

Л. Л. КОЗЯЕВ

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОБЩЕГО ВИДА ФУНКЦИИ ДИНАМИКИ АДАПТАЦИИ ЦВЕТОВОГО ЗРЕНИЯ

Уникальным инструментом для познания окружающего мира является зрение человека. Оно способно эффективно действовать при изменении интенсивности света в огромном интервале значений: от 10^{-6} кД*м² для глаза, полностью адаптированного к темноте, до 10^6 кД*м² для глаза, адаптированного к свету, или на 12 порядков яркости[1]. Это свойство обеспечивается процессами, происходящими внутри глаза и составляющими механизм адаптации – возможность зрения приспосабливаться к переменным условиям освещения. Рассмотрим случай, когда человек длительное время фиксирует один цвет, после чего тот сменяется на другой. Первоначально в результате влияния исходного цвета субъективное ощущение наблюдателя (светлота) не соответствует реальному значению нового цвета. Момент равенства наступит лишь по истечении некоторого промежутка времени. Данный переходный процесс носит название динамики адаптации цветового зрения и описывается математической функцией определенного вида. Согласно этому в статье ставится задача опытным путем установить вид функции, позволяющей максимально точно описать динамику адапционного преобразования зрения.

Изменение яркости зрительной картины и светлоты зрительного ощущения во времени показано на рис.1. Как видно из графика, вслед за изменением яркости с низкого уровня на высокий происходит скачкообразный рост светлоты зрительного ощущения, уровень которой с течением времени снижается к установившемуся значению (рис. 1, б). Характер изменения светлоты в процессе адаптации органа зрения полностью аналогичен.

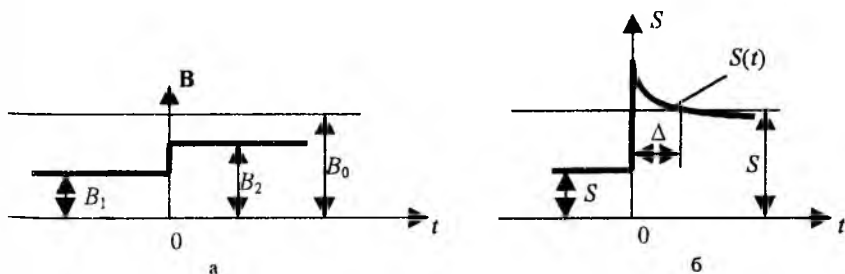


Рис.1

В ходе экспериментальной проверки модели адаптации зрения автором применялся компараторный метод идентификации объектов, при котором сознание наблюдателя используется в качестве довольно точного нуль-прибора, отмечающего равенство или неравенство светлот двух полей сравнения[2].

Постановка опыта выполнялась следующим образом. На экране персонального компьютера с помощью специально разработанной программы формируются два смежных поля сравнения. Испытуемый в течение 2 мин фиксирует взгляд на границе раздела областей (рис. 2).

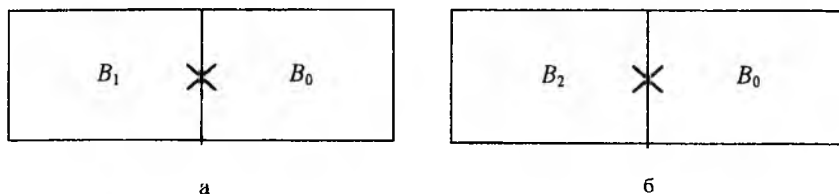


Рис. 2

На левое поле первоначально подается яркость B_1 , в момент времени $t=0$ сменяемая большей яркостью B_2 . На правом поле постоянно отображается некоторая яркость сравнения B_0 , выбираемая с выполнением условия $B_0 > B_2$ (рис. 1, а). При $t > 0$ на левом поле отмечается плавное изменение светлоты $S(t)$. В случае небольшой разницы сигналов B_0 и B_2 всегда существует момент времени Δt , когда светлота $S(\Delta t)$ левого поля становится равной светлоте правого поля S_0 :

$$S(\Delta t) = S_0. \quad (1)$$

Соотношение (1) следует из графика, показанного на рис. 1, б. Далее значение яркости B_2 изменяется в пределах $(B_1; B_0)$. Разным уровням светлоты S_0 правого поля соответствуют строго определенные значения времени Δt , при которых светлоты полей сравнения равны между собой. Проведение такого эксперимента позволяет исследовать весь переходный адаптационный процесс, имеющий место в органе зрения при скачкообразном изменении яркости зрительной картины.

Результаты опытов на пяти испытуемых в целях определения интервалов времени Δt при различных показателях B_2 приведены в табл. 1. Необходимо отметить, что исследовался только случай $B_1 < B_2 < B_0$ и не рассматривался вариант $B_0 < B_2 < B_1$. Другой особенностью является тот факт, что возраст участников составлял от 20 до 27 лет. Цвета и яркости полей сравнения могли устанавливаться произвольно по желанию экспериментатора. Цветность задавалась двумя координатами X и Y согласно условиям стандартной колориметрической системы МКО 1964. Описанные измерения проводились при начальных установках $X=0,2$, $Y=0,3$, $B_0=4$, $B_1=0,2$.

Таблица 1

Испытуемый	B_2							
	0,5	0,8	1,2	1,6	2,0	2,4	2,8	3,2
А	26±4	35±5	43±7	52±8	70±10	110±20	165±30	-
Б	4±4	10±3	15±4	18±5	23±7	31±10	46±14	-
В	-	-	7±6	13±7	19±8	28±12	43±17	67±33
Г	5±5	7±7	13±11	22±16	32±22	45±24	80±45	-
Д	8±6	14±6	21±7	29±9	36±9	45±9	67±17	-

Эксперименты показали, что с наступлением равенства светлот полей сравнения эффект не исчезал моментально, а сохранялся некоторый момент. Соответствующие интервалы времени указаны в ячейках табл. 1. Единицы измерения – секунды. Для описания динамики адаптации человеческого зрения была предложена формула

$$S(t) = B_0 \cdot (B_1/B_0)^{k \cdot e^{-\frac{t_{cp} \cdot (k-1)}{m}}}, \quad (2)$$

где t_{cp} – среднее значение интервала времени; k и m – вычисляемые эмпирическим путем числовые коэффициенты. Наилучшее согласование теоретических и экспериментальных данных достигалось при $k=0,80 \div 0,85$, $m=3 \div 10$. Вычисленные значения B_2 для принимавших участие в опытах содержатся в табл. 2.

Таблица 2

Испытуемый	k	m	B_2							
			0,5	0,8	1,2	1,6	2,0	2,4	2,8	3,2
А	0,85	10	0,713	0,887	1,073	1,245	1,641	2,626	3,370	-
Б	0,85	3	0,550	0,854	1,200	1,421	1,858	2,453	3,060	-
В	0,80	4	-	-	1,004	1,363	1,656	2,215	3,110	3,677
Г	0,80	5	0,562	0,654	0,962	1,480	2,050	2,690	3,458	-
Д	0,80	7	0,594	0,802	1,074	1,405	1,698	2,062	2,809	-

За исключением очевидных промахов разброс теоретических данных и результатов исследований не превышает 20%. Следовательно, степень точности разработанной математической модели является довольно высокой. В качестве иллюстрации на рис. 3 показана графическая зависимость яркости от времени для испытуемого А.

На диаграмме результаты теоретических вычислений нанесены в виде штриховой линии. Ранее подобными экспериментами занималась группа исследователей под руководством проф. Шабанова-Кушнарченко[3]. Анализировался случай $B_0 < B_2 < B_1$ (рис. 1), не рассматриваемый в данной статье. Была создана математическая модель, аналогичная предложенной в [2], но с другими значениями числовых коэффициентов[4].

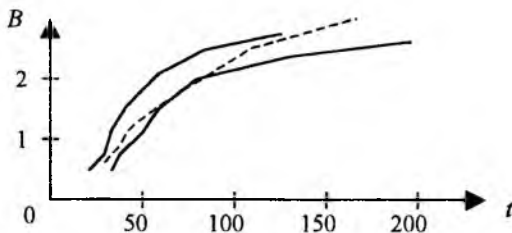


Рис. 3

В целях повышения результатов наблюдений явление адаптации исследовалось при различных значениях координат цветности полей сравнения X , Y . Точность результатов оставалась практически стабильной. Формула (2) использовалась как для моделирования яркостной адаптации, так и для изучения цветовой адаптации зрения. Эксперименты второго типа показали достаточную согласованность полученных значений с теоретическими выкладками. Будучи довольно сложным физиологическим явлением, временной контраст зрения получается комбинацией яркостной и цветовой его составляющих. Как было установлено, выражение (2) с определенным приближением позволяет описать оба эти явления. Отсюда можно сделать вывод, что используемая математическая модель с достаточной степенью точности характеризует процесс адаптации цветового зрения человека в целом.

Список литературы: 1. Джадд Д., Вышецки Г. Цвет в науке и технике. М.: Мир, 1978. 592 с. 2. Шабанов-Кушнарченко С.Ю. Компараторная идентификация многомерной количественной оценки. Докт. дисс. Харьков, 1995. 270 с. 3. Шабанов-Кушнарченко Ю.П. Математическое моделирование некоторых функций человеческого зрения. Докт. дисс. К.: Ин-т кибернетики АН УССР, 1968. 273 с. 4. Бондаренко М.Ф. Математические модели адаптации зрения и их технические приложения. Канд. дисс. Харьков, 1969. 158 с.

Поступила в редколлегию 27.02.99