Техническое обоснование проекта по внедрению светодиодного уличного освещения

(на примере Лос-Анджелеса, США)

В статье рассматриваются технические аспекты применения светодиодного освещения на улицах городов. Описаны технические ограничения, которые существуют при выборе систем уличного светодиодного освещения на примере конкурсного проекта в Лос-Анджелесе (США).

Статья может быть полезна тем, кто принимает решения по внедрению систем освещения на улицах городов, а также инженерам, разрабатывающим такие системы.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ КРИТЕРИЕВ ОЦЕНКИ СВЕТОДИОДНЫХ СВЕТИЛЬНИКОВ

В 2009 г. в Лос-Анджелесе состоялся первый конкурс по внедрению систем светодиодного освещения на улицах города. На рисунке 1 представлена продукция участников этого конкурса, которая наглядно демонстрирует диапазон идей и решений.

Для унификации правил отбора муниципалитет Лос-Анджелеса сформулировал следующие группы критериев для оценки уличных светильников:

A. Механические.
B. Электрические.
C. Световые.
D. Соответствие стандартам.
E. Качества и удобство эксплуатации.
F. Интегральные.
G. Социальные.

A. МЕХАНИЧЕСКИЕ КРИТЕРИИ

Оценка проводилась на основе The Blue Book, аналога отечественных СНИП. Светильники оценивались, исходя из следующих требований.

1. Маркировка.
2. Отсутствие острых углов в конструкциях, подлежащих обслуживанию.
3. Доступность балласта для обслуживания.
4. Наличие разъемных соединений стартера и балласта для удобства обслуживания.
5. Граничный температурный режим проводов светильника (до 105°C), удаленность проводов от нагревающихся частей балласта, отсутствие помех от проводов для светового потока.
6. Надежность крепления крышек и плафонов наряду с простым механизмом открытия.

B. ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ КРИТЕРИИ

1. Входное напряжение 120 В АС, 50–60 Гц.
2. Коэффициент мощности не менее 0,9 (см. рис. 2).
3. Суммарный коэффициент гармоник не более 15% (см. рис. 3).
4. Заявленный срок службы светильника не менее 50 тыс. ч (см. рис. 4).
5. Потребление электроэнергии на данном этапе конкурса не нормировалось, но оценивалось и сравнивалось относительно светильника ДНАТ (с общим потреблением 138 Вт) (см. рис. 5).
6. Оценка энергоэффективности (см. рис. 6).

C. СВЕТОВЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ

1. Освещенность

Измерения проводились методом усреднения значений освещенности на сетке между двумя столбами (половина расстояния для 200, 180, 160 и 120 футов между столбами) и сравнивались с ДНАТ (138 Вт). Отдельно измерялась освещенность для пешеходной дорожки со стороны столба, пешеходной дорожки на противоположной стороне и дороги (см. рис. 7).

Высота подвеса светильника составила 26,75 футов (8 м).

2. Яркость

Измерения проводились методом усреднения значений освещенности на сетке между двумя столбами (полное расстояние для 200, 180, 160 и 120 футов между столбами), и сравнивались с ДНАТ (138 Вт) (см. рис. 8).

3. Дискомфорт от слепящего света

Оценка проводилась на основе измерения уровня яркости в семи точках (см. рис. 9), в которых водители и пешеходы могли ощутить возможный дискомфорт (см. рис. 10, табл. 4).

4. Световой поток относительно светильника ДНАТ (138 Вт)

Использовалось усредненное значение для всех измерений (см. табл. 1).

5. Однородность светового распределения

Эта оценка определяет, соответствует ли световой поток светиль-

Данил Ситников, danil@tagartworks.com

Инженер компаний Тагарт Ресерч (Украина)/Inteltech LLC(США).

Более 10 лет занимается разработкой и производством электроники, в том числе участвовал в проектах по разработке систем контроля доступа на основе RFID, акусто-магнитных систем защиты товаров, контроллеров для торговых автоматов и POS терминалов, светодиодных ламп в форматах MR16 и PAR16, систем управления полупроводниковыми системами освещения.

Образование: Национальный Технический Университет Украины (КПИ); Киевский Национальный Экономический Университет; Институт Кибернетики (Киев).

ника требованиям IES-стандартов к минимальному соотношению между средним значением освещенности и ее минимальным значением на различных расстояниях от столба. В качестве критерия использовалось соотношение 6:1 (средняя освещенность/минимальное значение) на различных расстояниях от столба: 50 футов от столба — оценка 1; 100 футов от столба — оценка 10 (см. табл. 2).

6. Оценка яркости

Светильники сравнивались с лампой ДНАТ на 100 Вт (см. табл. 3).

D. СООТВЕТСТВИЕ СТАНДАРТАМ

1. Соответствие требованиям стандарта IESNA LM-79

Этот стандарт определяет правила измерения светового потока, электрической мощности, светового распределения и цветопередачи для светодиодных источников света.

Продукция только двух производителей соответствовала данному стандарту.

2. Соответствие требованиям стандарта IESNA LM-80

Этот стандарт определяет правила расчета устаревания и эффективного времени жизни светодиодов и светодиодных модулей. Стандарт не относится к светильникам в целом.

Ни один из производителей не предоставил подтверждение о соответствии данному стандарту.

3. Участие в тестовой программе DOE CALiPER

Данная программа предоставляет возможность независимого тестирования коммерчески доступных светодиодных продуктов. Ни один из производителей не представил результаты тестирования.

4. Соответствие требованиям Energy Star для светодиодных продуктов

Программа Energy Star для светодиодных продуктов устанавливает единые критерии, по которым производители могут доказать качество своей продук-

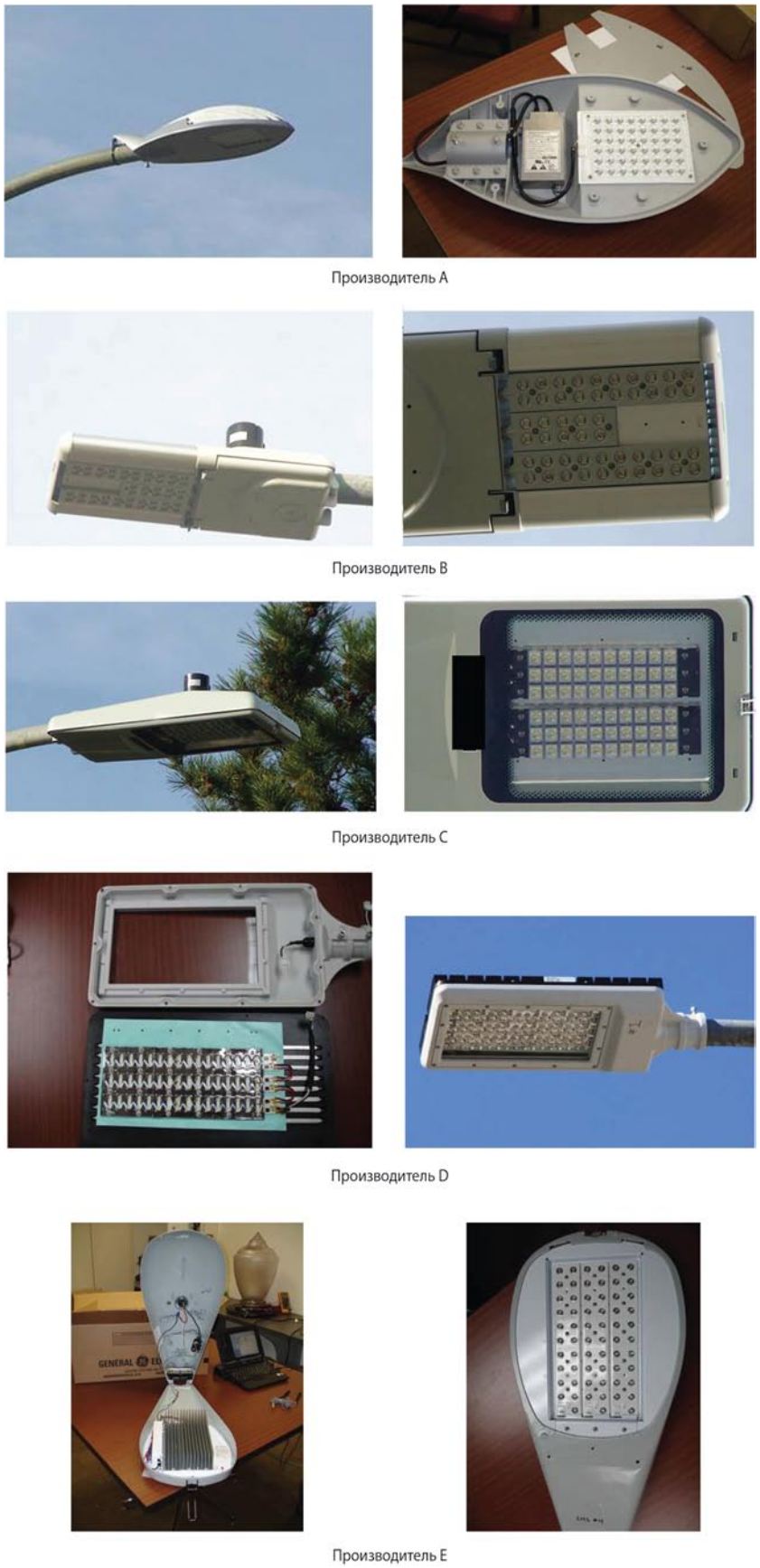
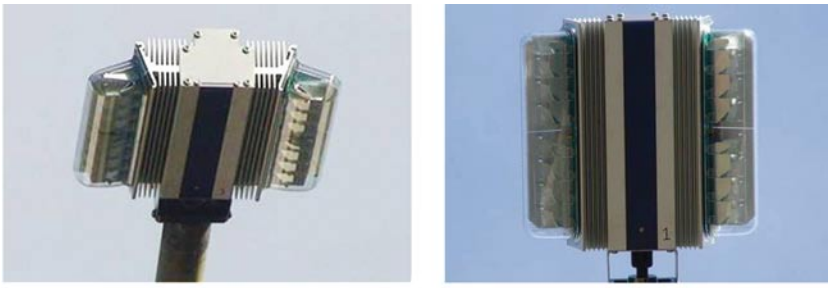


Рис. 1.1. Продукция участников конкурса

Таблица 1. **Световой поток**

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
30%	40%	50%	60%	70%	80%	90%	ДНАТ	110%	120%
	AH		K	J	DFG	EI	BCL		



Производитель F

Производитель G

Производитель H

***Рис. 1.2.** Продукция участников конкурса*

ции. Ни один из производителей не представил результаты сертификации.

E. КАЧЕСТВО И ПРОСТОТА ЭКСПЛУАТАЦИИ

1. Оценка качества производства

Оценка качества материалов, сборки, пыле- и влагозащищенности и т.д.

2. Предполагаемое время жизни светильника.

Окончанием срока службы светильника считается момент 30-% потери светового потока (см. табл. 5).

3. Простота установки

Оценивалась трудоемкость и время на установку светильника (см. табл. 6).

4. Оценка гарантийного срока (см. табл. 7).

F. ИНТЕГРАЛЬНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ПО ВСЕМ КРИТЕРИЯМ (СМ. РИС. 11)

G. СОЦИАЛЬНЫЕ КРИТЕРИИ

Кроме технических характеристик, при оценке светильников учитывалось также мнение местных жителей, проживающих

Таблица 2. **Однородность светового распределения**

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
<50									100
CGHL		DK		AEFJ		I	B*		

** Тип II реализуется при значении 9*

Таблица 3. **Однородность светового распределения**

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
50%	60%	70%	80%	90%	ДНАТ	110%	120%	130%	140%
		L	CK	A	GIJ	D	BF	E	

Таблица 4. **Оценка дискомфорта от слепящего света**

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
200%	180%	160%	140%	120%	ДНАТ	80%	60%	40%	20%
DEI			H	A	BJ	GL		F	KC

Таблица 5. **Предполагаемый срок службы светильника**

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
10 тыс. ч	20 тыс. ч	30 тыс. ч	40 тыс. ч	50 тыс. ч	60 тыс. ч	70 тыс. ч	80 тыс. ч	90 тыс. ч	100 тыс. ч
			A	B–L					

Таблица 6. **Простота установки**

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Плохо	180%	160%	140%	120%	ДНАТ	80%	60%	40%	Очень хорошо
J	EF	ADGL	HK			BCI			

Таблица 7. **Оценка гарантийного срока**

Срок гарантии, лет									
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	E			CDFGIJK	B	L			A

на улицах, которые освещены светодиодными светильниками. Было опрошено около 700 человек, из которых 94 предоставили свои оценки о качестве освещения.

Итоги опроса местных жителей см. ниже.

ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ КОНКУРСНОГО ПРОЕКТА

В результате проведенного конкурса муниципалитет Лос-Анджелеса сформулировал следующие выводы: «Из-за отсутствия принятых стандартов не было возможности отобрать часть светильников, поэтому на тестирование принимались все светильники, каждый из которых подвергся ряду тестов. Проведенное тестирование позволило сделать несколько выводов.

1. Из-за быстрого развития светодиодной продукции не всегда было очевидно, является ли продукт производственным образцом или все еще находится на стадии опытного образца. Даже ведущие производители не имели установленных наименований для своих продуктов и постоянно их меняли при появлении новых светодиодных решений и драйверов. Эта проблема, скорее всего, решится со временем, когда установятся правила игры на этом рынке.

2. Каждый продукт проверялся на соответствие требуемым механическим параметрам. Наибольшая разница наблюдалась в конструкциях светильников, при этом имелись проблемы с потерей света в плафоне и с ненадежным креплением. Многие компании потратили значительное время на разработку сложных конструкций, не задумываясь о процессе серийного производства. Особенно серьезной проблемой оказалось то, что некоторые производители не предусмотрели возможного ремонта светильников, установленных на столбе. В таких светильниках не был предусмотрен доступ к драйверам и источнику питания, или он требовал значительных усилий. Мы пришли к выводу, что поскольку системы управления светодиодным освещением все еще находятся на этапе развития, необходимо, чтобы светодиодный драйвер был доступен для замены.

Рис. 1.3. ***Продукция участников конкурса***

Вопрос	Ответы
Улучшилось ли качество света для водителей?	59%: «однозначно улучшилось» 16%: «улучшилось незначительно» 10%: «незначительно ухудшилось» 13%: «однозначно не улучшилось» 2%: не ответили
Стало меньше темных мест?	39%: «гораздо меньше» 29%: «незначительно меньше» 12%: «незначительно больше» 12%: «гораздо больше» 8%: не ответили
Света достаточно, мало или слишком ярко?	64%: «достаточно» 8%: «слишком ярко» 23%: «слишком мало» 4%: не ответили
Что больше нравится – старое или новое освещение?	59%: «однозначно новое» 10%: «скорее, новое» 6%: «скорее, старое» 21%: «однозначно старое» 3%: не ответили

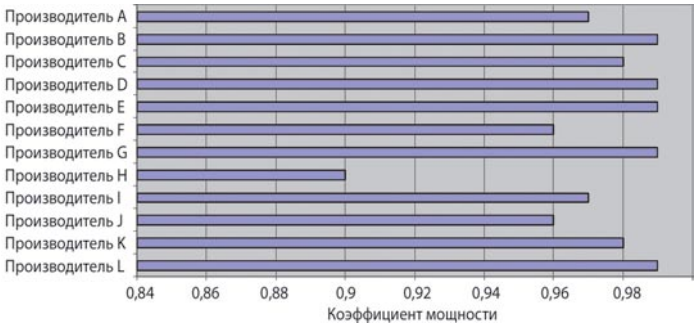


Рис. 2. *Сравнение коэффициентов мощности*

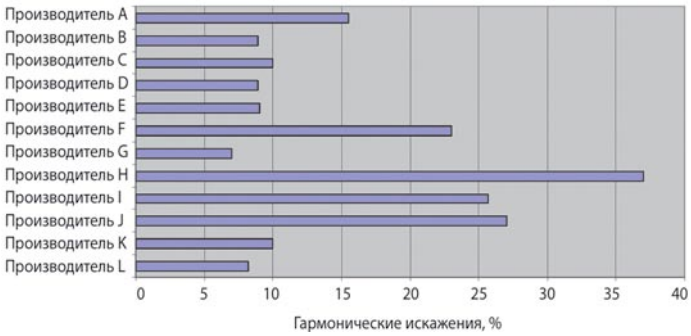


Рис. 3. *Суммарный коэффициент гармоник*

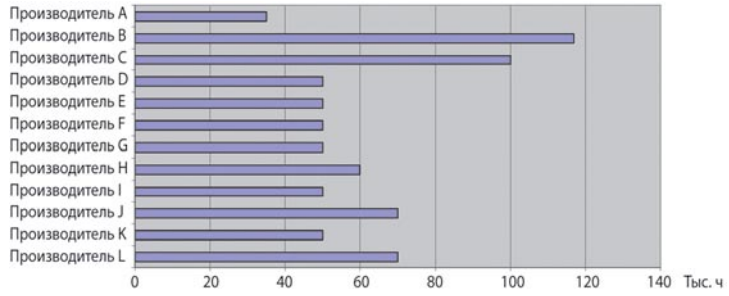


Рис. 4. *Заявленный срок службы светодиодного светильника*

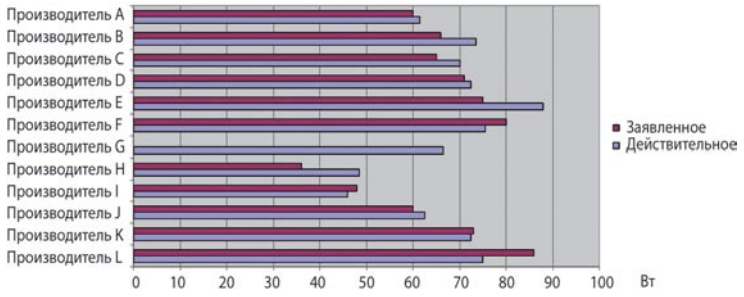


Рис. 5. *Заявленное и действительное потребление электроэнергии*

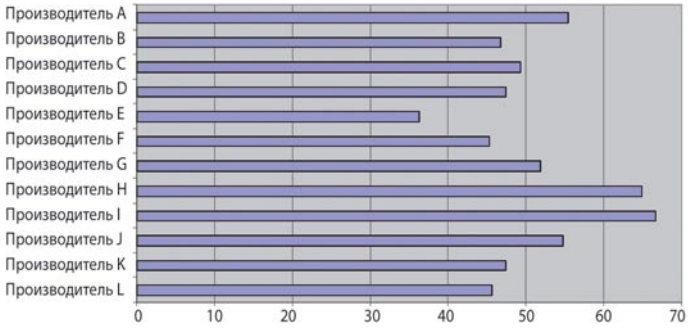


Рис. 6. *Процент экономии электроэнергии относительно светильника ДНАТ (с общим потреблением 138 Вт)*

3. Значительная разница наблюдалась в использовании вторичной оптики — часть светильников имела отдельные линзы, другие использовали встроенную оптику из стекла или поликарбоната. Мы не пришли к единому мнению о более перспективной технологии оптической системы и предполагаем, что решение должно приниматься в каждом конкретном случае, основываясь на (1) отсутствии слепящего эффекта и (2) сроке службы такой системы.

4. С точки зрения надежности источников питания и потребляемой мощности, наши ожидания были более чем оправданы. Мы планировали уменьшить потребляемую мощность уличных светильников на 40% относительно 100-Вт светильника ДНАТ, однако результаты тестирования показали уменьшение потребления в диапазоне 35—65%. Мы предполагаем, что потребление станет еще ниже с развитием светодиодных технологий. Показатель коэффициента мощности у всех светильников был выше ожидаемого, иногда даже выше 0,98. Однако у некоторых светильников суммарный коэффициент гармоник был выше ожидаемого.

5. С точки зрения световых характеристик, у нас не осталось сомнений, что светодиодная технология при использовании с соответствующим корпусом подходит для освещения жилых районов. Несколько из представленных светильников значительно улучшили однородность света даже при расстоянии между столбами более 180 футов (55 м). Однако несколько светильников имело слабую оптическую систему и не обеспечило необходимого уровня распределения по типу III — это было заметно по темным участкам со стороны дороги и пешеходной дорожки.

6. Несмотря на то, что в целом жители улиц с установленными светодиодными светильниками одобрили новый вариант освещения, мы обнаружили, что большинство недовольных жильцов жаловалось на свет, цветовая температура которого была выше 5500 К. По этой причине мы приняли решение об ограничении светового диапазона температур на уровне 4300 К.

Хотя показатели энергосбережения при такой цветовой температуре ниже, чем в более холодном диапазоне, мы предполагаем, что эту потерю вполне можно оправдать выигрышем в световом восприятии. Кроме того, можно предположить, что точечная яркость светодиодных светильников может представлять для местных жителей больше неудобств, чем свет от ламп ДНАТ, поэтому важно, чтобы светильники были экранированы, по крайней мере, со стороны жилых домов».

На основе первого этапа конкурса в Департаменте освещения Лос-Анджелеса был составлен перечень технических требований, который был опубликован в январе 2010 г. Этот перечень стал важным шагом на пути стандартизации светодиодных систем освещения и, по-нашему мнению, может стать основой для формулировки технического задания и в других городах. Ниже приведены требования, выписанные из этого перечня.

ФОРМИРОВАНИЕ ТЕХНИЧЕСКОГО ЗАДАНИЯ

ВЫВОДЫ

Опыт Лос-Анджелеса по тестовой эксплуатации светодиодных продуктов на улице города показал впечатляющие результаты по энергетической эффективности светодиодного освещения. Однако в техническом задании муниципалитет города намеренно уменьшил энергоэффективность через ограничение тока на светодиодах, установил минимальный уровень потери в световом потоке (что пока возможно только для самых передовых и дорогих производителей — Cree, Lumileds, OSRAM, Niche), а также ввел дополнительные требования по сервисному обслуживанию и увеличил срок гарантии на светильники. По нашему мнению, это самый главный вывод, который следует учесть в дальнейших проектах: эффект от внедрения светодиодных источников света заключается не столько в снижении затрат на

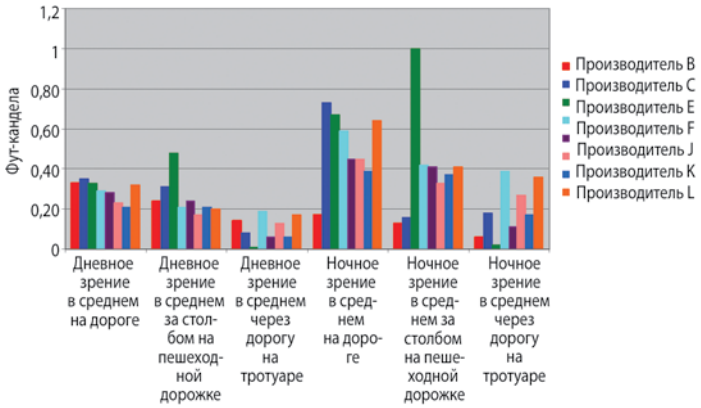


Рис. 7. ***Средняя освещенность на расстоянии 67 м между столбами***
Примечание. Результаты, относящиеся к ночному зрению, в анализе не принимались во внимание; 1 фут-кандела ≈ 10,764 лк

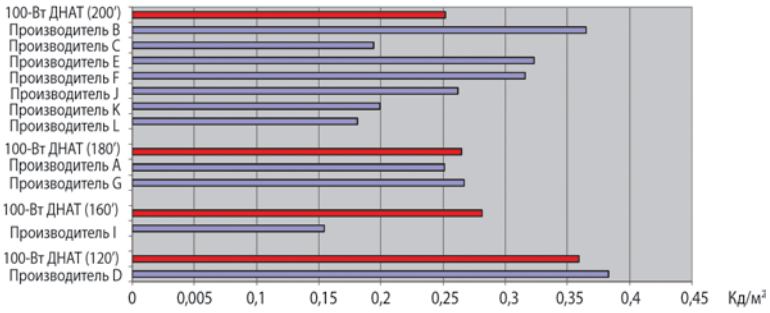


Рис. 8. ***Сравнительные показатели средней яркости***

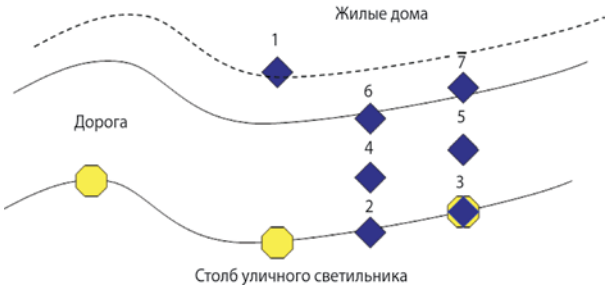


Рис. 9. ***Точки измерения уровня яркости***

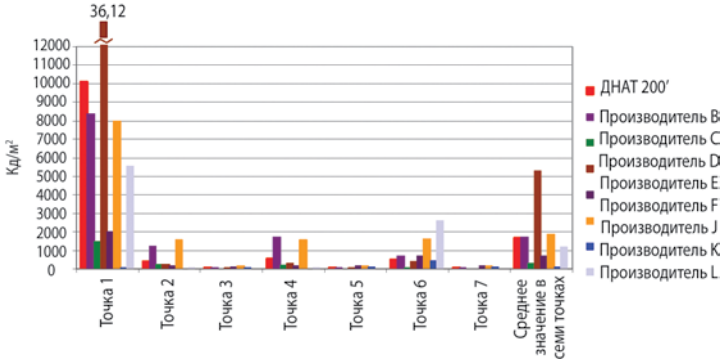


Рис. 10. ***Дискомфорт от слепящего света***

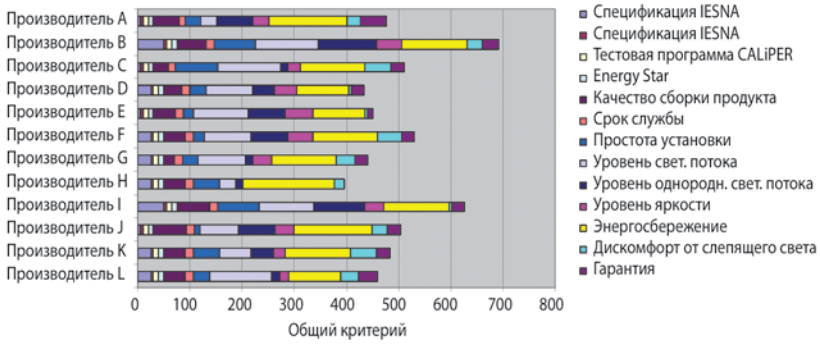
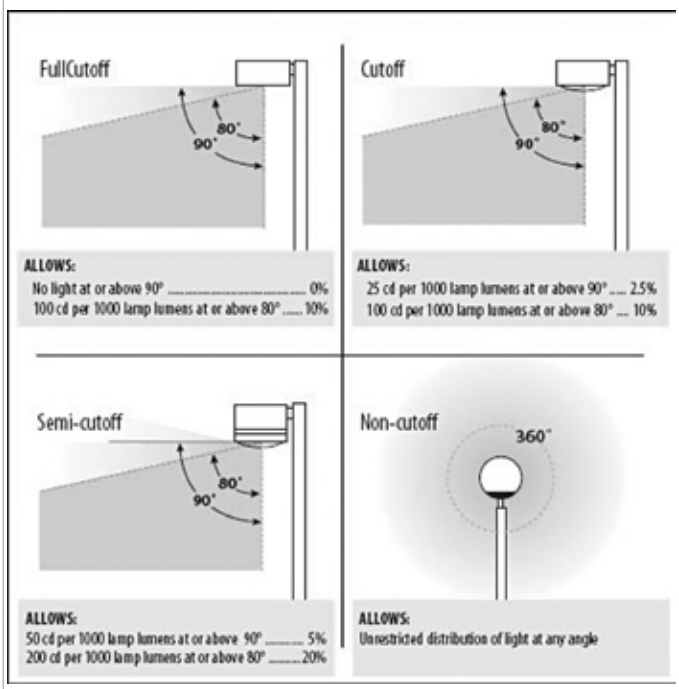
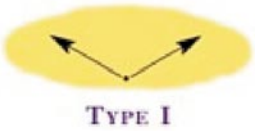
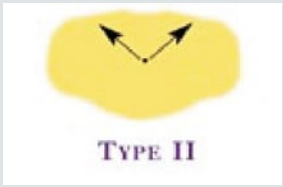
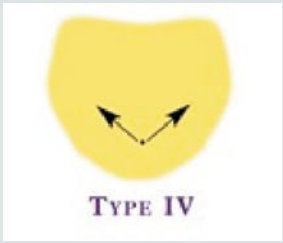
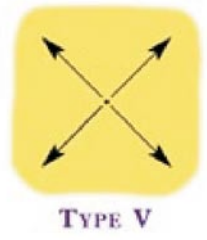


Рис. 11. ***Интегральная характеристика по всем критериям***

Требования к светодиодному уличному светильнику	
Цветовая температура	4300 ±300 K
Индекс цветопередачи (CRI)	Не менее 70
Потребление в отключенном режиме	Не более 0,5 Вт, включая РЧ- или дистанционное управляющее устройство
Потребление в активном режиме	Не более: – 58 Вт для замены 70-Вт лампы ДНАТ; – 85 Вт для замены 100-Вт лампы ДНАТ, не включая опциональное управляющее устройство
Гарантия	Гарантия на полную замену светильника в случае выхода из строя 5 лет. Гарантия на замену или ремонт вышедших из строя электрических компонентов (включая источник света и источник питания/драйвер) не менее 8 лет с момента покупки
Вес	Вес светильника не должен превышать 10 кг
Температура окружающей среды	Светильник должен работать в активном режиме при температуре –20…50°C
Охлаждение	Светильник должен имеет теплоотвод без вентиляторов, насосных устройств, жидкостей и должен быть устойчив к возможному засорению строительной пылью без потери теплоотводящих свойств.
Размеры (приблизительно)	30 дюймов в длину, 16 дюймов в ширину, 7 дюймов по высоте (760×400×170 мм)
Корпус	Конструктивный материал – металл Серебристый цвет, порошковая покраска, защита от ржавчины Драйвер должен быть установлен внутри, но с возможностью замены Драйвер должен быть доступен без использования инструментов Все винты должны быть изготовлены из нержавеющей стали Невыпадающие шестигранные винты должны быть установлены на всех частях, подлежащих ремонту Запрещено изготавливать любую из частей светильника из поликарбоната без ультрафиолетовой стабилизации, при этом помутнение линз рассматривается как гарантийный случай
Классификация IESNA	Световая диаграмма Cutoff или Semi-Cutoff 
Конструкция подвеса	Светильник устанавливается на штангу с внешним диаметром 2,375 дюйма (6,032 см) с использованием не более четырех шестигранных винтов (9/16 дюйма) и двух хомутов с возможностью вертикальной настройки ±5%
Датчик освещенности	Светильник должен быть оснащен датчиком освещенности типа 3-prong twist-lock с возможностью поворотной регулировки.
Экранирование	Светильник должен иметь возможность установки экрана, защищающего окружающие дома от светового загрязнения

Требования к светодиодному модулю	
Ухудшение световых характеристик светодиодов	Светодиодный модуль должен излучать не менее 70% начального светового потока при минимальном времени наработки 50 тыс. ч
Световое распределение*	Световое распределение должно соответствовать типу II по классификации IESNA, при этом тип III должен быть коммерчески доступен

* Пояснение по типам светового распределения	
	Тип I Предназначен для узких пешеходных и велосипедных дорожек. Обычно устанавливается ближе к центру дороги. Ширина светового пятна = 2 высоты подвеса
	Тип II Предназначен для более широких дорог. Предполагает установку у края дороги. Ширина светового пятна = 1,75 высоты подвеса
	Тип III Предназначен для автомобильных дорог, парковок. Предполагает установку у края освещаемой площади. Ширина светового пятна = 2,75 высоты подвеса.
	Тип IV Используется при монтаже светильников на стенах и для освещения периметра парковок. Предполагает установку у края освещаемой площади. Ширина светового пятна = 2,75 высоты подвеса
	Тип V Применяется для парковок и общих задач освещения. Предполагает установку ближе к центру освещаемой области

Требование к драйверу/источнику питания	
Коэффициент мощности	не менее 0,9
Максимальный ток на светодиоде	Разрешено использование двух следующих методов. Дискретное увеличение тока на драйвере: – 350 мА (с вариантами 525 и 700 мА) для замены 70-Вт ламп ДНАТ; – 525 мА (с вариантами 350 и 700 мА) для замены 100-Вт ламп ДНАТ. Непрерывный диапазон изменения тока: – начальная настройка при отгрузке светильников должна быть 21 мА. Регулировка не должна превышать значение 700 мА.
Защита от сетевых помех	Соответствует IEEE C.62.41-1991, Class A.
Рабочая температура	Источник питания должен работать в диапазоне –20–50°C
Частота	Выходная частота должна быть ≥ 120 Гц (для предотвращения видимого мерцания), входная частота – 60 Гц
Помехи	Источник питания должен соответствовать FCC 47 CFR Part 15/18 (Consumer Emission Limits)
Шум	Источник питания должен соответствовать классу A по шумовым излучениям для ANSI Standard C63.4

Требования для освещения улиц	
Минимальный световой поток	– Для замены 70-Вт лампы ДНАТ – не менее 3100 лм (начальный световой поток); – для замены 100-Вт лампы ДНАТ – не менее 3700 лм (начальный световой поток)
Световая эффективность светильника	Световой поток (включая потери на корпусе и температурные потери)/входная мощность
Минимальная световая эффективность светильника	50 лм/Вт

Соответствие стандартам	
ANSI C78.377.2008	Спецификация по определению цветопередачи систем освещения на основе твердотельных источников света
IESNA LM-79-08	Одобренный IESNA способ измерения электрических и фотометрических параметров систем освещения на основе твердотельных источников света
IESNA LM-80-08 (в качестве рекомендации)	Одобренный IESNA способ измерения световых характеристик систем освещения на основе твердотельных источников света
UL Standards	– 8750 Light-Emitting Diode (LED) Light Sources for Use in Lighting Products – 1598 Luminaires – 1012 Power Units Other Than Class 2 – 1310 Class 2 Power Units – 2108 Low Voltage Lighting Systems

электроэнергию, сколько в увеличении срока эксплуатации систем освещения. Поэтому срок службы, ремонтопригодность и простота замены компонентов светильника являются ключевыми моментами, которые обязательно должны быть прописаны в техническом задании.

Важным шагом на пути внедрения светодиодного освещения на улицах городов должна стать стандартизация светодиодных систем освещения, например, на основе американских стандартов LM-79 и LM-80.

Еще одним важным выводом является требование по управлению светодиодным светом, которое появилось в перечне требований Лос-Анджелеса. Например, использование беспроводных технологий в уличных светильниках открывает не только новые возможности в сервисном обслуживании светильников, но и новые возможности для передачи данных, например, интеграцию систем уличного освещения в АСКУЭ.