидетельствует о наличии комы и слабой сферической аберрации.

На рис. 6 представлены результаты, полученные при использовании интерферометра сдвига. В интерферометре сдвига рабочая волна интерферирует сама с собой (отсутствует опорная волна). То есть в нем контролируемый волновой фронт накладывается на точно такой же, но сдвинутый. Интерферометры сдвига малочувствительны к вибрациям, так как интерферирующие лучи проходят один и тот же путь. На рис. 6,а показана картина, наблюдаемая при наличии комы, кроме того, здесь имеет место быть расфокусировка, характеризующаяся сдвигом колец вбок. На рис. 6,б показано изображение, полученное после устранения комы и расфокусировки. Однако на рис. 6,б наблюдается сферическая аберрация, связанная с качеством компенсирующей линзы. На рис. 6,в представлена интерференционная картина, говорящая о хорошем качестве оптической системы. Отсутствие аберраций обеспечивается подбором линз.

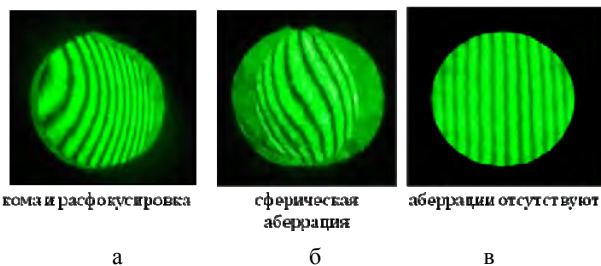


Рис. 6. Результаты, полученные при использовании интерферометра сдвига: а – кома и расфокусировка; б – сферическая аберрация; в – аберрация отсутствует

Результаты регистрации параметров системы двумя методами – сдвиговой интерферометрией и изофотометрией ФРТ с изменяющимся временем накопления – позволяют повысить точность контроля параметров оптической системы и выявлять раз-

личные виды aberrаций с более высоким качеством, чем каждый из методов в отдельности.

Выводы

1. Экспериментально исследован вариант телецентрической системы для оптической голографии и произведена его оптимизация.

2. Экспериментально показана чувствительность метода интерферометрии сдвига к сферической aberrации, а изофотометрии ФРТ – к коме и астигматизму.

3. Одновременное использование интерферометрии сдвига и изофотометрии ФРТ позволяет получить более полную информацию об aberrациях оптической системы и повысить качество юстировки.

Литература

1. Sorenson D. S., Pazuchanics P., Johnson R., et al. Ejecta Particle-Size Measurements in Vacuum and Helium Gas using Ultraviolet In-Line Fraunhofer Holography // LA-UR-14-24722 2014-06-25.

2. Sorenson D. S., Pazuchanics P., Johnson R., et al. Ejecta Particle Formation from Micro-Jets (U) // LA-UR-14-23036, 2014-04-30.

3. Sorenson D. S., Pazuchanics P., Malone R. M., Kaufman M. I., et al. Ejecta particle size and velocity distributions in vacuum and gas environments using in-line Fraunhofer Holography // LA-UR-11-03789, 2011-06-25.