

УДК 621.397

И.Н. Пустынский

## Уточнение зависимости освещённости оптического изображения от освещённости объекта в телевизионных датчиках

Приведены результаты исследований по уточнению зависимости освещённости оптического изображения в телевизионных датчиках от освещённости объекта (сцены). Уточнение связано с более строгим определением телесного угла с учетом специфики прикладного, в том числе измерительного телевидения.

**Ключевые слова:** освещённость, телесный угол, объект, сцена, оптическое изображение, телевизионный датчик, телевидение

Под телевизионным датчиком подразумевается преобразователь световой энергии, излучаемой объектом или отражаемой от него, в электрический сигнал. Чаще всего телевизионный датчик включает в себя объектив и передающую трубку или её твердотельный аналог (матричные ПЗС или КМОП – фотоприёмники), а также предварительный видеоусилитель. Однако в настоящее время в состав телевизионных датчиков для повышения их чувствительности довольно часто входят и оптико-электронные преобразователи.

Зависимость освещённости оптического изображения  $E_{из}$  от освещённости объекта (сцены)  $E_{об}$  обычно определяют по формуле [1–3]

$$E_{из} = E_{об} \frac{\rho \tau \theta^2}{4(1+\beta)^2}, \quad (1)$$

где  $\rho$  – коэффициент отражения,

$\tau$  – коэффициент прозрачности объектива,

$\theta = D/f'$  – относительное отверстие объектива (здесь  $D$  и  $f'$  – соответственно диаметр входного зрачка и фокусное расстояние объектива),

$\beta$  – линейный масштаб изображения (коэффициент увеличения системы).

Формула (1) получена следующим образом.

Элементарный световой поток, излучаемый или отражаемый перпендикулярной к оптической оси площадкой  $dS_{об}$  и захватываемый объективом, определяется выражением [4]

$$d\Phi_{об} = L_{об} dS_{об} \Omega, \quad (2)$$

здесь  $L_{об}$  – яркость площадки,

$\Omega$  – телесный угол, под которым из центра площадки  $dS_{об}$  «виден» входной зрачок объектива.

Величина светового потока, прошедшего сквозь объектив и попадающего на светочувствительный слой передающей трубки или её твердотельного аналога, равна

$$d\Phi_{из} = d\Phi_{об} \tau. \quad (3)$$

Освещённость элементарной площадки  $dS_{из}$

$$E_{из} = \frac{d\Phi_{из}}{dS_{из}}. \quad (4)$$

С учетом выражений (2) и (3) формула (4) принимает вид

$$E_{из} = L_{об} \frac{dS_{об}}{dS_{из}} \Omega. \quad (5)$$

Поскольку при диффузном отражении объекта яркость связана с его освещённостью соотношением

$$L_{об} = E_{об} \frac{\rho}{\pi},$$

выражение (5) можно записать в виде

$$E_{из} = E_{об} \frac{\rho\tau}{\pi} \frac{dS_{об}}{dS_{из}} \Omega. \quad (6)$$

Из уравнения Гаусса

$$\frac{f'}{a'} + \frac{f}{a} = 1$$

(здесь  $a$  и  $a'$  – соответственно расстояние от объектива до объекта и от объектива до изображения объекта, рис. 1) при  $f' = f$  следует, что

$$a = \frac{f(1+\beta)}{\beta}, \quad (7)$$

где  $\beta = \sqrt{dS_{из} / dS_{об}}$ .

Тогда

$$E_{из} = E_{об} \frac{\rho\tau}{\pi\beta^2} \Omega, \quad (8)$$

или

$$E_{из} = L_{об} \tau \frac{1}{\beta^2} \Omega.$$

Основное отличие имеющихя зависимостей освещённости изображения от освещённости или яркости объекта связано с определением телесного угла  $\Omega$ .

Широко известная формула (1) получена при условии, что телесный угол равен [4]

$$\Omega = \Omega_1 \approx \frac{\pi D^2}{4a^2}.$$

Это можно считать допустимым лишь при  $D \ll a$ .

Если в системах вещательного телевидения условие  $D \ll a$  практически всегда выполняется, то в системах прикладного (в том числе измерительного) телевидения это условие выполняется далеко не всегда и величины  $D$  и  $a$  часто бывают соизмеримыми.

С учетом формулы (7) получаем:

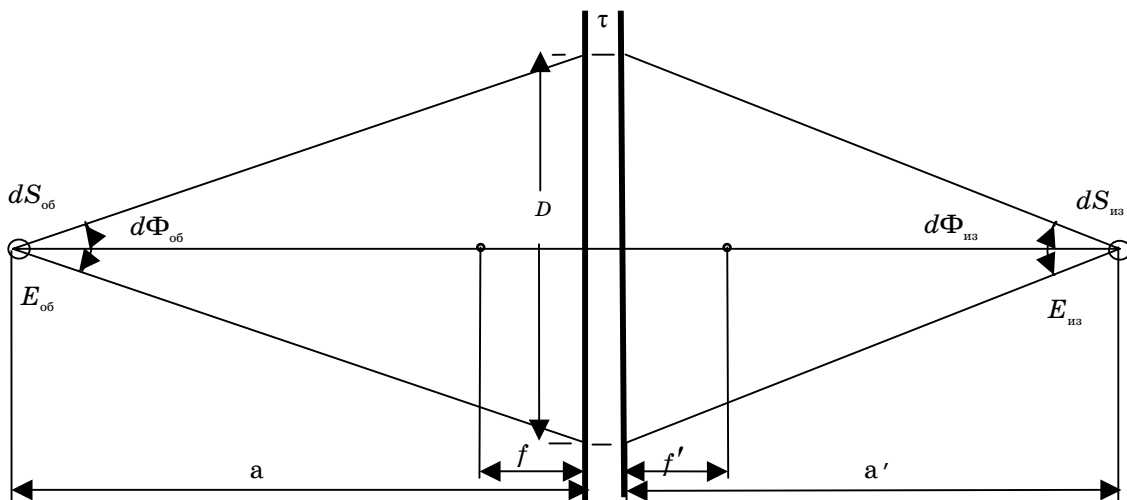


Рис. 1. К определению зависимости освещённости оптического изображения объекта от освещённости объекта (сцены)

$$\Omega_1 = \frac{\pi\theta^2\beta^2}{4(1+\beta)^2},$$

или

$$\Omega_1 = \pi d^2, \quad (9)$$

где  $d = \frac{\theta\beta}{2(1+\beta)}$  – отношение радиуса входного зрачка объектива к расстоянию от объектива до объекта.

В работе [5] значение телесного угла принято равным

$$\Omega_2 \approx \frac{\pi d^2}{1+d^2}. \quad (10)$$

Нами предлагается использовать «точное» значение телесного угла, которое с учётом данных, приведённых в работе [6] для шарового сегмента сферы, получается равным

$$\Omega_3 = 2\pi\left(1 - \cos\frac{\alpha}{2}\right),$$

где  $\alpha$  – плоский угол вершины конуса.

Расчёты показывают, что

$$\Omega_3 = 2\pi\left[1 - \frac{1}{\sqrt{1+d^2}}\right]. \quad (11)$$

Введем в формулу (8) значения  $\Omega_1$ ,  $\Omega_2$  и  $\Omega_3$  из формул (9), (10) и (11), тогда получим

$$E_{из1} = E_{об} \frac{\rho\tau}{\beta^2} d^2, \quad (12)$$

$$E_{из2} = E_{об} \frac{\rho\tau}{\beta^2} \frac{d^2}{1+d^2}, \quad (13)$$

$$E_{из3} = E_{об} \frac{\rho\tau}{\beta^2} 2\left[1 - \frac{1}{\sqrt{1+d^2}}\right]. \quad (14)$$

Зависимости величин  $A_1 = d^2$ ,  $A_2 = \frac{d^2}{1+d^2}$  и  $A_3 = 2\left[1 - \frac{1}{\sqrt{1+d^2}}\right]$  приведены на рисунке 2,

из которого видно, насколько они отличаются. Например, при  $d = 1,0$  погрешности определения освещённостей по приближенным формулам (12) и (13) по сравнению с полученной формулой (14) составляют соответственно +70,7 и -17,2%.

При расчётах необходимо также учитывать, что по мере удаления площадки  $dS_{об}$  от оптической оси системы освещённость изображения падает [4] в соответствии с формулой

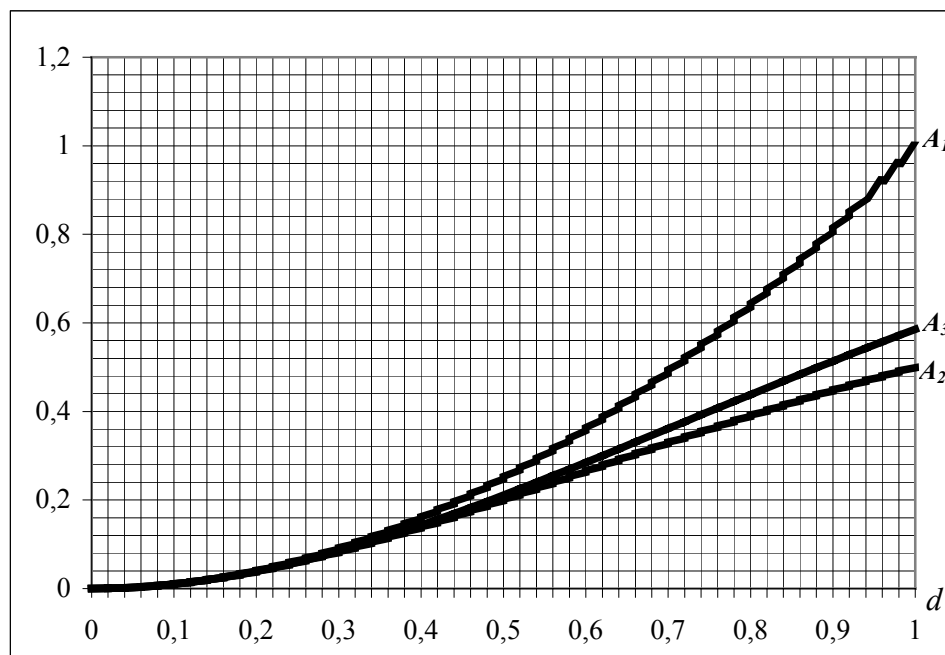
$$E_{из\omega} = E_{из} \xi(\omega) \cos^4 \omega, \quad (15)$$

где  $E_{из0}$  – освещённость изображения центра площадки на побочной оси системы под углом  $\omega$  к оптической оси системы,

$\xi(\omega)$  – коэффициент виньетирования, т.е. ограничения пучка наклонных лучей в объективе, который обычно определяется экспериментально.

Виньетирование наиболее заметно сказывается при малых углах зрения, а падение освещённости по закону  $\cos^4 \omega$  – при углах более  $60^\circ$ , хотя имеются разработки широкоугольных объективов с показателями степени у  $\cos \omega$  три и менее [4].

Исследования по возможному уточнению зависимости (15) следует провести дополнительно.

Рис. 2. Зависимости величин  $A_1$ ,  $A_2$ ,  $A_3$  от значения  $d$ 

### Литература

1. Быков Р.Е. Основы телевидения и видеотехники: учебник для вузов. – М. : Горячая линия-Телеком, 2006. – 399 с.
2. Телевидение : учебник для вузов / В.Е. Джакония, А.А. Гоголь, Я.В. Друзин и др. / под ред. В.Е. Джаконии. – 3-е изд., перераб. и доп. – М. : Радио и связь, 2004. – 616 с.
3. Казанцев Г.Д. Измерительное телевидения : учебное пособие для вузов / Г.Д. Казанцев, М.И. Курячий, И.Н. Пустынский. – М. : Высшая школа, 1994. – 288 с.
4. Бабенко В.С. Оптика телевизионных устройств. – М. ; Л. : Энергия, 1964. – 256 с.
5. Мирошников М.М. Теоретические основы оптикоэлектронных приборов : учебное пособие для вузов. – Л. : Машиностроение, 1977. – 600 с.
6. Бронштейн И.Н. Справочник по математике для инженеров и учащихся втузов / И.Н. Бронштейн, К.А. Семендяев. – М. : Госиздат технико-теоретической литературы, 1955. – 608 с.

### Пустынский Иван Николаевич

Доктор техн. наук, профессор, зав. кафедрой телевидения и управления ТУСУРа

Тел.: (3822) 41-34-23

Эл. почта: in@tu.tusur.ru

I.N. Pustynsky

### Specification of dependence light exposure of the optical image from light exposure of object in television gauges

Results of researches on specification of dependence light exposure of the optical image in television gauges from light exposure of object (scene) are resulted. Specification is connected with more strict definition of a space angle for applied, including measuring TV.

**Keywords:** light exposure, space angle, object, scene, the optical image, the television gauge, TV.