



Рис. 5. Вид осветительной установки с осветительными опорами

Было доказано, что ОУ с призматическими световодами имеет практическое применение для дорожного освещения и превосходит любые другие системы, не создавая паразитных за светок окружающего пространства, обеспечивая зрительную ориентацию водителей, и являясь очень дешевой в эксплуатации.

Для популяризации таких систем освещения необходимо обратить особое внимание на улучшение их экономических показателей. Выполненная ОУ создает хорошие условия освещения дороги с односторонним движением. Мы считаем, что необходимо разработать световоды с оптическими характеристиками, которые были бы оптимальными для дорог с иными условиями движения транспорта.

УДК 612.843.367:628.977.2

Система оценки слепящего действия установок внутреннего освещения по методу обобщенного показателя дискомфорта*

Д. ФИШЕР, проф., доктор

Германия**

При подготовке Руководства МКО по искусственноому освещению (CIE Guide on Interior Lighting [1]), которое вышло в свет в 1986 г., долго дискутировалось, какую систему оценки слепимости ОУ помещений следует включить в это Руководство за неимением на тот момент международно признанной системы.

В результате пришли к компромиссу, и были выбраны:

а) Так называемая "простая" система, представляющая собой обобщенную форму системы оценки слепимости ОУ помещений по Г. Зельнеру [2]. Она получила название "CIE Glare Safeguard System" ("Система предотвращения слепящего действия МКО").

б) "Подробная" (полная) система на основе формулы дискомфортной слепимости, учитывающая все важнейшие параметры. В первую очередь

здесь речь могла идти о британской системе индекса блескости GI (British Glare Index System) [3]. Эта система, однако, не лишена некоторых противоречий. Например, в ряде случаев при расчете индекса GI необходимо разделение протяженных блескских излучателей ("длинных" светильников, светящих линий и т.д.) на "небольшие" части. Величина GI при расчетах по этому методу зачастую зависит от способа или метода, по которому проведено это разделение.

Поэтому экспертами-разработчиками была выбрана формула слепимости, предложенная Х.Д. Эйнхорном [4], и базирующаяся на ней система МКО "CIE Glare Index System".

С подобной ситуацией однако были не согласны страны, в которых уже давно применялась британская система GI (прежде всего, конечно, Великобритания, а также скандинавские страны).

В связи с этим на конгрессе МКО в 1987 г. (Венеция) они выступили с инициативой об образовании нового

Технического комитета МКО — ТС 3-13 "CIE Discomfort Glare Evaluation System" ("Система оценки дискомфорта блескости МКО"). Комитету была поручена разработка новой, удобной для практического использования системы оценки дискомфорта в установках внутреннего освещения.

О работе Технического комитета ТС 3-13 МКО. В Технический комитет МКО ТС 3-13 входят 9 членов, в том числе 2 из Великобритании, 3 из скандинавских стран и по одному из Германии (автор), ЮАР, Японии и Австралии. США в комитете не представлены, поэтому в его работе при разработке проблемы главенствующую роль играла ситуация, имевшая место в Европе. Эта главная задача приобрела еще большую актуальность после образования в сентябре 1989 г. Технического комитета ТС 169 ("Прикладная светотехника") в Европейском комитете по нормированию (CEN), где, наряду с большим объемом других проблем, возникла необходимость разработки единой европейской системы оценки слепящего действия в установках внутреннего освещения. Координация работы ТС 3-13 МКО и ТС 169 CEN обеспечивалась тем, что все европейские члены ТС 3-13 были задействованы также и в рабочих группах ТС 169.

На первом заседании комитета ТС 3-13 МКО в феврале 1989 г. было решено:

а) ввести в систему формулу блескости, основанную на консенсусной базе и лишенную противоречий, для чего К. Сёренсеном была уже проделана обширная предварительная работа [5];

* Заключительный отчет Технического комитета ТС 3-13 МКО. Перевод с нем. В.О. Горнова.

** Lunkenberg 18, 2000 Hamburg 52, BRD.

б) из этой формулы можно получить, с одной стороны, как набор полных таблиц, соответствующих британской системе индекса блескости [3], так и набор сокращенных таблиц, в соответствии со скандинавской системой [6], а с другой стороны — семейство кривых предельно допустимой яркости светильников в соответствии с системой оценки слепящего действия по Г. Зельнеру [2];

в) эта система обобщенного показателя дискомфорта слепимости получила название в англоязычных странах **Unified Glare Rating System (UGR System)** и в немецкоязычной литературе — **Vereinheitlichtes Blendungsbewertungssystem**.

Комитет ТС 3-13 смог закончить свою работу в марте 1992.

Окончательная, 5-я редакция Отчета ТС 3-13 МКО “Discomfort Glare in Interior Lighting” [7] (“Дискомфортная блескость в установках внутреннего освещения”) была передана на утверждение Отделению 3 МКО. Существенный вклад в разработку этого отчета был внесен комитетом “Внутреннее освещение” и рабочей группой “Слепимость” Светотехнического общества Германии.

Содержание отчета ТС 3-13: 1) введение; 2) формула UGR; 3) таблицы UGR; 4) кривые UGR; приложение 1 — метод расчета; приложение 2 — характеристики светильников; приложение 3 — примеры применения.

Формула UGR. Так как формула Эйнхорна непригодна для составления простых систем таблиц, в качестве формулы UGR было введено предложенное К. Сёренсеном упрощенное выражение [5]:

$$UGR = 8 \lg (0,25 / L_b) \times \\ \times \sum (L^2 \omega / P^2), \quad (1)$$

где L_b — яркость фона, $\text{kд}/\text{м}^2$; L — яркость светящей зоны светильника в направлении к глазу наблюдателя, $\text{kд}/\text{м}^2$; ω — телесный угол охвата светящей зоны светильника относительно глаза наблюдателя, ср.; P — индекс позиции по С. Гату [3] для светильника, действующего в направлении глаза наблюдателя.

Константы в формуле были выбраны таким образом, чтобы величины в средней области рекомендуемых степеней UGR (13, 16, 19, 22, 25 и 28) соответствовали величинам, полученным по формуле Р. Гопкинсона (система индекса блескости). При этом в граничных областях могли возникнуть отклонения этих величин до двух единиц UGR [8]. Осветительные установки с величинами UGR менее 10 считаются не слепящими и обозначаются знаком < 10. Формула UGR примени-

ма только для блеских источников, которые имеют телесный угол охвата по отношению к глазу наблюдателя в диапазоне от 0,0003 до 0,1 ср.

Из-за большой трудоемкости прямой расчет величин UGR по формуле (1) оправдан только в специальных случаях, например, при одновременном применении различных по светораспределению светильников. Для всех обычных ОУ должна применяться система таблиц, рассчитанных по формуле UGR, или, если необходима предварительная приблизительная оценка ОУ, применяется система кривых граничной (предельно допустимой) яркости.

Таблицы величин UGR. Таблицы величин UGR, необходимые для проектирования освещения помещений, должны быть составлены изготовителем светильников и представляться как часть необходимой светотехнической документации на ОУ. Для расчета таблиц UGR при этом применяется компьютерная программа, которая также позволяет рассчитать и другие параметры документации на светильник, например, таблицы коэффициентов использования ОУ (η_{OY}) (см. табл. 1).

С помощью этой таблицы величин η_{OY} будет показано, как определить упомянутую ниже относительную яркость фона (L_R).

Это пример таблицы коэффициентов использования, в которой подчеркнуты как коэффициент использования всей ОУ в целом ($\eta_{ges.}$), так и коэффициент использования одной прямой составляющей освещения — $\eta_{dir.}$ (для коэффициентов отражения поверхностей помещения равных нулю). Из этих двух величин относительная яркость фона может быть определена следующим выражением:

в общем случае

$$L_R = 6 \eta_{ges.} - 5 \eta_{dir.}.$$

в данном примере

$$L_R = 6 \times 0,59 - 5 \times 0,51 = 0,99.$$

Из обеих версий таблиц “полные” таблицы величин UGR требуют для составления относительно обширной светотехнической документации на светильник, но небольшого числа корректирующих коэффициентов, а “сокращенные” таблицы UGR, напротив, значительно меньшего объема документации, но большего числа корректирующих коэффициентов.

Полные таблицы величин UGR. Пример полной таблицы UGR приведен в табл. 2.

Для светильников, в которых могут устанавливаться лампы с различным световым потоком (Φ_L), главная (верхняя) часть таблицы содержит так называемые “некорректированные” величины $UGR_{unkor.}$, которые относятся к $\Phi_L = 1000 \text{ лм}$. Коррекция величин UGR под фактический Φ_L может быть проведена следующим образом:

$$UGR_{kor.} = UGR_{unkor.} + \\ + 8 \lg (\Phi_L / 1000). \quad (2)$$

Для светильников, в которых устанавливаются лампы с известным Φ_L , в основной части этих таблиц могут быть приведены величины UGR, скорректированные на данный Φ_L .

Основная часть табл. 2 содержит некорректированные величины UGR для различных габаритов помещений и комбинаций коэффициентов отражения поверхностей. В нижней (дополнительной) части таблицы приведены вариации величин UGR с изменением позиции наблюдателя.

Таблица 1

ИНДЕКС ПОМЕЩЕНИЯ	КОЭФФИЦИЕНТЫ ОТРАЖЕНИЯ								
	ПОТОЛОК			СТЕНЫ			РАБОЧАЯ ПОВЕРХНОСТЬ		
	0,7	0,7	0,7	0,5	0,5	0,5	0,3	0,3	0
0,6	34	29	26	33	29	25	28	25	24
0,8	42	37	34	41	37	34	36	33	32
1,0	48	44	40	47	43	40	42	39	38
1,25	53	49	46	52	48	45	47	44	43
1,5	57	53	50	55	52	49	51	48	46
2,0	62	58	55	59	57	54	55	53	51
2,5	65	62	59	62	60	58	58	56	54
3,0	67	64	62	64	64	60	60	59	56
4,0	69	67	65	67	65	63	63	61	58
5,0	71	69	67	68	67	65	64	63	60

ЛУ
Таблица 2НЕКОРРЕГИРОВАННЫЕ ВЕЛИЧИНЫ UGR (ПРИ $\Phi_n = 1000 \text{ лм}$)

КОЭФФИЦИЕНТЫ ОТРАЖЕНИЯ

ПОТОЛОК		0,7	0,7	0,5	0,5	0,3	0,7	0,7	0,5	0,5	0,3
СТЕНЫ		0,5	0,3	0,5	0,3	0,3	0,5	0,3	0,5	0,3	0,3
РАБОЧАЯ ПОВЕРХНОСТЬ		0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
РАЗМЕРЫ ПОМЕЩЕНИЯ		НАПРАВЛЕНИЕ ЛИНИИ ЗРЕНИЯ									
x	y	ПОПЕРЕК						ВДОЛЬ			
2H	2H	14,4	15,4	14,6	15,6	16,0	13,5	14,5	13,7	14,7	15,1
	3H	14,3	15,3	14,6	15,5	15,8	13,3	14,3	13,6	14,5	14,8
	4H	14,2	15,1	14,5	15,3	15,6	13,2	14,1	13,5	14,3	14,6
	6H	14,0	14,8	14,4	15,1	15,4	13,0	13,8	13,4	14,1	14,4
	8H	14,0	14,8	14,4	15,1	15,4	13,0	13,8	13,4	14,1	14,4
	12H	14,0	14,8	14,3	15,0	15,4	13,0	13,8	13,3	14,0	14,4
4H	2H	14,4	15,3	14,7	15,5	15,8	13,6	14,5	13,9	14,7	15,0
	3H	14,3	15,1	14,6	15,3	15,7	13,4	14,2	13,7	14,4	14,8
	4H	14,1	15,0	14,5	15,2	15,7	13,2	14,1	13,6	14,3	14,8
	6H	14,1	14,7	14,6	15,1	15,6	13,2	13,8	13,7	14,2	14,7
	8H	14,0	14,6	14,6	15,0	15,5	13,1	13,7	13,7	14,1	14,6
	14,0	14,6	14,6	15,0	15,5	13,1	13,7	13,7	14,1	14,6	
8H	4H	14,0	14,6	14,6	15,0	15,5	13,1	13,7	13,7	14,1	14,6
	6H	14,0	14,5	14,5	14,9	15,3	13,1	13,6	13,6	14,0	14,4
	8H	13,9	14,3	14,4	14,7	15,3	13,0	13,4	13,5	13,0	14,4
	12H	13,9	14,3	14,4	14,6	15,3	13,0	13,4	13,5	13,7	14,4
12H	4H	14,0	14,6	14,6	15,0	15,5	13,1	13,7	13,7	14,1	14,6
	6H	13,9	14,3	14,4	14,7	15,3	13,0	13,4	13,5	13,8	14,4
	8H	13,9	14,3	14,4	14,6	15,3	13,0	13,4	13,5	13,7	14,4
ВАРИАЦИИ UGR ПРИ ИЗМЕНЕНИИ ПОЗИЦИИ НАБЛЮДАТЕЛЯ И РАЗЛИЧНЫХ РАССТОЯНИЯХ МЕЖДУ СВЕТИЛЬНИКАМИ											
S = 1 H		+0,9 / -2,1						+0,8 / -1,5			
1,5 H		+2,2 / -7,9						+2,6 / -12,1			
1 H		+4,0 / 16,0						+4,0 / -22,9			
коррекция для других светильников того же вида											
1 × 18 Вт : +2,4		1 × 36 Вт : 0						1 × 58 Вт : -0,8			

Пример полной таблицы величин UGR. Основная часть содержит некорректированные величины для помещений с различными размерами и комбинациями коэффициентов отражения поверхностей. В нижней дополнительной части приведены вариации величин UGR в зависимости от позиции наблюдателя

В табл. 2 размеры помещения даны в величинах, кратных высоте плоскости размещения светильников (H) над уровнем глаз наблюдателя, причем x — размер помещения поперек линии зрения, а y — параллельно ей. Высота глаз от уровня пола для сидящего наблюдателя принята равной 1,2 м, для стоящего — 1,7 м.

Таблицы величин UGR пригодны (как и при всех стандартных методах оценки) для горизонтального направления линии зрения наблюдателя, сидящего у одной стены (спиной к ней) и смотрящего в центр противоположной стены.

При расчете таблиц UGR яркость фона адаптации L_b определяется тремя различными способами:

1. Методом, приведенным в руководстве TM10 Британского института

CIBSE* [3] по отраженной доле освещенности E_i на глазу наблюдателя ($L_b = E_i / \pi$);

2. путем расчета яркостей поверхностей помещения по прямой и отраженной составляющим освещенности, принимая, что яркость этих поверхностей равномерна;

3. По предложению Сёренсена [9], в соответствии с которым величины UGR сначала рассчитываются для $L_b = 127,32 \text{ кд/м}^2$, а затем пересчитываются с учетом фактической L_b прибавлением к каждому из значений корректирующего терма

$$b_L = -8 \lg L_R . \quad (3)$$

Относительная величина яркости фона L_R в этом выражении, как было указано в пояснениях к табл. 1, определяется двумя значениями (η_{oy} из таблицы коэффициентов использования ОУ):

$$L_R = G \eta_{ges} - 5 \eta_{dir} , \quad (4)$$

причем η_{ges} при соответствующих размерах помещения берется из столбца таблицы для конкретной комбинации фактических значений коэффициентов отражения, а η_{dir} — для их нулевых значений (крайний правый столбец).

Таблицы UGR рассчитаны для некоторой опорной величины расстояния между светильниками (S) равной $0,25H$. При таких небольших S слепящее действие ОУ практически не зависит

* Chartered Institution of Building Services Engineers.

сит от положения наблюдателя. Это утверждение справедливо, хотя многие светильники по размеру больше $0,25H$ и должны монтироваться на больших расстояниях друг от друга. Однако из-за этого ошибок не возникает, что подтверждают вполне корректные результаты математических расчетов.

Как видно из рис. 1, а, при небольших S в каждом конкретном случае в ощущение слепящего действия вносят вклад несколько светильников. Поэтому величина UGR при незначительных изменениях положения наблюдателя остается практически постоянной. Для больших S величина UGR при смене позиции наблюдателя изменяется так, как это схематически представлено на рис. 1, б. Это справедливо прежде всего для светильников с зеркальными экранирующими решетками, которые под определенными углами излучения γ имеют большую силу света.

Из-за этой зависимости UGR от положения наблюдателя имеет смысл рассчитать вариации значений UGR для различных S и привести их в дополнительной (нижней) части таблицы UGR. Вариации определяются для позиций наблюдателя внутри квадратных полей с размером сторон $1H$, $1,5H$, и $2H$ в помещении с габаритами

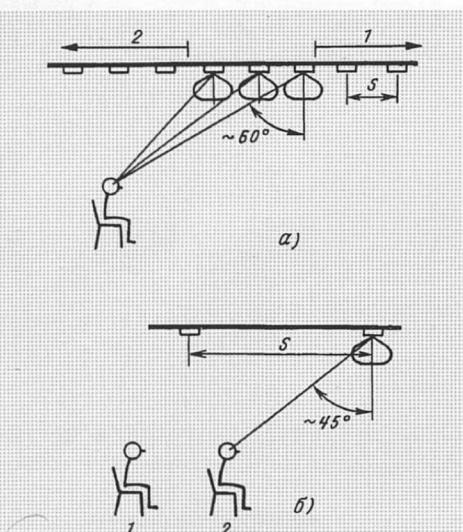


Рис. 1 В ОУ с небольшими расстояниями (S) между светильниками при изменении позиции наблюдателя величина UGR остается неизменной. В ОУ с большими S величины UGR варьируются (в зависимости от положения наблюдателя) между максимумом и минимумом около среднего значения, соответствующего ОУ с малыми S :

а — ОУ со светильниками, имеющими угол излучения $\gamma = 60^\circ$, и малым S ; 1 — светильники, входное отверстие которых воспринимается наблюдателем при данной позиции темными (яркость зеркальной экранирующей решетки резко снижена при $\gamma > 60^\circ$); 2 — светильники, излучение которых экранируется любой частью лица наблюдателя; б — ОУ с такими же светильниками, но размещенными с большим S . В некоторых позициях величина UGR не выше (1), в других — значительно выше (2).

$12H \times 12H$. При этом наблюдатель перемещается в пределах таких полей с шагом $0,25H$.

Вариация "вверх" (в большую сторону) определяется вычитанием из большей величины UGR среднего значения UGR, полученного для малых S .

Вариация "вниз" (в меньшую сторону) — это отрицательное число, представляющее собой разность минимальной и средней величин UGR.

В дополнительной (нижней) части табл. 2 даны вариации UGR при соответствующих позициях наблюдателя. Нижняя строка таблицы содержит корректирующие коэффициенты для других светильников того же типа.

Сокращенные таблицы UGR. В соответствии с принятой в скандинавских странах методикой (так называемый Nordic Method) полные таблицы UGR (табл. 2) с соблюдением достаточной точности могут быть заменены набором из 14 стандартных таблиц (см. табл. 3).

Величины UGR в этих таблицах приведены в функции размеров помещения (x, y) и базируются на значении $L_b = 127,32 \text{ кд}/\text{м}^2$.

При заданном типе светильника для каждого из двух основных направлений линий зрения отдельно выбирается одна стандартная таблица. К тому же в качестве первого шага рассчитывается полная таблица UGR для $L_b = 127,32 \text{ кд}/\text{м}^2$. Эта таблица сравнивается затем последовательно для каждого направления зрения отдельно с каждой стандартной таблицей (табл. 3). Результаты вводятся в новую таблицу, которая в каждом своем значении содержит величину из полной таблицы UGR за вычетом величины, взятой из стандартной таблицы. Из полученной таким образом таблицы находится наименьшая и наибольшая разность между величинами UGR. Половина разностного значения между этими разностями представляет собой ошибку, которая возникает при замене полной таблицы на стандартную. Затем выбирается та стандартная таблица, которая приводит к минимальной ошибке. В сокращенных таблицах UGR (см. табл. 4) учтены только те оба направления линии зрения, которые используются в стандартных таблицах.

Кроме того, для каждого направления должен приводиться корректирующий коэффициент, который суммируется с величинами из стандартных таблиц, для того, чтобы получить значение UGR для индивидуального светильника. Эта величина есть среднее между обеими, выше упомянутыми разностями (наименьшей и наибольшей).

Так как при составлении стандартных таблиц была выбрана определенная величина L_b и коэффициенты отражения поверхностей помещения в

качестве параметра не использовались, проектировщик ОУ должен еще рассчитать корректирующие поправки для L_b с помощью формул (3) и (4).

Для определения величины L_R (относительной яркости фона) по (4) для данного типа светильника необходимо располагать таблицами η_{OY} . Корректирующий терм, рассчитываемый по (3) для обоих направлений линий зрения, одинаков и суммируется с соответствующими UGR.

В сокращенных таблицах UGR (аналогично полным таблицам) также введены вариации для положений наблюдателя.

Итак, разница в определении UGR с помощью полных и сокращенных таблиц состоит главным образом в том, что при наличии полных таблиц для всех сочетаний коэффициентов отражения поверхностей помещения изготовители светильников рассчитывают истинное значение яркости фона адаптации L_b , в то время как при сокращенных таблицах L_b зависит от выбора проектировщика ОУ. Хотя полные таблицы требуют большего места в объеме документации на светильники, они все же существенно снижают трудоемкость при проектировании ОУ.

Кривые UGR (диаграммы предельно допустимой яркости). Методика расчета и построения кривых UGR с помощью базовой формулы (1) была уже достаточно подробно рассмотрена в одной из ранних статей автора [9]. При этом в ней речь шла о диаграмме II (см. рис. 2, б). Она справедлива для относительно "светлых" помещений, например, с коэффициентами отражения потолка, стен и пола соответственно 0,7, 0,5 и 0,2.

Для того, чтобы получить представление о величинах, которые получаются из таблиц и кривых UGR при применении в ОУ типовых серийных светильников, комитет "Внутреннее освещение" Светотехнического общества Германии с помощью фирмы LCI Software Engineering (США) провел специальное расчетное исследование. Для большого числа типов светильников различных изготовителей были рассчитаны полные таблицы UGR и распределение яркости по светящей поверхности светильников (для его применения в кривых UGR). При этом особо тщательно было исследовано, в какой мере согласуются величины UGR, определенные по диаграмме II рис. 2, б (для угловой зоны излучения светильников $45^\circ < \gamma < 85^\circ$) с величинами UGR из таблиц (для помещения размером $8H \times 12H$ с коэффициентами отражения поверхностей 0,7, 0,5 и 0,2).

Стандартные таблицы некорректированных величин UGR

BK00 – 20 для помещений всех размеров

BK01	x	2	3	4	6	8	12
y	2	19,0	19,4	19,5	19,5	19,5	19,5
3	19,3	19,7	19,9	19,9	19,9	19,9	
4	19,4	19,8	19,9	20,0	20,0	20,0	
6	19,4	19,8	19,9	20,0	20,0	20,0	
8	19,4	19,8	19,9	20,0	20,0	20,0	
12	19,4	19,8	19,9	20,0	20,0	20,0	

BK02	x	2	3	4	6	8	12
y	2	18,0	18,5	18,7	18,8	18,8	18,8
3	18,7	19,2	19,5	19,6	19,6	19,6	
4	18,8	19,4	19,7	19,8	19,9	19,9	
6	18,9	19,5	19,8	19,9	20,0	20,0	
8	18,9	19,5	19,8	20,0	20,0	20,0	
12	18,9	19,5	19,8	20,0	20,0	20,0	

BK03	x	2	3	4	6	8	12
y	2	17,0	17,6	17,9	18,0	18,0	18,0
3	17,9	18,6	18,9	19,1	19,1	19,2	
4	18,2	18,9	19,3	19,5	19,6	19,6	
6	18,4	19,1	19,5	19,8	19,8	19,9	
8	18,4	19,1	19,6	19,8	19,9	19,9	
12	18,5	19,2	19,6	19,9	19,9	20,0	

BK04	x	2	3	4	6	8	12
y	2	16,0	16,6	17,0	17,1	17,2	17,2
3	17,2	17,9	18,4	18,6	18,7	18,7	
4	17,6	18,4	18,9	19,2	19,2	19,3	
6	17,9	18,7	19,2	19,6	19,7	19,7	
8	18,0	18,8	19,3	19,7	19,8	19,9	
12	18,0	18,8	19,4	19,8	19,9	20,0	

BK05	x	2	3	4	6	8	12
y	2	15,0	15,7	16,1	16,3	16,3	16,3
3	16,5	17,3	17,8	18,0	18,1	18,2	
4	17,0	17,8	18,4	18,8	18,9	18,9	
6	17,4	18,3	18,9	19,3	19,5	19,6	
8	17,5	18,4	19,1	19,5	19,7	19,8	
12	17,6	18,5	19,2	19,6	19,8	20,0	

BK06	x	2	3	4	6	8	12
y	2	14,0	14,7	15,2	15,4	15,5	15,5
3	15,7	16,5	17,1	17,4	17,5	17,6	
4	16,4	17,3	17,9	18,3	18,4	18,5	
6	16,9	17,8	18,5	19,0	19,2	19,4	
8	17,1	18,0	18,8	19,3	19,5	19,7	
12	17,2	18,2	18,9	19,5	19,8	20,0	

BK07	x	2	3	4	6	8	12
y	2	13,0	13,8	14,3	14,6	14,6	14,6
3	14,9	15,8	16,4	16,8	16,9	17,0	
4	15,7	16,7	17,4	17,8	18,0	18,1	
6	16,4	17,4	18,2	18,7	19,0	19,1	
8	16,6	17,7	18,5	19,1	19,4	19,6	
12	16,8	17,9	18,7	19,4	19,7	20,0	

BK08	x	2	3	4	6	8	12
y	2	12,0	12,8	13,4	13,7	13,7	13,8
3	14,1	15,0	15,7	16,1	16,3	16,3	
4	15,0	16,0	16,8	17,3	17,5	17,6	
6	15,9	16,9	17,8	18,4	18,7	18,9	
8	16,2	17,3	18,2	18,9	19,2	19,5	
12	16,5	17,6	18,5	19,3	19,6	20,0	

BK09	x	2	3	4	6	8	12
y	2	11,0	11,9	12,5	12,8	12,9	12,9
3	13,3	14,3	15,0	15,4	15,6	15,7	
4	14,4	15,4	16,2	16,8	17,0	17,1	
6	15,3	16,4	17,3	18,0	18,4	18,6	
8	15,8	16,9	17,8	18,6	19,0	19,3	
12	16,1	17,3	18,3	19,1	19,6	20,0	

BK10	x	2	3	4	6	8	12
y	2	10,0	10,9	11,5	11,9	12,0	12,0
3	12,5	13,5	14,2	14,8	14,9	15,0	
4	13,7	14,7	15,6	16,2	16,5	16,6	
6	14,8	15,9	16,9	17,7	18,0	18,3	
8	15,3	16,5	17,5	18,4	18,8	19,2	
12	15,8	17,0	18,1	19,0	19,5	20,0	

BK11	x	2	3	4	6	8	12
y	2	9,0	9,9	10,6	11,0	11,1	11,1
3	11,6	12,7	13,5	14,0	14,2	14,3	
4	12,9	14,0	14,9	15,6	15,9	16,1	
6	14,2	15,4	16,4	17,2	17,6	18,0	
8	14,9	16,1	17,1	18,1	18,5	19,0	
12	15,5	16,7	17,8	18,9	19,4	20,0	

BK12	x	2	3	4	6	8	12
y	2	8,0	8,9	9,6	10,1	10,2	10,2
3	10,8	11,8	12,7	13,2	13,5	13,6	
4	12,2	13,3	14,2	15,0	15,3	15,5	
6	13,7	14,9	15,9	16,8	17,2	17,6	
8	14,4	15,7	16,8	17,7	18,3	18,8	
12	15,2	16,5	17,6	18,7	19,4	20,0	

BK0F	x	2	3	4	6	8	12
y	2	11,9	13,0	13,6	14,1	14,3	14,4
3	13,4	14,7	15,4	16,1	16,5	16,7	
4	14,0	15,4	16,2	17,1	17,5	17,9	
6	14,4	15,9	16,8	17,9	18,4	19,0	
8	14,6	16,0	17,0	18,1	18,8	19,5	
12	14,7	16,2	17,1	18,4	19,1	20,0	

BK0S	x	2	3	4	6	8	12
y	2	12,7	13,6	14,1	14,5	14,	

Таблица 4

направление линии зрения	поперек		вдоль
	вко	вко	
коррекция для других светильников того же типа	1×18 Вт	-3,1	-4,0
	1×36 Вт	-5,5	-6,4
	1×58 Вт	-6,3	-7,2
вариации UGR при значении позиции наблюдателя и различных расстояниях между светильниками	S = 1 h	+0,9/-2,1	+0,8/-1,5
	1,5 h	+2,2/-7,9	+2,6/-12,1
	1 h	+4,0/-16,0	+4,0/-22,9

Пример сокращенной таблицы величин UGR, в которой они даны для двух основных направлений линий зрения наблюдателя, принятых в стандартных таблицах. Данные о вариациях UGR при изменении позиции наблюдателя соответствуют таковым в полных таблицах.

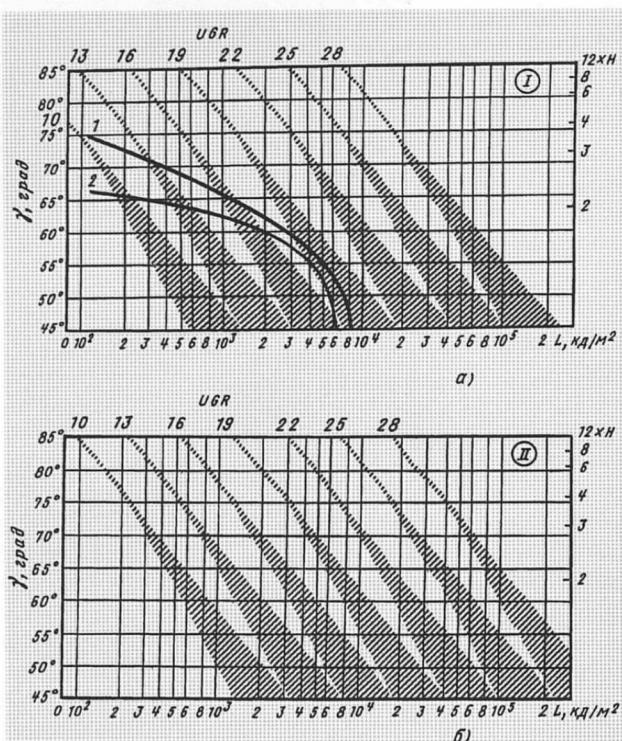
Результаты такого сопоставления 25 светильников представлены на рис. 3, причем данные приведены для двух групп: светильников с зеркальными экранирующими решетками, не излучающих в верхнюю полусферу (т.е. не создающих отраженную составляющую E) и для всех остальных типов. Как видно, величины UGR из таблиц и определенные из кривых для светильников с диффузным светораспределением и для светильников с долей светового потока в верхнюю полусферу отличаются не более чем на 1 единицу UGR.

Величины из кривых для светильников с зеркальными решетками, не излучающими на потолок, на 3–4 единицы UGR меньше табличных значений. Это означает, что дискомфортное действие светильников с зеркальными решетками вполне достоверно отражают кривые UGR и это коррелируется с оценками по кривым ограничения яркости Зельнера. Причина этого в том, что при построении кривых UGR исходили из того, что поверхности помещения образуют "светлый" фон по отношению к блескому источнику не только за счет относительно высоких коэффициентов отражения, но и из-за достаточной доли прямого светового потока, подающего на стены и пол. Если же, (как в случае светильников с зеркальными решетками) прямая составляющая излучения на стенах отсутствует или очень мала, то дискомфортное ощущение слепящего действия на 3–4 единицы UGR выше.

Для выхода из этой неблагоприятной ситуации было решено: 1 — ограничить пригодность диаграммы II (рис. 2, б) светильниками с более или менее диффузным характером излучения и светильниками, излучающими часть светового потока на потолок; 2 — ввести вторую UGR-диаграмму (рис. 2, а, диаграмма I) специально для светильников с небольшой долей прямого светового потока на стены и потолок или при ее полном отсутствии. К таким ОП относятся светиль-

ники с зеркальными отражателями и решетками и другие светильники прямого света (типа Downlight). При разумном применении обеих диаграмм из рис. 2 для упорядочения исследованных светильников (рис. 3) удается получить достаточно хорошее согласование между величинами UGR из таблиц и из кривых: максимальные отклонения достигают ± 2 единицы UGR.

Заштрихованные области на диаграммах рис. 2 позволяют учесть зависимость UGR от положения наблюдателя. Если определенная максимальная величина UGR должна при этом удовлетворить и требованиям к ограничению слепимости, то в качестве кривой предельно допустимой яркости светильника можно принять левую граничную кривую соответствующей заштрихованной области. Эта область ограничена соответствующей кривой UGR и линией, которая отходит от кривой при $\gamma = 75^\circ$, и касается при $\gamma = 45^\circ$ соседней кривой для величин UGR на 3 единицы меньших (в соответствии с шагом градаций UGR).



Кривые UGR обеих диаграмм математически описываются следующими выражениями:

диаграмма I:

$$\lg L = (29 + UGR - 0,308 \gamma) / 8; \quad (5)$$

диаграмма II:

$$\lg L = (32 + UGR - 0,308 \gamma) / 8, \quad (6)$$

где L — граничная (предельно допустимая) яркость, $\text{kд}/\text{м}^2$; γ — угол излучения светильника относительно вертикали, град.

На рис. 2, а приведены кривые (1, 2) распределения яркости в двух главных плоскостях для светильника с ЛЛ и зеркальной решеткой.

Применение кривых UGR. Отчет МКО не рекомендует применять кривые UGR при проектировании ОУ из-за возникновения возможных ошибок. При этом, однако, указано, что кривые могут использоваться: для сравнения различных по яркостным характеристикам светильников (с целью первоначального выбора на первой стадии проектирования) и при последующем контроле качества освещения в уже выполненной ОУ.

Пригодность кривых UGR для контроля функционирующей ОУ зависит от того, можно ли обеспечить непревышение величин UGR, определенных по кривым, над величинами UGR, взятыми из таблиц, так как в противном случае ОУ, нормативно спроектированные по таблицам UGR, могут оказаться неудовлетворительными.

Поэтому для нахождения решения были подробно проанализированы распределения яркости всех тех светильников, представленных на рис. 4, для которых величины UGR, определенные по кривым, превышают величины, взятые из таблиц. При этом оказалось, как показывает пример на рис. 5, что все кривые распределения яркости светильников с диффузным светораспределением в зоне выше $\gamma = 75^\circ$ (т.е. там, где кривые Зельнера вверху отклоняются к вертикали) изгибаются в сторону более высоких яркостей и это приводит в результате к относительно более высоким значениям UGR.

В принципе кривые UGR были бы пригодны для оценки действующих ОУ лишь в том случае, если яркость светильника учитывалась бы только в зоне $45^\circ < \gamma < 75^\circ$. Как видно из рис. 6, тогда только у трех светильников с зеркальными решетками величины UGR из кривых незначительно превышают табличные значения UGR. Такое ограничение имело бы, кроме того, и то преимущество, что можно было бы исключить достаточно трудно осуществимые в действующей ОУ из-

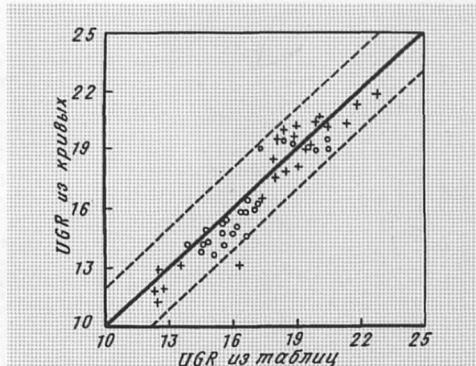


Рис. 4 Если светильники с зеркальными решетками оцениваются по кривым диаграммы I (рис. 2, а), то различия между табличными значениями UGR и их величинами из кривых не превышают ± 2 единиц

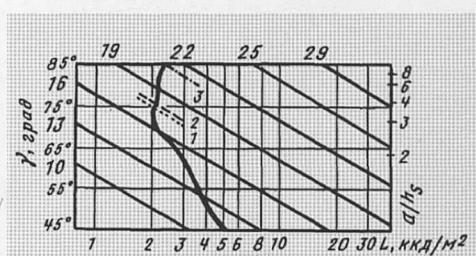


Рис. 5 Пример кривой распределения яркости светильника, которая под углами выше $\gamma = 75^\circ$ достаточно резко отклонена вправо и поэтому обуславливает относительно высокие значения UGR. Если же учитывается только угловая зона $45^\circ \leq \gamma \leq 75^\circ$, то достигается хорошее согласование между табличными величинами UGR и данными из кривых:

— $UGR = 17,7$ (из кривых для зоны $45^\circ \leq \gamma \leq 75^\circ$); — $UGR = 17,9$ (из таблиц); — $UGR = 21,1$ (из кривых, для зоны $45^\circ \leq \gamma \leq 85^\circ$)

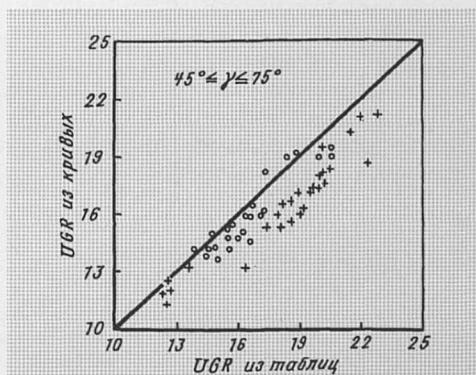


Рис. 6 Кривые UGR пригодны для контроля уровня дискомфорта в действующих ОУ только в случае, если величины UGR, взятые из кривых не превышают табличных значений UGR, использованных при проектировании табличных значений UGR, использованных при проектировании установки. Этого можно достичнуть в том случае, если изменяются, и далее применяются только яркости светильников в зоне $45^\circ \leq \gamma \leq 75^\circ$. Сравнение данных рис. 5 и 6 показывает, что только при указанном условии лишь для некоторых светильников с зеркальными решетками величины UGR из кривых незначительно превышают значения UGR, определенные по таблицам

мерения яркости светильников в зоне углов $\gamma = 75^\circ - 85^\circ$.

Другая возможность избежать неблагоприятных величин UGR (из кривых) при оценке ОУ состоит в том, что в контролируемых ОУ принципиально допустимы величины UGR, на 3 единицы превышающие значения из кривых.

Методика расчета и характеристики светильников. В приложении 1 к отчету ТС3-13 подробно представлены методы расчета.

В начале описана система координат, в которой должны представляться: яркость светильников (L), телесный угол (ω) и индекс позиции наблюдателя (P). Причем даются также и таблицы со значениями P . Далее приводятся: рекомендации по расчету L_b , составлению таблиц UGR, а также построения кривых распределения яркости.

В приложении 2 описаны характеристики светильников, необходимые для расчета UGR. Причем светильники разделены на 2 категории, отличающиеся распределением яркости L по видимой светящей поверхности площадью A_p при том или ином направлении зрения (см. рис. 7).

К категории А относятся светильники, имеющие относительно постоянную яркость светящей поверхности. Это могут быть светильники с "голыми" лампами, а также светильники с зеркальными отражателями (имеющими высокую степень глянца) и открытыми выходными отверстиями, в которых создается зеркальное отображение ИС с трудно определимыми размерами. (В этом случае L может быть оценена произведением яркости лампы и коэффициента зеркального отражения отражателя). Так как яркости ИС, как правило, известны и для наиболее распространенных типов приведены в отчете ТС 3-13 МКО, площадь видимой (активной) поверхности определяется по силе света и яркости светильника в данном направлении:

$$A_p = I / L. \quad (7)$$

Категория А включает также светильники с опаловыми рассеивателями, яркость которых может быть найдена следующим образом:

$$L = \eta_L / \pi A, \quad (8)$$

где η_L — КПД светильника, A — площадь светящей поверхности выходного отверстия, м^2 .

К категории В относятся светильники с легко определимой площадью светящей поверхности, но с неизвестной яркостью. Тогда последняя находится как

$$L = I / A_p. \quad (9)$$

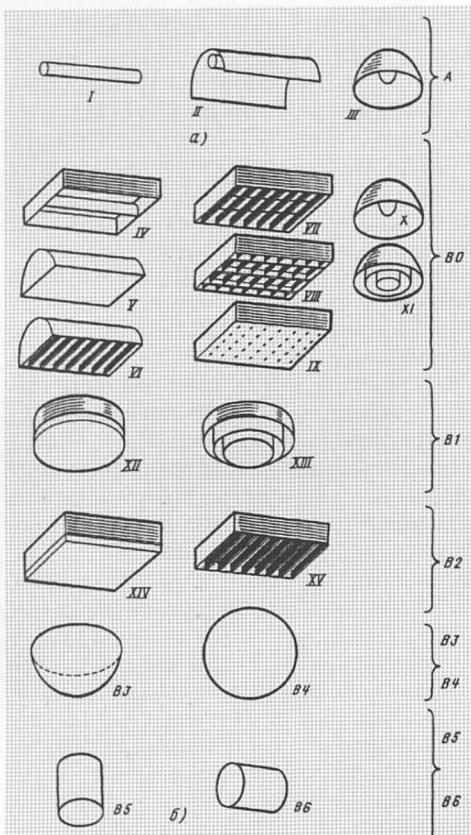


Рис. 7 Описание признаков светильников категорий А (а) и В (б).

А — светильники с приблизительно постоянной яркостью: с "голой" лампой (I); с глянцевыми зеркальными отражателями без экранирующей решетки и (или) рассеивателя (II и III)

В — светильники с определенной геометрией светящих частей (площадь которых может быть легко рассчитана):

В0 — с диффузным или "полудиффузным" отражателем (с рассеянным или направленно-рассеченным характером отражения, IV, V, X), с экранирующей решеткой (VI, VII, VIII, XI) с призматическим рассеивателем и т.п. (IX).

В1 — с горизонтальной (основной) светящей плоскостью и вертикальными цилиндрическими боковыми частями: с опаловым рассеивателем (XII) или выступающей белой экранирующей решеткой (XIII).

В2 — с горизонтальной светящей плоскостью и вертикальными боковыми, продольными и (или) торцовыми частями: с опаловым рассеивателем (XIV) или выступающей решеткой (XV).

В3 — с рассеивателем в виде нижней полусферы.

В4 — со сферическими рассеивателями.

В5 — с рассеивателем в виде вертикального цилиндра (с горизонтальным "дном" или без него).

В6 — с рассеивателем в виде горизонтального цилиндра (с вертикальными торцами или без них)

Большинство типов светильников массового применения принадлежат именно к категории В.

Пример. В приложении 3 к отчету МКО приведен пример расчета ОУ небольшой аудитории (площадью $6 \times 9 \text{ м}^2$, высотой 3,2 м, с коэффициентами отражения поверхностей 0,7, 0,5 и 0,2. Рассмотрено 2 альтернативных типа светильников — ЛЛ с экранирующей решеткой (полуматовая зеркальная фактура) и с КЛЛ в сферичес-

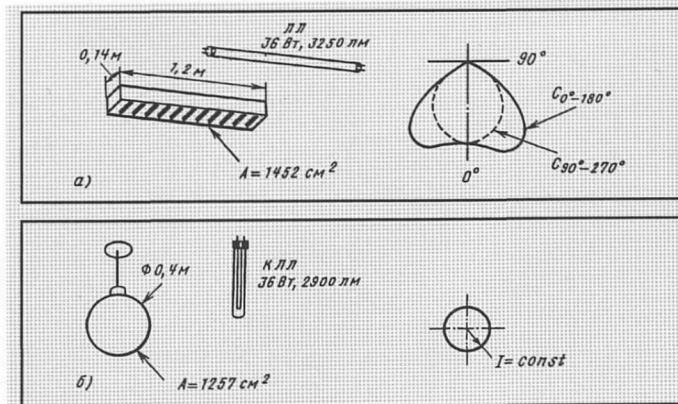


Рис. 8 Основные параметры светильников, использованных в примере расчета:

а — потолочный светильник прямого света с линейной ЛЛ $1 \times 36 \text{ Вт}$ и экранирующей решеткой, имеющей полуматовую зеркальную поверхность; б — подвесной светильник рассеянного света со сферическим рассеивателем из опалового стекла или замутненной пластмассы

ком опаловом диффузном рассеивателе (см. рис. 8). Средняя освещенность должна составлять 200 лк, а величина UGR не должна превышать 19.

Определение UGR охватывает среднюю и максимальную величины и проводится следующими четырьмя методами:

- прямой расчет по основной формуле UGR (1);
- определение из полных таблиц UGR;
- определение по сокращенным таблицам UGR;
- определение по кривым граничных яркостей (диаграммам UGR).

Результаты сопоставлены в табл. 5. Как видно, различия между величинами UGR, полученными указанными методами, не превышают 1,4 единиц.

Рекомендации по применению метода UGR. Технический комитет ТС 3-13 видел свою задачу исключительно в том, чтобы разработать несколько удобных для использования в практике проектирования ОУ версий системы UGR.

Выработка рекомендаций по предельно допустимым величинам UGR в ОУ различных помещений (с соответственно отличающимся характером зрительных задач и требованиями к

качеству освещения) находится в компетенции комитетов, занимающихся прикладными проблемами в технике освещения, в том числе практическим применением методов расчета количественных и качественных показателей ОУ. К таковым относятся прежде всего Технический подкомитет "Прикладная светотехника" Европейского Комитета по нормированию (CEN TC169, рабочая группа WG2) и вновь образованный комитет МКО ТС 3-21 по стандартам и нормам внутреннего освещения (CIE / ISO Interior Lighting Standard).

Ковариантность — зависимость степени дискомфорта ощущения слепимости от уровня освещенности (которая исследовалась Зельнером [11]) в системе UGR не содержится, так как в противном случае невозможно было бы предложить удобный для практики табличный метод.

Однако следует указать, что ковариантность в рекомендациях по применению метода может быть учтена: для ОУ с высокими нормируемыми уровнями освещенности предписывается меньшая верхняя граница величины UGR, чем для ОУ с низкими освещенностями. Так как в процессе работы Комитет ТС 3-13 не располагал опы-

Таблица 5

Метод определения UGR	UGR			
	типа ОУ в ОУ			
	Светильник с зеркальной решеткой	Светильник со сферическим диффузным рассеивателем		
Направление линии зрения наблюдателя				
	поперек	вдоль	поперек	вдоль
по формуле	17,0/18,4	17,1/18,1	16,3/16,6	14,6/15,5
из полных таблиц	17,0/18,4	17,1/17,8	16,4/16,4	15,5/15,5
из сокращенных таблиц	17,3/18,6	17,3/18,0	16,3/16,3	15,6/15,6
по кривым граничных яркостей	16,5/19,0	16,5/19,0	17,5/17,5	16,0/16,0

Средние/максимальные величины UGR, определенные в практическом примере расчета по четырем рассмотренным методам. Данные справедливы для двух альтернативных типов светильников, которые могут быть применены в типовой ОУ аудитории.

том и необходимыми результатами исследований применительно к системам отраженного освещения, то применение рассмотренной методики оценки дискомфорта блескости по величине UGR не рекомендуется для установок отраженного света и для ОУ со светящимися потолками.

Шкала величин UGR в принципе может быть преобразована в шкалу метода вероятности зрительного комфорта (Visual Comfort Probability), чаще всего используемого в США для оценки слепящего действия установок внутреннего освещения. Этого преобразования, однако, до настоящего времени не делалось, так как не было сравнимых результатов исследований по обеим системам.

Как указывалось в начале статьи, США в Техническом комитете TC 3-13 не были представлены и поэтому не участвовали в разработке метода UGR. Система оценки дискомфорта по методу UGR тем не менее была обсуждена в США на международном симпозиуме по слепимости ОУ, проведенном в Lighting Research Institute [12]. На этот симпозиум были приглашены несколько экспертов ТС 3-13, которые сделали доклады о методе Unified Glare Ratio System.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. CIE Publikation Nr. 29.2: Guide on Interior Lighting, 2nd ed. (1986).
2. Siehe z.B. DIN 3535: Beleuchtung mit künstlichem Licht. Teil 1. Begriffe und allgemeine Anforderungen (1990).
3. CIBS Technical Memorandum TM 10: The Calculation of Glare Indices (1985).
4. CIE Publication Nr. 55: Discomfort Glare in the Interior Working Environment (1983).
5. Sorensen, K.: Comparison of Glare Index Definitions. Research Note. The Danish Illuminating Engineering Laboratory, Lyngby (1987).
6. Sorensen, K.: A Modern Glare Index Method. Tagungsbericht 21. CIE-Tagung Venedig 1987, Band II, S. 108.
7. CIE Publikation: Discomfort Glare in Interior Lighting, 5th draft (1992).
8. Sorensen, K.: Comparison of Glare Indices by the UGR Method and the Hopkinson Formula. Unveröffentlichtes Manuskript (1992).
9. Sorensen, K.: Interreflections in Rooms — Formula for Calculators and Computers. Note Nr. 227. The Danish Illuminating Engineering Laboratory, Lyngby (1986).
10. Fisher, D.: Blendung — Neuer Ansatz für ein internationales Blendungsbewertungssystem. Licht 1990, H. 1, S. 50.
11. Söllner, G.: Ein einfaches System zur Blenungsbewertung. Lichttechnik 17 (1965), S. 59A.
12. The Lighting Research Institute (New York): International Symposium on Glare. Orlando, 24/25. Oktober 1991.

УДК 621.327.534.15.628.5

Экологически безопасная оксидная супензия на водорастворимом связующем

В.А. ДУХОНЬКИН, Е.В. КОНАКОВ, инженеры,
В.И. КОРОЛЕВ, канд. техн. наук

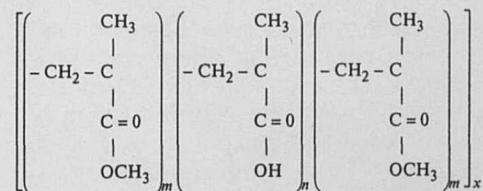
АООТ "СЭЛЗ"*, АООТ "ЛИСМА"**,
Мордовский педагогический институт им. М.Е. Евсевьева***

Выбросы паров ртути в атмосферу являются основным экологическим фактором производства ЛЛ. Однако, в данном технологическом процессе используется еще ряд веществ, оказывавших отрицательное воздействие на окружающую среду, в частности, растворители связующих материалов (биндеров) оксидных и люминофорных супензий и сами биндеры. В предлагаемой работе рассматриваются только оксидные супензии. В них в качестве биндеров применяются различные высокомолекулярные соединения, но чаще всего коллоксилин, растворителем для которого служит изоамилацетат. Отрицательное воздействие его паров, а также окислов углерода и азота, выделяющихся при термической диссоциации коллоксилина, описано в [1]. Точный расчет экономического ущерба от загрязнения атмосферы этими веществами весьма затруднен, но даже приближенная его оценка, проведенная по методике [2] показала, что он составляет в год на каждую линию сборки ЛЛ мощностью 20, 40 и 80 Вт — 5,5; 7,5 и 10,0 тыс. долл. соответственно. Отсюда следует, что ликвидация выбросов в атмосферу компонентов оксидной супензии и продуктов их разложения является задачей экономически обоснованной и весьма актуальной. Она может быть решена путем широкого внедрения в производство безэлектродных высокочастотных ЛЛ. Однако с учетом того, что в ближайшие годы будет продолжаться выпуск ЛЛ (в том числе энергоэкономичных и компактных) с оксидным катодом, речь должна идти лишь о минимизации вредных выбросов, например, за счет замены органической дисперсионной среды супензии водной.

В связи с этим нами был проведен поиск водорастворимых связующих материалов, которые отвечали бы следующим требованиям: обеспечивали высокую устойчивость карбонатных супензий и хорошую адгезию покры-

тий на их основе к вольфрамовой подложке, разлагались без притока кислорода извне и не образовывали соединений, вредных для работы катода. Следует отметить, что агрегативная, а, как следствие ее, и седиментационная устойчивость супензий, содержащих в качестве биндера коллоксилин, обусловлена наличием в составе его макромолекул полярных нитрогрупп. Полимеры, не содержащие подобных групп, достаточной устойчивости супензий не обеспечивают. Что касается адгезионных свойств покрытия, то, при прочих равных условиях, они определяются способностью раствора полимера смачивать поверхность подложки и тем выше, чем меньше поверхностное натяжение данной жидкости. Очевидно, что лучшее смачивание обеспечивают растворы полимеров в органических растворителях. Все это вместе взятое сильно затрудняет применение водорастворимых связующих при приготовлении супензий для образования эмиссионных покрытий электродов ЛЛ.

Тем не менее, в результате многовариантных экспериментальных исследований, включавших рассмотрение как неорганических [3, 4] так и органических полимеров [1, 5], удалось найти наиболее приемлемый связующий материал — сополимер метилметакрилата и метакриловой кислоты, строение которого может быть приблизительно выражено следующей формулой:



где m , n — коэффициенты кислотного и эфирного звеньев сополимера; $n = 1, 2, 3$; x — число групп в полимерной цепи.

В контакте с водой данный сополимер набухает и медленно растворяется. Интенсивнее процесс растворения протекает в щелочной среде, при этом

* 430030, Саранск, ул. Титова, д. 10.

** 430034, Саранск, ул. Титова, д. 10.

*** 430007, Саранск, ул. Студенческая, д. 11-а.