

С В Е Т О Т Е Х Н И К А

ОРГАН МИНИСТЕРСТВА ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ СССР
И ЦЕНТРАЛЬНОГО ПРАВЛЕНИЯ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОГО ОБЩЕСТВА ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

Год издания одиннадцатый

Декабрь 1965

12

628.93 (083.74)

ПРИНЦИПЫ НОРМИРОВАНИЯ ОСВЕЩЕНИЯ ПО ВИДИМОСТИ

Канд. техн. наук Ц. И. КРОЛЬ и доктор техн. наук В. В. МЕШКОВ

Всесоюзный светотехнический институт и Московский энергетический институт

Как известно, экономика осветительной техники в первую очередь определяется нормированием освещения. Правильный выбор общего уровня норм, а также соотношения нормированных значений освещенности по разрядам точности и сложности зрительной работы в значительной мере определяют экономику освещения вообще и освещения промышленных предприятий в особенности. Для полного экономического обоснования уровней нормируемой яркости рабочей поверхности необходимо знать зависимость производительности труда и брака продукции от уровня нормируемой яркости [Л. 1]. Однако определение таких функций требует проведения трудоемких опытов [Л. 2], вследствие чего этот метод нормирования не нашел широкого применения на практике. Более приемлемым для практики методом оценки эквивалентности осветительных вариантов по эффективности зрительной работы является метод видимости (различимости) объектов наблюдения. Впервые вопрос о влиянии качественных и количественных показателей освещения на видимость был поставлен А. А. Гершуном и Д. Н. Лазаревым в 1935 г. [Л. 3], а применение этого критерия для нормирования было предложено лишь в 1947 г. [Л. 4]. Использование видимости для оценки условий освещения промышленных предприятий целесообразно еще и по-

тому, что принятая в практике отечественной осветительной техники оценка основных качественных показателей освещения также характеризуется изменением порогового контраста объекта наблюдения с фоном.

Исследования, проведенные в различных странах за последние десятилетия, показывают необходимость применения комплексной оценки осветительных установок по их количественным и качественным показателям. Поэтому стремление повышать уровень освещенности в установках промышленного освещения без учета качества освещения может оказаться нецелесообразным ни с гигиенической, ни с технико-экономической точек зрения. Так, например, увеличение освещенности без учета структуры светового поля, в частности без учета контрастности освещения и направления света на рельефные объекты, далеко не всегда приводит к улучшению условий работы глаза, повышению производительности труда и снижению утомления. Вместе с тем такое увеличение освещенности повышает стоимость осветительной установки и расходы на ее эксплуатацию, следовательно, является неприемлемым по экономическим показателям. Использование метода нормирования по видимости позволяет производить комплексную оценку освещения, что является его бесспорным преимуществом. Наличие несложной методики

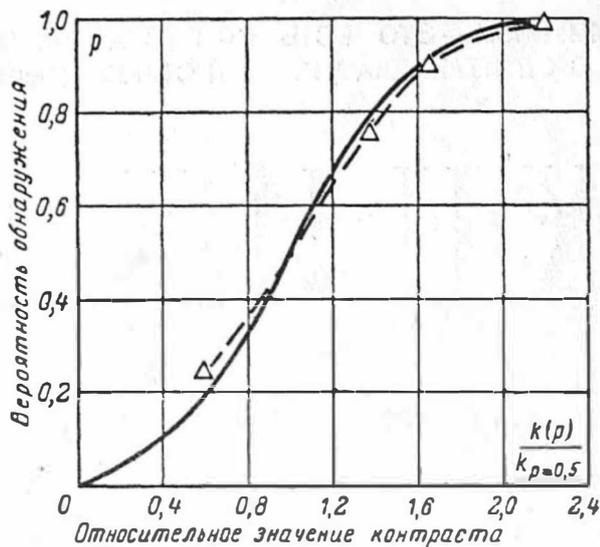


Рис. 1. Вероятность обнаружения и различения в функции яркостного контраста.
 — видимость по Блекуэллу; - - - различимость по Пинегину и Раутиану.

измерения видимости любых объектов непосредственно в производственных условиях [Л. 5] делает этот метод нормирования удобным для практического использования при разработке отраслевых норм искусственного освещения промышленных предприятий.

Для максимального приближения значения видимости к количественной характеристике зрительного процесса следует выбирать ее масштаб логарифмическим [Л. 4]. При этом видимость одноцветного с фоном объекта наблюдения следует оценивать логарифмом отношения фактического яркостного контраста объекта с фоном к его пороговому значению

$$V = \lg \frac{\kappa}{c \kappa_{\text{пор}}}, \quad (1)$$

где κ и $\kappa_{\text{пор}}$ — фактические и пороговые значения яркостных контрастов объекта с фоном;

c — коэффициент запаса, определяющий трудность зрительной задачи в зависимости от необходимости различения или опознавания объекта, сложности его формы, неопределенности места его появления в поле зрения наблюдателя и др.

За последние годы в практику определения пороговых характеристик объектов наблюдения прочно внедрилось понятие вероятности их обнаружения или различения. Х. Блекуэлл [Л. 6] установил зависимость порогового контраста от вероятности обнаружения p простейших по форме объектов обнаружения — равных дисков, обладающих

яркостью меньшей яркости фона. Сопоставление значений $\kappa_{\text{пор}} = f(p)$ для процессов обнаружения объекта (по данным Х. Блекуэлла) и различения его формы (по данным Г. Н. Раутиана и Н. И. Пинегина [Л. 7]) показало (рис. 1) вполне удовлетворительное их совпадение, что позволяет принять одинаковыми кривые распределения вероятности для стадий видимости и различимости¹. Максимальные значения видимости объекта с заданным угловым размером согласно уравнению (1) определяются отношением яркостного контраста объекта наблюдения к предельно минимальному его пороговому значению ξ_α

$$V_{\text{макс}} = \lg \frac{\kappa}{c \xi_\alpha}. \quad (2)$$

Предельно минимальные пороговые значения контраста ξ_α для равнорядного диска были определены нами по результатам исследования Х. Блекуэлла, Ж. Кеннера и Р. Геноунга, П. Вейгеля и О. Кнолля и др. из следующего условия:

$$\frac{d \lg \kappa_{\text{пор}}}{d \lg B} = 0,01. \quad (3)$$

Значения видимости для заданных условий освещения по уравнению (1) и максимальное значение видимости, определяемое уравнением (2), записаны в соответствии с кривыми $\kappa_{\text{пор}} = f(p)$, приведенными на рис. 1 для вероятности $p = 0,5$. С повышением требований к достоверности выполнения зрительной задачи видимость любого заданного объекта наблюдения уменьшится на $\lg f(p)$, так как повышение достоверности соответствует увеличению вероятности и, следовательно, увеличению порогового контраста. В общем случае для заданного значения вероятности обнаружения объекта видимость определяется следующим выражением:

$$V_p = \lg \frac{\kappa}{c \kappa_{\text{пор}} f(p)}. \quad (1a)$$

Предельно максимальное значение видимости соответственно можно записать:

$$V_{\text{макс}} = \lg \frac{\kappa}{c \xi_\alpha f(p)}. \quad (2a)$$

Значения предельно минимальных пороговых контрастов ξ_α для $p = 0,5$ и соответствующих им яркостей фона для объектов обнаружения с различными угловыми размерами приведены в табл. 1.

Для сопоставления заданных условий освещения с оптимальными, обеспечивающими предельно минимальное значение порогового

¹ В опытах Г. Н. Раутиана и Н. И. Пинегина объектом различения было кольцо Ландольта.

Таблица 1

Значения $\xi_\alpha = f(\alpha)$

Угловой размер α , угл. мин.	0,5	1	2	4	10	50
Минимальный пороговый контраст ξ_α	0,780	0,170	0,065	0,025	0,018	0,010
Предельная яркость фона, <i>нт</i>	3 000	1 300	600	180	130	65

контраста объекта с заданным угловым размером, целесообразно ввести понятие относительной видимости:

$$v_0 = \frac{V}{V_{\max}} = \frac{\lg \kappa - \lg c - \lg \kappa_{\text{пор}} - \lg f(p)}{\lg \kappa - \lg c - \lg \xi_\alpha - \lg f(p)}. \quad (4)$$

Из уравнения (4), определяющего относительную видимость, следует, что максимальное значение относительной видимости любого объекта $(v_0)_{\max} = 1$. Этого значения относительная видимость достигает при оптимальном значении яркости, когда $\kappa_{\text{пор}} = \xi_\alpha$. Оптимальный уровень яркости (табл. 1), зависящий от углового размера объекта наблюдения, определяет гигиенический максимум норм освещения. Из этого следует, что количественное значение относительной видимости характеризует степень приближения нормированного значения яркости к гигиеническому максимуму.

Пользуясь уравнением (4), можно рассчитать относительное значение порогового контраста $\kappa_{\text{пор}}/\xi_\alpha$, обеспечивающее выбранный уровень относительной видимости v_0 для заданных κ , α и p :

$$\frac{\kappa_{\text{пор}}}{\xi_\alpha} = \left| \frac{\kappa}{c \xi_\alpha f(p)} \right|^{1-v_0}. \quad (5)$$

Относительное значение порогового контраста однозначно определяет требуемое значение яркости для объекта с заданным угловым размером α , так как пороговый контраст простейшего объекта (равнояркого диска) однозначно определяется его угловым размером и яркостью:

$$b \kappa_{\text{пор}} B_\phi^{1-a} = 1, \quad (6)$$

где B_ϕ — яркость фона, *нт*;
 b и $(1-a)$ — параметры, зависящие от углового размера диска и диапазона яркости (рис. 2).

Из уравнений (5) и (6) видно, что требуемая для обеспечения v_0 яркость B_ϕ зависит от контраста, углового размера объекта наблюдения и вероятности его обнаружения. Следовательно, решение этих уравнений относительно яркости B_ϕ позволяет определить

освещенность для любого значения коэффициента отражения рабочей поверхности по выбранному (заданному) значению относительной видимости.

Как известно [Л. 3 и 8], видимость рельефных деталей любого производственного процесса определяется структурой светового поля в пространстве освещаемого объекта. Правильный выбор контрастности освещения и направления падающего на рабочую поверхность света обеспечивает значительное увеличение видимости за счет повышения контраста или углового размера объекта наблюдения.

Для учета влияния качества освещения на видимость принято пользоваться понятием эквивалентных параметров (контраст и угловой размер) объектов наблюдения. Критерием эквивалентности размера и контраста рельефных объектов наблюдения по М. М. Гуторову [Л. 8] принята видимость.

Вследствие того что основой предлагаемого метода нормирования является зависимость видимости простейших по форме равноярких дисков с параметрами α и κ от яркости B_ϕ (6), эквивалентность параметров рельефных объектов с угловым размером и контрастом равнояркого диска следует определять из условий одинакового относительного изменения их видимости при одинаковом изменении яркости. Для определения эквивалентных значений углового размера α_3 и контраста κ_3 сложных по форме и по распределению яркости

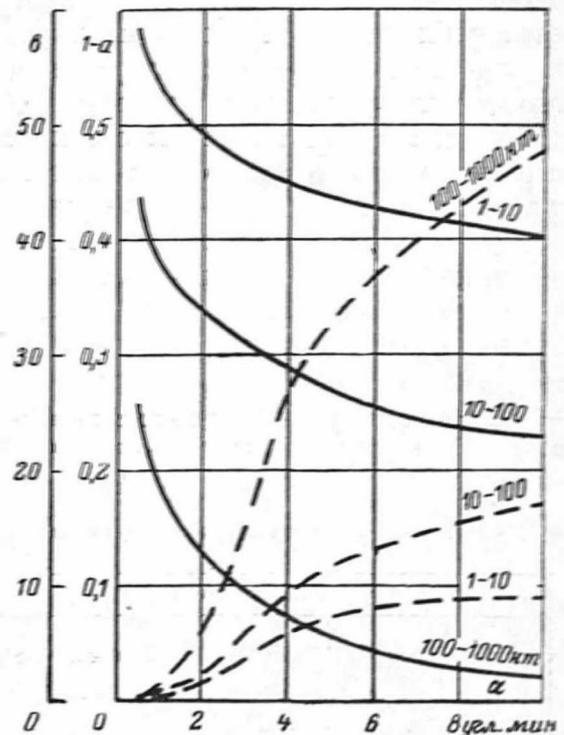


Рис. 2. Значения параметров уравнения (6) в функции углового размера равнояркого диска.

— — — $(1-a) = f(\alpha)$; - - - - $v = f(\alpha)$.

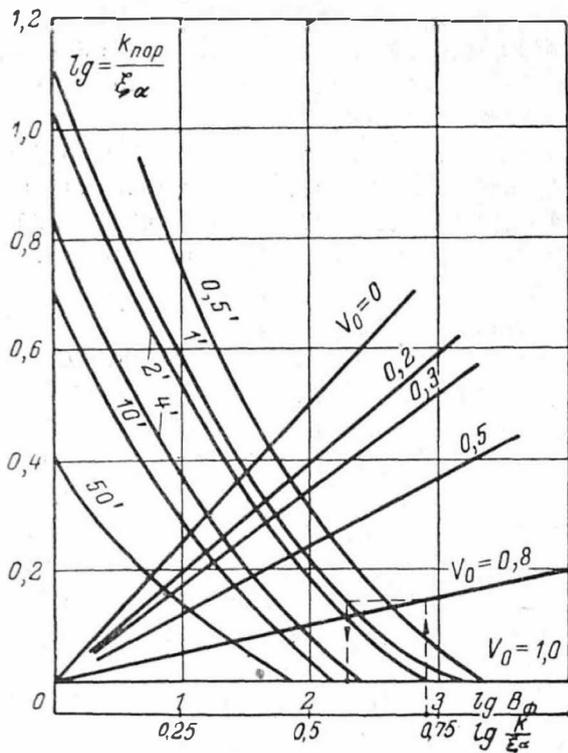


Рис. 3. Расчетная номограмма.

рельефных и плоских объектов необходимо произвести два-три измерения видимости для различных значений яркости². Условие эквивалентности объекта наблюдения и равнояркого диска по угловому размеру определяется равенством отношений видимости изучаемого объекта и диска на исследуемом интервале яркостей. Эквивалентное значение контраста объекта наблюдения определяется произведением порогового значения контраста равнояркого диска с угловым размером α_3 для исследуемой яркости на видимость исследуемого объекта по показанию измерителя видимости. Расчетные операции по выбору яркости B_Φ , необходимой для обеспечения принятого значения видимости объекта с α_3 и κ_3 , можно значительно упростить, применяя для этой цели номограмму. Для построения такой но-

² Для вариации яркости в процессе измерений целесообразно пользоваться нейтральными фильтрами с коэффициентами пропускания 0,1—0,3.

мограммы необходимо представить семейство кривых зависимости $\lg \frac{\kappa_{пор}}{\xi_\alpha} = f(\lg B_\Phi)$ для различных значений α_3 (рис. 3). В этой же координатной системе можно расположить пучок прямых, определяющих (5) линейную зависимость:

$$\lg \frac{\kappa_{пор}}{\xi_\alpha} = (1 - v_0) \lg \frac{\kappa_3}{c \xi_\alpha f(p)}. \quad (5a)$$

Второй масштаб по оси абсцисс номограммы будет определяться значением

$$\lg \kappa_3 - \lg c \xi_\alpha f(p).$$

Пользуясь этой номограммой, можно решить следующие задачи:

- определить относительную видимость объекта с эквивалентными параметрами α_3 и κ_3 при любом значении яркости;
- определить необходимую яркость для заданных α_3 , κ_3 и v_0 .

Решение этих задач требует предварительного определения $\lg \frac{\kappa_3}{c \xi_\alpha f(p)}$. Для расчета

этой величины по табл. 1 необходимо определить ξ_α при заданном значении α_3 и найти $f(p)$ по графику, приведенному на рис. 1. На расчетной номограмме (рис. 3) приведен пример определения необходимой яркости, обеспечивающей относительную видимость $v_0=0,8$, $\alpha_3=1'$, $\kappa_3=0,9$, $p=0,8$ и $c=1$.

С целью иллюстрации предлагаемого метода нормирования нами были определены значения относительной видимости для действующих норм искусственного освещения. В расчете были приняты размеры объектов различения 0,1—5 мм, соответствующие первым четырем разрядам норм. Для каждого размера объекта видимость рассчитывалась при значениях коэффициента отражения фона 0,15 и 0,6 и контраста объекта с фоном $\kappa=0,15$ (подразряд «а») и $\kappa=0,7$ (подразряд «г»). Полученные значения относительной видимости при вероятности обнаружения объектов различения $p=0,5$ и 0,99 представлены в табл. 2.

Таблица 2

Значения пределов относительной видимости для действующих норм искусственного освещения (СНиП, глава II-В.6)

	Люминесцентные лампы				Лампы накаливания			
	Система комбинированного освещения		Система общего освещения		Система комбинированного освещения		Система общего освещения	
	$p=0,50$	$p=0,99$	$p=0,50$	$p=0,99$	$p=0,50$	$p=0,99$	$p=0,50$	$p=0,99$
I	0—0,71	0—0,38	0—0,52	0	0—0,58	0—0,09	0—0,33	0
II	0,49—0,82	0—0,73	0,11—0,65	0—0,48	0,27—0,71	0—0,73	0—0,54	0—0,32
III	0,83—0,94	0,72—0,92	0,64—0,86	0,39—0,82	0,73—0,89	0,54—0,86	0,50—0,75	0,15—0,68
IV	0,86—0,95	0,80—0,94	0,86—0,95	0,86—0,95	0,86—0,95	0,80—0,94	0,76—0,90	0,66—0,87

В этой таблице приведены предельные значения относительной видимости: минимальные для $\kappa_3=0,15$ и $\rho=0,15$ и максимальные для $\kappa_3=0,7$ и $\rho=0,6$.

При существующих нормах значения относительной видимости существенно варьируют при переходе от подразряда «а» к подразряду «г», что указывает на неправильно выбранные отношения освещенности внутри разряда. От разряда к разряду (при одинаковых подразрядах) изменение относительной видимости также очень велико. На основе анализа результатов расчета относительной видимости следует сделать вывод о целесообразности повышения уровня освещенности при системе комбинированного освещения и более широкого применения этой системы при точных зрительных работах. Нормированные уровни освещенности в установках с лампами накаливания могут быть рекомендованы лишь только для грубых работ (разряд IV). Из табл. 2 видна необходимость некоторого повы-

шения освещенности для очень точных зрительных работ и понижения освещенности в подразряде «г» II и III разрядов действующих норм.

Литература

1. Труханов А. А., «Светотехника», 1958, № 7.
2. Труханов А. А. и Строкова О. И., «Светотехника», 1965, № 4.
3. Гершун А. А. и Лазарев Д. Н., «Светотехника», 1935, № 4.
4. Мешков В. В., «Электричество», 1947, № 12; Осветительные установки, Госэнергоиздат, 1947; «Светотехника», 1958, № 3.
5. Дашкевич Л. Л., «Светотехника», 1955, № 3 и 4.
6. Blackwell H. R., JOSA, 1946, № 10; III. Eng., 1959, № 6; JOSA, 1963, № 1.
7. Раутман Г. Н., Пинегин Н. И., Труды первой конференции по физиологической оптике, АН СССР, 1936.
8. Гуторов М. М., Сборник трудов МЭИ, Госэнергоиздат, 1952, вып. XIII; Затевакова Т. Г., Вопросы качества освещения в текстильной промышленности, Профиздат, 1954; Гуревич Н. Н. и Шайкевич А. С., «Светотехника», 1962, № 2.