Доклады Академии Наук СССР
1947. Том LVII, № 8

БИОФИЗИКА

А. В. ЛУИЗОВ

ВИДИМОСТЬ ОБЪЕКТОВ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ВРЕМЕНИ ЭКСПОЗИЦИИ

(Представлено академиком С. И. Вавиловым 30 III 1947)

В нашей установке наблюдатель длительно фиксировал одним глазом молочное стекло яркостью около 100 люксов на белом. На этом светлом фоне на короткое время τ появлялась марка с угловыми размерами 11',0; 7',3; 5',5 (в зависимости от дистанции наблюдения) и с определенным контрастом K (1,0; 0,85; 0,79; 0,58; 0,25; 0,18). Каждому контрасту K подбиралось такое τ, чтобы марка едва замечалась наблюдателем.

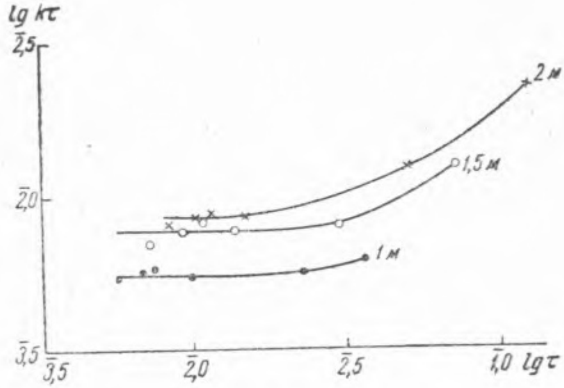

Рис. 1

Согласно нашей теории ([4]), зависимость K от τ дается формулой:

$$\varepsilon = K^{\frac{\int_{-\tau}^{0} A(t)\,dt}{\vartheta}}, \tag{1}$$

где $\varepsilon = \lim\limits_{\tau \to \infty} K$, т. е. пороговый контраст объекта при длительной экспозиции; $A(t)$ — некоторая безразмерная функция времени, характеризующая инерционные свойства сетчатки и выбранная так, что

$$A(0) = 1,$$

и, наконец, ϑ — параметр, названный нами эффективным временем сохранения зрительного впечатления, определенный интеграл от $A(t)$:

$$\vartheta = \int_{-\infty}^{0} A(t)\,dt.$$

Для очень коротких экспозиций (a priori мы полагали для $\tau < 0{,}001$ сек.) формула (1) переходит в приближенную формулу

$$\varepsilon = K \frac{\tau}{\vartheta}. \qquad (2)$$

Основной задачей нашей работы была проверка формулы (2) и экспериментальное установление границ ее применимости.

Переписав (2) в виде

$$K\tau = \varepsilon\vartheta,$$

замечаем, что формула (2) верна, пока произведение $K\tau$ постоянно. Полученная нами (среднее для трех наблюдателей) зависимость $K\tau$ от τ нанесена на рис. 1. Три кривых соответствуют трем дистанциям наблюдения (1; 1,5; 2 м), т. е. разным значениям ε.

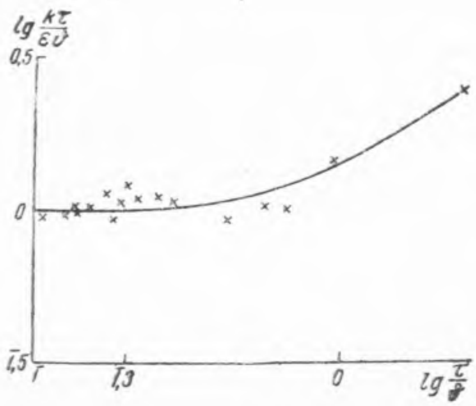

Рис. 2

На рис. 2 эти кривые сведены в одну, так как в области применимости формулы (2) должно соблюдаться равенство:

$$\frac{K\tau}{\varepsilon\vartheta} = 1.$$

Значения ε находились экспериментально, ϑ вычислялось по формуле

$$\vartheta = \frac{K\tau}{\varepsilon},$$

где для K мы берем значение $K = 1$ и соответствующее ему τ.

Мы получили для ϑ среднее значение

$$\vartheta = 0{,}053 \text{ сек.}$$

Рассмотрение рис. 1 показывает, что возрастание $K\tau$ начинается где-то между 0,01 и 0,02 сек. Рис. 2 более определенно указывает на граничное значение $\lg\frac{\tau}{\vartheta} = \bar{1},3$, что соответствует

$$\tau = 0{,}01 \text{ сек.}$$

Итак, формула (2), во всяком случае, достаточно точна для значений τ, не превышающих 0,01 сек. В этой области экспозиций она пригодна для практических расчетов видимости, причем для ϑ можно принять значение

$$\vartheta = 0{,}005 \text{ сек.}$$

В более широком интервале τ полученные нами данные довольно хорошо ложатся на прямую

$$K\tau = a\tau + b. \qquad (3)$$

Если принять линейность зависимости за экспериментально установленный факт, можно установить смысл коэффициентов ($a = \varepsilon$, $b = \varepsilon\vartheta$) и найти вид функций $A(t)$. Федоров [1] выводит существование линейной зависимости теоретически и обрабатывает с ее помощью данные Грэхема и Кемпа [2]. Однако, если стать на точку зрения,

Таблица 1

$$K = \frac{\varepsilon\vartheta}{\int\limits_{-\tau}^{0} A(t)\,dt} \qquad \vartheta = \int\limits_{-\infty}^{0} A(t)\,dt$$

	$A(t) = \frac{\vartheta^2}{(\vartheta - t)^2}$, $\vartheta = \frac{K-\varepsilon}{\varepsilon}\tau$, $K = \varepsilon\left(1 + \frac{\vartheta}{\tau}\right)$			$A(t) = e^{t/\vartheta}$, $\vartheta = \frac{\tau}{-\ln\left(1 - \frac{\varepsilon}{K}\right)}$, $K = \frac{\varepsilon}{1 - e^{-\tau/\vartheta}}$		
$\varepsilon \times 100$	11,0	12,8	14,8	11,0	12,8	14,8
$\vartheta \times 1000$	45	48	46	48	51	50
	Дистанция наблюдения в метрах					
	1	1,5	2	1	1,5	2
Измер. $K \times 100$	Вычисленные значения $K \times 100$					
100	100	100	100	100	100	100
85	86	81	84	85	80	81
79	79	72	76	78	70	74
58	64	60	61	60	56	59
25	33	34	29	29	29	24
18	25	20	20	20	17	16
	$(\Delta K)_{ср} = 0{,}033$; $\left(\frac{\Delta K}{K}\right)_{ср} = 11\%$.			$(\Delta K)_{ср} = 0{,}024$; $\left(\frac{\Delta K}{K}\right)_{ср} = 8\%$.		

например, Аллара [3], окажется, что $A(t)$ — экспоненциальная функция времени, и выведенная при этом предположении зависимость K от τ не хуже, чем зависимость (3), удовлетворяет эксперименту.

Сравнение обеих зависимостей с данными наших опытов проведено в табл. 1. В левом столбце стоят измеренные значения контраста, в остальных столбцах — вычисленные по измеренным значениям ε и τ и соответствующим формулам: в левой половине — согласно линейной зависимости, в правой — согласно экспоненциальной. В первой строке приведены измеренные ε, во второй — ϑ, вычисленные по той или иной формуле. Наконец, внизу проставлены средние отклонения вычисленных контрастов от измеренных.

Обработав таким образом данные Грехема и Кемпа, мы получили средние отклонения: для линейной зависимости $\Delta K_{ср}=0{,}013$, для экспоненциальной $\Delta K_{ср}=0{,}003$. Однако некоторые особенности работы Грехема и Кемпа не позволяют нам придать этому результату решающего значения.

Мы видим, что экспоненциальная зависимость согласуется с экспериментом во всяком случае не хуже, чем линейная. Только большой экспериментальный материал может помочь более определенно высказаться в пользу той или иной зависимости.

Благодарю проф. Л. Н. Гассовского, проф. А. А. Гершуна и проф. Н. Т. Федорова за ценные указания по этой работе.

Государственный
оптический институт

Поступило
30 III 1947

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

[1] Н. Т. Федоров, ДАН, **25**, № 7, 696, 700 (1939). [2] C. H. Graham and E. H. Kemp, J. Gen. Physiol., 21, 635 (1938). [3] M. E. Allard, Mémoire sur l'intensite et la portee des phares, Paris, 1876. [4] А. В. Луизов, Проблемы физиологической оптики, 4, 108, 117 (1947).