

Влияние угла наклона светильника и топологии осветительной установки на характеристики дорожного освещения¹

М.С. СЕНГИЗ

Университет Битлис Ерен, Битлис, Турция
E-mail: msaitcengiz@gmail.com

Аннотация

В данном исследовании рассмотрены две ошибки, присущие дорожному освещению. Объяснены преимущества шахматного расположения светильников и проблемы, связанные с использованием расположенных под углом к горизонтали светильников. Количественно продемонстрированы ошибки, возникающие при использовании моделирующих программ, и сформулированы предложения по исправлению этих ошибок. Количественно продемонстрированы потери в части яркости дорожного покрытия, имеющие место при использовании расположенных под углом к горизонтали светильников. Кроме того, на конкретном примере установки дорожного освещения показано, что при соответствующем выборе схемы расположения светильников шаг между опорами может быть уменьшен на 9,3 %.

Ключевые слова: дорожное освещение, угол наклона светильника, яркость.

1. Введение

Основная задача дорожного освещения состоит в обеспечении безопасного движения транспорта как днём, так и ночью. Работа установок дорожного освещения оценивается исходя из таких характеристик, как яркость дорожного покрытия, общая и продольная равномерности освещения, ограничение блёскости, обеспечение контраста, необходимого для восприятия объектов, и частота мельканий [1–3].

Дорожное освещение улучшает заметность пешеходов и других объектов. Освещение обеспечивает безопасность движения для водителей и рессор. Тщательно спроектирован-

ное дорожное освещение предотвращает возникновение заторов и придаёт людям уверенность в своей безопасности.

Водитель любого движущегося по дороге транспортного средства должен обладать подробной зрительной информацией о пути своего следования. Водитель должен хорошо видеть дорогу перед собой, воспринимать положение и движение своего транспортного средства, иметь возможность отслеживать перемещения других транспортных средств и с лёгкостью распознавать имеющиеся на дороге препятствия, что особенно важно при высоких скоростях движения.

МКО приводит результаты 30 исследований дорожного освещения, направленных на улучшение зрительных условий на дорогах [4]. Согласно [4], выполнение нормативных требований к дорожному освещению приводит к уменьшению дорожно-транспортных происшествий (ДТП) с участием пешеходов на 57–45 %, ДТП со смертельным исходом – на 65–48 %, ДТП с тяжёлыми телесными повреждениями – на 30–24 %. При этом полное количество ДТП уменьшается на 53–14 %.

Даже при малой плотности дорожного движения, при отсутствии освещения количество ДТП на дорогах и в тоннелях в ночное время примерно в три раза превышает их количество в дневное время. Причиной этого служит отсутствие удовлетворяющего нормам дорожного освещения. Согласно МКО, обеспечение подходящего дорожного освещения уменьшает количество преступлений, совершаемых на улицах городов. По литературным данным, благодаря хорошему освещению количество преступлений на городских дорогах уменьшается на 20 %, а тяжесть преступлений – на 40 % [5, 6].

2. Яркость дорожного покрытия

При проектировании установок дорожного освещения важнейшей задачей является обеспечение достаточного количества света без избыточного освещения и увеличения затрат на электроэнергию [7]. С точки зрения дорожного освещения важнейшим параметром является яркость, которую обозначают символом L и измеряют в $\text{кд}/\text{м}^2$. Для обеспечения хорошей видимости объектов и зрительного комфорта водителей распределение яркости поверхности дороги должно быть по возможности максимально равномерным. В настоящее время в основу дорожного освещения положен яркостный метод Американского института стандартов, который основан на яркости дорожного покрытия.

2.1. Средняя яркость дорожного покрытия

В случае дорожного освещения интерес представляет та часть дорожного покрытия, которая попадает в поле зрения водителя. При этом увеличение средней яркости дорожного покрытия $L_{average}$ приводит к улучшению видимости, обеспечивая большую яркость фона. Увеличение $L_{average}$ приводит к увеличению чувствительности глаз водителей благодаря увеличению яркости расположенных на дороге объектов. Так что самым важным параметром является $L_{average}$, которую рассчитывают на основе яркостей выбранных $m \times n$ участков дороги. $L_{average}$ получают посредством векторного сложения яркостей, создаваемых всеми освещающими контрольный участок источниками света. В результате определяют значение яркости во всех точках. Средняя яркость дорожного покрытия рассчитывается для каждого наблюдателя в отдельности [8–10].

2.2. Равномерность

Даже если осветительные установки и обеспечивают хорошую среднюю яркость дорожного покрытия, возможны участки с низкой яркостью, характеризующиеся слабым контрастом и невозможностью обнаружения небольших препятствий. Разница между минимальной и средней яркостями дорожного покрытия в поле зрения не должна превышать опреде-

¹ Перевод с англ. Е.И. Розовского

Параметры для выбора классов дорог по освещению

Параметр	Варианты	Весовой коэффициент
Скорость	Очень большая	1
	Большая	0.5
	Средняя	0
Плотность движения транспорта	Очень высокая	1
	Высокая	0.5
	Средняя	0
	Низкая	-0.5
	Очень низкая	-1
Состав транспортного потока	Смешанный, с большой долей немоторизированного транспорта	1
	Смешанный	0.5
	Только автомобильный транспорт	0
Центральная разделительная полоса	Да	1
	Нет	0
Частота пересечений	Высокая	1
	Средняя	0
Припаркованные автомобили	Да	0.5
	Нет	0
Окружающее освещение	Сильное	1
	Среднее	0
	Слабое	-1
Управление движением транспорта	Слабое	0.5
	Среднее или хорошее	0
Сумма весовых коэффициентов		4

Таблица 2

Качественные характеристики дорожного освещения [19]

Класс дороги по освещению	$L_{average}$, кд/м ²	U_0	U_1	TI , %
<i>M1</i>	> 2,0	> 0,4	> 0,7	< 10
<i>M2</i>	> 1,5	> 0,4	> 0,7	< 10
<i>M3</i>	> 1,0	> 0,4	> 0,5	< 10
<i>M4</i>	> 0,75	> 0,4	> 0,5	< 15
<i>M5</i>	> 0,50	> 0,35	> 0,4	< 15
<i>M6</i>	> 0,30	> 0,35	> 0,4	< 15

Таблица 1

лённого значения, с тем чтобы обеспечить достаточное освещение всех точек дорожного покрытия. Это требование приводит к нормированию общей и продольной равномерностей яркости, которые являются важными вторичными характеристиками дорожного освещения.

Для обеспечения хороших условий видимости для водителей, яркость должна быть распределена по поверхности дороги равномерно. В случае дорожного освещения важными считаются два типа равномерности [8–11]. Это средняя (результатирующая) равномерность U_0 и продольная равномерность U_l .

2.3. Источники света

Натриевые лампы высокого давления (НЛВД) являются предпочтительными в условиях, когда требуются высокие уровни яркости, в том числе в подводных тоннелях, так как НЛВД имеют большие световые потоки и меньшие размеры, чем лампы низкого давления.

Ранее было проведено сравнение используемых в дорожном освещении светильников с НЛВД и светильников со светодиодами (СД). Было показано, что освещение дорог классов *M3*, *M4* и *M5* по освещению может быть обеспечено светильниками с СД мощностью 100 и 150 Вт, тогда как в случае дорог классов *M1* и *M2* эти светильники не обеспечивали требуемый уровень освещения. Так как объектом данного исследования служит дорога класса *M2* по освещению, то светильники с СД здесь не рассматриваются, а рассматриваются светильники с НЛВД, которые широко применяются для дорожного освещения. В результате все расчёты производятся применительно к НЛВД [13–17].

3. Проектирование дорожного освещения

Типы дорог приведены в международных технических отчётах, и для этих типов дорог приводятся диапазоны оптимальных характеристик дорожного освещения. Проектные расчёты следует производить применительно к светильникам с известными фотометрическими характеристиками, получая в результате количества и типы светильников [18–20].

Характеристики дороги и осветительной установки

Тип осветительной опоры	Оцинкованная	Класс дороги по освещению	M2
Количество полос дороги	2	Длина консоли, м	1
Ширина полосы, м	3,5	Угол наклона консоли, град.	0°/5°/10°/15°
Ширина дороги, м	2×3,5 = 7	Угол наклона светильника, град.	0°/5°/10°/15°
Класс дороги	R4	Тип лампы	НЛВД
Q_o	0,08	Мощность лампы, Вт	150
Расстояние до светильника	0	Световой поток лампы, лм	17000
Высота установки светильника над уровнем земли, м	11	Коэффициент технического обслуживания (один раз в год)	0,91

Соответствующий конкретной дороге класс дороги по освещению определяется при помощи таблицы, приведённой в *CIE115–2010* [19]. Согласно табл. 1 нами был выбран класс дороги по освещению *M2*, соответствующие которому значения параметров отмечены в таблице. Качественные характеристики дорожного освещения приведены в табл. 2.

Класс дороги по освещению был определён в соответствии с уравнениями (1) – (3):

$$MX = 6 - \text{сумма весовых коэффициентов}, \quad (1)$$

$$MX = 6 - 4 = 2, \quad (2)$$

$$MX = M2. \quad (3)$$

4.1. Основные характеристики

Дорожное покрытие – асфальт, класс *R4*. Кроме того, $Q_o = 0,08$, высота подвеса светильников – 11 м. Коэффициент технического обслуживания светильника равен 0,91, и все расчётные значения яркости были соответствующим образом скорректированы. При расчётах дорожного освещения отношение минимального значения яркости к среднему превышало 0,4, так что отношение наименьшего значения яркости в направлении наблюдателя к максимальному гарантированно превышало 0,7 ($U_l \geq 0,7$).

Уровни и равномерности яркости дорожного покрытия соответствуют нормативным требованиям. Все светильники расположены на высоте 11 м в две линии в двустороннем шахматном (далее – шахматное расположение) или двустороннем прямоугольном (далее – прямоугольное расположение) порядке и направлены от тротуара к оси дороги. Характеристи-

ки дороги и осветительной установки приведены в табл. 3 [21–23].

4.2. Моделирование

Основная задача новых исследований заключается в получении наиболее экономичного результата, обеспечивающего требуемые условия. В новых исследованиях в области дорожного освещения рассмотрены различные сценарии освещения производится с учётом принятой классификации. Наиболее точные требования к дорожному освещению содержатся в международных стандартах. Поэтому в данном случае моделирование производилось с учётом требований МКО, и яркость, средний уровень яркости, общая и продольная равномерности яркости были рассчитаны во всех точках по отношению к наблюдателям в соответствии с *CIE140*.

Предназначенные для дорожного освещения светильники следует выбирать с учётом блёскости, яркости дорожного покрытия, равномерности освещения и экономических соображений, и этот выбор следует производить при помощи компьютерных расчётов, в основу которых должен быть положен яркостный метод [25–36].

В моделирующей программе предусмотрен широкий выбор характеристик дорог. Что касается освещения дорог, то можно выбрать разные системы освещения (прямоугольное расположение светильников, шахматное расположение светильников, дорога с разделительной полосой, дорога с одним светильником на опоре, дорога с двумя светильниками на опоре т. д.), классы дорог (*R1, R2, R3, R4, N1, N2, N3, N4* и т. д.), количества по-

лос, ширина полосы, ширина островка спасения и классы дорог по освещению (*M1, M2, M3, M4, M5, M6* и т. д.). Что касается характеристик осветительной установки, то для светильников, устанавливаемых на опорах или подвешиваемых, можно выбрать шаг между опорами, высоту подвеса светильников, расстояние между светильником и дорогой, угол наклона консоли, класс защиты *IP*, скорость загрязнения, периодичность чисток, и коэффициент технического обслуживания. Что касается характеристик светильников, то в базу данных моделирующей программы в любой момент можно ввести наименование светильника, угол наклона светильника (относительно поверхности дороги), мощность используемых ламп, срок службы, мощность пускорегулирующего аппарата. В результате в процесс моделирования можно ввести лампы любого типа [1–3, 21–24]. Применительно к данным, которые были введены в программу, можно с лёгкостью и большой точностью осуществить моделирование осветительной установки.

5. Реализация дорожного освещения

В данном исследовании были рассмотрены две проблемы, присущие дорожному освещению, а именно, угол наклона светильников и топология установки дорожного освещения. При этом при помощи моделирования было показано, что используемое почти повсеместно наклонное положение светильников является неправильным. Показано, что светильники следует располагать параллельно поверхности дороги (под

**Характеристики дорожного освещения при прямоугольном и шахматном расположении
светильников и углах 0°, 5°, 10° и 15°**

Угол наклона светильника, град.	0		5		10		15	
Номер наблюдателя	1	2	1	2	1	2	1	2
Местоположение наблюдателя, м	1,75	5,25	1,75	5,25	1,75	5,25	1,75	5,25
Шахматное расположение светильников								
$L_{average}$, кд/м ²	1,50	1,50	1,28	1,28	1,11	1,11	0,98	0,98
U_o	0,75	0,77	0,80	0,81	0,85	0,81	0,82	0,78
U_l	0,72	0,72	0,80	0,80	0,84	0,84	0,86	0,86
$TI, \%$	5,7	5,8	5,9	5,9	5,7	5,7	5,4	5,4
Прямоугольное расположение светильников								
$L_{average}$, кд/м ²	1,64	1,64	1,40	1,40	1,21	1,21	1,07	1,07
U_o	0,67	0,67	0,73	0,73	0,77	0,77	0,77	0,77
U_l	0,70	0,70	0,79	0,79	0,86	0,86	0,86	0,86
$TI, \%$	8,0	8,0	8,0	8,0	7,9	7,9	7,6	7,6

Таблица 5

Характеристики дорожного освещения при прямоугольном и шахматном расположении светильников

Топология осветительной установки	Прямоугольное расположе- ние светильников		Шахматное расположение светильников	
	1,75	5,25	1,75	5,25
Местоположение наблюдателя, м	1,75	5,25	1,75	5,25
$L_{average}$, кд/м ²	1,64	1,64	1,5	1,5
U_o	0,67	0,67	0,75	0,77
U_l	0,70	0,70	0,72	0,72
$TI, \%$	8,00	8,00	5,70	5,80
$E_{average}$, лк	25,55		23,4	
E_{min} , лк	13,31		16,81	
E_{max} , лк	49,20		34,39	
U_{oa}	0,53		0,73	
U_{la}	0,27		0,49	
Мощность лампы, Вт	150		150	
Световой поток, лм	17000		17000	
Расстояние между опорами, м	43		47	

углом 0°), а не наклонно. Вторая важная проблема, присущая дорожному освещению, состоит в том, что имеется возможность увеличения шага между опорами посредством правильного выбора схемы расположения опор. Соответственно, были проведены исследования двухполосной дороги с прямоугольным рас-

положением светильников с НЛВД мощностью 150 Вт. При этой топологии шаг между опорами оказался равным 43 м. Однако моделирование показало, что если опоры расположены в шахматном порядке, то шаг между опорами будет составлять 47 м. И если говорить об освещении рассмотренной дороги, то од-

ним и тем же количеством светильников при шахматном расположении светильников можно осветить дорогу, на 9,3 % более длинную, чем при прямоугольном расположении светильников. Этот пример показал, что при помощи моделирования можно найти новые решения для разных дорог и ламп разной мощности.

5.1. Зависимость освещения от угла наклона светильника

Для определения уровней освещения в определённых точках осветительной установки используются как различные инструменты проектирования, так и физические измерения. При этом используются модели, уравнения и компьютерные программы или реальные измерения, выполненные при помощи люксметров. В данной работе рассматриваются светильники с НЛВД мощностью 150 Вт, установленные на высоте 11 м от поверхности дороги. Определение угла наклона консоли (0° , 5° , 10° и 15°) в случае светильника с НЛВД мощностью 150 Вт и степенью защиты $IP65$ осуществлялось расчётным путём. Примеры углов наклона консолей светильников дорожного освещения приведены на рис. 1.

Как следует из рис. 1, светильники и консоли, используемые в дорожном освещении, расположены с наклоном, что приводит к уменьшению эффективности. В данной работе был проведён расчёт этого уменьшения эффективности, показавший, что эффективность светильников дорожного освещения уменьшается по мере увеличения угла наклона светильника. Углы наклона светильников, в том числе обеспечивающие неэффективное и эффективное освещение, показаны на рис. 2.

В данной работе было осуществлено моделирование двухполосной дороги, к которой применимы методы светотехнических расчётов, приведённые в [11, 12]. Расчёты были проведены применительно к светильникам с НЛВД мощностью 150 Вт, расположенным под углами 0° , 5° , 10° и 15° к горизонтали. При этом при углах наклона 5° , 10° и 15° наблюдалось уменьшение эффективности. Например, при прямоугольном расположении светильников, равном 43 м шаге между опорами и равном 0° угле наклона светильника средняя яркость оказалась равной $L_{average} = 1,50$ кд/м², что соответствует приведённому в [11, 12] требованиям к дорогам класса $M2$ по освещению. Если же при этом угол наклона светильника будет равен 5° , 10° или 15° , то $L_{average}$ окажется меньшей, чем 1,50 кд/м², что не удовлетворяет требованиям МКО [11, 12].

При шахматном расположении светильников, равном 47 м шаге меж-



Рис. 1. Примеры углов наклона консолей светильников дорожного освещения

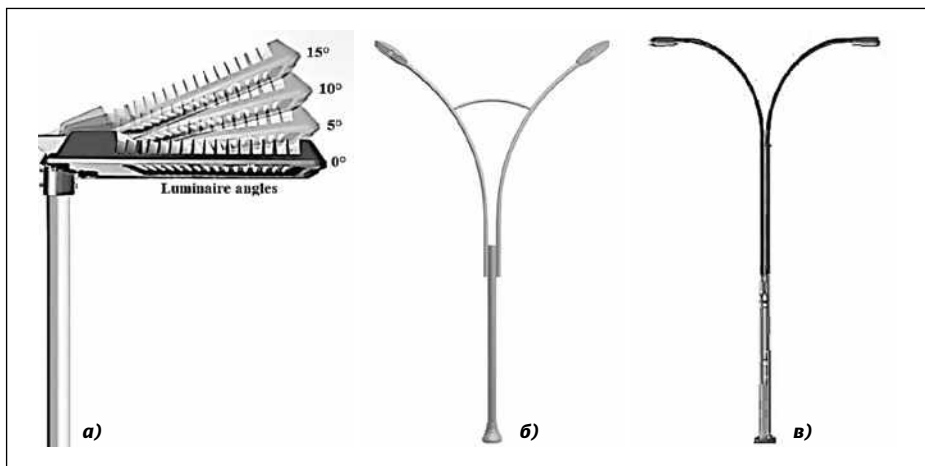


Рис. 2. а: углы наклона светильников; б: неэффективное освещение; в: эффективное освещение

ду опорами и равном 0° угле наклона светильника средняя яркость оказалась равной $L_{average} = 1,64$ кд/м², что соответствует приведённому в [11, 12] требованиям к дорогам класса $M2$ по освещению. Если же при этом угол наклона светильника будет равен 5° , 10° или 15° , то $L_{average}$ окажется меньшей, чем 1,50 кд/м², что не удовлетворяет требованиям МКО [11, 12]. Требования к освещению дорог класса $M2$ приведены в табл. 3, а в табл. 4 приведены результаты расчётов, проведённых применительно к прямоугольному и шахматному расположению светильников и углам наклона 0° , 5° , 10° и 15° .

Из табл. 4 следует, что и при прямоугольном, и при шахматном расположении светильников значения $L_{average}$ при угле наклона 0° оказались приемлемыми на 100 %, тогда как:

- при угле наклона 5° потери составили примерно 15 %,
- при угле наклона 10 потери составили примерно 26 %, а
- при угле наклона 15° потери составили примерно 35 %.

5.2. Зависимость освещения от схемы расположения светильников

Ещё одним моментом, который был рассмотрен в данной работе, было влияние на освещение топологии осветительной установки. Даже при равенстве всех прочих параметров, правильный выбор схемы расположения светильников позволяет получить некоторые преимущества. Для подтверждения этого было смоделировано освещение двухполосной дороги светильниками с НЛВД мощностью 150 Вт, расположенными по прямоугольной схеме и в шахматном порядке. Как следует из табл. 5, при прямоугольном расположении светильников все полученные характеристики освещения удовлетворяют требованиям [12] при равном 43 м шаге между опорами. Однако несмотря на то, что все, за исключением шага между опорами, характеристики осветительной установки остаются неизменными, при шахматном расположении светильников требования [12] удов-

Значения яркости в направлении наблюдателя 1 при прямоугольном расположении светильников

Наблюдатель 1: $L_{average} = 1,64$ кд/м ² , $U_o = 0,67$, $U_l = 0,70$, $TI = 8\%$												Прямоугольное расположение светильников, 150 Вт				
	1,43	4,30	7,17	10,03	12,90	15,77	18,63	21,50	24,37	27,23	30,10	32,97	35,83	38,70	41,57	
0,58	1,58	1,51	1,40	1,27	1,35	1,52	1,70	1,79	1,79	1,70	1,56	1,57	1,69	1,67	1,65	
1,75	1,74	1,61	1,49	1,42	1,52	1,73	1,91	2,01	1,97	1,84	1,66	1,66	1,82	1,75	1,77	
2,92	1,69	1,56	1,42	1,41	1,55	1,82	2,05	2,13	2,00	1,85	1,68	1,66	1,70	1,71	1,72	
4,08	1,68	1,55	1,42	1,41	1,55	1,79	1,99	2,06	1,97	1,83	1,66	1,66	1,69	1,70	1,71	
5,25	1,65	1,51	1,37	1,28	1,38	1,58	1,79	1,88	1,84	1,76	1,60	1,62	1,77	1,72	1,74	
6,42	1,46	1,37	1,23	1,10	1,16	1,32	1,50	1,61	1,61	1,59	1,47	1,50	1,62	1,62	1,58	

Таблица 7

Значения яркости в направлении наблюдателя 2 при прямоугольном расположении светильников

Наблюдатель 2: $L_{average} = 1,64$ кд/м ² , $U_o = 0,67$, $U_l = 0,70$, $TI = 8\%$												Прямоугольное расположение светильников, 150 Вт				
	1,43	4,30	7,17	10,03	12,90	15,77	18,63	21,50	24,37	27,23	30,10	32,97	35,83	38,70	41,57	
0,58	1,46	1,37	1,23	1,10	1,16	1,32	1,50	1,61	1,61	1,59	1,47	1,50	1,62	1,62	1,58	
1,75	1,65	1,51	1,37	1,28	1,38	1,58	1,79	1,88	1,84	1,76	1,60	1,62	1,77	1,72	1,74	
2,92	1,68	1,55	1,42	1,41	1,55	1,79	1,99	2,06	1,97	1,83	1,66	1,66	1,69	1,70	1,71	
4,08	1,69	1,56	1,42	1,41	1,55	1,82	2,05	2,13	2,00	1,85	1,68	1,66	1,70	1,71	1,72	
5,25	1,74	1,61	1,49	1,42	1,52	1,73	1,91	2,01	1,97	1,84	1,66	1,66	1,82	1,75	1,77	
6,42	1,58	1,51	1,40	1,27	1,35	1,52	1,70	1,79	1,79	1,70	1,56	1,57	1,69	1,67	1,65	

летворяются при шаге между светильниками, равном 47 м, то есть на 4 м больше, чем при прямоугольном расположении светильников. Так что при шахматном расположении светильников освещённый участок оказался на 9,3 % длиннее.

По этой причине при моделировании дорожного освещения следует рассматривать разные варианты, как это сделано в данной работе, что способно привести к уменьшению как не-

нужных капитальных затрат при строительстве установок дорожного освещения, так и стоимости расходуемой на освещение энергии. Прямоугольное и шахматное расположения светильников показаны на рис. 3, а в табл. 5 приведены результаты расчётов установок дорожного освещения с прямоугольным и шахматным расположением светильников.

В табл. 6 и 7 и в табл. 8 и 9 приведены значения яркости в направлении

наблюдателей 1 и 2 при, соответственно, прямоугольном и шахматном расположении светильников. При этом требования [11, 12] удовлетворяются во всех точках. Максимальный шаг между опорами составляет 43 м при прямоугольном расположении светильников и 47 м при шахматном расположении светильников, то есть расположение светильников в шахматном порядке позволяет на 4 м увеличить шаг между опорами.

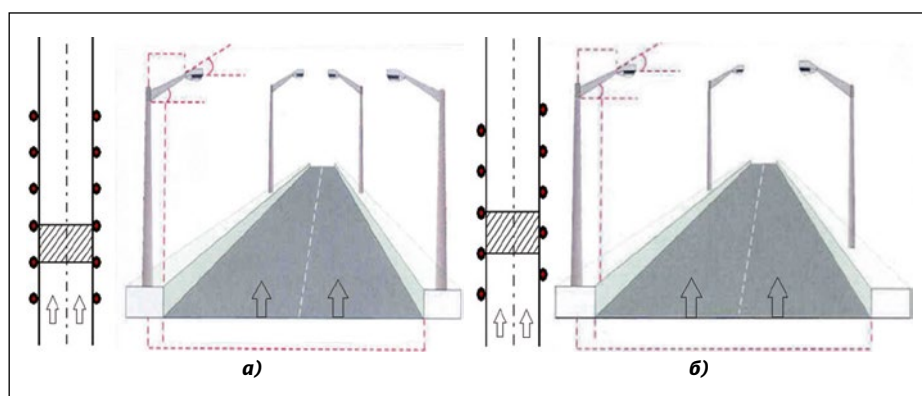


Рис. 3. Установки дорожного освещения с прямоугольным (а) и шахматным (б) расположением светильников

6. Результаты

Установки дорожного освещения очень важны как для облегчения управления транспортными средствами, так и для обеспечения безопасности. Основная задача новых исследований заключается в получении наиболее экономичного результата, обеспечивающего требуемые условия. И при разработке новых предложений в области дорожного освещения учитывают как классификацию дорог по освещению, так и соответствующие требования к освещению.

Значения яркости в направлении наблюдателя 1 при шахматном расположении светильников

Наблюдатель 1: $L_{average} = 1,50$ кд/м ² , $U_o = 0,75$ $U_i = 0,72$ $TI = 5,7$ %												Шахматное расположение светильников, 150 Вт				
	1,47	4,41	7,34	10,28	13,22	16,16	19,09	22,03	24,97	27,91	30,84	33,78	36,72	39,66	42,59	45,53
0,58	1,58	1,58	1,49	1,35	1,40	1,59	1,59	1,57	1,53	1,48	1,37	1,23	1,21	1,29	1,41	1,55
1,75	1,70	1,68	1,58	1,44	1,51	1,76	1,75	1,82	1,79	1,62	1,47	1,33	1,32	1,40	1,51	1,62
2,92	1,80	1,67	1,51	1,40	1,42	1,58	1,68	1,77	1,78	1,64	1,48	1,38	1,38	1,46	1,60	1,74
4,08	1,87	1,68	1,49	1,35	1,32	1,37	1,47	1,59	1,64	1,59	1,49	1,41	1,49	1,67	1,77	1,85
5,25	1,76	1,58	1,41	1,24	1,21	1,26	1,36	1,49	1,56	1,54	1,49	1,38	1,47	1,72	1,73	1,81
6,42	1,40	1,36	1,26	1,14	1,12	1,20	1,29	1,40	1,46	1,42	1,37	1,24	1,30	1,48	1,50	1,49

Таблица 9

Значения яркости в направлении наблюдателя 2 при шахматном расположении светильников

Наблюдатель 2: $L_{average} = 1,50$ кд/м ² , $U_o = 0,77$ $U_i = 0,72$ $TI = 5,8$ %												Шахматное расположение светильников, 150 Вт				
	1,47	4,41	7,34	10,28	13,22	16,16	19,09	22,03	24,97	27,91	30,84	33,78	36,72	39,66	42,59	45,53
0,58	1,58	1,58	1,49	1,35	1,40	1,59	1,59	1,57	1,53	1,48	1,37	1,23	1,21	1,29	1,41	1,55
1,75	1,70	1,68	1,58	1,44	1,51	1,76	1,75	1,82	1,79	1,62	1,47	1,33	1,32	1,40	1,51	1,62
2,92	1,80	1,67	1,51	1,40	1,42	1,58	1,68	1,77	1,78	1,64	1,48	1,38	1,38	1,46	1,60	1,74
4,08	1,87	1,68	1,49	1,35	1,32	1,37	1,47	1,59	1,64	1,59	1,49	1,41	1,49	1,67	1,77	1,85
5,25	1,76	1,58	1,41	1,24	1,21	1,26	1,36	1,49	1,56	1,54	1,49	1,38	1,47	1,72	1,73	1,81
6,42	1,40	1,36	1,26	1,14	1,12	1,20	1,29	1,40	1,46	1,42	1,37	1,24	1,30	1,48	1,50	1,49

Наиболее точные требования к дорожному освещению и выбору ламп содержатся в международных стандартах. Поэтому моделирование дорожного освещения производится с учётом требований МКО, и значения яркости, средний уровень яркости, общая и продольная равномерности яркости были рассчитаны во всех точках по отношению к наблюдателям в соответствии с CIE140 [11, 12]. Характеристики ламп были внесены в базу данных с последующим анализом полученных результатов.

Светильники с НЛВД мощностью 150 Вт удовлетворяют требованиям [11, 12] при равном 0° угле наклона светильника и шагах между опорами, оптимальных для прямоугольного и шахматного расположения светильников. При углах наклона 5°, 10° и 15° $L_{average}$ оказалась меньше чем 1,50 кд/м² и, тем самым, не удовлетворяет требованиям МКО. Было показано, что соответствие нормативным требованиям обеспечивалось неэффективными осветительными установками.

Схема расположения светильников влияет на эффективность освещения. Даже при равенстве всех прочих параметров, правильный выбор топологии позволяет улучшить дорожное освещение. При прямоугольном расположении светильников оптимальный шаг между опорами оказался равным 43 м, тогда как при шахматном расположении светильников он оказался равным 47 м, то есть выигрыш составил 4 м (9,3 %).

Такие специальные решения можно выбрать при помощи компьютерного моделирования. По этой причине при моделировании дорожного освещения следует рассматривать разные варианты, как это сделано в данной работе.

Правильный выбор схемы расположения светильников приводит к уменьшению ненужных капитальных затрат при строительстве установок дорожного освещения и к увеличению энергоэффективности дорожного освещения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Cengiz, M.S. A Simulation and Design Study for Interior Zone Luminance in Tunnel Lighting // Light & Engineering. – 2019. – Vol. 27, No. 2. – P. 42–51.
2. Cengiz, M.S. The Relationship Between Maintenance Factor and Lighting Level in Tunnel Lighting // Light & Engineering. – 2019. – Vol. 27, No. 3. – P. 75–84.
3. Сенгуз М.С. Связь между коэффициентом эксплуатации и уровнем освещённости в тоннеле // Светотехника. – 2019. – № 3. – С. 51–58.
4. CIE93–1992. Road lightings as an Accident Countermeasure. Vienna-Austria, 1992.
5. Painter, K.A., Farrington, D.P. Evaluating Situational Crime Prevention A Young People's Survey // The British Journal of Criminology. – 2001. – Vol. 41, No. 2. – P. 266–284.
6. Gan, F., Grabosky, P. Improved street Lighting and Crime Reduction, The Promise of Crime Prevention. – 2nd ed. – Canberra: Australian Institute of Criminology, 2000. – P. 1326–6004 (2000). ISBN0642241724.
7. Cengiz, M.S., Cengiz, Ç. Numerical Analysis of Tunnel LED Lighting Maintenance Fac-

tor // IJUM Engineering Journal. – 2018. – Vol. 19, No. 2. – P. 154–163.

8. *Ongun, A.* The Analysis of Optimum Solution Criteria for The Designing of Road Lighting Installations. M. Sc. Thesis, Gazi University Institute of Science and Technology, 2007. 174 pages. Ankara.

9. *Bommel, W.V.* Road Lighting: Fundamentals, Technology and Application. – Switzerland: Springer Int. Pub., 2015. – 333 pp. ISBN: 978–3–319–11465–1

10. *Özkaya, M.* Aydınlatma Tekniği, Birsen Yayınevi, İstanbul-1994, 91 pp. 11. CIE140:2000. Road Lighting Calculations. Vienna-Austria, 2000.

12. CIE140:2019 Road Lighting Calculations. 2nd Ed. ISBN:978–3–902842–56–5.

13. *Onaygil, S., Güler, Ö., Erkin, E.* Yol Aydınlatmalarında LED Kullanımı, V. Ulusal Aydınlatma Sempozyumu ve Sergisi, 2009.

14. *Cengiz, Ç., Kaynaklı, M., Gencer, G., Eren, M., Yapıcı, İ., Yıldırım, S., Cengiz, M.S.* Selection Criteria and Economic Analysis of LEDs // Int. Conf. Mult. Sci. Eng. Tech., October 27–29, 2017, Bitlis, Turkey.

15. UN Economic and Social Council, Economic Commission for Europe, Committee on Sustainable Energy, Steering Committee of the Energy Efficiency 21 Project, Final Report of Energy Efficiency Investment Project Development for Climate Change Mitigation, ECE/ENERGY/WP.4/ 2006/2, (21 March 2006).

16. *Gencer, G., Eren, M., Yıldırım, S., Kaynaklı, M., Palta, O., Cengiz, M.S., Cengiz, Ç.* Numerical Approach to City Road Lighting Standards // Int. Conf. Mult. Sci. Eng. Tech., 27–29.10.2017, Bitlis, Turkey.

17. *Yıldırım, S., Yapıcı, İ., Atıç, S., Eren, M., Palta, O., Cengiz, Ç., Cengiz, M.S., Yurci, Y.* Numerical Analysis of Productivity and Redemption Periods in LED Illumination // Int. Conf. Mult. Sci. Eng. Tech., 12–14.07.2017, Baku.

18. CIE194–2011. On site measurement of the photometric properties of road and tunnel lighting. Vienna-Austria, 2011.

19. CIE115–2010. Recommendations for the Lighting of Roads for Motor and Pedestrian Traffic. Vienna-Austria, 2010.

20. CIE136–2000. Guide to the lighting of urban areas. Vienna-Austria, 2000.

21. *Onaygil, S.* TEDAŞ Genel Müdürlüğü Meslek İçi Eğitim Semineri // TEDAŞ Basımevi, Ankara, 2005. – P. 1–70.

22. *Onaygil, S.* 2007. TEDAŞ Genel Müdürlüğü Meslek İçi Eğitim Semineri-Gölbaşı Eğitim Tesisleri // Yol aydınlatma Semineri, 23–24.01.2007.

23. *Onaygil, S.* Yol aydınlatma projelerinde yol sınıfının belirlenmesinin önemi // Kaynak Elektrik Dergisi. – 1998. – No. 12. – P. 125–132.

24. *Güler, Ö., Onaygil, S.* The effect of luminance uniformity on visibility level in road lighting // Lighting Research and Technology. – 2002. – Vol. 35. – P. 199–215.

25. *Tetri, E., Chenani, S.B., Rasanen R.S.* Advancement in Road Lighting // Light & Engineering. – 2018. – Vol. 26, No. 1. – P. 99–109.

26. *Ченани С.Б., Рязанен Р.С., Тетри Е.* Состояние и перспективы развития дорожного освещения // Светотехника. – 2018. – № 1. – С. 15–22.

27. *Tetri, E., Bozorg Chenani, S., Rasanen R-S., Baumgartner, H., Vaaja, M., Sierla, S., Tahkamo, L., Virtanen, J-P., Kurkela, M., Ikonen, E., Halonen, L., Huuppa, H., Kosonen, I.* Tutorial: Road Lighting for Efficient and Safe Traffic Environments // LEUKOS. – 2017. – Vol. 13, No. 4. – P. 223–241.

28. *Liping, G., Marjukka, E., Halonen, L.* Luminance monitoring and optimization of luminance metering in intelligent road lighting control systems // Ingeria Iluminatuluin. – 2007. – Vol. 9. – P. 24–40.

29. *Barua, P., Mazumdar, S., Chakraborty, S., Bhattacharjee, S.* Road Classification Based Energy Efficient Design and its Validation for Indian Roads // Light & Engineering. – 2018. – Vol. 26, No. 2. – P. 110–121.

30. *Чакрабурти С., Баруа П., Бхаттачарджи С., Мазумдар С.* Энергоэффективное проектирование установок дорожного освещения на основе классификации индийских дорог по освещению // Светотехника. – 2018. – № 3. – С. 60–67.

31. *Bozorg Chenani, S., Vaaja, T.M., Kurkela, M., Kosonen, I., Luttinen, T.* Target detection distances under different road lighting intensities // European Transport Research Review. – 2017. – No. 9. – P. 1–17.

32. *Iacomussi, P., Rossi, G., Soardo, P.* Energy Saving and Environmental Compatibility in Road Lighting // Light & Engineering. – 2012. – Vol. 20, No. 4. – P. 55–63.

33. *Росси Д., Соардо П., Якомусси П.* Дорожное освещение: экономия энергии и совместимость с окружающей средой // Светотехника. – 2012. – № 2. – С. 32–39.

34. *Tahkamo, L., Halonen, L.* Life cycle assessment of road lighting luminaires -Comparison of light emitting diode and high-pressure sodium technologies // Journal of Cleaner Production. – 2015. – Vol. 93. – P. 234–242.

35. *Van Bommel, W., Van Den Beld, G., Van Ooyen M.* Industrial Light and Productivity // Lighting & Engineering. – 2003. – Vol. 11, No. 1. – P. 14–21.

36. *Боммель В., Бельд Г., Оойжен М.* Промышленное освещение и производительность труда // Светотехника. – 2003. – № 1. – С. 8–11.

Комментарий к статье М.С. Сенгиза «Влияние угла наклона светильника и топологии осветительной установки на характеристики дорожного освещения»

Не делая полного разбора статьи, коснёмся только двух основных выводов автора. Утверждается, что, во-первых, нулевой угол наклона кронштейна консольного светильника и, во-вторых, шахматная схема расположения ОП относительно дороги являются эффективными решениями при освещении автомобильных дорог.

Для обоснования этих выводов автором выбран вариант участка доро-

ги с односторонним движением, с двумя полосами шириной 3,5 м каждая, при этом ОП располагаются по обеим сторонам дороги на высоте 11 м от уровня дорожного покрытия (ДП). При этом полностью отсутствует информация о характере светораспределения применяемых ОП, а это, в данном случае, играет решающую роль.

Как известно, светораспределение уличных ОП подразделяется на два

основных типа: широкое осевое (ШО) и широкое боковое (ШБ), главное отличие между которыми обусловлено соответственно наличием или отсутствием симметрии в распределении силы света ОП относительно главной поперечной плоскости ОП (плоскости C_0-C_{180} в системе фотометрирования $C-\gamma$), параллельной оси дороги (см. рисунок). Кроме того, максимумы силы света ОП со светораспределением типа ШБ лежат не в главной поперечной плоскости, как в случае ШО, а в симметричных меридиональных полуплоскостях, смещённых от неё



Мехмет Саид Сенгиз (Mehmet Sait Cengiz), Ph.D.
(2016 г.). Работает в Университете Битлис Ерен, Турция. Область научных интересов: прикладные вопросы освещения

на некоторый угол C , например, C_{10} и C_{170} (на приведённом рисунке КСС с максимумом показана только в полуплоскости C_{10}).

ОП со светораспределением типа ШО наиболее эффективны для освещения нешироких улиц при их подвесе на тросе над проезжей частью. Также такие ОП устанавливают на кронштейнах опор, при этом, как правило, под наклоном к горизонту под углом порядка 15° . ОП со светораспределением типа ШБ устанавливают на кронштейнах опор, при этом для узких улиц – с небольшим наклоном (до 10°) или без такового, а для широких – всегда с наклоном от 10° до 30° . Необходимо отметить, что при выборе угла наклона ОП важна не абсолютная ширина проезжей части, а её относительная величина, т.е. по отношению к высоте установки ОП над уровнем ДП.

Из приведённых в табл. 4 данных видно, что с увеличением угла наклона ОП средняя яркость ДП уменьшается. Это свидетельствует о том, что автор использовал ОП со светораспределением типа ШБ. На основании полученной зависимости автор делает вывод о том, что нулевой наклон оптимален. Однако это справедливо только для приведённого частного случая: светораспределения ОП типа ШБ и малой относительной ширине дороги. Если для выбранного автором ОП взять более широкую дорогу (4, 6 или 8 полос) при той же высоте установки ОП, то оптимальным с точки зрения максимума средней яркости ДП будет угол наклона от 10° до 20° . Поэтому говорить об оптимальности нулевого угла наклона в общем случае – некорректно. Второй вывод касается выбора схемы расположения ОП относительно дороги, почему-то названной автором «топологией»¹¹. Здесь прежде всего надо сказать, что для такой узкой дороги (2 полосы) двустороннее расположение ОП, принятое автором, очень нерационально. Одностороннее расположение ОП при правильном выборе их мощности вполне позволяет обеспечить заданные уровень и равномерность яркости ДП, при этом существенно ниже затраты на установку ОП (одна линия ОП вместо двух). Анализ выбора оп-

¹ В оригинале автор использует термин «topology» вместо общепринятого «arrangement».

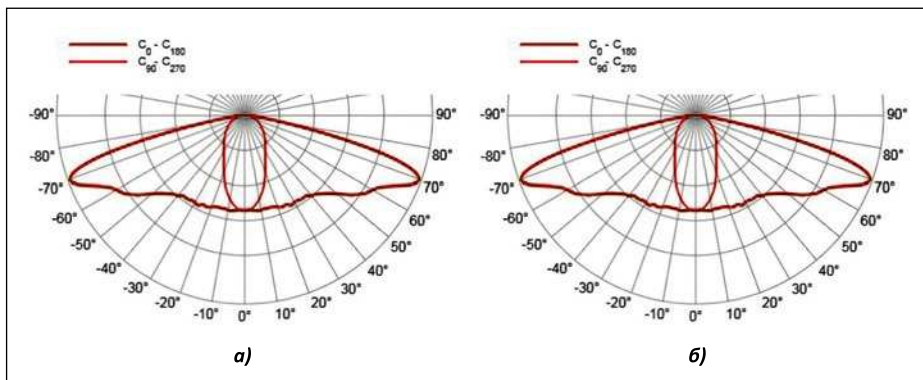


Рис. 1. Типы светораспределения уличных ОП: а – ШО; б – ШБ

тимальной схемы расположения ОП необходимо проводить для дорог шириной 4–8 полос, при этом надо обязательно учитывать тип светораспределения и оптимальный угол наклона ОП в зависимости от ширины дороги (см. выше).

Отметим также, что при определении класса дороги по освещению (табл. 1) учтено наличие центральной разделительной полосы, которой нет (см. рис. 3), что привело к завышению указанного класса, а следовательно, и нормативных требований (средней яркости, продольной равномерности). А это, в конечном счёте, исказило по-

лученные результаты исследования и сделанные выводы.

Подытоживая сказанное, можно констатировать, что выводы автора носят частный недостаточно обоснованный характер и не могут рассматриваться в качестве рекомендаций при проектировании дорожного освещения.

*Ведущий научный сотрудник –
руководитель сектора специального
программного обеспечения
ООО МСК «БЛ ГРУПП»,
к.т.н., А.А.Коробко
18.03.2020*

ПАРТНЁРЫ ЖУРНАЛА

Редколлегия и редакция с большим удовлетворением отмечают организацию сообщества «Партнёры журнала «Светотехника» и выражают благодарность нашим партнёрам, поверившим во взаимную эффективность такого сотрудничества



interlight
RUSSIA

intelligent building
RUSSIA