

А. М. ЯКОБСОН

КОНТРАСТНАЯ ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТЬ ГЛАЗА И ЕЕ СВЯЗЬ С КВАНТОВЫМИ ФЛУКТУАЦИЯМИ СВЕТА И ХАРАКТЕРИСТИКАМИ ЗРЕНИЯ

Как было показано ранее [4, 6], зависимость порогового контраста от яркости фона и угловых размеров объекта может быть получена на основе учета квантовых флуктуаций света. Установленные в этих работах соотношения не дают количественной оценки порогового контраста, необходимого для обнаружения объекта с заданной вероятностью. Кроме того, в указанных работах исходят из предположения, что среднеквадратичная флуктуация числа световых квантов, испускаемых элементом наблюдаемого изображения, равна квадратному корню из числа световых квантов. Это справедливо только в том случае, когда система, на выходном экране которой возникает наблюдаемое изображение, не вносит дополнительных «шумов».

Настоящая работа посвящена теоретическому определению порогового контраста в зависимости от вероятности обнаружения, оптических характеристик объекта наблюдения и глаза, а также от наличия дополнительных «шумов» изображения, вносимых системой визуализации. Согласно ионной теории возбуждения зрительных процессов [1], при достижении пороговой концентрации ионов в светочувствительных клетках происходит возбуждение зрительного нерва. Эту волну возбуждения можно рассматривать как электрический разряд, который иногда называют нейроквантом. Предположим, что зрительный анализатор мозга устанавливает некоторый «уровень отсечки» разности световых возбуждений соседних элементов сетчатки таким образом, чтобы нулевые (при нулевом контрасте изображения) колебания этой разности не обнаруживались с вероятностью P . Это соответствует вероятности ложного сигнала $P_d = 1 - P$.

В предположении нормального закона распределения вероятностей амплитуд нулевых колебаний получим:

$$P_d = \frac{1}{\sigma_0 \sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{-\varphi} \exp\left[-\frac{\Delta N^2}{2\sigma_0^2}\right] d(\Delta N) + \frac{1}{\sigma_0 \sqrt{2\pi}} \int_{\varphi}^{\infty} \exp\left[-\frac{\Delta N^2}{2\sigma_0^2}\right] d(\Delta N),$$

где ΔN — амплитуда нулевого колебания разности световых возбуждений соседних элементов сетчатки глаза. $\sigma_0 = \sqrt{(\Delta N)^2}$.

Отсюда сразу находим

$$\varphi = x_d \cdot \sigma_0, \quad (1)$$

где x_d — корень уравнения: $P = 1 - P_d = 2 \Phi(x_d)$.

Здесь

$$\Phi(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_0^x e^{-\frac{t^2}{2}} dt \text{ — функция Гаусса.}$$

В рассматриваемой модели физиологическое ощущение границы между соседними элементами сетчатки возникает только тогда, когда разность числа нейроквантов этих элементов превысит «уровень отсечки» φ .

Вероятность этого события, т. е. вероятность обнаружения объекта наблюдения P_0 , может быть найдена из следующего соотношения:

$$P_0 = \frac{1}{\sigma \sqrt{2\pi}} \left\{ \int_{\varphi}^{\infty} \exp \left[-\frac{(\Delta N - \overline{\Delta N})^2}{2\sigma^2} \right] d(\Delta N) + \right. \\ \left. + \int_{-\infty}^{-\varphi} \exp \left[-\frac{(\Delta N - \overline{\Delta N})^2}{2\sigma^2} \right] d(\Delta N) \right\},$$

где $\overline{\Delta N}$ — среднее значение разности световых возбуждений двух соседних элементов сетчатки.

σ — среднеквадратичное отклонение ΔN от $\overline{\Delta N}$.

Считая для определенности $\overline{\Delta N} > 0$, можно показать, что в практически интересных случаях второй интеграл в (5) пренебрежимо мал по сравнению с первым интегралом. Тогда

$$P_0 = \frac{1}{2} + \Phi \left[\frac{\overline{\Delta N} - \varphi}{\sigma} \right].$$

Задаваясь определенной вероятностью обнаружения объекта наблюдения, найдем следующее соотношение между $\overline{\Delta N}$ и σ (см. также (1)):

$$\overline{\Delta N} = x_0 \sigma + x_d \sigma_0, \quad (2)$$

где x_0 — корень уравнения: $P_0 = \frac{1}{2} + \Phi(x_0)$.

При небольших контрастах объекта наблюдения значения σ и σ_0 близки друг к другу и соотношение (2) можно записать в виде

$$\overline{\Delta N} \approx \sigma \cdot x, \quad \text{где } x = x_0 + x_d. \quad (3)$$

Как будет показано ниже, без учета собственной нерезкости глаза величина $\overline{\Delta N}$ пропорциональна контрасту «К» оптического изображения наблюдаемого объекта. Соотношение (3) позволяет оценить пороговый контраст при заданной вероятности обнаружения в зависимости от контраста при $P_0 = 0,5$:

$$\frac{(K)_{P_0}}{(K)_{P_0=0,5}} = 1 + \frac{z_0}{z_1} = \frac{z}{z_1} \quad (4)$$

В соответствии с литературными данными [2], примем следующее значение вероятности ложного сигнала: $P_{\lambda} \approx 0,02$ (2%).

Согласно (2) таблицам функции Гаусса, найдем $z_1 = 2,3$.

В табл. 1 приведены значения z_0 и z , соответствующие различным вероятностям обнаружения объекта. Так же даны отношения $(K)_{P_0}/(K)_{P_0=0,5}$, рассчитанные по формуле (4).

Таблица 1

Вероятность обнаружения P_0	0,5	0,75	0,90	0,95	0,99
z_0	0	0,68	1,30	1,6	2,3
$z = z_1 + z_0$	2,3	3,0	3,6	3,9	4,6
$(K)_{P_0}/(K)_{P_0=0,5}$	1	1,3	1,6	1,7	2

Выразим далее $\Delta \bar{N}$ и σ_0 через оптические характеристики объекта наблюдения и глаза. На изображение объекта в плоскости сетчатки глаза за некоторый интервал времени τ падает в среднем $\bar{p}_0$ эффективных световых квантов:

$$\bar{p}_0 = \bar{\mu}_0 \vartheta; \quad \bar{\mu}_0 = (1 + K) B_0 \nu \tau, \quad (5)$$

где $\bar{\mu}_0$ — среднее число световых квантов, испускаемых за время τ с элемента экрана площадью S , имеющего яркость B_0 .
 ϑ — эффективный коэффициент сбора светового потока оптической системы глаза.

B_0, B — средние значения яркости пятна и фона (нт).

$K = \frac{B_0 - B}{B}$ — среднее значение контраста изображения.

S — площадь наблюдаемого на экране пятна.

ν — среднее число световых квантов, испускаемых за 1 секунду с 1 см^2 экрана яркостью 1 нит. Для света с длиной волны $0,555 \text{ мк}$, испускаемого по закону Ламберта, $\nu \approx 1,3 \cdot 10^{12} \frac{\text{квант}}{\text{сек. см}^2}$. Ве-

личину интервала накопления (усреднения) τ примем равной времени инерции глаза [2].

Таблица 2

Яркость фона B , в нит.	10^{-4}	10^{-3}	10^{-2}	0,1	1	10	100	1000
Время инерции глаза τ сек	0,20	0,19	0,17	0,13	0,10	0,066	0,051	0,050

При полной адаптации глаза на наблюдаемую яркость процесс образования отрицательных ионов в сетчатке глаза становится стационарным. Исходя из условия стационарности процесса, установим связь меж-

ду средним числом световых квантов $\bar{p}_0$, попадающих за время τ на элемент сетчатки, и средним числом $\bar{q}_0$ ионов, расположенных в рассматриваемом элементе сетчатки. С учетом процессов рекомбинации ионов и регенерации светочувствительного вещества клеток сетчатки можно записать следующее уравнение для скорости образования ионов:

$$\frac{d\bar{q}_0}{dt} = a_0\bar{p}_0 - a_1\bar{q}_0 - a_2\bar{q}_0^2, \text{ где } a_0; a_1; a_2 \text{ — постоянные коэффициенты.}$$

В стационарном режиме $\left(\frac{d\bar{q}_0}{dt} = 0\right)$ получим:

$$\bar{q}_0 = \frac{a_1}{2a_2} \left\{ \sqrt{1 + \frac{4a_0a_2\bar{p}_0}{a_1^2}} - 1 \right\}.$$

Обозначая пороговое число ионов, необходимое для возбуждения одного нейрокванта индексом b , найдем следующее выражение для среднего числа нейроквантов $\bar{N}_0$, возникающих за время τ в элементе сетчатки, несущем на себе изображение объекта.

$$\bar{N}_0 = \frac{a_1\bar{q}_0}{b} = \frac{a_1^2}{2ba_2} \left\{ \sqrt{1 + \frac{4a_0a_2\bar{p}_0}{a_1^2}} - 1 \right\}.$$

При малых значениях $\bar{p}_0$ из последнего выражения получим

$$\bar{N}_0 \approx \frac{a_0}{b} \bar{p}_0 \quad \left(\bar{p}_0 \ll \frac{a_1^2}{4a_0a_2} \right). \quad (6)$$

Так как в соответствии с экспериментальными результатами Н. И. Пинегина [3] в области малых яркостей для возбуждения одного нейрокванта требуется около 10 фотонов, соотношение (6) представим в виде:

$$\bar{N}_0 \approx 0,1 \bar{p}_0. \quad (7)$$

Для произвольных яркостей получим:

$$\bar{N}_0 \approx \frac{0,2}{C} \left\{ \sqrt{1 + C\bar{p}_0} - 1 \right\}, \quad (8)$$

где C — постоянная, значение которой может быть найдено из сравнения расчетных и экспериментальных кривых при высоких яркостях объекта.

Среднее число нейроквантов $\bar{N}$, возникающих за время τ в фоновом элементе сетчатки, может быть получено из (8) при $K=0$. Среднее значение $\overline{\Delta N}$ разности числа нейроквантов, возникающих за время τ на двух соседних элементах сетчатки при малом контрасте изображения, запишется на основе (8) в виде:

$$\overline{\Delta N} = \bar{N}_0 - N \approx \frac{0,1 K \bar{\mu} \vartheta}{V 1 + C \bar{\mu} \vartheta}; \quad k \ll 1, \quad (9)$$

где $\bar{\mu} = BvS\tau$ — среднее число световых квантов, испускаемых за время τ с элемента экрана площадью S , имеющего яркость B .

Среднеквадратичная флуктуация разности числа нейроквантов двух соседних элементов сетчатки имеет следующее выражение:

$$\sigma^2 = \sigma_{N_0}^2 + \sigma_N^2, \quad (10)$$

где σ_{N_0} и σ_N — среднеквадратичные флуктуации чисел нейроквантов N_0 и N .

Считая нейрокванты вторичными «частицами», образованными в результате взаимодействия с сетчаткой глаза первичных световых квантов, положим, что вероятность образования λ нейроквантов под действием одного светового кванта, испущенного с элемента экрана, равна $P(\lambda)$, тогда справедливо:

$$\bar{N}_0 = \bar{\lambda} \cdot \bar{\mu}_0; \sigma_{N_0}^2 = (\bar{\lambda})^2 \sigma_{\mu_0}^2 + \bar{\mu}_0 \cdot \sigma_{\lambda}^2, \quad (11)$$

где σ_{N_0} ; σ_{μ_0} ; σ_{λ} — среднеквадратичные флуктуации N_0 ; μ_0 и λ .

Полагая далее, что $P(\lambda) = 0$ при $\lambda > 1$, получим:

$$\sigma_{\lambda}^2 = \bar{\lambda}(1 - \bar{\lambda}) \quad \text{где} \quad \bar{\lambda} = P(1). \quad (12)$$

В том случае, когда флуктуации световых квантов, испускаемых экраном, имеют чисто статистическую природу, можно записать

$$\sigma_{\mu_0}^2 = \bar{\mu}_0. \quad (13)$$

При наличии дополнительных источников «шума» экрана выражение (18) можно представить в более общем виде:

$$\sigma_{\mu_0}^2 = \bar{\mu}_0(1 + \eta) \quad \text{где} \quad \eta \geq 0 \text{ — коэффициент „шума“}. \quad (14)$$

Таким образом, согласно (11) и (14), получим:

$$\sigma_{N_0}^2 = N_0(1 + \eta \bar{\lambda}). \quad (15)$$

Сравнивая (7), (11) и (15), найдем, что в области линейной связи между $\bar{N}_0$ и $\bar{\mu}_0$ справедливо:

$$\bar{\lambda} = 0,1 \vartheta; \sigma_{N_0}^2 = \bar{N}_0(1 + 0,1 \vartheta \cdot \eta). \quad (16)$$

В области нелинейной связи между $\bar{N}_0$ и $\bar{\mu}_0$ [см. (18)] при $K \ll 1$ в первом приближении можно записать:

$$\sigma_{N_0}^2 \approx \bar{N}_0 \left[1 + \frac{0,1 \vartheta \eta}{V 1 + c \vartheta \bar{\mu}_0} \right]. \quad (17)$$

При малых $\bar{\mu}_0$ (17) совпадает с (16). Значение σ_N может быть получено из (17) при $K = 0$; для контрастов значения σ_{N_0} и σ_N мало отличаются друг от друга:

$$\sigma_{N_0} \approx \sigma_N \approx 0,5 \sigma. \quad (18)$$

Подставив соотношения (9), (17) и (18) в формулу (3), после несложных преобразований найдем величину порогового контраста K :

$$K \approx \frac{4,5 x}{V \vartheta \cdot \bar{\mu}} \cdot F(x) \cdot \sqrt{1 + \frac{0,1 \vartheta \eta}{V 1 + x}},$$

где

$$F(x) = \sqrt{\frac{2(1+x)}{x}} \left[\sqrt{1+x} - 1 \right]; \quad x = c \cdot \vartheta \bar{\mu}.$$

С ошибкой меньше 15% можно положить $F(x) \approx \sqrt[4]{1+4x}$.

При небольших контрастах изображения получим:

$$K \approx \frac{4,5 \times}{\sqrt{\gamma BS}} \sqrt[4]{1 + 4c\gamma BS} \cdot \sqrt{1 + \frac{0,1 \vartheta \cdot \eta}{\sqrt{1 + c \cdot \gamma BS}}}, \quad (19)$$

где $\gamma = v \cdot \tau \cdot \vartheta$.

При вычислении эффективного коэффициента сбора светового потока оптической системой глаза определим сначала долю светового потока, попадающего на зрачок глаза от одного элемента экрана, излучающего

свет, по закону Ламберта $\vartheta' = \frac{d^2}{4R^2}$.

Где: ϑ' — доля светового потока, попадающая на зрачок,

d — диаметр зрачка,

R — расстояние экрана от глаза наблюдателя.

Оптимальным значением R , соответствующим минимальному утомлению глаза, является величина [2] $R \approx 25$ см. На основании обобщения экспериментальных результатов многих авторов Крауфордом [2] установлена следующая связь между диаметром зрачка (мм) и яркостью в нитах:

$$d = 5 - 3 \lg(0,4 \lg B).$$

Далее известно, что лучи света, попавшие на сетчатку через периферию зрачка, имеют меньшую эффективность, чем лучи, попавшие в то же место сетчатки через центр зрачка (Эффект Стайлса-Крауфорда). Указанный эффект, согласно Муну и Спенсеру [2], можно учесть введением эффективного диаметра зрачка d_3 .

$$d_3^2 = d^2 (1 - 0,0106 d^2 + 0,000042 \cdot d^4).$$

Учитывая также коэффициент пропускания света оптической системой глаза и зависимость эффективности воздействия света на сетчатку от его спектрального состава, получим окончательно следующее выражение для эффективного коэффициента сбора светового потока ϑ с ламбертовой излучающей поверхностью:

$$\vartheta = \zeta \cdot \chi \cdot \frac{d_3^2}{4R^2}, \quad (20)$$

где ζ — относительная спектральная чувствительность глаза к наблюдаемому свету;

χ — коэффициент пропускания оптических сред глаза.

При $\lambda = 0,555$ мк, $\chi = 0,58$; то же самое значение χ получается для источника типа А [2]. Значения ϑ для различных яркостей при

$\lambda = 0,555$ мк, рассчитанные по формуле (20), представлены в табл. 3. Там же даны значения величины $\gamma = \vartheta \cdot \nu \cdot \tau$.

Таблица 3

Яркость фона В, нит.	10^{-4}	10^{-3}	10^{-2}	0,1	1	10	160	1000
Эффективный коэффициент сбора светового потока $\vartheta \cdot 10^5$	7,4	7,2	6,9	5,5	4,4	3,1	1,9	1,4
$\gamma \cdot 10^{-6}$	19	18	15	9,3	5,7	2,7	1,3	0,91

При наблюдении экрана с помощью лупы выходной зрачок, который больше d_2 , можно считать, что ϑ увеличивается в β^2 раз, где β — коэффициент увеличения лупы.

Для 50% вероятности обнаружения объекта наблюдения ($\chi = \chi_d = 2,3$) при отсутствии дополнительных „шумов“ экрана ($\eta = 0$) представим формулу (19) в несколько измененной форме, выразив S см² через α^2 , где α — угловой размер объекта наблюдения с расстояния $R \approx 25$ см:

$$K \sqrt{\gamma B \alpha^2} = 1,6 \cdot 10^3 \sqrt[4]{1 + 1,6 \cdot 10^{-4} c \gamma B \alpha^2}. \quad (21)$$

Из последнего соотношения следует, что в области $1,610^{-4} c \gamma B \alpha^2 \lesssim 1$ с ошибкой, не превышающей 20%, произведение $K \sqrt{\gamma B \alpha^2}$ постоянно и равно $1,6 \cdot 10^3$.

На рис. 1 точками нанесены значения величины $K \sqrt{\gamma B \alpha^2}$, рассчитанные по экспериментальным данным Блэкуэлла [5], в области $10_{\text{нт}}^{-4} \leq B \leq 10_{\text{нт}}^3$ при $\alpha = 10, 18, 55$ и 121 минута и $P_0 = 0,5$ (50%). Учитывались при этом только значения K, не превышающие 60%. На том же рисунке нанесена теоретическая прямая: $K \sqrt{\gamma B \alpha^2} = 1,610^3$.

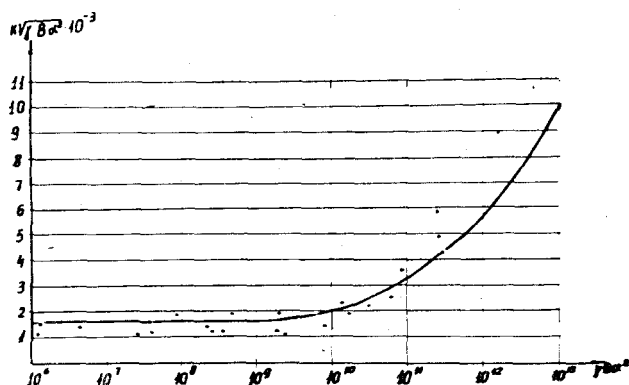


Рис. 1. Зависимость порогового контраста глаза от размера объекта и яркости фона.

В области $\gamma B \alpha^2 \lesssim 6 \cdot 10^9$ экспериментальные точки соответствуют теоретической прямой со среднеквадратичной ошибкой 20%. Исходя из этого, положим $C \approx 10^{-6}$. Теоретическая кривая (21) в области $\gamma B \alpha^2 \gtrsim 10^{12}$ заметно отклоняется от экспериментальных значений, так как теория Биологический журнал Армении, XXII, № 1—5

не дает минимума порогового контраста при $B \sim 10^3 - 10^4$ нит. В рамках рассматриваемой модели минимум по-видимому можно получить, если учесть уменьшение ϑ при больших яркостях за счет экранирования светочувствительных клеток темным пигментом—фусцином [2]. Теория не дает также удовлетворительного результата при $\alpha < 5'$, так как в этом случае необходимо учитывать частотно-контрастную характеристику глаза. При выводе полученных выше формул предполагалось, что объект наблюдения представляет собой равномерное пятно, причем граница между пятном и фоном абсолютно резкая.

Для того чтобы воспользоваться полученными выше результатами в случае размытого изображения наблюдаемого объекта, введем понятия эффективного контраста $K_{\text{эф}}$ и эффективного радиуса $r_{\text{эф}}$ размытого изображения круглого пятна, контраст которого изменяется по закону $K(r)$. Для этого рассмотрим средние значения контраста изображения, наблюдаемого пятна в областях $0 \leq r \leq r_1$ и $r_1 \leq r \leq \sqrt{2} r_1$, где r_1 — некоторое фиксированное значение r

$$\bar{K}(r_1) = \frac{2}{r_1^2} \int_0^{r_1} K(r) r dr; \quad \bar{K}'(r_1) = \frac{2}{r_1^2} \int_{r_1}^{r_1 \sqrt{2}} K(r) r dr.$$

Как видно из последних формул, усреднение контраста проводится по двум областям с одинаковыми площадями. Эффективный контраст $K_{\text{эф}}$ определим как максимальное значение разности $\bar{K}(r_1) - \bar{K}'(r_1)$ при вариации параметра r_1 : $K_{\text{эф}} = \max [\bar{K}(r_1) - \bar{K}'(r_1)]$.

Эффективный радиус размытого изображения $r_{\text{эф}}$ примем равным значению r_1 , при котором осуществляется максимальное значение разности $\bar{K}(r_1) - \bar{K}'(r_1)$. Можно показать, что для неразмытого пятна радиуса r , имеющего контраст K , эффективные значения $K_{\text{эф}}$ и $r_{\text{эф}}$ равны соответственно K и r . При анализе обнаружения объектов с размытыми границами будем считать в первом приближении, что выявляемость размытого изображения объекта близка к выявляемости неразмытого объекта с радиусом $r_{\text{эф}}$ и контрастом $K_{\text{эф}}$. При конкретных вычислениях формулу для $K_{\text{эф}}$ удобно представить в виде:

$$K_{\text{эф}} = 2 \max \{ \bar{K}(r) - \bar{K}(r \cdot \sqrt{2}) \},$$

где

$$\bar{K}(r) = \frac{2}{r^2} \int_0^r K(\rho) \rho d\rho.$$

В качестве примера применения полученных результатов была проведена оценка пороговой контрастной чувствительности системы электронно-оптический усилитель света (ЭОП)—глаз наблюдателя. В предположении, что размеры рассматриваемого объекта на экране ЭОПа превышают собственную нерезкость ЭОПа, было получено следующее

выражение для порогового контраста при 50% вероятности обнаружения объекта:

$$K \approx \frac{10}{\sqrt{\beta^2 \gamma L M E S}} \sqrt[4]{1 + 4 \cdot 10^{-6} \beta^2 \gamma L M E S} \times \\ \times \sqrt[4]{1 + \frac{0,1 \beta^2 \vartheta \pi L M \varepsilon^{-1} (1 + \varepsilon \eta)}{1 + 10^{-6} \beta^2 \gamma L M E S}}, \quad (22)$$

где E — освещенность фотокатода в области фона,
 S — площадь проекции объекта наблюдения на фотокатод ЭОПа,
 ε — квантовый выход входного фотокатода ЭОПа,
 M — коэффициент усиления света ЭОПа (нит/люкс),
 L — коэффициент геометрического уменьшения ЭОПа,
 β — коэффициент увеличения лупы, через которую наблюдается выходной экран ЭОПа,
 η — коэффициент „шума“ светового потока, попадающего на фотокатод ЭОПа (см. соотношение (14)).

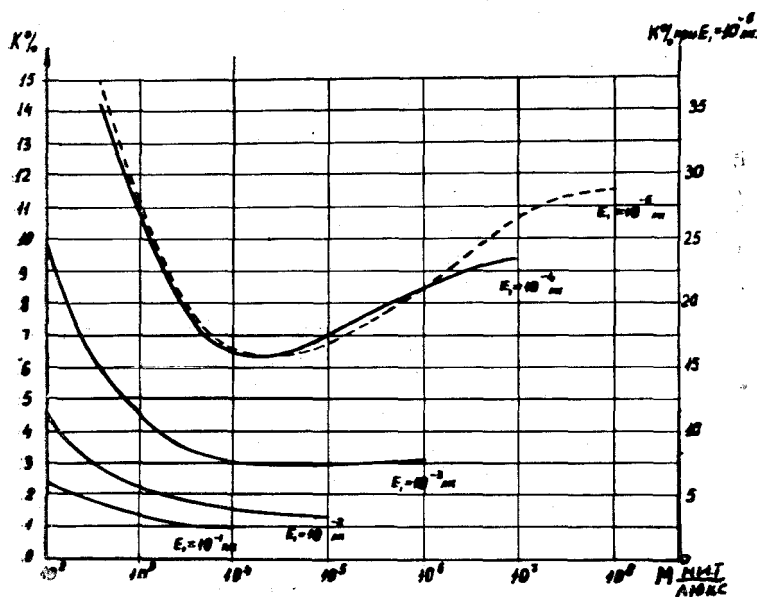


Рис. 2. Зависимость порогового контраста ЭОПа от коэффициента усиления света.

Коэффициенты ϑ и γ определяются табл. 3 для яркости выходного экрана ЭОПа $B = ME$.

Можно показать, что существует оптимальное значение M_0 коэффициента усиления ЭОПа, обеспечивающее минимум порогового контраста. При $M > M_0$ пороговый контраст возрастает.

На рис. 2 представлены значения пороговых контрастов, рассчитанные по формуле (22), при следующих значениях входящих в нее величин:

$$\eta = 0; \varepsilon = 0,1; S = 0,01 \text{ см}^2; 10^{-5} \leq E \leq 10^{-1} \text{ люкс}; L\beta^2 = 1.$$

Длина волны света, падающего на фотокатод ЭОПа и излучаемого с его выходного экрана, принята равной $\lambda = 0,555$ мк.

Расчет проводился до значений $B \leq 1000$ нит при вероятности обнаружения 50%. Как видно из графиков, в области $10^{-5} \leq E \leq 10^{-3}$ люкс минимальное значение порогового контраста достигается при $M_0 \sim 10^4$ нит/люкс. Можно показать, что при таком значении коэффициента усиления ЭОПа обеспечивается визуальное обнаружение вспышки люминесцентного экрана ЭОПа от удара одного фотоэлектрона.

Москва

Поступило 11.IX 1968 г.

Ա. Մ. ՅԱԿՈԲՍՈՆ

ԱԶԳԻ ԿՈՆՏՐԱՍՏԱՅԻՆ ԶԳԱՑՈՂՈՒԹՅՈՒՆԸ, ՆՐԱ ԿԱՊԸ ԼՈՒՅՍԻ ՔՎԱՆՏԱՅԻՆ ՏԱՏԱՆՈՒՄՆԵՐԻ ԵՎ ՏԵՍՈՂՈՒԹՅԱՆ ԲՆՈՒԹԱԳՐՈՒՄՆԵՐԻ ՀԵՏ

Ա. մ. փ. ո. փ. ո. լ. մ.

Տեսողության բնութագրերի և լույսի քվանտային տատանումների ուսումնասիրման հիման վրա ստացված են բանաձևեր, որոնք որոշում են աչքի զգացողության շեմքային կոնտրաստայնությունը դիտարկման օբյեկտի հայտնաբերմամբ տրված հարաբերականության պայմաններում:

Տեսական արդյունքները 20% ճշտությամբ դիտարկման դաշտի պայծառության լայն ինտերվալներում համապատասխանում են փորձնական տվյալներին:

Ստացված բանաձևերը թույլ են տալիս հաշվի առնել աչքի կոնտրաստային զգացողության վրա լրացուցիչ աղմուկների պատկերավորումը, որոնք մտցվում են դիտարկման սխեմաների կողմից: Լույսի էլեկտրոնա-օպտիկական ուժեղացուցիչը—դիտողի աչքը սխեմայի շեմքային կոնտրաստային զգացողության հաշվարկման օրինակի հիման վրա ցույց է տալիս ուսումնասիրվող սխեմայի օպտիկական պարամետրերի որոշման հնարավորությունը, որն ապահովում է նրա մաքսիմում զգացողությունը:

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Лазарев П. П. Ионная теория возбуждения живых тканей. т. II, Изд. АН СССР, 1950.
2. Мешков В. В. Основы светотехники, 1961.
3. Пинегин Н. И. Проблемы физиологической оптики, XII, 1958.
4. Ратнер Е. С. Докл. АН СССР, 105, 90, 1955.
5. Blackwell JOSA, 10, 380, 1946.
6. Kose JOSA, 38, 196, 1946.