

УДК 681.7.08, 535.317.2, 520.6

АНАЛИЗ МЕТОДОВ ИЗМЕРЕНИЯ КОНЦЕНТРАЦИИ ЭНЕРГИИ И РАЗРАБОТКА УСТАНОВКИ ДЛЯ КОНТРОЛЯ КОНЦЕНТРАЦИИ ЭНЕРГИИ В ОБЪЕКТИВАХ ЗВЕЗДНЫХ ДАТЧИКОВ

Василевская С.А. (Университет ИТМО)

Научный руководитель – Завгородний Д.С.
(Университет ИТМО)

Работа посвящена анализу двух методов измерения концентрации энергии в объективах звездных датчиков. Проведены измерения концентрации энергии в изображении с помощью матричного ПЗС. Разработана установка для контроля концентрации энергии в объективах звездных датчиков на основе метода измерений, рекомендуемого действующим стандартом и связанного с использованием сменных диафрагм различного диаметра.

Введение. Функция концентрации энергии (ФКЭ) показывает зависимость энергии в пятне рассеяния, содержащейся в круге определенного диаметра, от величины этого диаметра. ФКЭ является важнейшим критерием качества изображения оптических систем, работающих по бесконечно удаленным малоразмерным «точечным» объектам, например, звездам, поэтому ФКЭ актуальна для объективов, применяющихся в системах контроля космического пространства или в оптической локации. В технических условиях объективов звездных датчиков указываются требования к концентрации энергии в определенном наборе пикселей. Измерение концентрации энергии объективов проводится по двум основным методам: с помощью матричного ПЗС и с использованием сменных диафрагм. Анализ этих методов позволит оценить достоинства и недостатки схем измерений.

Основная часть. Исследован метод измерения концентрации энергии в изображении на коллиматорной установке с помощью матричного ПЗС. В передней фокальной плоскости объектива коллиматора помещается точечный источник света. Точечный источник - круглая диафрагма малого диаметра, которая через конденсор освещается лампой накаливания. В зависимости от выбранной для измерений спектральной области между источником света и диафрагмой может быть установлен светофильтр. Испытуемый объектив строит изображение точечного источника в своей задней фокальной плоскости. Качество современных объективов таково, что размер построенного им изображения точечного источника сопоставим с размером элемента структуры ФПЗС. Для удобства анализа такого изображения в состав измерительной установки вводится микрообъектив дифракционного качества. Микрообъектив переносит изображение точки с определенным увеличением в плоскость анализа, куда устанавливается матричный ФПЗС.

Обработка измерительной информации, снимаемой с матричного ФПЗС, сводится к определению в изображении доли энергии, которая попадает в окружности разного диаметра и содержит следующие основные этапы:

1. запись одного кадра изображения в виде bmp-файла;
2. выделение рабочего фрагмента с изображением точки;
3. определение среднего темного уровня сигнала по неосвещенному участку матрицы;
4. пороговая обработка сигнала по среднему темному уровню;
5. вычисление координат энергетического центра изображения;
6. вычисление энергии, попадающей в окружность заданного радиуса, как доли от общей энергии изображения точки.

Усреднение темного сигнала по всем пикселям может давать значительную погрешность. При обработке 8-битным АЦП используется 256 разрядов, это означает, что если сигнал будет составлять менее 1/256 от максимально фиксированного значения, то он будет теряться при обработке, из-за чего при определении размера пятна рассеяния по заданному уровню концентрации энергии измеренная величина будет значительно отличаться от действительной. Поэтому при измерении пятна рассеяния камерой с 8-битной оцифровкой

наблюдаемая энергия будет составлять 80 - 85% от реальной. Тогда возникает необходимость применения при контроле пятна рассеяния приемников излучения с глубиной оцифровки не менее 12 - 16 бит. В этом случае наблюдаемая энергия будет составлять 93 - 98% от реальной.

Получены изображения точек, которые необходимы для дальнейшего расчета концентрации энергии. Используя программу по обработке ФРТ вычислена концентрация энергии в заданном радиусе. Проведя вычисления получили график концентрации энергии в зависимости от расфокусировки для различных точек поля. Для дальнейшего анализа ввели в программу Zemax все данные и условия, при которых проводилось измерение. Необходимые спектральные характеристики источника, приемника и светофильтров, используемых при измерении. Сравнили полученные результаты.

Метод измерений, рекомендуемый действующим стандартом, связан с использованием сменных диафрагм различного диаметра:

- через каждую диафрагму, в зависимости от диаметра, проходит определенная часть оптического излучения, участвующего в формировании анализируемого изображения;
- прошедшее через диафрагму световое излучение, регистрируется на фотоприемнике;
- зависимость энергии светового излучения от диаметра диафрагмы дает ряд значений функции концентрации энергии.

По значениям этой функции можно судить о качестве изготовления объектива.

Данный метод имеет несколько недостатков, среди которых: сложность юстировки всех элементов установки, необходимость большого набора диафрагм и нестабильность источника излучения.

Разработана установка для контроля ФКЭ в объективах звездных датчиков, в ее схеме в качестве приемника выбран фотодиод, разрядность которого, не менее 12. Диафрагмы расположены на одной пластине, что исключает погрешности юстировки по осям Y и Z. Измерения начинаются с установки отверстия, соответствующего размеру нескольких пикселей, указанного в технических условиях на исследуемый объектив. С его помощью находят плоскость наилучшего изображения визуально с помощью объектива и окуляра либо фотоэлектрическим путем по максимальному сигналу с микроамперметра. В этой плоскости выполняются дальнейшие измерения, последовательно увеличивая размер отверстий, пока показания на микроамперметре не достигнут максимума и перестанут увеличиваться. По отношению значений токов, снятых с амперметра, находят коэффициент концентрации энергии в пикселе.

Выводы. В ходе проведенного исследования проанализированы методы измерения концентрации энергии, выявлены их недостатки и пути их устранения. Измерена концентрация энергии в объективе звездного датчика и проведен сравнительный анализ с его моделью в программе Zemax. Разработана установка для контроля концентрации энергии в объективах звездных датчиков с учетом особенностей метода измерений, рекомендуемого действующим стандартом.

Василевская С.А. (автор)

Подпись

Завгородний Д.С. (научный руководитель)

Подпись