

Владимир Карачёв, к. т. н.

Научно-техническая база эффективного и экономичного освещения дорог и автострад



Искусственное освещение дорог и автострад в немалой степени способствует повышению безопасности движения автотранспорта в темное время суток. С ростом интенсивности движения этот фактор приобретает еще большую актуальность. Создание эффективного и экономичного искусственного освещения дорог и автострад — задача комплексная, требующая для своего решения системного подхода на всех стадиях разработки, проектирования, монтажа и эксплуатации осветительных установок (ОУ). При этом следует четко разделять эти оценки ОУ: эффективность оценивается способностью зрительного анализатора выполнять зрительную работу; экономичность — показатель, который указывает, во что эта способность обходится. Первая стадия реализации этого комплекса предусматривает научно-технические работы, включая психофизиологические исследования зрительного восприятия в условиях дорожного движения в темное время суток. По результатам разрабатывается нормативно-техническая документация на следующие показатели:

- параметры ОУ дорог и автострад;
- технические характеристики световых приборов, средств электропитания и автоматизированного управления параметрами ОУ этого типа;
- правила по эксплуатации;
- правила контроля регламентируемых показателей с учетом специфики дорожного освещения.

Представляется необходимым для выполнения этих работ привлечение специалистов различного профиля: дорожников, светотехников, электриков, электронщиков, программистов и проч., что, естественно, будет способствовать повышению технического уровня установок искусственного освещения (ИО) дорог и автострад на современном этапе и их развитию в перспективе.

Базой для разработки или корректировки норм на параметры освещения, в частности на параметры ОУ дорог и автострад, как правило, служат результаты исследований зрительного восприятия в условиях ИО. Этапы основных исследовательских работ и прикладных разработок в области ИО дорог и автострад тесно связаны между собой и, следовательно, с изменением основного нормативного документа, регламентирующего параметры ОУ, должны быть изменены или скорректированы

в дальнейшем. Обобщенную структуру комплекса нормативной документации для любой области применения ИО иллюстрирует рис. 1.

На ранних стадиях нормирования параметров ИО улиц и дорог основным фотометрическим показателем при проектировании и оценке наружных ОУ являлась средняя горизонтальная освещенность дорожной поверхности $E_{т.ср.}$. Однако этот показатель, несмотря на простоту расчета и измерения, не мог удовлетворять все возрастающим требованиям к количественным и качественным показателям ОУ. В результате многочисленных исследований, проведенных в середине прошлого столетия у нас в стране и за рубежом, в качестве основного фотометрического показателя ОУ городских магистралей предложено использовать уровни средних яркостей дорожных покрытий — $I_{ср.д.п.}$ [1, 2]. Переход на регламентацию уровней средних яркостей дорожных покрытий в установках наружного освещения улиц стал возможен при выполнении ряда условий:

- наличие типовых дорожных покрытий (асфальтобетонные) с указанием их светотехнических характеристик, в частности коэффициентов яркости;
- практически фиксированное направление линии зрения наблюдателя (принято считать, что линия зрения водителей направлена вдоль оси дороги и наклонена под углом 1° относительно горизонтальной плоскости).

Высота глаз водителей принимается одинаковой, независимо от типа автомобиля, и составляет $h_{зр.} = 1,5$ м (рис. 2). Естественно, переход на регламентацию уровней средних яркостей стал возможен благодаря развитию средств освещения. В частности, к настоящему времени освоен промышленный выпуск традиционных источников света (ГЛВД), а также световых приборов с ними. Нормирование уровней средних яркостей дорожных покрытий способствовало введению и регламентации качественных показателей освещения, оценка которых базируется на реакциях зрительного аппарата при воздействии негативных факторов, сопутствующих ИО.

Трассы автомобильных дорог могут содержать участки, на которых условия регламентации уровней средней яркости не выполняются (значительные уклоны,

закругления, отсутствие типовых покрытий и т. п.), что приводит к необходимости использовать другой фотометрический показатель, в частности уровень средней горизонтальной освещенности. На практике могут использоваться как горизонтальная освещенность, физический смысл которой заключается в величине светового потока, упавшего на единицу площади освещаемой поверхности, так и яркость этой же поверхности, характеризующая не только упавшим световым потоком, но и отразившейся частью этого светового потока от этой поверхности в направлении наблюдателя (водителя). То есть яркость зависит от отражательных характеристик, типа и состояния дорожного покрытия, а также от угла, под которым рассматриваемый участок дорожного покрытия.

При выборе и регламентации показателей освещения автодорог следует учитывать, что условия зрительного восприятия водителем панорамы дороги, окружающих пространств и перспективы проезжей части полотна дороги, дорожно-транспортных ситуаций, дорожных знаков, указателей и разметки различны, особенно в темное время суток, и они существенно отличаются от условий в пределах населенных пунктов. В первом приближении стационарными ОУ следует оборудовать:

- участки дорог, проходящие вблизи населенных пунктов;
- сложные транспортные развязки;
- туннели;
- станции обслуживания;

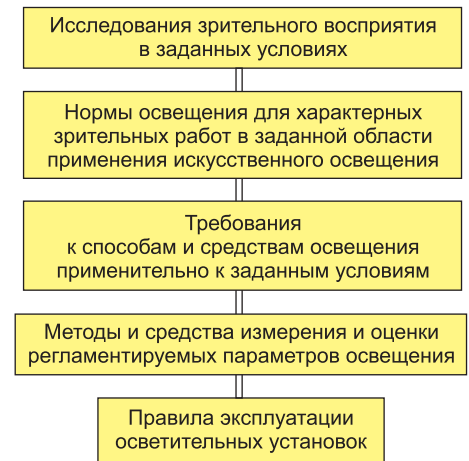


Рис. 1. Структура нормативной документации для заданной области применения искусственного освещения

- стоянки автомашин и заправочные станции;
- зоны отдыха;
- участки автострад, если расстояние между соседними освещенными зонами не обеспечивает благоприятные условия адаптации зрительного аппарата водителей;
- крутые протяженные участки;
- зоны, в которых часто образуется туман.

Современные принципы нормирования освещения улиц, дорог и автострад [3, 4] базируются на психофизиологических особенностях и условиях зрительного восприятия водителей, определяющих видимость потенциального препятствия или какого-либо

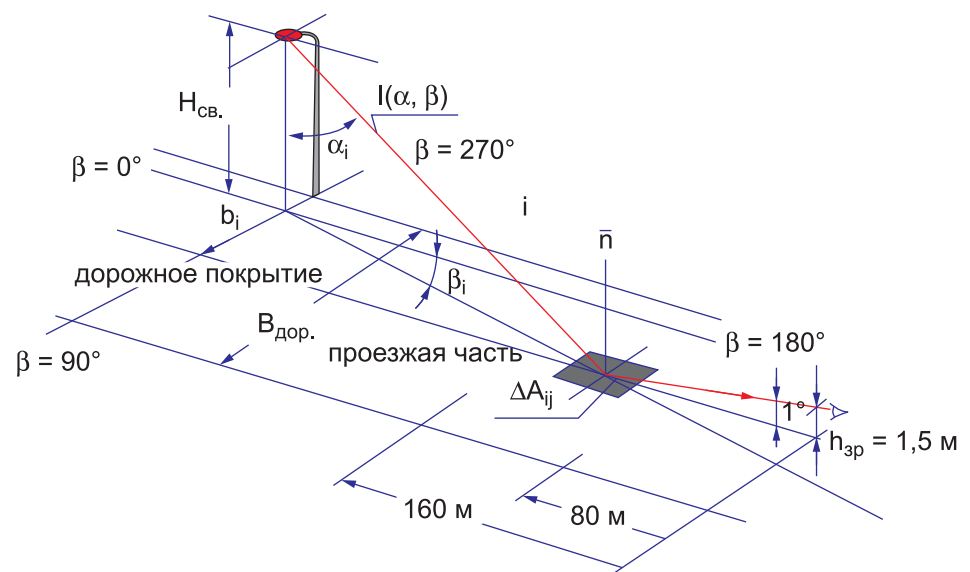


Рис. 2. К определению параметров формирования яркости дорожных покрытий

объекта. Оптимальным освещением будет в том случае, если ОУ обеспечит более высокую зрительную эффективность за счет своевременного обнаружения возможного препятствия. Своевременное обнаружение препятствий определяется пороговыми значениями таких параметров, как:

- разность яркости между объектом и прилегающими к нему элементами;
- размер объекта;
- яркость объекта и его окружения;
- оптимальное время адаптации зрения;
- время, затрачиваемое на обнаружение объекта.

В реальных условиях зрительной работы между показателями ОУ и функциями зрения на пороговом уровне существует взаимосвязь, на базе которой устанавливаются основные фотометрические количественные и качественные показатели. Большинство зарубежных нормативных документов по освещению улиц и автострад разрабатывались на основе рекомендаций МКО, в соответствии с которыми в качестве основного фотометрического показателя в установках наружного освещения (УНО)

рекомендуется использовать уровни средней яркости дорожного покрытия [5]. По результатам многочисленных исследований (как в лабораторных условиях, так и в натуральных) были признаны достаточными уровни средней яркости $L_{ср.д.п.}$, лежащие в пределах $0,5-2$ кд/м². В случаях строгих ограничений расхода электроэнергии допускаются уровни $0,35-1$ кд/м². При благоприятных геометрии и состоянии дорог с невысоким статистическим уровнем дорожно-транспортных происшествий допустимы уровни $0,5-0,6$ кд/м². К совокупности количественных и качественных показателей, оценивающих зрительную работоспособность водителей, как показывает анализ зарубежных данных, могут быть отнесены следующие:

- средняя яркость дорожного покрытия проезжей части $L_{ср.д.п.}$ и «окружения» $L_{ср.окр.}$;
- средние освещенности — горизонтальная $E_{гор.}$ и вертикальная на высоте $0,3$ м от покрытия $E_{верт-0,3}$;
- средняя яркость вуалирующей пелены в поле зрения L_b ;

- общая равномерность распределения яркости, оцениваемая отношением $N_0 = (L_{мин}/L_{ср.д.п.})$;
- равномерность распределения яркости по отдельно выбранной полосе движения в продольном направлении, оцениваемая отношением $N_{0i} = (L_{мин i}/L_{макс i})$;
- индекс дискомфорта G ;
- коэффициент повышения порогового контраста TI (*Threshold Increment*) и т. д.

Уместно заметить, что материалы МКО носят рекомендательный характер. Это связано с тем, что регламентация показателей освещения зависит не только от возможности выполнять определенную зрительную работу, но и от технико-экономических возможностей практической реализации этих показателей в рассматриваемый период времени. Естественно, любая страна, используя рекомендации МКО, оценивает их в соответствии со своими возможностями.

В отечественной практике нормирования, расчета и проектирования УНО улиц городов и населенных пунктов также накоплен богатый опыт, в соответствии с которым в нормативной документации утвердились количественные и качественные показатели, которые согласуются с Рекомендациями МКО [3], а их значения аргументированы многочисленными исследованиями и технико-экономическими оценками. Отечественные нормы на параметры ОУ улиц, как правило, носили законодательный характер. Что же касается разработки комплекса нормативно-технической документации для ОУ дорог и автострад, то, как представляется, комплекса пока нет, а работа над нормами находится в начальной стадии, что, естественно, не дает оснований говорить об эффективности и экономичности ОУ в этой области применения искусственного освещения.

Удовлетворить требованиям нормативной документации на параметры ОУ дорог и автострад можно, располагая широкой номенклатурой световых приборов, разработанных для определенных способов их пространственного расположения относительно рабочей поверхности (рис. 3).

Расчет яркости элементарной площадки дорожного покрытия $L_{\Delta A_{ijc}}$ предусматривает учет таких данных, как:

- взаимное пространственное расположение наблюдателя с указанием направления его линии зрения, све-

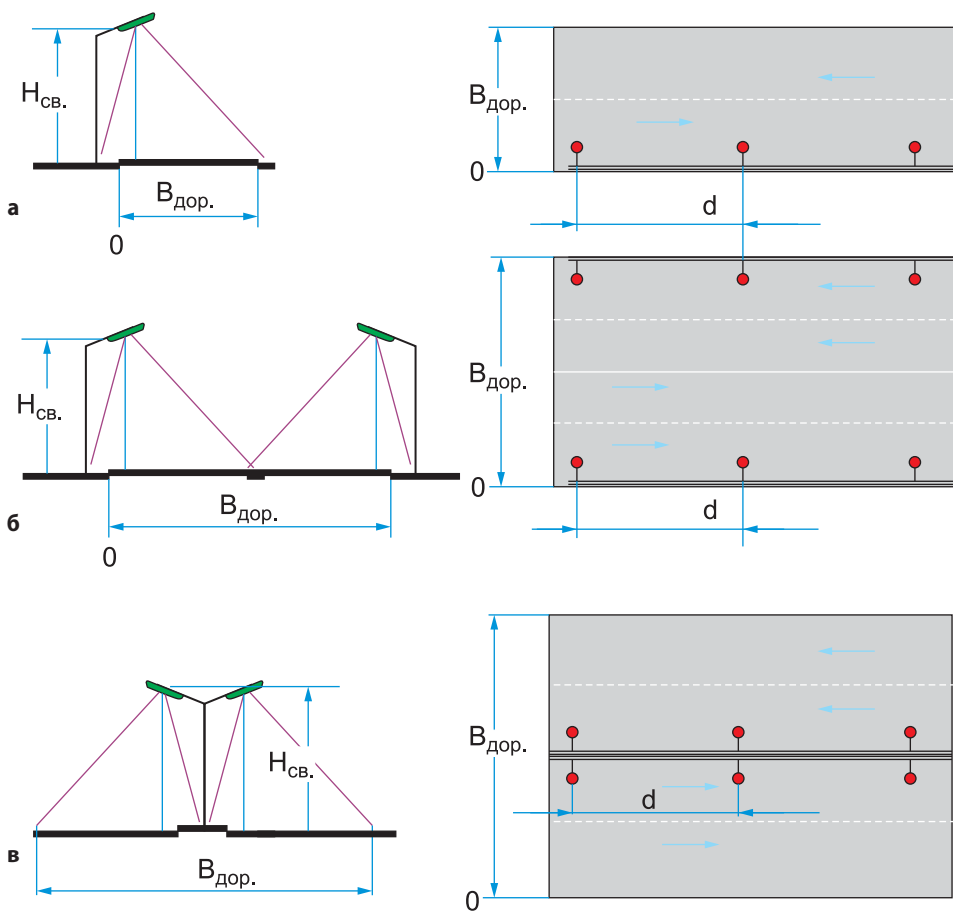


Рис. 3. Способы пространственного расположения световых приборов относительно проезжей части дороги

тильников и элементарной площадки дорожного полотна (рис. 2);

- подробные сведения о светораспределении применяемых светильников, $I(\alpha, \beta)$;
- шаг и высота (d, H_{CB}) установки светильников;
- тип дорожного покрытия и данные о его коэффициентах яркости, $r(\alpha, \beta/H_{CB})$ [7].

Одной из важнейших компонент из перечисленных, необходимых для расчета яркости, является коэффициент яркости дорожного покрытия. Однако в отечественной нормативной документации данные о светотехнических параметрах дорожных покрытий (ДП) устарели и последние 40 лет практически не обновлялись, а причины для их пересмотра есть [6]. Во-первых, надо отметить, что специалисты по дорожным покрытиям постоянно их совершенствуют (особенно для автострад), а светотехники довольствуются полувековыми данными и используют всего лишь в основном два типа покрытия, различающихся коэффициентами яркости, что для нашей страны явно недостаточно. В некоторых странах придерживаются международной классификации ДП (четыре типа), другие подразделяют ДП только на светлые и темные, полагая, что за время службы ОУ покрытия заменяются несколько раз, в то же время есть страны, в которых учитываются отражающие свойства влажных ДП, что для нашей страны весьма актуально. Во-вторых, от достоверности данных о коэффициентах яркости ДП зависит точность светотехнических расчетов при выполнении проектов освещения дорог и автострад, а также, что не менее важно, от этого показателя ДП зависит эффективность и экономичность ОУ в целом. Этот параметр влияет на результаты технико-экономической оценки при сопоставлении разных вариантов в процессе проектирования ОУ улиц и дорог, так как он входит в основную формулу расчета яркости ДП (рис. 4). И наконец, характер заданных (образцовых) светораспределений световых приборов при заданном пространственном их расположении и совокупном действии в значительной степени определяется отражательными свойствами ДП.

Для демонстрации связи требований к параметрам ОУ с требованиями к световым приборам рассмотрим несколько подробнее метод расчета основных фото-

метрических показателей ОУ (яркости дорожного покрытия и горизонтальной освещенности). Расчет выполняется в точках, являющихся центрами элементарных площадок ΔA_{ij} , на которые разбит контрольный участок. С учетом совокупного действия светильников, сила света которых достигает элементарных площадок контрольного участка, можно получить оценки уровней горизонтальной освещенности $E_{\Delta A_{ij}}$ и яркости дорожного покрытия $L_{\Delta A_{ij}}$ для каждой элементарной площадки, по совокупности которых определяются уровни средних значений $E_{г.ср}$ и $L_{ср.д.п}$, а также качественные показатели, такие как равномерность распределения яркости по дорожному покрытию N_0 и слепящее действие осветительной установки в целом $P(TI)$ [8].

Обеспечение нормируемых показателей освещения достигается соответствующим размещением световых приборов относительно освещаемой поверхности, при этом и сами световые приборы, в частности, их светораспределение, должны соответствовать этому размещению. В то же время требования нормативной документации не определяют оптимальных форм фотометрического тела светильников, что не способствует разработке рациональной оптики светильников для конкретной области их применения. Требования существующих нормативных документов на светотехнические параметры светильников НО не гарантируют обеспечения оптимального формирования параметров ОУ НО улиц и дорог [9]. Это обстоятельство предопределяет необходимость разработки

образцовых светораспределений для этого типа световых приборов.

Регламентация максимальных значений качественных показателей ОУ современными нормативными документами ограничивает снижение функций зрения на 10–15% для каждого показателя [10, 11]. Неоднозначность оценки ослепленности приводит к тому, что в стандартах и рекомендациях по освещению автодорог отсутствует точная формулировка условий освещения, гарантирующих отсутствие ослепленности. Принятая классификация светильников не характеризует ослепленности, которая зависит от их светораспределения и других факторов (уровня средней яркости дорожного покрытия, расположения слепящих осветительных приборов относительно линии зрения водителей). Из вышеизложенного следует, что количественные и качественные показатели ОУ взаимосвязаны и, что самое главное, они тесно связаны с показателями средств и способами освещения, в частности, на тесную связь между взаимным расположением световых приборов, освещаемой дороги и места расположения и направлением линии зрения водителей (рис. 2–4).

Анализ количественных и качественных показателей ОУ улиц и дорог (автострад) в их зависимости и взаимосвязи с параметрами средств освещения в условиях наличия неравномерного распределения яркости по дорожному покрытию и слепящего действия установок наружного освещения обуславливает необходимость определения оптимальных значений

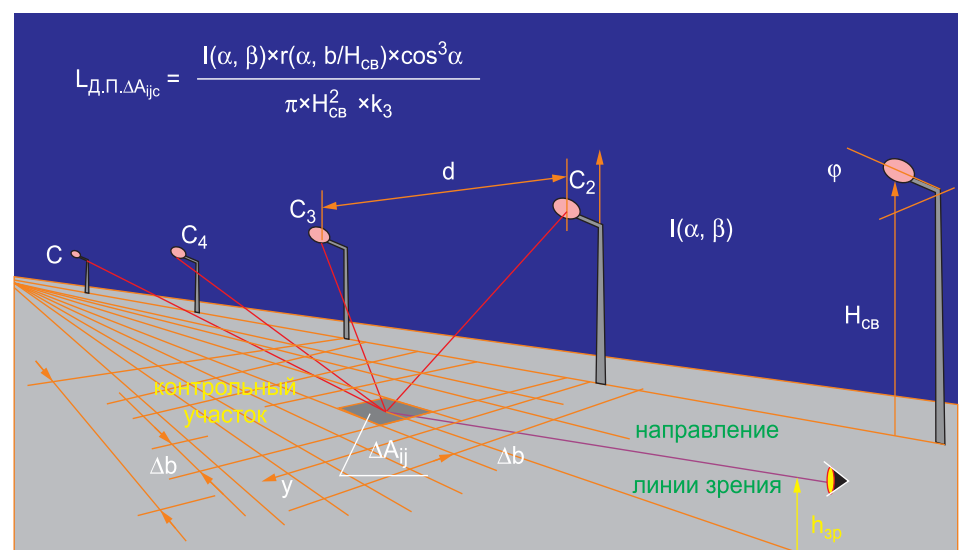


Рис. 4. К расчету яркости дорожного покрытия в установках наружного освещения

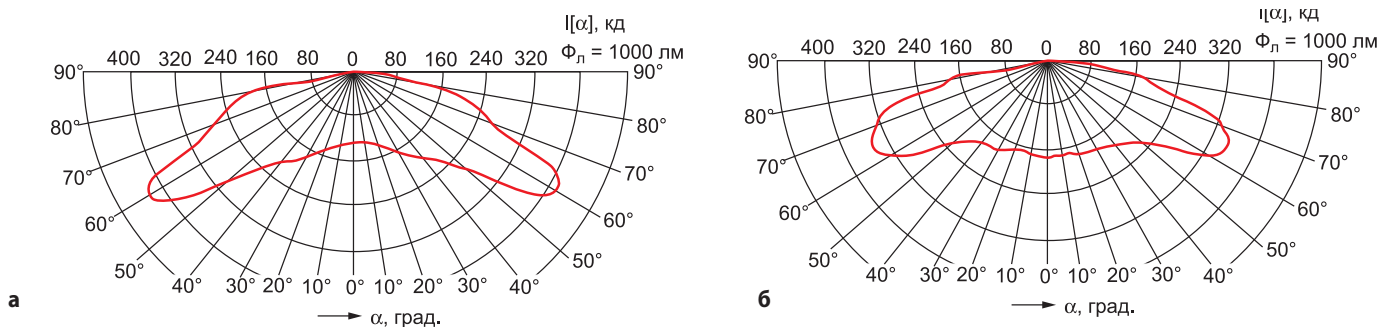


Рис. 5. Образцовые КСС, обеспечивающие при совокупном действии нескольких светильников при стандартном их размещении относительно проезжей части дороги равномерное распределение: а) горизонтальной освещенности $E_{гор}$; б) яркости дорожного покрытия $L_{д.п.}$ (условный световой поток ИС = 1000 лм)

параметров взаимного пространственного расположения световых приборов и их светораспределения [7]. Решение этой задачи связано с определением образцовых (эффективных) КСС светильников НО. Если расчет параметров УНО есть прямая задача, то определение образцовых КСС является обратной, наиболее трудной задачей, от решения которой во многом зависит дальнейшее повышение эффективности и экономичности установок НО улиц и дорог. Светотехническая цель решения обратной задачи состоит в определении (нахождении) такого светораспределения световых приборов, при котором в условиях

заданного пространственного взаимного расположения и совокупного действия ряда приборов обеспечивались бы лучшие параметры осветительной установки в целом. Характер образцового светораспределения зависит от того, относительно какого основного фотометрического показателя ОУ производилось решение обратной задачи, а также параметров осветительной установки (высота, расстояние между опорами, тип дорожного покрытия). Так, на рис. 5 показаны две образцовые КСС, первая из которых формирует равномерное распределение горизонтальной освещенности. КСС на рис. 5б формирует равно-

мерное распределение яркости дорожного покрытия. Видно, что образцовые КСС, обеспечивающие равномерное распределение горизонтальной освещенности и яркости дорожного покрытия, имеют различный характер распределения сил света [12].

На КСС светильника НО можно выделить зоны, ответственные за формирование качественных показателей УНО (рис. 6). В частности, зона, сила света которой оказывает значительное влияние на слепящее действие, — часть КСС, выделенная красным цветом. Зона, от сил света которой зависит равномерность распределения уровней яркости дорожного покрытия (горизонтальной освещенности), — часть КСС, выделенная синим цветом. Зона, в пределах которой значения силы света не влияют на формирование количественных и качественных показателей ОУ при совокупном действии светильников, — часть КСС, выделенная черным цветом.

Для выполнения расчета уровня средней яркости дорожного покрытия по всей площади контрольного участка необходимо иметь семейство КСС. Совокупность КСС определяет форму фотометрического тела светильника, его светораспределение

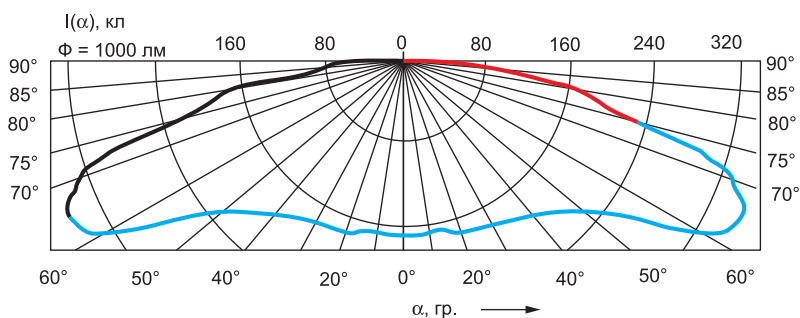


Рис. 6. Зоны КСС, ответственные за качественные показатели УНО

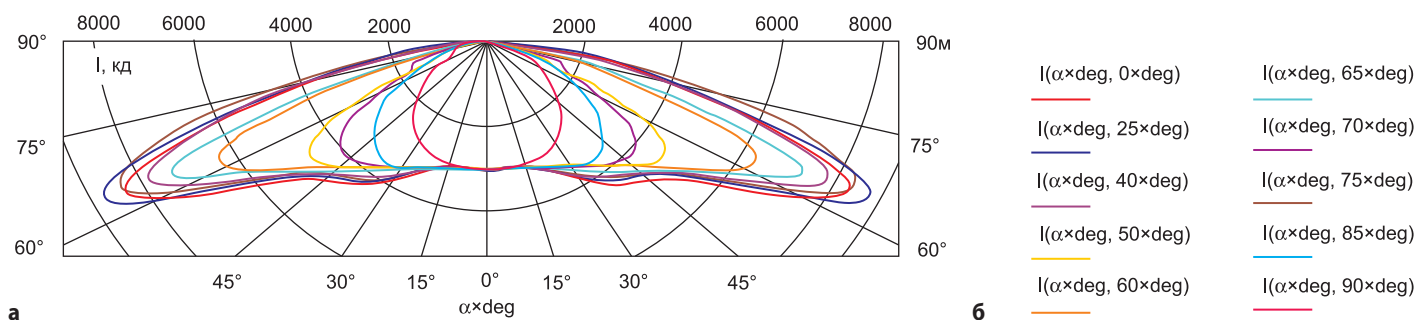


Рис. 7. Образцовое светораспределение светильников для освещения улиц городов, полученное решением обратной задачи (совокупность образцовых КСС), характеризующее фотометрическое тело светильника для освещения проезжей части улиц и дорог

(рис. 7). Именно такой вид представления светораспределения световых приборов необходим для выполнения расчетов количественных и качественных показателей ОУ. Это светораспределение используется с целью выявления потенциальных возможностей обеспечения регламентируемых показателей ОУ, для чего выполняются многовариантные расчеты (для $d/H_{cb} = 2,5-3,5$).

Результаты расчетов распределения яркости по контрольному участку дороги относительно образцового светораспределения показывают, что при этом светораспределении обеспечиваются высокие качественные показатели ОУ: общая неравномерность распределения яркости по двум полосам движения, N_0 ; неравномерность распределения яркости по отдельным полосам движения N_{11}, N_{12} ; показатель ослепленности, $P(TI)$ (табл. 1, 2). Значения этих показателей удовлетворяют требованиям нормативной документации для разных соотношений шага установки осветительных опор с высотой установки светильников (d/H_{cb}), в частности 2,5–3,5, при этом основной количественный показатель $L_{ср.пр.}$ изменяется в пределах 0,7–0,95 кд/м².

Данные таблицы 2 представляют наиболее объективную оценку светотехнических свойств световых приборов, то есть это потенциальные возможности светового прибора формировать параметры ОУ.

Работая на перспективу, надо коренным образом изменить идеологию разработок. Что под этим подразумевается? Надо отказаться от идеи «догонять», что очень характерно для отечественных нормативных документов последнего времени. Необходимо ставить задачи по разработке принципиально новых способов и средств освещения, т. е. работать на опережение! Это тем более своевременно, так как этому способствуют новые источники света — светодиоды. Новые источники света определяют необходимость использовать новые оптические схемные решения световых приборов. В случае освещения дорог и автострад светодиодные светильники имеют значительные преимущества перед ГЛВД в части согласования их светотехнических характеристик с параметрами ОУ. Так, например, рассмотрим противоречие в существующих методах расчета яркости дорожных покрытий, которые имеют

Таблица 1. Результаты расчета распределения яркости по контрольному участку дороги относительно образцового светораспределения (рис. 7)

b, м	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
0	0,678	0,859	0,934	0,925	1,014	1,002	0,855	0,722	0,658	0,610
3	0,557	0,594	0,547	0,574	0,596	0,618	0,582	0,538	0,508	0,517
6	0,477	0,493	0,471	0,428	0,422	0,448	0,426	0,404	0,402	0,403

Таблица 2. Образцовое светораспределение с $\Phi_{ср} = 15,0$ клм; покрытие — «шероховатое», $H = 10$ м (выходные данные многовариантного расчета параметров освещения проезжей части в две полосы при вариации отношения d/H (2,5–3,5))

l	d/H	$L_{ср.дп.}$, кд/м ²	N_0	N_{11}	N_{12}	$P(TI)$
2	3,5	0,694	0,73	0,60	0,82	94
2	3,0	0,801	0,77	0,71	0,89	82
2	2,5	0,944	0,75	0,66	0,80	70

свойство направленно-рассеивающего отражения световых потоков (диффузное + зеркальное), падающих на них. При таком отражении зеркальная составляющая отражения тем больше, чем больше угол падения светового потока (рис. 8а), и направлена по законам зеркального отражения, что, в свою очередь, приводит

к неравномерному формированию яркости равными по величине световыми потоками, падающими против и по линии зрения водителей автотранспорта (рис. 8б).

Графики на рис. 8 показывают, что равные по величине световые потоки, излучаемые светильником НО с симметричной (относительно поперечной плоскости

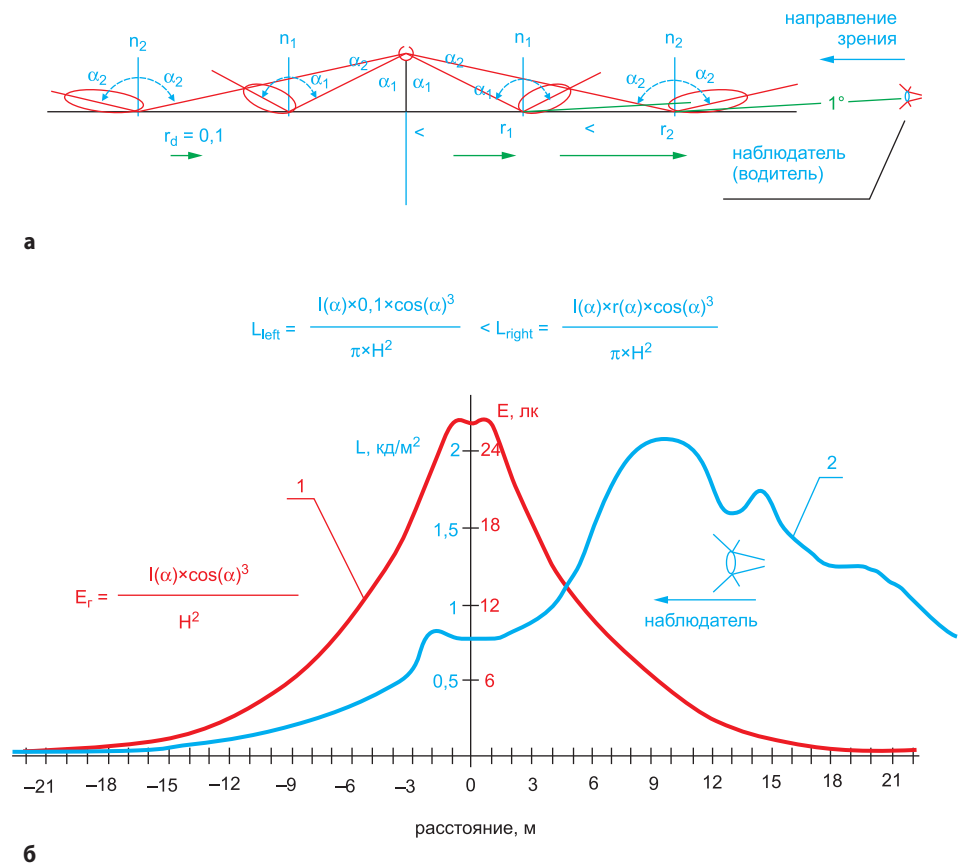


Рис. 8. Влияние свойств дорожного покрытия на распределение горизонтальной освещенности (1) и яркости (2) от светильника, обладающего симметрией в поперечной плоскости относительно оси дороги: а) характер отражения светового потока от поверхности дорожного покрытия и его зависимость от угла падения и направления наблюдения; б) графики распределения горизонтальной освещенности (1) и распределения яркости дорожного покрытия (2)

улицы) КСС, обеспечивают одинаковые по величине и характеру распределения горизонтальной освещенности. В то же время эти же равные световые потоки, падая против направления и по линии зрения, формируют примерно 2/3 и 1/3 величины яркости дорожного покрытия относительно наблюдателей (водителей) соответственно. Используя это явление в расчете образцового светораспределения, получаем асимметричное светораспределение, которое повышает коэффициент использования светового потока по яркости (рис. 9).

Полученное светораспределение было известно давно [12], но реализовать его оптической системой с ГЛВД было достаточно трудно, а на базе светодиодов вполне реально! Создание оптических систем со светодиодами должно базироваться на максимальном использовании их положительных свойств и снижении тех негативных качеств, которые они имеют в сравнении с традиционными источниками света. Это позволит светотехнической продукции на базе светодиодов успешнее конкурировать с традиционными источниками света и ускорит их внедрение в разных областях применения искусственного освещения, в том числе при освещении дорог и автострад.

Выводы

Эффективность и экономичность наружного искусственного освещения дорог и автострад формируются на всех стадиях научно-технических и проектно-конструкторских разработок, между которыми должна быть четкая согласованность, взаимосвязь и взаимовлияние, достигаемые совокупностью нормативно-технических документов.

Результаты расчетов количественных и качественных показателей ОУ зависят от полноты и достоверности исходных данных, в частности, от отражательных характеристик дорожных покрытий и светораспределений световых приборов.

Влияние рационального светораспределения светильников на столь противоречивые показатели освещения, как эффективность и экономичность ОУ, весьма значительно и разнообразно. При соответствующем уровне комплекса нормативно-технической документации светотехнической отрасли оно вполне сопоставимо с другими факторами, а в светильниках со светодиодами играет вообще исключительную роль.

Оценка технического уровня светильников и, в первую очередь, их светотехнического уровня должна выполняться по выходным параметрам ОУ, для которых они предназначены. Появление новых источников света — светодиодов — предоставляет широкие возможности для повышения технического уровня световых приборов за счет согласования параметров ОУ и светотехнических характеристик приборов, что в итоге позволит повысить эффективность и экономичность ОУ в целом.

Учитывая типовые способы пространственного расположения световых приборов относительно освещаемых поверхностей дорожного полотна, его свойств и окружения, а также направления линии зрения водителей, можно определить образцовое светораспределение световых приборов, при котором будут одновременно повышены такие противоречивые показатели ОУ, как эф-

фективность и экономичность. Работая над нормами ОУ, следует учитывать, что их изменение влечет за собой изменение номенклатуры световых приборов и их светотехнических параметров, что, естественно, сказывается на их производстве. Надо помнить принцип наших соотечественников — светотехников, работавших над нормами в середине прошлого столетия, который заключался в том, что над нормами надо работать систематически, а изменять их реже! ●

Литература

1. Указания по проектированию уличного освещения СН 278-64. Москва, 1964.
2. Островский М. А. К вопросу обоснования норм средней яркости дорожных покрытий в установках наружного освещения городов // Светотехника. 1962. № 11.
3. Карачев В. М., Бражникова Л. В. Перспективы повышения эффективности и экономичности ОУ на улицах и автострадах // Интеграл. 2001. № 2.
4. Motorway lighting // Elec. Rev. Gr. Brit. 1973. № 8.
5. Commission Internationale de l'Eclairage: Recommendations for the lighting of roads for motorized traffic, Publication CIE 12.2-1977.
6. ВСН-22-75. Инструкция по проектированию наружного освещения городов, поселков городского типа и сельских населенных пунктов. М., 1976.
7. Карачев В. М. Установки наружного освещения улиц городов: учебное пособие. М.: Издательский дом МЭИ. 2007.
8. Никитин В. Д. Совершенствование методов расчета освещения улиц // Светотехника. 2001. № 3.
9. ГОСТ 8045-82. «Светильники для наружного освещения. Общие технические условия».
10. Островский М. А. Влияние неравномерного распределения яркости дорожных покрытий на зрительную работоспособность водителей. Светотехника. 1969. № 4.
11. Островский М. А. Слепящее действие установок уличного освещения // Светотехника. 1970. № 7.
12. Справочная книга по светотехнике. / под ред. Ю.Б. Айзенберга. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Энергоатомиздат. 1995.

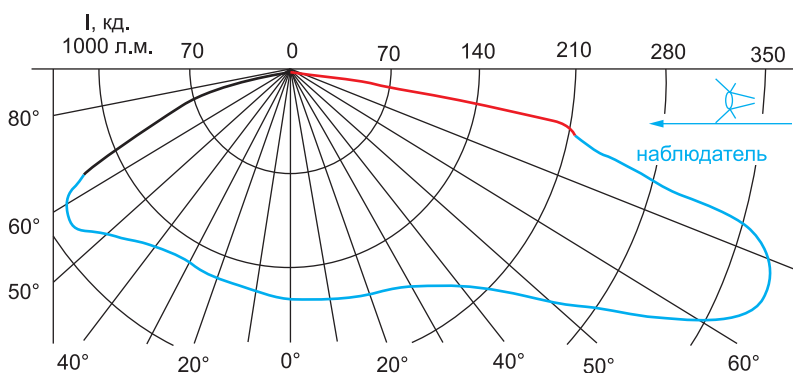


Рис. 9. КСС “Встречный луч”, обеспечивающая равномерное распределение яркости дорожного покрытия при направленности основных сил света навстречу направлению линии зрения водителей, что повышает коэффициент использования светового потока светильников