

УСТРОЙСТВО ЦИФРОВОЙ РЕГИСТРАЦИИ ИЗЛУЧЕНИЯ ДЛЯ ЗАМЕНЫ ФОТОПЛЕНКИ В ФОТОХРОНОГРАФЕ ТИПА СФР

В. Н. Туркин, А. С. Шубин

ФГУП «ВНИИА им. Н. Л. Духова», Москва

В настоящее время одним из основных инструментов для регистрации быстротекущих газодинамических процессов являются фотохронографы типа СФР с записью информации на фотопленку. Для извлечения зарегистрированной информации требуется проявка фотопленки и последующая печать фотоснимков, что обуславливает длительность времени получения информации и значительную погрешность измерений.

К настоящему времени предпринято несколько попыток замены фотопленки на цифровой носитель информации, разработано несколько поколений приборных комплексов, в которых вместо фотопленки использовался цифровой регистратор. На рис. 1 приведена структурная схема приборного комплекса СКПФ254. Модернизация осуществлялась именно СФР, т. к. фотохронографы данного типа получили наиболее широкое распространение и такая модернизация позволила бы оснастить находящиеся в эксплуатации на десятках различных предприятиях и институтах, фотохронографы цифровыми регистраторами, сократив при этом затраты на модернизацию.

К сожалению, сравнительно небольшой размер входного окна регистратора сделало затруднительным их использование в ряде проводимых экспериментов.

К другим недостаткам обусловленных конструкцией цифровых регистраторов можно отнести:

- наличие фоновой засветки рабочего кадра, возникающей из-за большого времени экспозиции, величина которой определяется конструкцией электромагнитного затвора в фотокамере СФР, который не успевает закрыться до того момента когда зеркало начинает делать второй оборот;

- в опытах с ярким свечением продуктов взрыва происходит потеря информации вследствие перетекания заряда между соседними ячейками ПЗС-матрицы.

Таким образом, для решения данной задачи требовалось определить конструктивное решение, позволяющее непрерывно регистрировать изображение, перемещаемое по чувствительной к излучению поверхности имеющей длину не менее 150 мм и позволяющее отказаться от использования электромагнитного затвора в СФР.

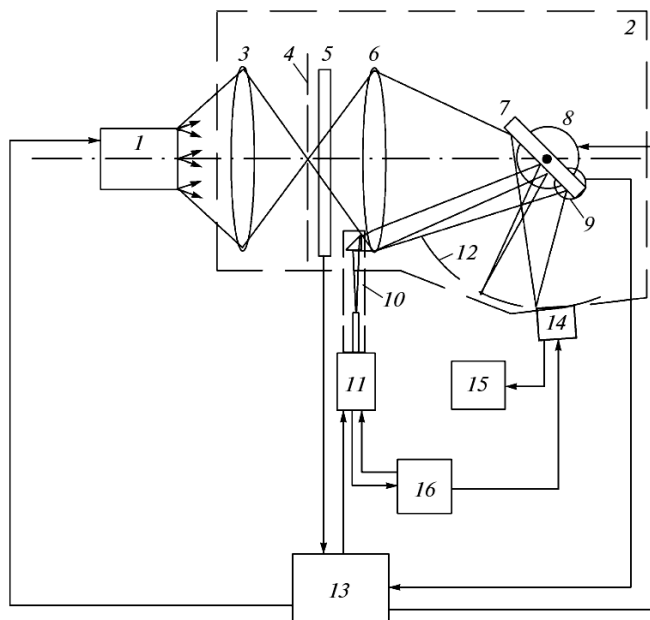


Рис. 1. Структурная схема СКПФ254: 1 – исследуемый объект; 2 – фотокамера; 3 – входной объектив; 4 – плоскость промежуточных изображений источников излучения; 5 – электромагнитный затвор; 6 – выходной объектив; 7 – подвижное зеркало; 8 – электрический двигатель; 9 – датчик положения зеркала; 10 – устройство ввода излучения; 11 – генератор оптического излучения; 12 – фокальная поверхность; 13 – пульт управления; 14 – регистратор оптического излучения; 15 – компьютер; 16 – формирователь задержанного импульса

Конструктивно предыдущие модели устройств цифровой регистрации представляли собой фокон, входное окно, которого располагалось в месте расположения фотопленки СФР, а выходное окно оптически-контактно соединялось с ПЗС-матрицей. Фокон осуществлял передачу изображения, разворачиваемого с помощью вращающегося зеркала по его входному окну на ПЗС-матрицу. Длительность регистрации обуславливается длиной чувствительной области, т. е. диаметром фокона. Максимальный диаметр фокона может составлять 80 см, что обуславливается технологией изготовления.

Для увеличения длины области регистрации производилась шлифовка боковых поверхностей фокон, по которым проводилась их склейка. Таким образом, данным способом, можно производить последовательное увеличение длины области регистрации, каждый раз добавляя еще один фокон.

Одной из задач при реализации данного способа является не допустить потери информации в зоне склейки. Согласно физической постановке задачи требуется регистрация одновременности срабатывания оптических датчиков, количество которых может достигать ~1 тыс. шт., размер датчика до момента срабатывания составляет ~70 мкм и в момент срабатывания ~200 мкм, соответственно зона склейки не должна превышать 100 мкм, в реальности достигнута величина ~50 мкм.

Фокон представляет собой спрессованный пучок оптических волокон. По принципу действия фокон аналогичен волоконно-оптической пластине (ВОП). Но в отличие от ВОП, фокон изменяет линейные размеры изображения. Этот эффект достигается за счет того, что диаметр волокон на его входе отличается от диаметра волокон на выходе, благодаря их нагреву и растягиванию при изготовлении фокона. Однако особенности технологии производства и физика переноса изображения в волоконных системах накладывают ряд ограничений на качество передачи изображения и создают ряд технических проблем.

Одной из таких проблем является дисторсионные искажения, оказывающие существенное влияние на точность проведения измерений. Причем дисторсия фоконов существенно отличается от традиционных дисторсий, наблюдаемые в оптических системах с применением сферических линз, которые являются центрально-симметричными. Искажения, вносимые фоконом, могут быть какими угодно, внешне, лишь напоминающими оптическую «традиционную» дисторсию (рис. 2).

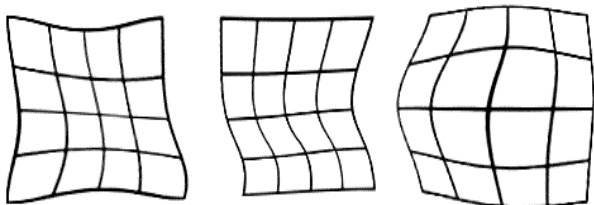


Рис. 2. Пример возможных искажений в фоконах

Проведенные исследования фокона показывают, что при регистрации через фокон сетчатой миры с прямоугольными ячейками размер ячеек миры на изображении не одинаков и может отличаться на величину до 30 %, что является недопустимым при проведении испытаний по измерению разновременности срабатывания оптических датчиков.

В связи с тем, что дисторсионные искажения оказывают существенное влияние на полученный результат, разработан программный алгоритм исправления дисторсии. Для программного исправления дисторсии вносимой фоконом необходимо аппаратно получить через него фотографию прозрачной миры, которая выполнена в форме ортогональной сетки (рис. 3). Для программного алгоритма, она будет служить ориентиром того, каким «неровным» стало обрабатываемое изображение.

В ПМО реализуется следующая последовательность этапов по восстановлению изображения:

- получение массива координат узлов сетки миры программно, или вручную;
- расчет «восстановленных» координат узлов миры путем арифметического усреднения координат каждой строки и каждого столбца. Тем самым, мы восстанавливаем ортогональность изображения:

$$X_{\text{восст}ij} = k_i \frac{1}{R} \sum_{j=1}^R X_{\text{исх}ij},$$

$$Y_{\text{восст}ij} = k_j \frac{1}{C} \sum_{i=1}^C Y_{\text{исх}ij},$$

где R, C – количество строк и столбцов линий миры, k_i, k_j – коэффициенты линейности изображения.

- корректировка равномерности периода следования координат строк и столбцов через их арифметическое усреднение. Тем самым, устраняется горизонтальная и вертикальная нелинейность изображения.

Программный способ определения координат узлов сетки миры заключается в следующих этапах:

- высчитывание кросскорреляционной функции входящего изображения с искомым изображением крестика:

$$R(m, n) = \sum_{j=0}^M \sum_{i=0}^N f(i, j)g(i + m, j + n)$$

где f и g – интенсивности входящего и шаблонного изображений соответственно.

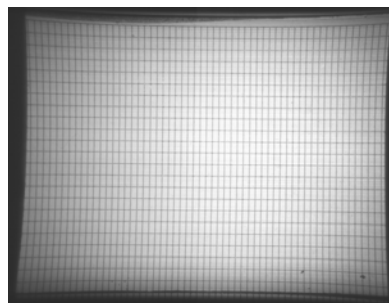


Рис. 3. Оригинал входящего изображения миры, выполненная как ортогональная сетка

В результате, в областях узлов (перекрестий) сетки миры в изображении находятся локальные максимумы (рис. 4).

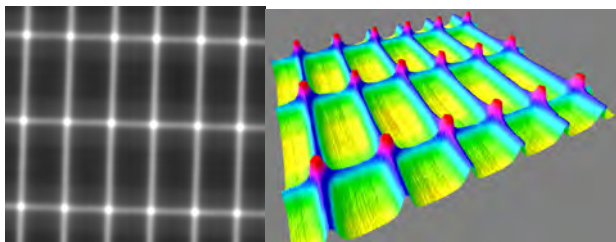


Рис. 4. Фрагмент кросскорреляционной функции входящего изображения с изображением-образцом в 2-D и в 3-D вариантах отображения

Методом «яркостной сканирующей сегментации», обнаруживаются локальные максимумы. Далее, оператором производится контроль значений координат найденных максимумов. Устранение возможных ошибок в нахождении максимумов.

Применение программной сортировки массива координат узлов сетки миры для их распределения по строкам и столбцам.

Применение деформационно-перерисовывающей функции к изображению (результат на рис. 5).

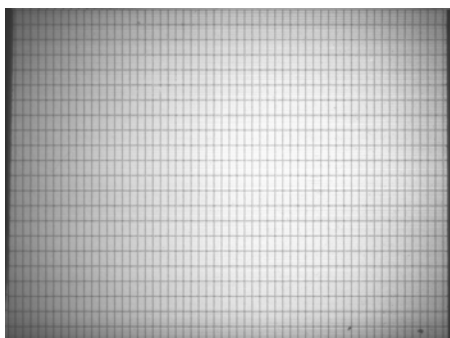


Рис. 5. Восстановленное изображение миры

Проведено исследование влияния дисторсии на результат измерения интервалов времени. Проводилась обработка изображений до и после исправления дисторсии, установлено, что после исправления дисторсии уменьшается СКО в измеренных интервалах времени и повышается точность измерений на 15 %.

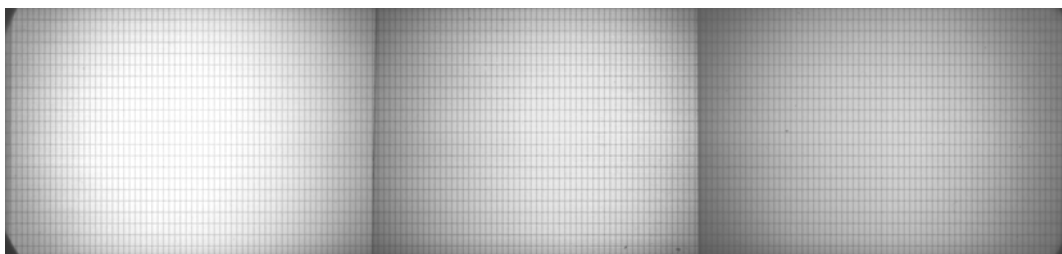


Рис. 6. Панорама изображений

После проведения исправления дисторсии фононов происходит приведение всех изображений к одному масштабу. Также происходит математически-расчетное «продление» сетки калибровочной миры на период одного столбца в области светотеневой границы в изображении. Сшивка изображений между собой происходит по взаимным общим координатам калибровочной миры, появившимся благодаря их математически-расчетному продлению (рис. 6).

Для исключения фоновой засветки рабочего кадра, возникающей из-за недостаточно быстрого закрытия электромеханического затвора, который не успевает закрыться до того момента, когда зеркало начинает делать второй оборот, и исключения потери информации в опытах с ярким свечением продуктов взрыва, вследствие перетекания заряда между соседними ячейками ПЗС-матрицы, проведен анализ элементной базы в части ПЗС и КМОП-матриц. Выбор пал на КМОП-матрицы, в частности на матрицу CMV20000 фирмы CMOSIS, которая обладает функцией глобального электронного затвора, минимальное время открытия которого составляет не более 100 мкс, что существенно меньше времени полного оборота зеркала, и, следовательно, исключает возможность наложение послесвечения на полезный сигнал и позволяет исключить влияние скорости закрытия электромагнитный затвор. Кроме того, принцип работы КМОП-матриц исключает возможность перетекание заряда в соседние ячейки при ярком свечении регистрируемого объекта.

Таким образом, использование данного регистратора в СФР позволяет отказаться от фотопленки во всех проводимых экспериментах в видимом диапазоне излучения, т. к. длина чувствительной области регистратора будет соответствовать длине фотопленки. Разработанный программный алгоритм исправления дисторсии и сшивки изображений сводит к минимуму влияния данных факторов на погрешность измерений, а если в состав СФР дополнительно вводятся метки времени, то погрешность проведения измерений не будет превышать 50 нс, во всем диапазоне измерений. Решена задача с фоновой засветкой рабочего кадра, вызванная послесвечением, которое возникает за исследуемым процессом.