

# Функциональная единица для оценки жизненного цикла световой точки уличного освещения<sup>1</sup>

Л. ГАРСИА ЧЕБАЛЛОС<sup>1</sup>, Ж.Р. ДЕ АНДРУС ДИАЗ<sup>2</sup>

Университет Малаги, Испания

E-mail: <sup>1</sup> mlgarcia@uma.es; <sup>2</sup> deandres@ctima.uma.es

## Аннотация

Оценка жизненного цикла (ОЖЦ) играет всё большую роль при принятии решений в процессе разработки продукции или планирования услуг. При этом для удовлетворения целей ОЖЦ необходимо правильно выбрать единицу сравнения (функциональную единицу (ФЕ)). Все установки уличного освещения соответствуют своему функциональному назначению, однако они могут проектироваться по-разному, в зависимости от типов источников света, светильников и дополнительного оборудования (пускорегулирующих аппаратов, конденсаторов и т.д.). В статье предложена ФЕ, позволяющая проводить ОЖЦ световой точки уличного освещения. Предложенный параметр позволяет проводить сравнение воздействия на окружающую среду, оказываемое различными световыми точками, независимо от их технического исполнения или параметров. Для получения подобной ФЕ рассмотрены как характеристики компонентов световой точки, так и термины, описывающие её рабочие характеристики. Приведён практический пример, позволяющий продемонстрировать возможность проводить при помощи этой ФЕ сравнение различных технических решений световых точек.

**Ключевые слова:** ОЖЦ, энергоэффективность, функциональная единица, уличное освещение, воздействие на окружающую среду, светильник, световая точка.

## 1. Уличное освещение

Уличное освещение охватывает все осветительные установки, световые потоки которых падают на какое бы то ни было наружное пространство

общего пользования (дорогу, улицу, парк, декоративные элементы и т.д.).

В ряде стран на уличное освещение расходуется большое количество энергии, которая, как это имеет место в Испании, вырабатывается, по большей части, с использованием твёрдого топлива, что способствует глобальному потеплению и приводит к выделению примерно 61 % парниковых газов и почти 75 %  $CO_2$  от их общего количества, образующегося в результате связанной с энергией деятельности людей (генерация электро- и тепловой энергии, транспорт и т.д.) [1]. В Испании установки уличного освещения за год потребляют 3630 ГВт·ч электроэнергии, что означает выброс 657 тыс. тонн  $CO_2$  в год [2].

Вследствие имевшего место в последние десять лет роста испанских городов, очень быстро увеличивалось количество как установок уличного освещения, так и расходуемой на уличное освещение энергии (за период с 1990 по 2003 г. энергопотребление возросло на 60 %) [3]. В наши дни установки уличного освещения совершенствуются как в техническом, так и законодательном отношении, что в результате приведёт к изменениям энергопотребления. Так, испанские законы в области энергоэффективности установок уличного освещения [4], появление светодиодов (СД) и заключение государственными и муниципальными органами контрактов с энергосервисными компаниями могут в ближайшем будущем привести к существенному уменьшению расходуемой на уличное освещение энергии.

С другой стороны, некоторые усовершенствования законодательства были связаны с характеристиками изделий. Закон [5] заложил основы для применения требований экодизайна к энергопотребляющим изделиям в целях обеспечения высокого уровня защиты окружающей среды.

Этот закон направлен на улучшение энергоэффективности промышленной продукции при сохранении её эксплуатационных характеристик. Для достижения этой цели необходимо начинать со стадии проектирования изделий, т.к. вред, наносимый изделиями окружающей среде, закладывается именно на этой стадии жизненного цикла.

## 2. Характеристики установок уличного освещения

По определению, установки для наружного освещения общедоступных мест (уличного освещения) — это осветительные установки, предназначенные для обеспечения безопасности дорожного движения и людей в ночное время на улицах, велодорожках и тротуарах, в пешеходных зонах, общественных парках и садах (видоизменённое определение из [6]). Проектирование установок уличного освещения следует производить с учётом нескольких светотехнических параметров и показателей энергоэффективности. В Испании эти показатели должны быть согласованы с законом [4].

В данной работе под световой точкой понимается совокупность оптических, механических и электрических компонентов, состоящая из источников света, светильников и дополнительного оборудования (пускорегулирующих аппаратов, стартеров, конденсаторов, источников питания и т.д.). Поддерживающие конструкции, такие как опоры или различные основания, и электропроводка частями световых точек не считаются.

Входящая в состав уличной осветительной установки световая точка обеспечивает освещение различных зон.

Под **световым потоком** понимается энергия, излучаемая источником света в видимом диапазоне и оцениваемая по её способности вызывать зрительные ощущения с учётом зависимости чувствительности глаза от длины волны. Световой поток обозначается символом  $\Phi$  и измеряется в люменах (лм).

Согласно закону [4], **энергоэффективность**  $\epsilon$  установки наружного освещения представляет собой произведение площади освещённого участка на среднюю освещённость этого участка, делённое на полную установленную

<sup>1</sup> Перевод с англ. Е.И. Розовского

мощность. Её можно определить, исходя из световой отдачи ламп и дополнительного оборудования  $\varepsilon_L$ , коэффициента эксплуатации  $f_m$  и коэффициента использования  $f_u$  осветительной установки, по приведённой в [4] формуле для расчёта энергоэффективности установки для освещения путей движения транспорта:

$$\varepsilon = \varepsilon_L \cdot f_m \cdot f_u \text{ (лк} \cdot \text{м}^2/\text{Вт)}. \quad (1)$$

Хотя количество излучаемого света зависит, в первую очередь, от источника света, понятие световой точки отражает полезное использование этого света, т.к. учитывает ещё и КПД светильника и дополнительного оборудования и возможность загрязнения светильника, а также пространственное распределение излучаемого светильником света.

КПД  $\eta$  формирующего световую точку светильника представляет собой отношение полного светового потока светильника, измеренного в заданных условиях, к сумме световых потоков установленных в нём источников света, которые они создают вне светильника при работе с тем же оборудованием в тех же условиях:

$$\eta = \frac{\text{Световой поток светильника}}{\text{Сумма световых потоков ламп}} \%. \quad (2)$$

Следует учесть и то, что общепринятое опорное значение для приводимых производителями характеристик светильников и для световых точек в целом — это 1000 лм. И самые разные результаты измерений и испытаний световых точек или источников света (теоретический световой поток, распределение силы света и т.д.) нормализуют применительно к этому стандартному световому потоку [7].

### 3. Функциональная единица при проведении ОЖЦ

Устанавливающий принципы и структуру ОЖЦ стандарт [8] определяет функциональную единицу (ФЕ) как «Количественно выраженная результативность системы жизненного цикла продукции, используемая в качестве единицы сравнения». Так что основная задача ФЕ состоит в обеспечении единицы сравнения при проведении ОЖЦ, с тем чтобы можно было сравнивать воздействие различных систем на окружающую среду (т.е. использование энергии, выбросы

и т.д.). ФЕ представляет собой меру для оценки рассмотренного действия системы и обеспечивает возможность сравнения входных и выходных параметров системы.

В данной работе предложена ФЕ для световых точек установок уличного освещения, которая позволяет проводить ОЖЦ этих установок безотносительно к типам светильников или источников света.

Учитывая вышесказанное, предлагаемая нами ФЕ должна учитывать следующие параметры световой точки:

- Тип источника света, описываемый его световой отдачей и излучаемым им световым потоком.
- Тип светильника, описываемый его КПД и  $IP$ .
- Срок службы источника света, позволяющий учесть количество его замен.
- Продолжительность использования и срок службы осветительной установки.

### 4. ФЕ для ОЖЦ световой точки установки уличного освещения

Перед началом этой работы мы проанализировали несколько публикаций, в том числе:

— ОЖЦ, в которых сравнивались только источники света. В них выбор ФЕ обусловлен различиями в световых потоках и сроках службы источников света. В качестве ФЕ были выбраны  $10^6$  часов освещения (*hours of light*) (лм) [9–13].

— ОЖЦ, в которых сравнивались разные источники света и в качестве ФЕ использовался наибольший срок службы источника света [14].

— ОЖЦ, в которых установки уличного освещения оценивались с использованием разных параметров, таких как периодичность замены источника света (20 млн лм·ч) [15], 1 км освещаемой улицы [16], 1 ч освещения [17] или срок службы установки [18].

С нашей точки зрения, ни одна из перечисленных ФЕ не учитывает все приведённые в предыдущем разделе

параметры, которые могут повлиять на световую точку в случае уличного освещения. Поэтому их нельзя использовать в качестве единицы сравнения при расчёте входных и выходных параметров установок уличного освещения, т.к. они ограничивают оценку работы установки частными критериями оценки её конструкции. Более того, как уже упоминалось, эти критерии должны включать в себя совокупность различных параметров, которые характеризуют световую точку (полезный световой поток, общую мощность всей установки в целом, срок службы источника света и т.д.).

Критерий, который следует рассматривать при определении ФЕ, — это полезный световой поток. Его можно обозначить как  $uL$  (*useful Lumen* — «полезные люмены») и определить как полный световой поток, излучаемый световой точкой вниз, с тем чтобы обеспечить правильное освещение.  $uL$  определяется посредством умножения светового потока источника света  $\Phi$  на КПД светильника  $\eta$  и на долю светового потока, излучаемую установленным светильником в нижнюю полусферу  $DLOR_{inst}^2$ :

$$uL = \Phi \cdot \eta \cdot DLOR_{inst}. \quad (3)$$

$uL$  учитывает несколько характеристик световой точки, в том числе световой поток источника света (и тем самым, тип и мощность источника света) и характеристики всего комплекта в целом (и тем самым, тип светильника и  $ULOR_{inst}^3$ ).

Для применения этого параметра мы собираемся использовать стандартные 1000 лм, так что в дальнейшем будем говорить о 1000  $uL$  или о  $kuL$ .

Для учёта в предлагаемой ФЕ и других параметров мы выбрали равный 20 годам срок службы, который соответствует испанским установкам уличного освещения [18, 19]. Так что если считать среднюю годовую продолжительность работы установки равной 4000 ч, то установка уличного освещения должна проработать 80000 ч. В этот период будут производиться замены источников света

<sup>2</sup> В уравнении (3) полезным считается весь световой поток, излучаемый в нижнюю полусферу установленным светильником. — Прим. авт.

<sup>3</sup> Здесь и далее (табл. 1) авторы вместо доли светового потока, излучаемой установленным светильником в нижнюю полусферу  $DLOR_{inst}$  используют параметр  $ULOR_{inst}$ , т.е. долю светового потока, излучаемую установленным светильником в верхнюю полусферу. — Прим. пер.

Основные характеристики световых точек

№ световой точки	Источник света	$\Phi$ , лм	Мощность, Вт	Световая отдача, лм/Вт	Срок службы источника света, ч	$\eta$	ULOR	$uL^*$ , лм	IP
1	СД	5280	51,2	120	70000	0,87	0,01	4547,7	2X
2	НЛВД	5900	81	82	28000	0,76	0,01	4439,2	6X
3	МГЛ	7230	81	101	14000	0,73	0,01	5225,1	6X
4	СД	3850	53	73	50000	0,73	0,01	2782,4	6X

\* Рассчитано по формуле (3)

и техническое обслуживание, зависящие от типа светильника и источника света. Кроме того, эта равная 20 годам продолжительность работы осветительной установки была выбрана потому, что в течение этого периода источники света всех известных типов потребуются заменить по меньшей мере один раз, а также потому, что этот период обычно принят для проведения замены осветительных установок во многих населённых пунктах Испании (например, в Мадриде [20]). Применительно к данному исследованию, более короткий период не позволит учесть будущую экономию, связанную с используемой техникой, а более длинный период был бы нереальным, т.к. новая, более эффективная техника, несомненно, обеспечит в будущем улучшение параметров осветительных установок.

В результате мы предлагаем  $1 \text{ kUl}$  в качестве ФЕ на всём протяжении срока службы системы уличного освещения, то есть ФЕ – это  $1 \text{ kUl}/80000 \text{ ч}$ .

## 5. Пример применения

В качестве примера мы продемонстрируем применение предложенной ФЕ к нескольким реальным световым точкам, характеристики которых приведены в табл. 1, и укажем, как эта единица учитывает вышеупомянутые параметры при оценке установки уличного освещения.

Мы рассчитали количество имеющих указанные параметры световых точек, требующихся для обеспечения первой части ФЕ ( $1 \text{ kUl}$ ). Для этого следует рассмотреть соответствующие всем вариантам значения  $Ul$ , которые позволяют получить стандартный световой поток 1000 лм, то есть мы разделим 1000 лм на соответствующее рассматриваемой свето-

Таблица 2  
Количество световых точек для каждого из вариантов с учётом ФЕ

№ световой точки	$\Phi$ , лм	$uL$	Количество световых точек
1	1000	4547,7	0,22
2	1000	4439,2	0,23
3	1000	5225,1	0,19
4	1000	2782,4	0,36

Таблица 3

Количество замен источника света за срок службы установки

№ световой точки	Источник света	Продолжительность работы, лет	Число замен
1	СД	17,5	1,14
2	НЛВД	7	2,86
3	МГЛ	3,5	5,7
4	СД	12,5	1,6

вой точке значение  $Ul$  и, тем самым, определим количество световых точек (табл. 2).

Затем следует рассчитать ещё один параметр, а именно, количество замен источника света, требующееся при использовании разных источников света для обеспечения необходимого светового потока на всём протяжении срока службы осветительной установки. На этой стадии должны быть учтены сроки службы различных источников света и время работы осветительной установки. Это можно сделать, рассчитав количество лет, которые проработает рассматриваемый источник света, для чего его срок службы нужно разделить на равную 4000 ч среднюю годовую продолжительность работы световой точки. После этого можно рассчитать количество замен за равный 20 годам пе-

риод работы установки уличного освещения, для чего 20 лет нужно разделить на количество лет работы одного источника света. Полученные результаты приведены в табл. 3.

Световой поток, излучаемый световой точкой установки наружного освещения, может постепенно уменьшаться на протяжении её срока службы из-за грязи и пыли. Эта составляющая учтена посредством указания степени защиты светильника от проникновения твёрдых предметов, пыли и воды (код IP). Упомянутое постепенное ухудшение характеристик вызвано, главным образом, осаждением грязи и пыли на источниках света и в светильниках. А т.к. установка должна проработать 20 лет, то количество случаев технического обслуживания световой точки также следует определять, исходя из её IP.



## 6. Выводы

Для оценки воздействия, которое световая точка установки уличного освещения оказывает на окружающую среду, учёта всех параметров жизненного цикла и обеспечения возможности расчёта и уменьшения этого воздействия, необходима единица измерения ФЕ, полностью отражающая работу и характеристики осветительной установки.

Выбор в качестве ФЕ величины  $1 \text{ kUI}/80000 \text{ ч}$  позволило обеспечить возможность сравнения разных осветительных установок, т.к. ею охвачены все важные характеристики световых точек. Эта ФЕ позволяет должным образом оценивать установки уличного освещения, т.к. она учитывает следующие параметры:

- Мощность, световой поток и срок службы источника света.
- Тип и КПД светильника.
- Продолжительность работы установки.
- Энергоэффективность, т.к. она включает в себя  $UI$ .

Эта ФЕ обеспечит унифицированную основу для анализа световых точек, т.к.  $1 \text{ kUI}/80000 \text{ ч}$  представляет собой количественную меру, которую можно использовать в качестве основы для сравнения воздействия установок уличного освещения на окружающую среду. Как постоянно отмечалось выше и как следует из приведённого примера, при этом, несмотря на неэквивалентность осветительных установок, учтены основные с точки зрения проектирования параметры световой точки.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Baumert, K.A., Herzog, T., Pershing, J. Navigating the Numbers: Greenhouse Gas Data and International Climate Policy // World Resources Institute. – 2005. ISBN: 1–56973–599–9. Library of Congress Control Number: 2005936305.
2. Guía práctica para el cálculo de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) // Generalitat de Catalunya Comisión Interdepartamental del Cambio Climático, March 2011.
3. Situación de la energía en el Mundo, en Europa y España // CIEMAT (Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas). – 2006. <http://www.energiasrenovables.ciemat.es/especiales/energia/espana.htm>.
4. Por el que se aprueba el Reglamento de eficiencia energética en instalaciones de

alumbrado exterior y sus Instrucciones técnicas complementarias EA-01 a EA-07. R. D. 1890/2008, de 14 de noviembre // Ministerio de industria, turismo y comercio. – 2008.

5. Relativo al establecimiento de requisitos de diseño ecológico aplicables a los productos que utilizan energía. R. D. 1369/2007, de 19 de octubre // Ministerio de industria, turismo y comercio. – 2007.

6. CIE S017/E: 2011 Vocabulario Internacional de Iluminación // CIE Central Bureau, Viena, Austria. – 2011.

7. CIE121:1996 Informe Técnico. Fotometría y Goniofotometría de Luminarias // CIE Central Bureau, Viena, Austria. – 1996. ISBN3–900–734–74–7.

8. UNE-EN-ISO 14040: 2006 Gestión ambiental. Análisis del ciclo de vida. Principios y marco de referencia // Madrid, España: AENOR, 2006.

9. Gydesen, A., Maimann, D. Life cycle analyses of integral compact fluorescent lamps versus incandescent lamps. Energy and Emissions // University of Denmark, Denmark. – 1991.

10. Pfeifer, P.R. Comparison between Filament Lamps and Compact Fluorescent Lamps // Int. J. Life Cycle Ass. – 1996. – No. 8. – P. 14. (Cited by Solid-State Lighting Program).

11. Hartley, D., Jurgens, C., Zatzoff, E. Life Cycle Assessment of Streetlight Technologies // Mascaro Centre for Sustainable Innovation. University of Pittsburgh., USA. – 2009.

12. Life Cycle Assessment of Ultra-Efficient Lamps // DEFRA (Department for Environment, food and Rural Affairs), Navigant consulting. – 2009.

13. Dale, T.A., Bilec, M.M., Marriott, J., Hartley, D., Jurgens, C., Zatzoff, E. Preliminary Comparative Life-Cycle Impacts of Streetlight Technology // J. Infrastruct. Syst. – 2011. – Vol. 17, No. 4. ISSN1076–0342/2011/4–193–19.

14. Life Cycle assessment of Illuminants. A Comparison of Light Bulbs, Compact Fluorescent lamps and LED Lamps //OSRAM Opto Semiconductors GmbH and Siemens Corporate Technology, Germany. – 2009.

15. Scholand, M.J., Dillon, H.E. Life-Cycle Assessment of Energy and Environmental Impacts of LED Lighting Products. Part 1: Review of the Life-Cycle Energy Consumption of Incandescent, Compact Fluorescent, and LED Lamps // Solid-State Lighting program. Building technologies program, U.S. Department of Energy. Prepared by: Pacific National Laboratory and N14 Energy Limited, 2012.

16. Tähkämö, L., Ylinen, A.; Puolakka, M., Halonen, L. Life cycle cost analysis of three renewed street lighting installations in Finland // Int. J. Life Cycle Ass. – 2011.

17. Welz, T., Hischer, R., Hilty, L.M. Environmental impacts of lighting technologies –

Life cycle assessment and sensitivity analysis // Environ. Impact Asses. – 2010.

18. Colon, C.J. Assessing the economic and environmental impacts associated with currently available street lighting technologies // Department of the air force air university. Air force institute of technology. March 2010.

19. Urraca Piñero, J.I., Urraca Etayo, I. Instalaciones de alumbrado exterior. Guía técnica de aplicación ampliada y comentada // Spain: AENOR ediciones. – 2005. ISBN: 84–8143–444–2.

20. Pliego de Condiciones Técnicas Generales. Alumbrado Exterior, capítulo 18 // Área de gobierno de obras y espacio públicos // Ayuntamiento de Madrid, Madrid, España, 2010.

21. Alumbrado exterior. El alumbrado exterior y la eficacia energética. <http://ida.e.es/index.php/id.644/rellmenu.355/mod.pags/mem.detalle> [On line, August, 2012].

22. ITC-BT-09, Instalaciones de alumbrado exterior // Ministerio de Ciencia y Tecnología. – 2002.

<sup>4</sup> Ссылка на эту работу в статье отсутствует. – Прим. пер.



**Луз Гарсиа Чебаллос (Luz García Ceiballos),** Ph.D. Окончила Политехническую школу и Высшую техническую школу промышленного производства Университета Малаги.

Доцент факультета графического отображения, дизайна и проектирования Университета Малаги. Область научных интересов: графическое отображение и экодизайн. Член исследовательской группы «Эффективные опытно-конструкторские разработки» ТЕР935



**Жозе Рамон де Андрес Диас (Jose Ramon de Andres Diaz),** Ph.D. (1998 г.). Доцент факультета графического отображения, дизайна и проектирования Университета Малаги.

Область научных интересов: конструирование изделий, ОЖЦ, организация работ и освещение