

# ИЗМЕРЕНИЕ СВЕТОРАССЕЯНИЯ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ РАДИУСА КРИВИЗНЫ КРАЯ АПЕРТУРНОЙ ДИАФРАГМЫ

А.Н. Бородин, А.Н. Малов, С.А. Чупраков

Иркутский государственный технический университет  
Институт солнечной и земной физики СО РАН

## Аннотация

Экспериментально показано, что при ограничении распространения некогерентного светового пучка непрозрачным металлическим экраном с острой кромкой края экрана энергия рассеянного на крае экрана света будет примерно в два раза больше, чем при рассеянии на выпуклом гладком крае с радиусом кривизны больше 10-15 мм. Причем, если радиус кривизны выпуклого гладкого края экрана уменьшить в три раза, то энергия рассеянного света, попавшего в область тени за экраном, увеличится примерно в 1,3 раза.

При наблюдении объекта через оптическую систему всегда стремятся получить максимально полную информацию о нем. Решить эту задачу часто возможно, обработав информацию физическими методами на этапе прохождения излучения через оптическую систему до фиксации изображения на фотоприемнике.

Для оптических устройств восстановления и преобразования сигналов важно обеспечить не только высокую скорость вычислений, но и минимум дополнительных помех, так как, вследствие некорректности задачи восстановления изображения на выходе устройства обработки сигнала, происходит неизбежное искажение изображения и усиление шумов.

Одним из существенных источников шумов в оптических системах является светорассеяние на поверхностях и внутренних дефектах прозрачных оптических элементов, на границах оправ и фильтрующих элементов, участвующих в формировании изображения. Наибольшую актуальность эти вопросы имеют при наблюдении высококонтрастных объектов, где наиболее информативные участки находятся в поле зрения рядом с источниками, имеющими яркость на несколько порядков превышающую доступный динамический диапазон фотоприемников.

Френелевское представление о дифракции волн [1, 2] встречает затруднения, когда рассматривают дифракцию волн на поглощающей поверхности при распространении волн вдоль неё или при дифракции плавного выпуклого препятствия. Задача распространения электромагнитных волн вдоль поверхности земли была рассмотрена М.А. Леонтовичем и В.А. Фоком в 1944-1946 годах. Это привело к существенному обогащению современных представлений о дифракции. Изменение амплитуды волны при её дифракции вдоль гладкой границы объекта, согласно [3], может быть выражено через «длину скольжения» по поверхности затмевающего экрана:

$$A = A_0 \exp \left[ \frac{\alpha}{2} (s_0 - s) (i - \sqrt{3})^3 \sqrt{\frac{\pi}{\lambda \cdot r^2}} \right], \quad (1)$$

где  $A_0$  – амплитуда падающей волны,  $(s_0 - s)$  – «длина скольжения» до входа в область геометрической тени, на границе которой амплитуда равна исходной  $A_0$ ,  $\alpha$  – коэффициент, учитывающий оптические свойства материала экрана, который зависит от

комплексного показателя преломления, для идеальной проводящей поверхности  $\alpha \approx 1,02$ ,  $r$  – радиус затмевающего экрана,  $\lambda$  – длина волны.

Для понимания процессов светорассеяния, происходящих на краях непрозрачных оптических элементов, необходим простой эксперимент, который позволит получить зависимость величины рассеянного света от радиуса кривизны рассеивающего края. Для этого необходимо иметь набор экранов с цилиндрическими краями, перекрывающими некоторый интервал радиусов. Для лучшего определения зависимости максимальный и минимальный радиусы должны отличаться в 2-3 раза. Подобный эксперимент был проведен для сравнения величины рассеянного света за круглым экраном с острым краем и выпуклым плавным краем радиусом 3 мм [4]. Эксперимент показал заметное уменьшение рассеянного света за экраном с неострым краем (рис. 1).

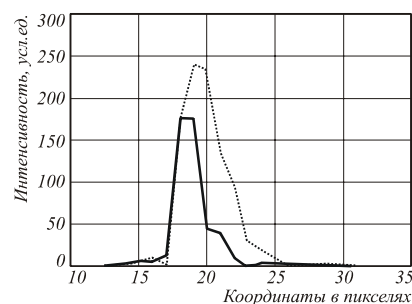


Рис. 1. Интенсивность излучения в изображении края экрана. Сплошная линия соответствует плавному краю, пунктирная – резкому

Для экрана с острым краем не только больше амплитуда, но и шире само изображение. Интегральные интенсивности (площади под кривыми) отличаются примерно в 2 раза. Очевидно явное преимущество элементов оптических элементов с неострым полированным краем.

Достижение заметного эффекта снижения светорассеяния возможно при высоком качестве поверхности экрана, что предполагает усложнение процесса изготовления детали. Поэтому целесообразно в экспериментальных целях изготавливать большое число полированных цилиндрических поверхностей разного радиуса. Без изменения сущности измерений можно использовать одну поверхность с плавно меняющейся кривизной, перекрывающей необходи-

мый диапазон радиусов. Такой поверхностью, удобной для изготовления, может быть конус.

Для эксперимента использовался специально изготовленный конус из нержавеющей стали с диаметрами на краях от 7 до 30 мм и углом  $\sim 11^\circ$ . Конус был отполирован окисью хрома на кожаном и тканевом полировальнике до оптической чистоты. Схема эксперимента показана на рис. 2.

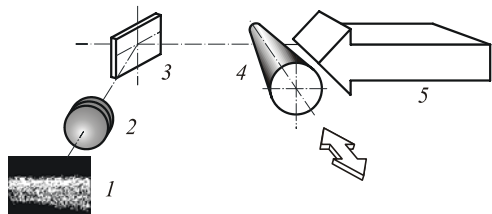


Рис. 2. Оптическая схема измерения: 1 - изображение верхней части конуса; 2 - объектив; 3 - диагональное зеркало, находящееся в тени конуса; 4 - полированный металлический конус с возможностью продольного перемещения; 5 - пучок света от коллиматора

Конус перемещался микрометрическим винтом вдоль прямой параллельной верхней части образующей конуса, изображение которой объективом строилось на матричном фотоприёмнике.

Экспериментальные данные приведены на рис. 3. На графиках видно заметное изменение интенсивности изображения рассеивающего края (1,3 раза и более) при изменении радиуса кривизны в  $\sim 3$  раза.

Первые измерения относительной затмевающей эффективности экранов из нержавеющей стали с закругленным (радиус сечения 3 мм) и острыми краями показали [4], что относительное распределение интенсивности по углу дифракции  $I_{\text{round}} / I_{\text{sharp}}$ , (где  $I_{\text{round}}$  и  $I_{\text{sharp}}$  интенсивности цилиндрического и острого края, соответственно) совпадает с предсказываемой формулой (1). Для интерпретация результатов, использовались данные об угле дифракции для максимума интенсивности, величина которого была принята той же, что и при измерениях интенсивности светорассеяния от дисков [4] В центре диска эта величина составляла  $\approx 0,8^\circ$ .

Поскольку в эксперименте интересовал качественный ход зависимости интенсивности от радиуса сечения экрана и его согласие с теоретическими расчетами, то данные рис. 3 были нормированы на максимальное значение интенсивности (для минимального радиуса) и, соответственно, было подобрано значение  $A_0$  ( $A_0 \approx 1,35$ ). На рис. 4 сплошной линией показан ход теоретической кривой интенсивности для угла  $\approx 0,8^\circ$ , а точками – максимальные значения интенсивностей вертикальных разрезов изображений конуса, каждый разрез совпадает определенному радиусу кривизны поверхности. Соответствие экспериментальных данных теоретическому расчету (максимальный коэффициент корреляции) достигается при  $\alpha \approx 0,76$ .

На параметры оптической системы при формировании изображения можно влиять не только прозрачными элементами, но и элементами, ограничивающими световой пучок. При замене ножевидного края дис-

ка (в сечении) на круглый возможно примерно двукратное ослабление интегрального рассеянного света на одном элементе. При трехкратном изменении кривизны экрана наблюдается 30% изменение максимальной яркости в изображении рассеивающего края.

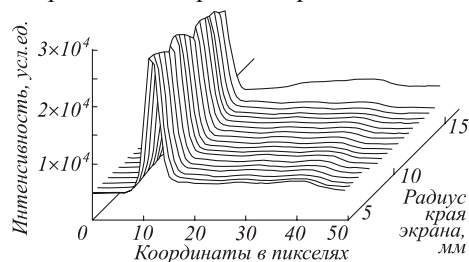


Рис. 3. Изменение интенсивности изображения границы экрана в зависимости от радиуса кривизны его края. График построен из вертикальных сечений изображений конуса, каждое сечение соответствует определенному радиусу кривизны поверхности

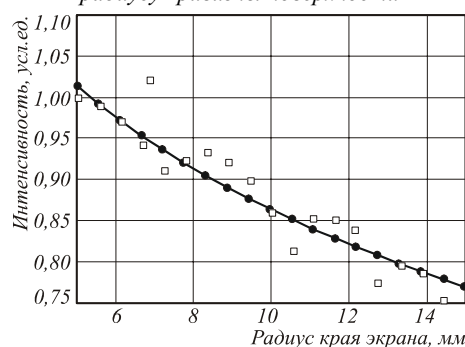


Рис. 4. Сплошной линией показан ход теоретической кривой интенсивности для угла  $\approx 0,8^\circ$ , точками – максимальные значения интенсивностей вертикальных разрезов изображений конуса. Каждый разрез соответствует определенному радиусу кривизны поверхности

Дальнейшие возможности по улучшению характеристик, формируемых оптической схемой изображений, имеются при варьировании материала и формы краев элементов, ограничивающих ход светового пучка. Например, возможно получение необходимых эффектов по выведению паразитного рассеянного света из оптической системы путем получения преимущественного направления рассеяния нанесением металл-диэлектрических покрытий или микрорельефа на рассеивающие края.

### Литература

1. Борн М., Вольф Э. Основы оптики // Пер. с англ. М.: Наука, 1970.
2. Ваганов Р.Б., Кацеленбаум Б.З. Основы теории дифракции // М.: Наука. Главная редакция физико-математической литературы, 1982. - 272 с.
3. Фок В.А. Проблемы дифракции и распространения электромагнитных волн // М.: Наука, 1970.
4. Borodin A.N., Malov A.N., Chuprakov S.A. The installation for scattering light level measurements in the shadow of the coronagraph's external occulting system // "PROCEEDINGS of the Fourth Asia-Pacific Conference Fundamental Problem of Opto- and Microelectronics (APCOM 2004)" – DVGUPS. Khabarovsk. 2004. P. 192-196.