

пришлось бы приписать площади в 1 м^2 , т. е. конечных и притом значительных размеров, силу света в 1 св . Это нельзя допустить по соображениям необходимости не впадать в противоречие (особенно при преподавании) со строгим определением силы света, которое предполагает, что вершина телесного (иначе пространственного) угла опирается на точечный (т. е. пренебрежимо малых размеров) источник света.

Принятие собственных названий для главных единиц яркости, а со временем и светности сделает систему световых единиц полностью упорядоченной, чего раньше не было.

Название главной единицы освещенности и ее определение сохранены в проекте стандарта без изменений.

Переход от световых единиц одного спектрального состава к тем же единицам другого спектрального состава, говорится в стандарте, должен производиться на основе установленных значений относительной видности —

см. ОСТ 8485. Этот стандарт намечается пересмотреть в конце 1955 г.

Световые единицы, применявшиеся в СССР с 1925 по 1947 г., были незначительно больше ныне действующих, т. е. введенных с 1948 г. Именно 1 прежний люмен = 1,005 нового люмина. Такое же соотношение сохраняется и для других единиц.

Новый стандарт вводит улучшения в ранее употреблявшуюся систему световых единиц в смысле большей стройности при большей простоте. Кроме установления собственного названия для единицы светности, возможно, придется со временем вновь вернуться к единице яркости в связи с тем, что само понятие яркости определяется в светотехнике (см. ОСТ 7637) нестрого и представляет собой числовое отношение двух разного вида величин (силы света и площади), не дающее в строгом смысле новой физической величины. Надо искать лучшего определения яркости³.

³ Имеющиеся предложения готовятся к печати.

СПЕКТРАЛЬНАЯ ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТЬ ГЛАЗА В УСЛОВИЯХ СУМЕРЕЧНОЙ АДАПТАЦИИ¹

Канд. техн. наук С. Г. ЮРОВ

Всесоюзный светотехнический институт

В 1924 г. Международная комиссия по освещению (МКО) установила численные значения функции видности V_λ [Л. 1], пригодные для дневного видения. Последнее обеспечивается достаточно малым полем зрения ($<2^\circ$) и достаточно высокой яркостью поля зрения, т. е. достаточно высоким уровнем адаптации глаза ($>5 - 10 \text{ рлк}$). В 1951 г. XII сессия МКО узаконила численные значения функции ночной видности [Л. 2], соответствующие большому полю зрения и уровням адаптации меньшим, чем 10^{-3} рлк .

Сумеречное зрение охватывает уровни адаптации от 10^{-3} рлк до примерно $1 - 10 \text{ рлк}$. Св-

товая реакция глаза в условиях сумеречного видения характеризуется эквивалентной яркостью [Л. 3].

Для расчета эквивалентной яркости излучения необходимо знать функции спектральной чувствительности глаза на любом уровне адаптации. Численные значения функций спектральной чувствительности глаза на сумеречных уровнях адаптации, известные в настоящее время [Л. 4], непригодны для практического расчета эквивалентной яркости излучения, поскольку эти значения установлены без достаточной связи с экспериментальными данными. Так, например, Уивер [Л. 5] для получения численных значений функций спектральной чувствительности глаза на сумеречных уровнях адаптации применил интерполяцию между функциями дневной и ночной видности.

В 1952 г. в лаборатории световых измерений ВНИСИ были проведены измерения с целью получить исходные данные для вычисления спектральной чувствительности глаза на сумеречных уровнях адаптации. Был разработан и изготовлен специальный фотометр для измерения эквивалентных световых величин.

¹ Вследствие того, что измерение и расчеты световых величин в условиях малой яркости не имеют единой методики, редакция считает необходимым всесторонне обсудить эти вопросы. Для этой цели в ближайших номерах журнала будут помещены статьи по методике измерения и расчета эквивалентных световых величин, а также по конструкциям приборов для световых измерений в условиях малой яркости. Всех желающих принять участие в этом обсуждении редакция просит направлять статьи и заметки в адрес редакции.

* Уровень адаптации нагляднее и удобнее выражать в величинах светности.

Таблица 1

Уровни адаптации глаза в радиоксах

Цвет фильтра	10 ⁻⁴ рлк			10 ⁻³ рлк			10 ⁻² рлк			10 ⁻¹ рлк			1 рлк		
	$\tau(A)_{изм}$	$\tau(A)_{расч}$	$\Delta, \%$	$\tau(A)_{изм}$	$\tau(A)_{расч}$	$\Delta, \%$									
Фиолетово-синий	0,079	0,076	-4	0,086	0,076	-12	0,030	0,069	-14	0,065	0,060	-8	0,037	0,034	-8
Синий	0,042	0,045	+7	0,045	0,045	0	0,043	0,040	-7	0,034	0,035	+3	0,022	0,021	-5
Голубой	0,64	0,58	-10	0,62	0,58	-6	0,62	0,56	-10	0,54	0,52	-4	0,42	0,41	-2
Зеленый	0,34	0,33	-3	0,36	0,33	-8	0,33	0,32	-3	0,29	0,31	+7	0,26	0,27	+4
Желтый	0,65	0,58	-11	0,65	0,58	-11	0,66	0,59	-11	0,65	0,60	-8	0,68	0,63	-7
Светло-оранжевый	0,51	0,51	0	0,57	0,51	-10	0,57	0,55	-3	0,65	0,60	-8	0,72	0,74	-3
Оранжевый	0,10	0,10	0	0,11	0,10	-10	0,14	0,13	-7	0,21	0,18	-14	0,40	0,35	-12
Красно-оранжевый	0,021	0,022	+5	0,023	0,022	-4	0,034	0,035	+3	0,074	0,067	-10	0,18	0,17	-6
Красный	0,0049	0,0051	+4	0,0052	0,0051	-2	0,010	0,093	-7	0,027	0,025	-7	0,072	0,074	+3
Пурпурный	0,19	0,18	-5	0,19	0,18	-5	0,19	0,18	-5	0,20	0,19	-5	0,24	0,21	-12

Примечание. $\tau(A)_{изм}$ — коэффициент эквивалентного пропускания на уровне адаптации A , полученный экспериментально; $\tau(A)_{расч}$ — то же, полученный расчетом по функции спектральной чувствительности глаза.

Фотометрическое поле прибора состоит из поля измерения в виде круга с угловым размером в 10° и поля сравнения в виде охватывающего круг кольца с внешним диаметром в 20° . Поле измерения заполнялось эталонным излучением ($T_c = 2360^\circ\text{K}$), которое определяло уровень адаптации для данного измерения. Поле сравнения заполнялось излучением с цветовой температурой, равной также 2360°K , на пути которого можно было поместить измеряемый фильтр.

Первый отсчет заключался в измерении эквивалентной яркости излучения, заполнявшего поле сравнения без фильтра, а второй с фильтром (при неизменной яркости излучения поля измерения). Коэффициент эквивалентного пропускания фильтра определялся так:

$$\tau(A) = \frac{1}{n}, \quad (1)$$

где A — уровень адаптации, который определялся яркостью эталонного излучения;

n — число, показывающее, во сколько раз нужно увеличить энергетическую яркость излучения, падающего на фильтр, чтобы эквивалентная яркость излучения, прошедшего через фильтр, была равна эквивалентной яркости этого излучения без фильтра.

Коэффициент эквивалентного пропускания 10 светофильтров измерялся двумя наблюдателями на пяти уровнях адаптации: 10^{-4} ; 10^{-3} ; 10^{-2} ; 10^{-1} и 1 рлк. На каждом уровне адаптации наблюдатель в разные дни делал пять измерений $\tau(A)_{изм}$ данного фильтра. Каждое измерение представляет собой среднее значение из пяти отсчетов. Таким образом, на одном уровне адаптации каждый наблюдатель делал око-

ло 250 отсчетов. Статистическая обработка результатов измерений показала, что среднее отклонение отдельных измерений, даваемых наблюдателем от среднего результата этого наблюдателя, лежит в пределах $\pm 5\%$. Расхождения между результатами обоих наблюдателей оказались также невелики. Они в среднем составляют $\pm 4,5\%$, причем самое большое расхождение равно 15%. В табл. 1 в столбцах $\tau(A)_{изм}$ даны измеренные коэффициенты эквивалентного пропускания фильтров для разных уровней адаптации.

Функция спектральной чувствительности глаза $q_\lambda(A)$, соответствующая уровню адаптации A , должна иметь такие численные значения, чтобы при ее помощи можно было рассчитать коэффициент эквивалентного пропускания. Расчет производится при помощи такого же выражения, которое применяется для расчета коэффициента пропускания:

$$\tau(A)_{расч} = \frac{\int_{\varepsilon_\lambda} q_\lambda(A) \tau_\lambda d_\lambda}{\int_{\varepsilon_\lambda} q_\lambda(A) d_\lambda}, \quad (2)$$

где ε_λ — относительное спектральное распределение энергии того излучения, для которого определяется $\tau(A)_{расч}$;

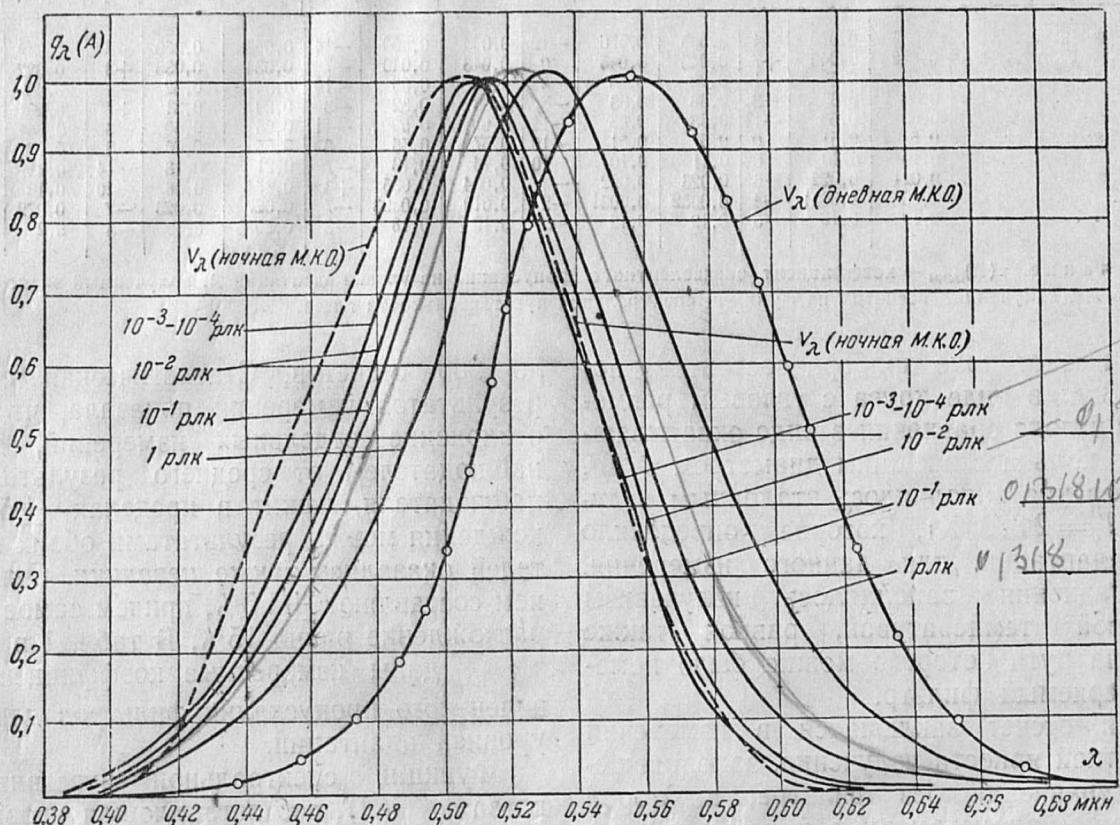
τ_λ — спектральное пропускание фильтра.

Численные значения функций спектральной чувствительности глаза на разных уровнях адаптации были найдены методом подбора. В качестве исходных были взяты данные, опубликованные С. О. Майзелем и К. С. Уивером, а также неопубликованные данные Е. С. Ратнера. По этим данным были рассчитаны $\tau(A)_{расч}$ при помощи выражения (2). Расхождения между измеренными и расчетными значениями в отдельных случаях достигали нескольких раз (столь же большими были рас-

хождения между расчетными значениями, базировавшимися на данных разных авторов). Путем нескольких повторных расчетов удалось исправить имевшиеся данные, благодаря чему были получены функции спектральной чувствительности, которые при расчете по ним эквивалентны,

большей, чем 15% (по отношению к измеренным значениям).

2. Как указано выше, численные значения спектральной чувствительности глаза на разных уровнях адаптации базируются на измерениях, сделанных только двумя наблюдате-



лентного пропускания дают расхождения с результатами измерений в пределах $\pm 15\%$. Дальнейшая подгонка не имеет смысла по двум причинам:

1. Спектральная чувствительность глаза $q_\lambda(A)$ зависит не только от уровня адаптации A , но также от спектрального состава излучения, действующего на глаз [Л. 6]. Таким образом, одной функции для данного уровня адаптации недостаточно, чтобы точно описать равенства эквивалентных яркостей различных по спектральному составу излучений. Так как практически невозможно иметь и применять разные функции для разных спектральных составов, то приходится допустить наличие систематических расхождений между измеренными и рассчитанными значениями эквивалентных яркостей, а также и других эквивалентных световых величин, как, например, коэффициент эквивалентного пропускания. Поскольку такие расхождения могут достигать 15% [Л. 7], невозможно найти численные значения единственноной для данного уровня адаптации функции видности, которая позволила бы рассчитывать эквивалентные величины с точностью

лями. Многолетняя фотометрическая практика этих наблюдателей показывает, что их глаза обладают нормальными фотометрическими

01318 10^-4 *01318 10^-3*

Таблица 2

$\lambda, \text{ мкм}$	Уровни адаптации глаза в радилюксах				
	10^{-4} рлк	10^{-3} рлк	10^{-2} рлк	10^{-1} рлк	1 рлк
$0,40$	$0,03_0$	$0,03_0$	$0,02_5$	$0,01_9$	$0,005_0$
$0,42$	$0,10$	$0,10$	$0,08_0$	$0,06_7$	$0,045$
$0,44$	$0,22$	$0,22$	$0,21$	$0,17$	$0,11$
$0,46$	$0,42$	$0,42$	$0,37$	$0,33$	$0,21$
$0,48$	$0,6_8$	$0,6_8$	$0,6_1$	$0,5_7$	$0,38$
$0,50$	$0,9_7$	$0,9_7$	$0,9_0$	$0,8_5$	$0,6_1$
$0,52$	$0,9_5$	$0,9_5$	$0,9_6$	$0,9_9$	$0,9_1$
$0,54$	$0,6_3$	$0,6_3$	$0,6_9$	$0,7_6$	$0,9_8$
$0,56$	$0,32$	$0,32$	$0,38$	$0,47$	$0,7_5$
$0,58$	$0,11$	$0,11$	$0,15$	$0,23$	$0,5_1$
$0,60$	$0,03_1$	$0,03_1$	$0,04_7$	$0,10$	$0,29$
$0,62$	$0,008_0$	$0,008_0$	$0,01_5$	$0,04_2$	$0,14$
$0,64$	$0,002_0$	$0,002_0$	$0,005_0$	$0,01_7$	$0,07_0$
$0,66$	$0,0006_0$	$0,0006_0$	$0,001_2$	$0,004$	$0,02_0$
$0,68$	—	—	—	$0,0007$	$0,008_0$
$0,70$	—	—	—	—	$0,001_0$

свойствами. Однако установление средних значений спектральной чувствительности с точностью, большей чем $\pm 15\%$, на основе данных, полученных только двумя, хотя бы и нормальными в фотометрическом отношении наблюдателями, смысла не имеет.

Численные значения функций спектральной чувствительности на пяти разных уровнях адаптации глаза (усредненные для двух наблюдателей) приведены в табл. 2. Графически эти функции изображены на рисунке, где для сравнения приведена кривая ночной видности 1951 г. [Л. 2] и кривая дневной видности 1924 г.

Для оценки пригодности предлагаемых кривых для расчета эквивалентных яркостей в табл. 1, в столбцах $t(A)_{n,c}$, приведены значения коэффициентов эквивалентного пропускания, полученные путем расчета по функциям спектральной чувствительности глаза. Расхождения между измеренными и рассчитанными значениями в среднем меньше 10%, причем лишь в 15% случаев эти расхождения лежат между 10 и 14%.

Большая и трудная измерительная и расчетная работа, результаты которой изложены в настоящей статье, проведена ст. инж. Л. Г. Ксентицкой.

Литература

1. ОСТ ВКС 7637.
2. JOSA, vol. 40, № 10, p. 736, 1951.
3. А. А. Гершун. О визуальной фотометрии в области малых яркостей. ДАН, т. XXXVII, № 4, стр. 145—6. 1942.
4. А. А. Волькенштейн и А. А. Гершун. О визуальных фотометрических измерениях при малых яркостях. ДАН, т. LXVI, № 1, 1949.
5. C. O. Maisey. Photometry in the transition region. "Trudy VESI", вып. 43, стр. 99—110, 1941.
6. K. S. Weaver. A Provisional Standard Observer for Low Level Photometry. JOSA, vol. 39, № 4, p. 278—91, 1949.
7. С. Г. Юров. Спектральная чувствительность глаза на данном уровне эквивалентной яркости. ДАН, т. LXXIV, № 6, стр. 1077—80, 1950.
8. С. Г. Юров. Неаддитивность эквивалентных яркостей. "Проблемы физиологической оптики", т. X, 1953.

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА С. И. ВАВИЛОВА К ОПРЕДЕЛЕНИЮ КОЛБОЧКОВОЙ СПЕКТРАЛЬНОЙ ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ ГЛАЗА

Инж. Р. Л. ФОЛЬБ

Всесоюзный светотехнический институт

В современной светотехнике определение основных светотехнических величин опирается на понятие средней кривой спектральной чувствительности человеческого глаза. Естественно, что определение точного значения спектральной чувствительности глаза представляет для светотехники задачу первостепенной важности. Узаконенные в СССР значения спектральной чувствительности глаза были приняты Международной комиссией по освещению в 1924 г. В последнее время вследствие повышения точности измерений все больше выявляются отклонения значений спектральной чувствительности глаза на краях спектра от международно принятых значений [Л. 1]. Международная комиссия по освещению в связи с этим приняла решение собрать необходимые данные и исправить значения спектральной чувствительности глаза.

Для определения спектральной чувствительности глаза можно пользоваться разными методами. Сравним эти методы между собой.

Пороговый метод. По этому методу определяется минимальная энергия, необходимая для порогового ощущения света. Метод использовался для определения сумеречной кривой спектральной чувствительности глаза. Разброс результатов, получаемый при отдельных измерениях, достигает значительной величины.

Метод остроты зрения. Суть метода заключается в том, что определяется уровень освещенности, создаваемый излучениями разного спектрального состава, необходимый для достижения некоторого постоянного значения остроты зрения. Воспроизводимость результатов измерений по этому методу очень невелика.

Метод критической частоты. Кривую спектральной чувствительности строят по обратным значениям величин яркости, соответствующих одному и тому же значению критической частоты слияния мельканий при излучениях разного спектрального состава.