

В15 ВЛИЯНИЕ ДИФРАКЦИИ НА УГЛОВОЕ РАЗРЕШЕНИЕ РАСТРОВЫХ ГОНИОФОТОМЕТРОВ

Лякишева И. В., ООО «Филипс»; Петров В. М., МЭИ (ТУ); г. Москва

Измерение кривых силы света прожекторов методом, основанным на пропорциональной зависимости между силой света и освещенностью (закон квадратов расстояний), часто требует неприемлемо больших расстояний фотометрирования. Альтернативные методы, основанные на определении силы света путем интегрирования яркости по площади проекции светящего тела на плоскость, перпендикулярную заданному направлению, позволяют проводить измерения с малых расстояний [1]. Однако, при этом диаметр входного отверстия фотометра D должен превышать наибольший размер светлой части измеряемого объекта. При измерении КСС больших прожекторов это обстоятельство делает нерациональным применение в гониофотометрах линзовых и зеркальных фотометрических головок, основанных на телецентрическом методе измерения силы света [2].

Более приемлемым выглядит применение трубчатых фотометров, называемых также растровыми или фотометрами коллимированного света. Наиболее известен из них гониофотометр Фредериксена [3], в котором для выделения лучей, распространяющихся в направлении измерения силы света, служит пластина с равномерно расположенными многочисленными отверстиями (трубками). При отсутствии отражения света от стенок трубок проходящие через них лучи отклоняются от направления измерения на углы, не превышающие $\alpha_0 = \arctg(d/l)$, где d – диаметр трубок, l – толщина пластины. Световой поток, прошедший через такой коллиматор, измеряется с помощью сферической интегрирующей приставки с диффузным белым покрытием.

Фотометр Фредериксена, предназначенный для измерения КСС светильников, имел расчетное значение $\alpha_0 \approx 2^\circ$ при $d = 2$ мм. Но из-за отражения света от стенок трубок его фактическая угловая характеристика $\tau(\alpha)$ – зависимость коэффициента пропускания коллиматора от угла падения параллельного пучка лучей – достигала уровня 0,001 от $\tau(0)$ лишь при $\alpha_{0,001} = 3^\circ$ [4].

Световодный эффект в коллиматоре был практически устранен в растровом фотометре [5], в котором лучи, распространяющиеся в направлении измерения силы света, выделялись группой тонких параллельных перфорированных экранов с соосными отверстиями (рис. 1). В прожекторном варианте гониофотометра МЭИ с диаметром отверстий $d=2,2$ мм и расстоянием между крайними экранами $l=700$ мм было достигнуто реальное угловое разрешение $\alpha_{0,001} \approx 15'$ при расчетном значении $\alpha_0 = 11'$.

Дальнейшее усовершенствование растрового фотометра возможно путем замены диффузной интегрирующей полости зеркальным отражателем (например, внеосевым параболическим зеркалом), в фокусе которого расположен приемник излучения [6]. Это позволяет уменьшить число экранов коллиматора, повысить чувствительность фотометра и равномерность его зонной характеристики, уменьшить спектральную селективность интегрирующей полости; при этом требования к качеству интегрирующего отражателя в этом случае существенно ниже, чем к зеркальному объективу упоминавшегося телецентрического фотометра.

В ряде случаев было бы выгодно уменьшить диаметр отверстий d с пропорциональным уменьшением расстояния между ними. При том же угловом разрешении α_0 это позволило бы уменьшить длину коллиматора l , а также практически устранить влияние дискретной структуры раstra при работе с малыми источниками света, например, светодиодами или светоизмерительными лампами, используемыми при калибровке фотометра. Но уменьшение диаметра отверстий d может привести к увеличению дифракции света на них и искажению результатов измерений КСС.

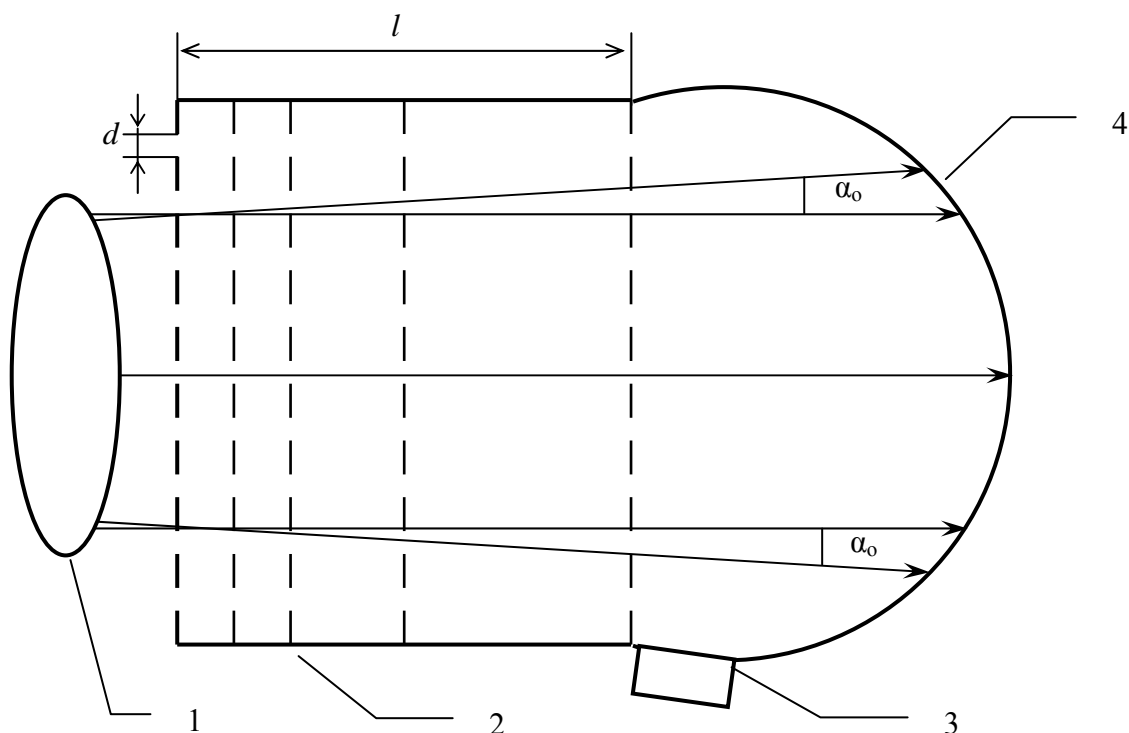


Рисунок 1. Принципиальная схема растрового фотометра МЭИ

1 - измеряемый объект, 2 – коллиматор, 3 – приёмник излучения, 4 – диффузная интегрирующая полость

В данной работе была проведена расчетная оценка влияния дифракции на входных отверстиях коллиматора на угловую характеристику фотометра. Влияние дифракции на отверстиях промежуточных экранов не учитывалось. Сначала, по формуле Френеля-Кирхгофа (1) [7], рассчитывалось распределение освещенности на плоскости выходного отверстия при прохождении параллельного пучка лучей через входное отверстие (**рис. 2**). Здесь P1 – точечный монохроматический источник; P0 – точка, в которой определяется световое возмущение; W – сферический волновой фронт. Линейные размеры отверстия велики по сравнению с длиной волны света, но малы по сравнению с расстояниями от P1 и P0 до экрана.

$$U(P0) = \frac{-i \cdot A}{2\lambda} \cdot \int \frac{e^{i \cdot k \cdot (r+s)}}{r \cdot s} \cdot (\cos(n, r) - \cos(n, s)) \cdot dS \quad (1)$$

где

k – волновое число,

A – амплитуда возмущения,

dS – элемент волновой поверхности.

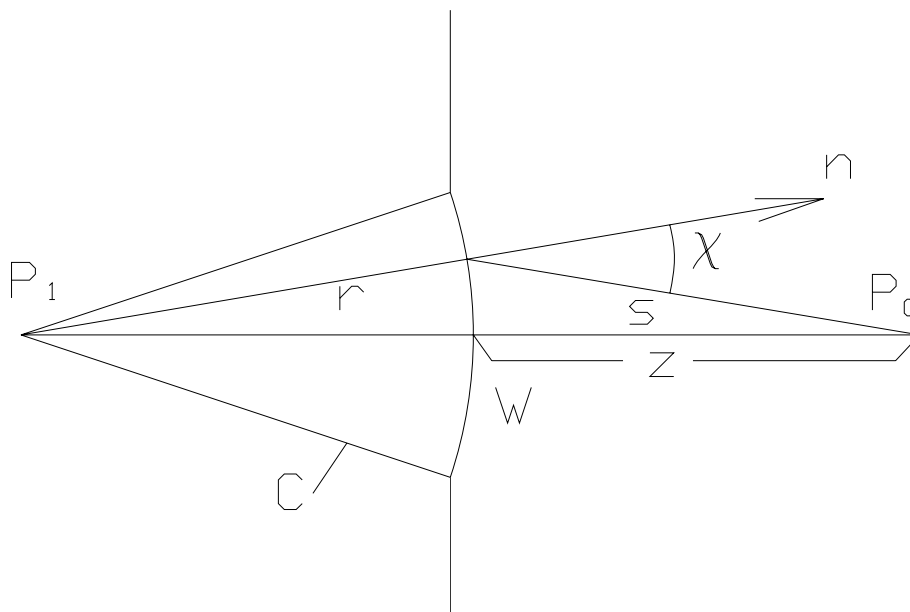


Рисунок 2. Дифракция света на круглом отверстии

Предполагалось, что при изменении угла падения в рассмотренных пределах полученное распределение освещенности (**рис. 3**) не изменяется, а лишь смещается относительно выходного отверстия.

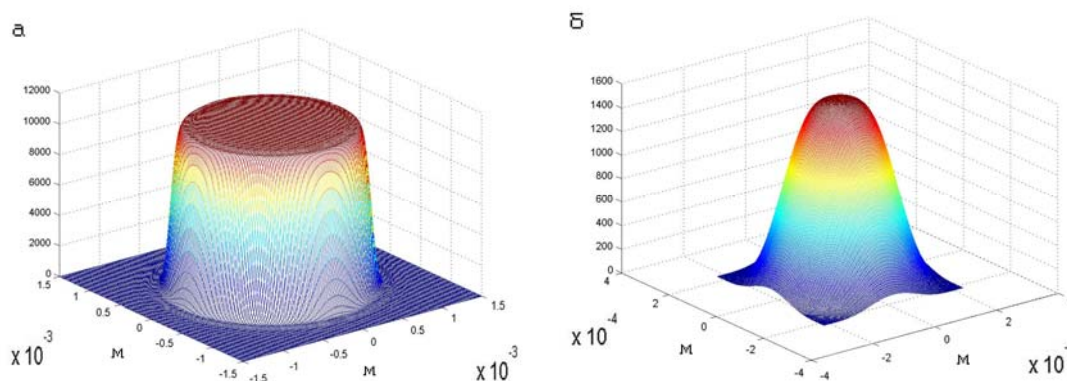


Рисунок 3. Распределение освещенности на выходном экране с учетом дифракции света на входном отверстии (отн. ед.). $\alpha_0 = \text{const}$; $\lambda = 500 \text{ нм}$. а) $d = 2 \text{ мм}$; б) $d = 0,3 \text{ мм}$

Далее рассчитывалась зависимость потока, прошедшего через выходное отверстие, от угла падения пучка - свёртка полученного распределения освещённости с двумерной П-образной функцией. Было установлено, что при уменьшении диаметра отверстия до 1 мм дифракция света с $\lambda = 500 \text{ нм}$ практически не влияет на угловую характеристику фотометра (**рис. 4**). При диаметре 0,3 мм эта характеристика заметно расширяется, а избирательность фотометра несколько ухудшается. Одновременно может возрасти влияние отражения света от цилиндрической поверхности отверстий, диаметр которых при $d < 1 \text{ мм}$ становится соизмеримым с толщиной экранов.

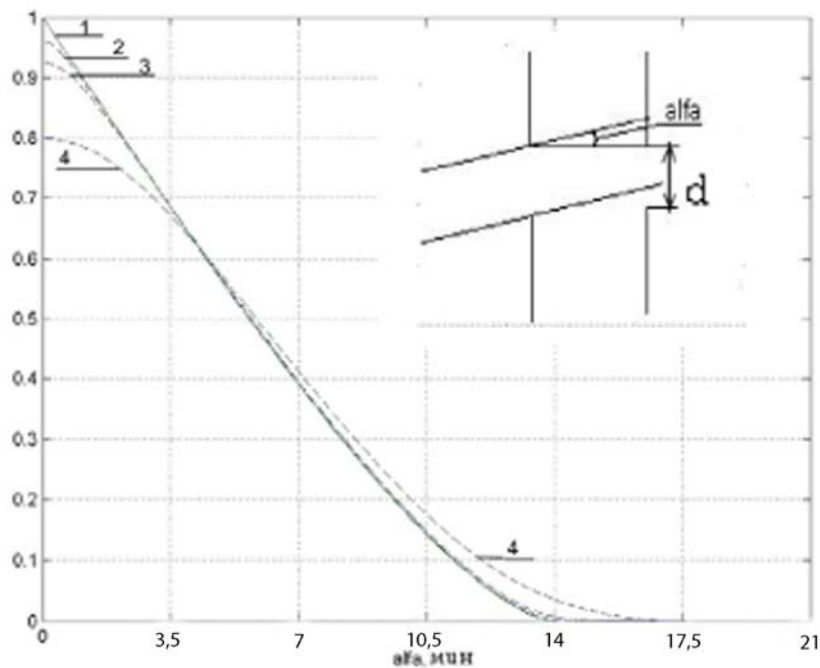


Рисунок 4. Нормированные угловые характеристики фотометра (отн. ед.) без учёта (1) и с учетом дифракции: 2 - $d=2$ мм; 3 - $d=1$ мм; 4 - $d=0,3$ мм $\alpha_0 = \text{const}$; $\lambda=500$ нм

Литература:

1. The measurement of absolute luminous intensity distributions. Publication CIE №70. 1987.
2. Телецентрический метод измерения силы света. В книге Гершун А.А. "Избранные труды по фотометрии и светотехнике". Москва, 1958. С.211-217.
3. Frederiksen E. Unidirectional-sensitive photometer. Light and Lighting. Vol. 60. 1967. p. 46-48.
4. Frederiksen E. The collimated light photometer. Licht-Forschung, 4. 1982. № 1. p.1-11.
5. Петров В.М. Растровый гониофотометр для измерения силы света световых приборов на малых расстояниях. Светотехника. 1984, №3. С.10-12.
6. Патент РФ № 2006799. Гониофотометр. Алексеев Е.А., Глебов Б.Н., Елисеев Н.П., Курочкин Д.В., Петров В.М.
7. Борн М., Вольф Э. Основы оптики. – М.: Наука, 1973.