

Екатерина Ильина | [iei@rtcs.ru](mailto:iei@rtcs.ru)  
 Александр Стратиенко | [san@rtcs.ru](mailto:san@rtcs.ru)

# Наружное светодиодное освещение автомагистралей и улиц городов

## Нормирование установок наружного освещения

**Данная статья открывает цикл публикаций по теме уличного освещения. В ближайшие два-три года светодиоды определенно упрочат свои позиции в качестве наиболее эффективных источников света, поэтому есть основания полагать, что они будут широко применяться и в уличном дизайне. Цель данной статьи — обзор принципов и современных тенденций нормирования освещения дорог. Какие параметры нормируются в нашей стране и почему, в чем физический смысл этих характеристик?**

### Что входит в понятие осветительной установки наружного освещения

Осветительная установка — комплексное светотехническое устройство, предназначенное для искусственного и (или) естественного освещения и состоящее из источника оптического излучения, осветительного прибора или светопропускающего устройства, освещаемого объекта или группы объектов, приемника излучения и вспомогательных элементов, обеспечивающих работу установки (проводов и кабелей, пускорегулирующих и управляющих устройств, конструктивных узлов, средств обслуживания) [1].

Рассмотрим, из чего состоит установка наружного освещения (УНО) улиц. Принципиальный терминологический момент заключается в том, что в ее состав (кроме светильников и опор с кронштейнами) входят: дорожное покрытие, тротуары, фасады домов, дорожные знаки, разметка, дорожное ограждение и другие освещаемые элементы, находящиеся в поле зрения пользователей УНО. Приемником излучения для всех УНО является глаз или прибор для измерения световой характеристики, например, яркомер или люксметр. При моделировании УНО очень важно знать и учитывать характеристики всех ее элементов. Также важно понимать, что качество освещения зависит не только от типа светильника, но также и от качества дорожного покрытия.

Основная задача УНО — обеспечение безопасности движения автотранспортных средств, т. е. создание водителям условий своевременного обнаружения препятствий. По статистике, на ночное время приходится в 3 раза больше аварий, чем днем. Качественное освещение

обеспечивает снижение количества аварий на 30%. Кроме того, УНО должна обеспечивать комфортность ориентации в пространстве для всех пользователей и способствовать формированию ночного облика города наряду с другими видами освещения.

Вот несколько аксиом, лежащих в основе моделирования условий наружного освещения:

1. Для водителей улица — важный элемент рабочего окружения. Именно водители являются основными пользователями УНО. Кроме них, есть еще две группы пользователей — пешеходы и жители домов, чьи интересы необходимо учитывать.
2. Водители, в сравнении с пешеходами, имеют ограниченную степень свободы и значительно меньшее время на обнаружение потенциального препятствия и принятие соответствующих решений. В то же время водитель является большим источником опасности, чем пешеход.
3. Восприятие проезжей части улицы водителями осуществляется в динамике в условиях сумеречного зрения, при этом линия зрения водителей относительно фиксирована и направлена по линии движения автомобиля (принято считать, что вниз на 1° относительно уровня глаз).

### Откуда берутся нормы?

Нормы разрабатываются светотехниками совместно с гигиенистами на основании психофизиологических экспериментов. В отличие от остальных физических величин, свет оценивается исходя из тех визуальных ощущений, которые он вызывает. Представим, если бы «качество» килограмма определялось исходя из субъективных ощущений человека.

Взрослому килограмм покажется легким, ребенку — тяжелым. В этом и состоит сложность при работе со светом. Восприятие у всех разное, и только эксперименты и обработка большого количества статистических данных позволяют с той или иной степенью достоверности судить о свете.

Нормы не являются чем-то перманентным и статичным, они всегда отражают баланс между желаемым и выполнимым, между комфортом и экономическими/техническими возможностями. Прогресс не стоит на месте, в настоящее время бурно развиваются светодиодные технологии освещения, и, определенно, существующие нормы будут пересматриваться, будут найдены и приняты дополнительные критерии, что позволит продвинуться еще на один шаг в сторону оптимизации условий освещения.

### Критерии нормирования УНО

В настоящее время в УНО основными критериями светотехнической эффективности являются видимость и пороговый контраст. Визуальное восприятие объекта возможно только при резком различии между объектом и фоном. Этот контраст определяется отношением разности яркостей объекта наблюдения и фона к яркости фона. Пороговый контраст — минимальный контраст, воспринимаемый глазом.

Видимость — возможность зрительного восприятия удаленных от наблюдателя объектов, которая характеризуется либо степенью различимости (насколько отчетливо виден объект), либо дальностью видимости (расстоянием, на котором наблюдаемый объект становится неразличимым).

Как известно, глаз реагирует на яркость, т. е. на световой поток, отраженный от поверхности в направлении линии зрения наблюдателя. В условиях наружного освещения препятствие, как правило, имеет невысокую яркость, поэтому для его выделения на общем фоне принято обеспечивать необходимую величину яркости дорожного покрытия, другими словами, повышать пороговый контраст

между фоном и объектом за счет увеличения яркости фона. При значительной скорости движения водитель должен иметь возможность обнаружить препятствие с расстояния в несколько десятков метров. Это расстояние должно быть достаточным для принятия мер по предотвращению дорожно-транспортного происшествия и определяется скоростью движения автотранспорта, временем реакции водителя, временем инерции тормозной системы и системы управления транспортного средства, а также тормозными свойствами полотна дороги и колес автомобиля. При этом чем выше скорость автомобиля, тем больше это расстояние, тем меньше угловой размер препятствия, тем большим должен быть пороговый яркостной контраст между фоном (дорожным покрытием) и объектом обнаружения.

### Яркость или освещенность?

Согласно СНиП 23-05-95, основному нормативному документу по освещению в нашей стране, в установках наружного освещения наряду с освещенностью в качестве количественной характеристики используется яркость. Итак, почему УНО нормируется и по яркости, и по освещенности? В нормах нет важных и второстепенных параметров, в основе каждой характеристики лежит свой физический смысл.

Яркость и освещенность — количественные показатели УНО, их можно непосредственно измерить. Яркость — это величина светового потока, отраженного от единицы площади поверхности или излучаемого ей в направлении наблюдателя, она измеряется с помощью яркомера; освещенность — это величина светового потока, падающего на поверхность, и она измеряется люксметром. Эти приборы скорректированы под дневную спектральную чувствительность человеческого глаза.

При этом освещенность не отражает то, как свет взаимодействует с окружающим пространством. Яркость по отношению к наблюдателю, в отличие от освещенности, зависит от направления линии его зрения и отражающих свойств поверхности в этом направлении. Основным пользователем в УНО является водитель, угол зрения которого определен, характер отражения света дорожным покрытием в направлении линии его зрения хорошо изучен и стандартизован, поэтому яркость — основная нормируемая характеристика в УНО. Освещенность является не менее важным параметром и характеризует световой комфорт пешехода, линия зрения которого не фиксирована и может быть направлена куда угодно.

### Другие нормируемые параметры УНО

Кроме вышеупомянутых количественных, в СНиП 23-05-95 нормируются следующие качественные характеристики: неравномерность яркости дорожного покрытия и показатель ослепленности.

Зрительные свойства глаза напрямую зависят от распределения яркости в поле его зрения. Зрение принято делить на центральное и периферическое. Приспособление глаза к раз-

личным уровням яркости называется адаптацией. Инерционность органа зрения заключается в том, что при переключении взгляда с одной яркости на другую в течение некоторого времени идет процесс изменения чувствительности участков сетчатки, на которые проектируются поверхности разной яркости. Переадаптация глаза состоит в том, что при выключении яркости из поля зрения ощущение ее присутствия остается и не исчезает мгновенно. Длительность этого процесса и скорость изменения чувствительности глаза зависят от уровня первоначальной и последующей яркости, от размеров поверхностей разной яркости и от времени фиксации глазом поверхности с каждой яркостью.

В процессе движения автомобиля в центральную зону поля зрения водителя попадает участок дорожного полотна, в периферическую — светильники, опоры, экстерьер улицы, пешеходы и другие объекты. Неравномерность яркости дорожного покрытия — характеристика, в большей степени отвечающая за обеспечение видимости препятствия с заданной вероятностью в центральной зоне поля зрения. Степень ослепленности влияет на видимость в периферической. Если яркость дорожного покрытия имеет высокую неравномерность, то зрительный аппарат водителя постоянно находится в режиме переадаптации. Это отрицательно сказывается на работоспособности глаз, приводит к снижению внимательности, утомляемости и, как следствие, к повышению вероятности ДТП. Наличие слепящих источников в поле зрения ухудшает видимость объектов.

Неравномерность яркости дорожного покрытия формируют две величины: общая неравномерность дорожного полотна и неравномерность по полосе движения. Первый показатель определяется отношением максимальной яркости дорожного полотна к средней по всей его поверхности. Второй — это отношение максимальной яркости к минимальной на рассматриваемой полосе движения соответственно.

Показатель ослепленности оценивается по коэффициенту ( $S$ ), выраженному отношением изменения пороговой разности яркости при наличии и отсутствии слепящего действия. С ростом коэффициента ослепленности видимость ухудшается. Оптимальной принято считать такую УНО, для которой  $S = 0$ . Для светильников УНО данное условие выполняется при резком ограничении сил света в зоне углов излучения больше  $75^\circ$  относительно оси светильника. Очевидно, что к светодиодным светильникам требования по ослепленности будут не менее жесткие, т. к. светодиоды являются источниками повышенной яркости.

### Почему нормируется светораспределение светильников УНО

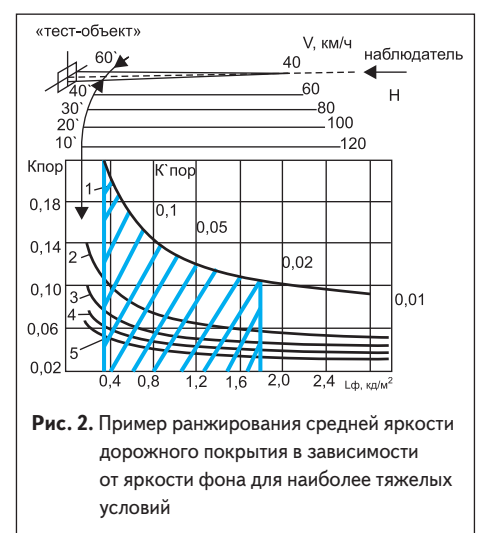
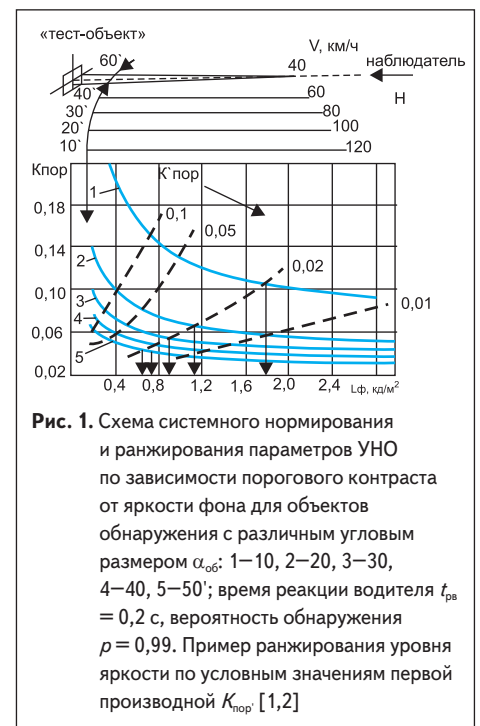
Поскольку одним из основных требований к УНО является ее экономичность, для обеспечения равномерности освещения дорожного полотна в заданном диапазоне и ограничения слепящего действия необходимо создавать

уличные светильники со специальным светораспределением.

В ламповых светильниках основное управление световым потоком осуществляется с помощью отражателя, из-за чего перераспределить свет от одного источника с минимальными потерями довольно сложно. Светильники на светодиодах состоят из множества точечных излучателей, поэтому управлять световым потоком в них проще: больше вариантов геометрии расположения источников и применения оптики. А чем проще управление световым потоком, тем увереннее можно говорить о создании экономичных УНО. Вывод один: управлять световым потоком надо, и вряд ли возможен серьезный пересмотр норм в этом направлении.

### Как определяются значения нормируемых показателей УНО

Принципы нормирования показателей УНО подробно изложены в [1, 2]. Чтобы разобрать-



ся, как определяются значения нормируемых показателей, рассмотрим метод системного нормирования и ранжирования средней яркости дорожного покрытия. На рис. 1 приведена экспериментально установленная зависимость порогового контраста ( $K_{пор}$ ) от яркости фона ( $L_{ф}$ ) для набора скоростей движения автомобиля от 40 до 120 км/ч и угловых размеров объекта ( $\alpha_{об}$ ) [2]. Как говорилось ранее, чем выше скорость автомобиля, тем большее расстояние необходимо для принятия решения, тем меньше угловой размер препятствия, тем значительнее должен быть пороговый яркостной контраст между фоном (дорожным покрытием) и объектом обнаружения.

Согласно исследованиям, проведенным А. Dunbar, De Boer, М. А. Островским и др., было установлено, что яркость дорожного покрытия должна быть не менее 2 кд/м<sup>2</sup>. Однако экономически нецелесообразно освещать все без исключения улицы одинаково. В существующих нормах по экономическим соображениям диапазон нормирования лежит ниже 2 кд/м<sup>2</sup>. Не исключено, что с появлением источников света с более высокой световой отдачей (теоретический предел светодиода — 300 лм/Вт) этот диапазон может быть изменен в большую сторону.

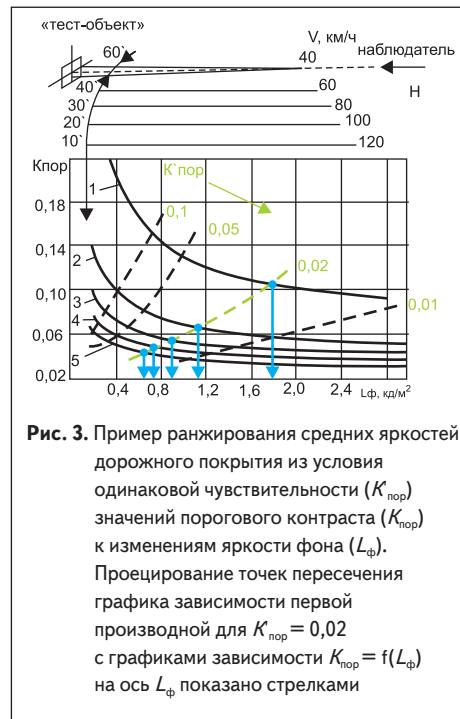
Ранжирование средней яркости дорожного покрытия улиц в настоящих нормах ведется для наиболее тяжелых условий; для рассматриваемого диапазона скоростных режимов это движение автомобиля со скоростью 120 км/ч. Приведенный на рис. 2 график показывает, что для данного случая (кривая 1)  $K_{пор}$  существенно зависит от яркости фона в диапазоне от 0,4 до 1,8 кд/м<sup>2</sup> (область синей штриховки). С дальнейшим увеличением яркости фона  $K_{пор}$  практически не изменяется. Таким образом, при увеличении средней яркости дорожного полотна до 2 кд/м<sup>2</sup> и выше пороговый контраст теряет чувствительность к изменению яркости фона. Иными словами, с появлением источников света с более высокой световой отдачей прежний критерий выбора яркости фона дорожного полотна, графически представленный на рис. 2, становится неработоспособным, что говорит о необходимости поиска других критериев нормирования.

Для определения уровня яркости различных категорий улиц в зависимости от скорости, интенсивности движения автотранспорта и технического уровня существующих УНО в настоящих нормах используется метод ранжирования средних яркостей дорожного покрытия.

**Таблица.** Определение диапазонов нормируемых уровней средних яркостей для улиц разных категорий с учетом технического уровня средств освещения (рис. 3)

$H_{с.в.}$ , лм/Вт	15	25	80	140
$K'_{пор}$	0,1	0,05	0,02	0,01
$L_{н.д.}$	0,2–0,8	0,3–1,0	0,65–1,85	1,0–3,0

**Примечание:**  $K'_{пор}$  — первая производная от функции порогового контраста;  $L_{н.д.}$  — нормируемый диапазон уровней средних яркостей, кд/м<sup>2</sup>;  $H_{с.в.}$  — условная средневзвешенная световая отдача одной световой точки совокупности осветительных установок (как пример!).



**Рис. 3.** Пример ранжирования средних яркостей дорожного покрытия из условия одинаковой чувствительности ( $K'_{пор}$ ) значений порогового контраста ( $K_{пор}$ ) к изменениям яркости фона ( $L_{ф}$ ). Проецирование точек пересечения графика зависимости первой производной для  $K'_{пор} = 0,02$  с графиками зависимости  $K_{пор} = f(L_{ф})$  на ось  $L_{ф}$  показано стрелками

В данном методе учитывается следующее условие: чувствительность  $K'_{пор}$  к изменениям  $L_{ф}$  в окрестностях нормируемого значения для всех принятых угловых размеров должна быть одинакова. Скорость изменения порогового контраста при изменении яркости фона характеризуется первой производной ( $K'_{пор}$ ). Таким образом, считается, что условие одинаковой чувствительности значений  $K_{пор}$  выполняется при  $K'_{пор} = const$  для различных угловых размеров объекта обнаружения. На рис. 3 приведены графики для значений  $K'_{пор}$  от 0,1 до 0,01 (показаны пунктиром). Рассмотрим, чему соответствуют эти значения.

Соответствие между величиной  $K'_{пор}$  и диапазоном  $L_{ф}$  принято устанавливать по обобщенному показателю УНО. Примером такого показателя является средневзвешенная световая отдача одной условной световой точки, условно характеризующая уровень технического развития светотехники. Согласно приведенным в таблице данным [1, 2], если  $H_{с.в.} = 80$  лм/Вт, то  $K'_{пор} = 0,02$ , и тогда нормируемый диапазон уровней средних яркостей  $L_{н.д.}$  согласно графику (рис. 3) должен лежать в диапазоне от 0,65 до 1,85 кд/м<sup>2</sup>. Границы этого диапазона определяются по проекциям точек пересечения графика зависимости  $K'_{пор}$  для заданного обобщенного показателя (в данном случае  $K'_{пор} = 0,02$ ) с графиками зависимости  $K_{пор} = f(L_{ф})$  для минимального (40 км/ч) и максимального (120 км/ч) скоростных режимов на ось  $L_{ф}$ . Нормируемые диапазоны уровней средних яркостей для других значений  $H_{с.в.}$  определяются аналогично.

Из сказанного следует, что в основе ранжирования существующих норм лежит средневзвешенная световая отдача, иными словами — параметр, зависящий от спектральной чувствительности глаза в условиях дневного зрения. В настоящее время за рубежом ведутся серьезные исследования [3, 4] по пересмотру некоторых подходов к нормированию УНО.

Дело в том, что в сумеречных условиях чувствительность глаза отличается от чувствительности в дневное время и зависит от уровня яркости фона. Таким образом, восприятие окружающего пространства существенно зависит от спектрального состава источника света, что в настоящих нормах не учитывается.

### Смена парадигм

Как уже говорилось, нормы не являются чем-то перманентным и статичным, они отражают в себе уровень технического развития УНО. Нормы могут и должны пересматриваться, но это не означает допустимость их игнорирования в угоду сиюминутной коммерческой выгоде некоторых поставщиков и производителей низкокачественных светодиодных светильников. Сегодня сложились следующие объективные предпосылки для пересмотра не только значений параметров, но и, возможно, самих принципов нормирования УНО:

1. Повышение световой отдачи источников света позволяет создавать более высокие уровни яркости дорожного полотна при тех же энергетических затратах и обеспечивать более высокие уровни яркости в целях повышения комфорта световой среды.
  2. Появление мощных светодиодов с достаточно высокой световой отдачей заставляет серьезно задуматься о возможности их применения в целях общего освещения, в том числе и наружного. В существующей нормативной базе светодиоды не упоминаются как источники света, но работы по принятию стандартов для осветительных приборов на светодиодах уже ведутся.
  3. С ростом технических возможностей автомобильных трасс, а также свойств самих автомобилей, скоростной режим может быть смещен в сторону более высоких значений, что повлечет за собой ужесточение требований к наружному освещению в целях обеспечения должного уровня безопасности дорожного движения.
  4. Установление зависимости между эффективностью зрительного восприятия объекта и спектральным распределением источника света может способствовать созданию более экономичных установок наружного освещения и служить дополнительным параметром поиска как нового критерия нормирования, так и корректировки существующего.
- Некоторые из этих вопросов более подробно будут рассмотрены в следующих статьях цикла.

### Литература

1. Справочная книга по светотехнике. Под ред. Ю. Б. Айзенберга. М.: Знак. 2006.
2. Карачев В. М. Установки наружного освещения улиц городов: учебное пособие. М.: Издательский дом МЭИ. 2007.
3. Lewin I. Lumen effectiveness multipliers for outdoor lighting design. IES.
4. Outdoor lighting: Visual efficacy // ASSIST recommendations. 2009. № 2.