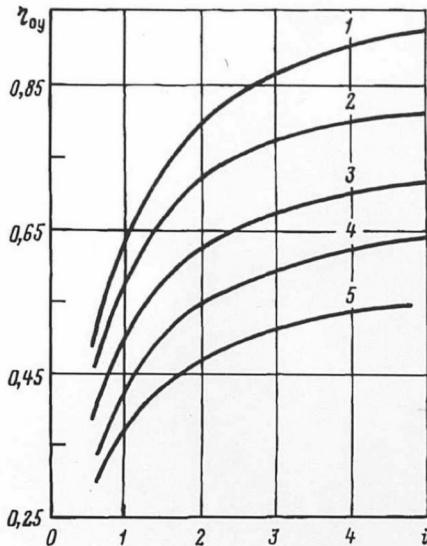


■ Рис. 1. Кривая силы света зеркальной ГЛН типа КГЭИ 12-50



■ Рис. 2. Зависимость коэффициента использования ОУ с ГЛН-светильником типа КГЭИ 12-50 от индекса помещения при различных сочетаниях коэффициентов отражения (%) потолка, стен и пола ($p_1/p_2/p_3$): 1 — 70/50/30; 2 — 70/50/10; 3 — 50/30/10; 4 — 30/10/10; 5 — 0/0/0

■ Коэффициенты использования ОУ с зеркальной ГЛН типа КГЭИ 12-50

$p_1, \%$	70	70	50	30	0
$p_2, \%$	50	50	30	10	0
$p_3, \%$	30	10	10	10	0
i					
	$\eta_{\text{ОУ}}, \%$				
0,6	48	46	38	33	29
0,7	50	49	42	35	32
0,8	55	53	46	38	35
0,9	58	55	48	41	37
1,0	62	58	50	43	38
1,1	64	60	52	44	39
1,25	68	63	55	47	41
1,5	70	66	57	51	43
1,75	75	70	60	53	45
2,0	79	72	63	55	47
2,25	82	74	64	56	48
2,5	84	76	65	57	49
3,0	86	77	67	59	51
3,5	88	79	69	60	52
4,0	90	80	70	62	53
5,0	93	81	72	64	54

Дальнейший ход расчета ОУ с зеркальным ГЛН методом коэффициента использования аналогичен известным методикам.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. ИКВА. 675312.003 ТУ — Технические условия "Лампы накаливания среднегабаритные галогенные с зеркальным отражателем для местного освещения". Саранск, АО "Лисма-ВНИИИС", 1994.
2. Епанешников М.М. Универсальные таблицы для расчета коэффициента использования осветительной установки// Светотехника. 1960. № 7. С. 16—21.
3. Епанешников М.М. Электрическое освещение. М.: "Энергия", 1973.
4. Справочная книга для проектирования электрического освещения. Под ред. Г.М. Кнорринг. Л.: "Энергия", 1976.

УДК 628.94.001.24

ОПТИЧЕСКИЕ ИНТЕГРАТОРЫ ДЛЯ СВЕТОВЫХ ПРИБОРОВ И МЕТОДИКА ИХ РАСЧЕТА

А.И. РЫМОВ, канд. техн. наук,
Ю.С. СЕМЕНОВ, инж.

Всероссийский светотехнический институт им. С.И. Вавилова*

В [1] были рассмотрены принципы действия и методика расчета оптических интеграторов (ОИ), предназначенных для выравнивания силы света в оптических приборах. Описанные ОИ представляли собой набор одинаковых оптических элементов (ОЭ) — стеклянных монолитных стержней прямоугольного или шестиугольного сечения со сферическими торцами (рис. 1, а). Параметры ОЭ рассчитаны таким образом, что каждый из них действует как проекционная система, создающая геометрически одинаковые световые пучки, оси которых направлены параллельно. Светораспределение в световом пучке отдельного ОЭ приближенно определяется распределением освещенности на входной поверхности элемента. При увели-

чении числа ОЭ в наборе перепад освещенности в пределах входной поверхности отдельных ОЭ уменьшается, благодаря чему снижается неравномерность силы света в пределах световых пучков отдельных ОЭ. При сложении световых пучков от отдельных ОЭ в наборе, достигается эффект выравнивания локальных неоднородностей силы света в световом пучке от всего СП в целом.

Кроме ОИ, описанных в [1], существует ряд других модификаций, которые рассматриваются в настоящей статье. Достаточно широкое распространение получили ОИ с набором оптических элементов, состоящих из двух плосковыпуклых линз (рис. 1, б). При этом последние могут быть ориентированы относительно друг друга четырьмя способами, а именно: выпуклые сферические поверхности повернуты в разные стороны — наружу и внутрь; сферические поверхности повернуты в одну сторону — к ИС или от него.

Независимо от ориентации, каждая пара соосных линз, так же как и в случае стержневых ОЭ, представляет собой проекционную систему, в которой первая линза концентрирует свет на второй линзе, а вторая, в свою очередь, изображает входную поверхность первой линзы в бесконечности. Параметры линз и их геометрическое расположение могут быть найдены методами, изложенными в [2], по известному углу рассеяния светового пучка α , показа-

* 129626, Москва, пр. Мира, 106.

телю преломления стекла n и габаритному размеру контура линз $2h$ (расстояние между параллельными сторонами контура линзы).

К недостаткам этой системы следует отнести сложность крепления тонких линз в наборе без существенных потерь светового потока на элементах крепления линз.

Ниже более подробно рассмотрен вариант ОИ с линзами значительной толщины (рис. 1, в), достаточной для их надежного крепления в одной оправе. Этот вариант занимает промежуточное положение между ОИ с монолитными стержневыми элементами и ОИ с тонкими линзами. С оптической точки зрения его можно рассматривать эквивалентным оптическому интегратору с монолитными стержневыми элементами, в котором удалена часть стержня между двумя параллельными плоскостями перпендикулярными оптической оси (P и Q на рис. 1, а), а оставшиеся две части сближены вдоль оси настолько, чтобы оптические пути лучей между плоскостями P и Q были сохранены. Для этого необходимо расстояние между плоскими поверхностями толстых линз δ (рис. 1, в) установить равным расстоянию между плоскостями P и Q , деленному на показатель преломления стекла n , т.е.:

$$\delta = \frac{(L - 2t)}{n}, \quad (1)$$

где: L — полная длина стержневого монолитного ОЭ; t — толщина линзы (рис. 1, в).

Светооптические свойства ОИ, и, прежде всего, угол рассеяния светового пучка α определяются следующими основными параметрами ОИ: радиусом кривизны сферических поверхностей линз r (рис. 1, в); толщиной линз t ; габаритной шириной линзы $2h$; расстоянием между плоскими поверхностями линз вдоль оси δ ; показателем преломления стекла n .

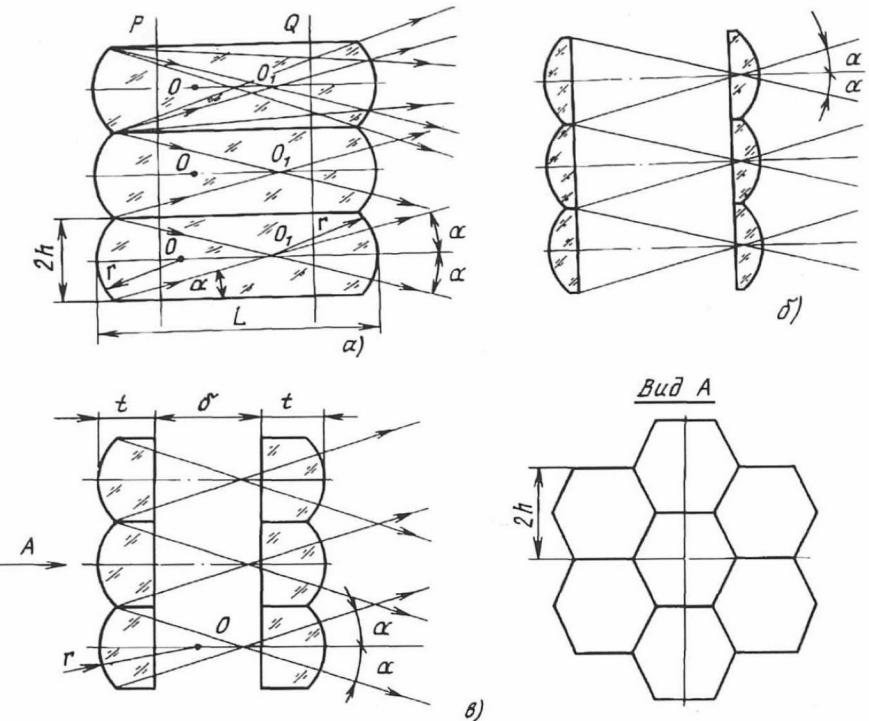
Для расчетного определения параметров ОИ должны быть известны: требуемый угол рассеяния α вышедшего из интегратора светового пучка в продольной осевой плоскости, а также два геометрических параметра — $2h$ и t , выбираемых из конструктивных соображений. При этом, чем меньше значение h , тем больше количество ОЭ и тем лучше интеграция световых пучков, но более сложная и трудоемкая система. Как показали исследования, набор из 19 элементов является достаточным для ОЭ шестиугольной формы, а для ОЭ прямоугольной формы — из 20 элементов.

Расчет параметров ОЭ может быть осуществлен на основе методики и формул, приведенных в [1]. В целях упрощения расчетов в настоящей статье эти формулы преобразованы и представлены в более простом и удобном для практического использования виде.

Радиус кривизны сферических поверхностей r определяется формулой:

$$r = \frac{b_\alpha h (n - 1)}{\sin \alpha}, \quad (2)$$

где b_α — корректирующий множитель, близкий к единице, снижающий влияние сферической aberrации.



■ Рис. 1. Разновидности оптических интеграторов: а — набор из монолитных стеклянных стержней со сферическими торцами; б — набор из тонких линз; в — набор из линз значительной толщины. (Наборы а и в могут быть выполнены в виде прессованных пластин из стекла)

Длина стержневого монолитного оптического элемента L (рис. 1, а), которую необходимо знать для определения по (1) зазора между плоскими поверхностями линз, находится по формуле:

$$L = \frac{a_\alpha h n}{\sin \alpha}, \quad (3)$$

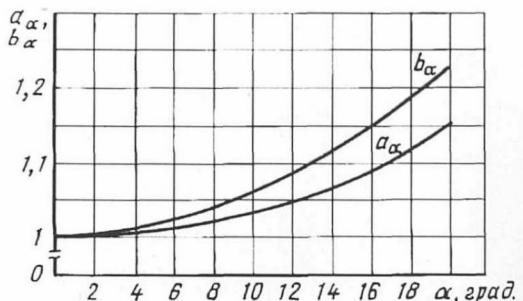
где a_α — корректирующий множитель, близкий к единице.

На основании формул (1)–(3) требуемое расстояние между плоскими поверхностями линз равно:

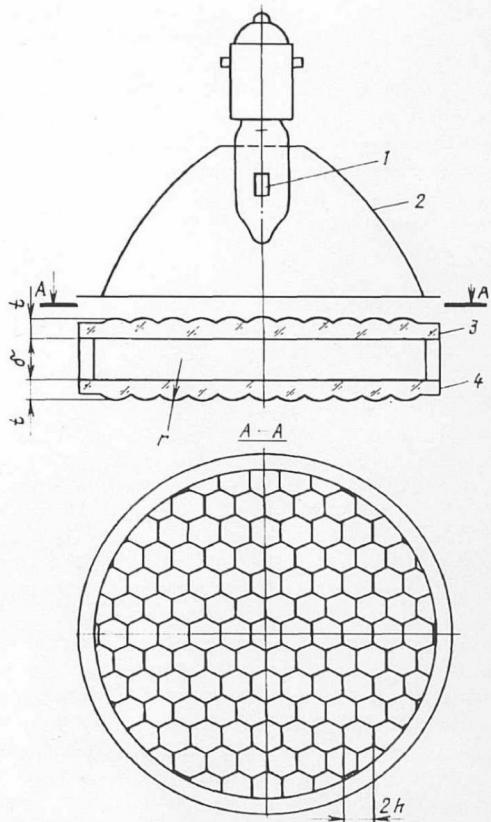
$$\delta = (a_\alpha h / \sin \alpha) - 2t/n. \quad (4)$$

Корректирующие множители a_α и b_α введены с целью уменьшения влияния сферической aberrации на четкость границ светового пучка ОИ. Для узких пучков с углом рассеяния меньше 5° они могут быть приняты равными единице. Для широких пучков значение поправочных множителей зависит от угла α и показателя преломления стекла. Они могут быть рассчитаны по формулам, полученным на основании математических зависимостей, представленных в [1]. На рис. 2 показана зависимость a_α и b_α от угла рассеяния ОИ при $n = 1,52$.

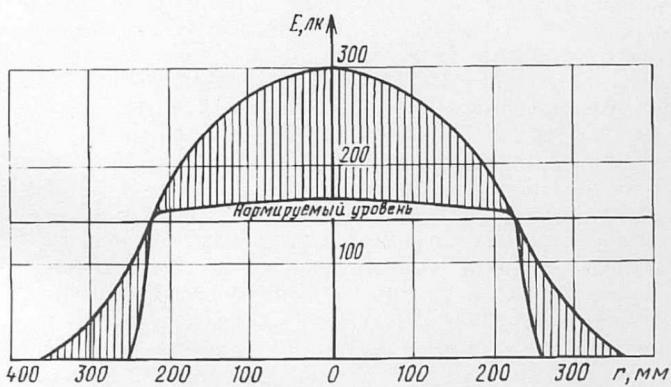
Описываемая разновидность ОИ с линзами значительной толщины представляет интерес с точки зрения возможности изготовления набора ОЭ путем прессования из стекла. В этом случае ОИ состоит из двух установленных друг за другом одинаковых отпрессованных из стекла пластин, в каждой из которых одна из поверхностей является плоской, а другая выполнена в виде соприкасающихся выпуклых сферических элементов. При этом пластины повернуты друг к другу плоскими поверхностями, а сферы расположены соосно. Если центры сфер расположены на пересечении прямоугольной сетки, то световое пятно от ОИ имеет форму прямоугольника. В том случае, когда центры



■ Рис. 2. Зависимость корректирующих множителей a_α и b_α от угла рассеяния α при $n = 1,52$



■ Рис. 3. Схема СП с двухпластинчатым оптическим интегратором: 1 — лампа; 2 — параболоидный отражатель; 3, 4 — пластины ОИ



■ Рис. 4. Распределения освещенности в световом пятне СП, удовлетворяющие требованиям к светильникам местного освещения для средств транспорта: 1 — колоколообразное; 2 — близкое к П-образному, обеспеченное применением ОИ (второе распределение в 1,8 эффективнее первого; заштрихованная область является нерационально используемой)

расположены по вершинам правильных треугольников, световые пятна близки по форме к правильным шестиугольникам. Освещенность в световом пятне от ОП с ОИ незначительно спадает от центра к краю.

Описываемая разновидность ОИ может быть с успехом применена в ОП, от которых требуется симметричное светораспределение с незначительным изменением силы света, например: в светосигнальных приборах; в светильниках местного освещения на транспорте, в больницах, быту. На рис. 3 приведена светооптическая схема светильника, который может быть использован в авиационном, железнодорожном и автомобильном транспортах. Он состоит из источника излучения 1 с концентрированным телом накала (например, ГЛН), расположенным в фокусе глубокого параболоидного отражателя 2 и двух прессованных стеклянных пластин ОИ (3, 4). Светильник создает на некотором расстоянии в рабочей плоскости световое пятно шестиугольной или прямоугольной формы с достаточно равномерной освещенностью. Ширина зоны краевого эффекта, независимо от расстояния, равна диаметру светового отверстия ОИ. Эта зона, по сравнению с размерами полезного пятна, мала. Световое пятно имеет распределение освещенности, близкое к П-образному. Подобное светораспределение является наиболее экономичным, что положительно отличает ОП с оптическими интеграторами от других приборов, имеющих в пределах рабочей зоны преимущественно "колоколообразное" светораспределение. В таких ОП значительная часть светового потока нерационально используется из-за превышения освещенности в отдельных участках пятна над нормируемым уровнем (как правило, в 2 раза), а также из-за наличия более широкой, чем при П-образном светораспределении, зоны краевого эффекта. На рис. 4 показаны два светораспределения: а) близкое к П-образному, обеспеченное ОИ; б) "колоколообразное". Обе кривые удовлетворяют требованиям к минимальной освещенности (перепад освещенности в рабочем пятне должен быть не более чем 2:1), однако для обеспечения П-образной кривой требуется в 1,8 раза меньше электрической мощности при прочих равных условиях. Это дает возможность в приборах с ОИ соответственно поднять уровень освещенности с одновременным повышением качества освещения (равномерность освещенности, практическое отсутствие блеска для соседних наблюдателей).

Для обеспечения описанных выше характеристик необходимо выполнение определенного условия, а именно: угловые размеры, падающие на ОИ элементарных световых пучков должны быть меньше или равны углу рассеяния α .

Для примера приведем подтвержденные практикой результаты расчета двух СП, разработанных по схеме на рис. 3 — светосигнального огня и светильника местного освещения для транспорта.

В первом из них необходимо создать равномерное распределение силы света в пределах угла $\pm 8^\circ$, во втором — световое пятно диаметром 450 мм на расстоянии 1,1 м. В обоих случаях ОИ состоят из элементов шестиугольного контура. Результаты расчета геометрических параметров ОИ представлены в табл. 1, технические характеристики СП — в табл. 2. В приборах использованы ГЛН с цилиндрическим телом накала, расположенным вдоль оси параболоидного отражателя с углом охвата φ в пределах 50—130°. В обоих случаях коэффициент использования светового потока лампы отражателем был принят равным 0,75. Диаметры отражателей соответственно равны 78 и 45 мм; коэффициент отражения — 0,8. Помимо упомянутых выше обозначений (α , t , h , r , δ , n), в таблицах введены следующие новые обозначения: η — световая отдача лампы; P — мощность лампы; E — освещенность в центре пятна; I — осевая сила света в световом пучке СП; D — диаметр светового пятна.

■ Таблица 1. Геометрические параметры оптических интеграторов.

СП	Параметры				
	2h, мм	g, мм	t, мм	δ, мм	n
Светосигнальный огонь	5	9,7	3	14,3	1,52
Светильник местного освещения	5	6,4	3	7,9	1,52

■ Таблица 2. Технические характеристики световых приборов.

СП	Характеристика					
	α, град.	D, мм	P, Вт	η, лм/Вт	I, кд	E, лк
Светосигнальный огонь	8	—	100	26	15500	—
Светильник местного освещения	11,7	450	10	14	395	325

Приведенные в таблицах результаты свидетельствуют, что применение ОИ позволяет разработать СП с улучшенными характеристиками. Например, описанный выше светильник местного освещения обеспечивает при высокой равномерности почти в 2 раза большую освещенность, чем зарубежные авиационные светильники с ИС равной мощности.

Одним из преимуществ светооптической системы с ОИ, изображенной на рис. 3, является возможность регулирования в определенных пределах диаметра светового пятна на расчетной плоскости путем изменения расстояния между пластинами (зазора δ). При вариации расстояния между пластинами происходит изменение углового увеличения изображаемой входной поверхности линзового элемента первой пластины линзовым элементом второй пластины и, следовательно, изменение угла α и размера светового пятна в рабочей плоскости. При этом на рабочую плоскость попадают расфокусированные изображения входной поверхности первого элемента. Однако, при изменении угла α в небольших пределах ($\pm 15\%$ – 20%) от расчетного значения, для которого был определен радиус кривизны элементов r , равномерность освещенности в пятне на рабочей плоскости, а также ширина зоны краевого эффекта изменяются незначительно. Это позволяет регулировать размер пятна без заметного ухудшения качества освещения.

Одной из возможных разновидностей ОИ является модификация, в которой набор монолитных стержневых ОЭ (рис. 1, а) выполнен в виде одной стеклянной пластины с выпресованными на обеих сторонах соосными сферическими элементами. Расчет геометрических параметров ОЭ подобных ОИ может быть произведен по формулам (2) и (3). К недостаткам пластинчатого ОИ следует отнести необходимость (для обеспечения незначительной толщины пластины) точного прессования небольших по размеру (2–3 мм), соосных ОЭ. Успехи современных технологий позволяют надеяться на преодоление этих трудностей.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Рымов А.И., Скоблова В.И. "Оптические интеграторы"// Светотехника. 1988. № 11. С. 30.
- Бегунов Б.Н., Заказнов Н.П. "Теория оптических приборов", М.: "Машиностроение", 1973 г.

УДК 535.247

МЕТОДЫ ИЗМЕРЕНИЯ ЛУЧИСТОГО ПОТОКА

Т.К. КХАН,
К. СВАРЛИК

PRC Krochmann GmbH, Берлин, Германия*

Одной из наиболее важных характеристик источников оптического излучения является величина лучистого потока Φ_e (Вт). В зависимости от целей проведения измерений, назначения документации, экономических или временных соображений представляет интерес измерение полного спектрального распределения лучистого потока (так называемого спектрального потока), лучистого потока в определенных спектральных диапазонах или лучистого потока только для одной линии излучения (например, для $\lambda = 253,7$ нм). Эти измерения могут быть выполнены спектральным или интегральным методами.

■ **Спектральный метод измерения.** Зная спектральный лучистый поток, можно рассчитать следующие важные энергетические и световые величины:

- лучистый поток, например, в областях "A" и "B" УФ-диапазона;
- световой поток;
- цветовые характеристики излучения (координаты цветности, коррелированную T_u);
- цветопередающие свойства (специальные индексы цветопередачи — R_i и общий индекс цветопередачи — R_a).

На основе данных о спектральном потоке можно определить следующие результаты действия оптического излучения:

- фотохимический эффект (трансформация свойств материалов);
- фотофизические эффекты (преобразование солнечного излучения);
- физиологическое воздействие на человека;
- медицинский эффект (для целей диагностики);
- фотобиологическое влияние на растения.

Общие и конструктивные параметры. Определение спектрального тока излучения ИС принципиально возможно на основе сравнения с известной шкалой прямого спектрального излучения.

С помощью гониорадиометра (рис. 1), на котором закреплен абсолютный спектрометр, измеряются несколько значений интенсивности спектрального излучения в точках замкнутой поверхности, окружающей ИС, а затем на основе этих данных может быть найден усредненный по полному телесному углу спектральный поток излучения. Этот метод является базовым, но выполнение измерений требует большого количества времени (несколько часов), поэтому ему отдают предпочтение только в национальных метрологических лабораториях. Для измерений спектрального потока излучения в промышленных лабораториях часто используют интегрирующую сферу, объединенную со спектрорадиометром. Описанная ниже измерительная система включает в себя все необходимые компоненты для выполнения автоматизированных измерений.

Измерительная система включает в себя (рис. 2):

- фотометрическую сферу, соответствующую рекомендациям МКО (CIE-Publ. № 84 — "Измерения светового потока") и стандарту ФРГ DIN 5032 (ч. 1, "Световые измерения");
- монохроматор с входной оптикой и приемной системой;

* PRC Krochmann GmbH. Geneststr. 6, 10829 Berlin/Germany.