

Характеристики ламп прямой замены ламп накаливания

Э. ТЭТРИ¹

Университет Аалто, Хельсинки, Финляндия

Аннотация

Наблюдается мировая тенденция к удалению с рынка неэффективных источников света, типа ламп накаливания, посредством законодательных и добровольных мер. В статье приводятся характеристики ламп прямой замены ламп накаливания. И компактные люминесцентные, и светодиодные лампы представляют собой энергоэффективные альтернативы лампам накаливания. Ряд особенностей светодиодных ламп, такие как мгновенное разгорание, улучшенная работа в холодных условиях и большой срок службы, делают их предпочтительными по сравнению с КЛЛ. Цена светодиодных ламп выше, чем у КЛЛ, но оценки затрат демонстрируют экономичность и светодиодных ламп, и компактных люминесцентных даже если их закупочные цены выше, чем у ламп накаливания.

Ключевые слова: светодиодные лампы, компактные люминесцентные лампы, лампы накаливания, лампы прямой замены.

1. Введение

В настоящее время наблюдается мировая тенденция к удалению с рынка неэффективных источников света посредством законодательных и добровольных мер. Регламент ЕС № 244/2009 устанавливает требования к лампам с ненаправленным световым потоком, которые обычно применяются в быту: лампам накаливания (ЛН), галогенным лампам накаливания (ГЛН), компактным люминесцентным лампам (КЛЛ) со встроенным ПРА и светодиодным лампам (СДЛ) с цоколем E 27 [1]. Требования к световой отдаче постепенно вытеснили ЛН с рынка. После сентября 2012 г. ЛН на рынке практически отсутствуют. Так как в большинстве бытовых светильников используются ЛН, в данном

контексте под лампой прямой замены понимается лампа с цоколем E27. К лампам прямой замены относятся КЛЛ со встроенным ПРА, СДЛ и ГЛН. КЛЛ могут иметь грушевидную, трубчатую или спиральную форму. Излучающие кристаллы в СДЛ питаются постоянным током, вследствие чего эти лампы с цоколем E27 обязательно содержат ПРА-источник тока. Замена ЛН приводит к значительной экономии энергии, расходуемой на освещение жилья [2]. Доля ЛН в общем количестве используемых в быту источников света всё ещё довольно велика, например в России 95,2%, а в США 62% [3]. Д-р Ю.Б. Айзенберг подчёркивает, что в настоящее время ЛН представляют собой полностью устаревшие источники света, вытеснение которых уже происходит в США, Австралии и России [4]. В данной статье подробно рассмотрены некоторые характеристики ламп прямой замены.

2. Измерения

2.1. Световой поток и световая отдача

Потребитель должен покупать лампы, а не смотреть на мощность лампы. В табл. 1 приведены значения эк-

вивалентных световых потоков ламп разных типов и мощности, соответствующих ЛН. Мощность не является обязательной информацией. Мощность может быть рассчитана посредством линейной интерполяции приведённых в таблице данных. Например, если КЛЛ имеет световой поток 850 лм, то эквивалентная мощность ЛН составляет 67 Вт. Сроки службы КЛЛ и СДЛ больше, чем у ЛН, и их более высокие начальные световые потоки компенсируют спад светового потока в процессе горения [1].

На рис. 1 представлены зависимости световой отдачи разных ламп от светового потока [5, 6]. Фотометрические и электрические параметры измерялись при помощи интегрирующей сферы с матричным фотодиодным спектрометром «Labshpere» и цифровым ваттметром «Yokogawa WT13». При помощи спектрометра измерялись спектральное распределение энергии излучения и цветовые характеристики: коррелированная цветовая температура T_c и общий индекс цветопередачи МКО R_a . Температура в помещении лежала в пределах от 22 до 24 °С. Положение горения ламп – цоколем вверх.

Вертикальные линии соответствуют световым потокам ЛН мощностью 15, 40, 60, 75 и 100 Вт. Представлены также кривые для классов энергопотребления «А», «А+», «А++» и «С» [7]. Классы энергопотребления более подробно рассмотрены ниже. Световые отдачи СДЛ, купленных в 2010 г., – примерно 40 лм/Вт, а купленные в 2013 г. имели в среднем световую отдачу 81 лм/Вт, и у од-

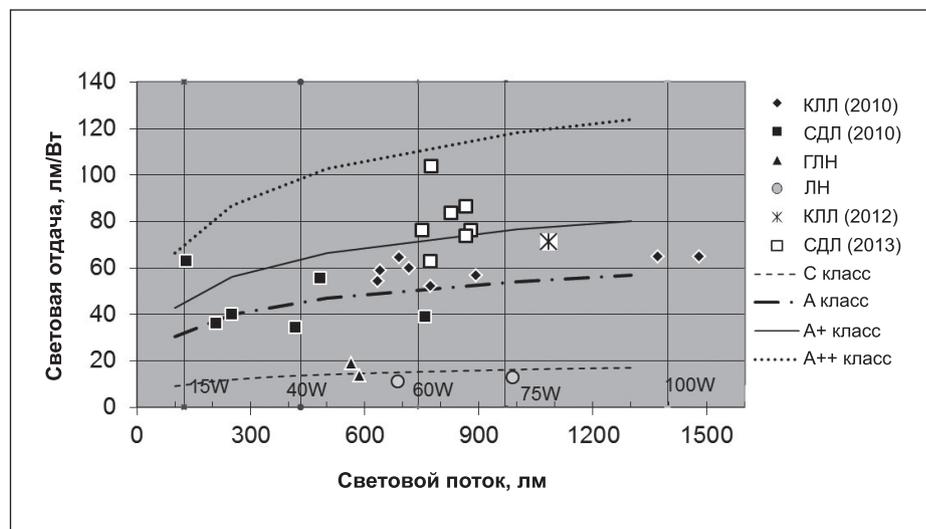


Рис. 1. Световая отдача разных ламп [5, 6]

¹ E-mail: eino.tetri@aalto.fi

Перевод с англ. Е.И. Розовского

Мощности ламп накаливания и эквивалентные световые потоки ламп разных типов [1]

Мощность лампы накаливания, Вт	Световой поток, лм		
	КЛЛ	СДЛ	ГЛН
15	125	136	119
25	229	249	217
40	432	470	410
60	741	806	702
75	970	1055	920
100	1398	1521	1326
150	2253	2452	2137
200	3172	3452	3009

ной СДЛ она превышала 100 лм/Вт. Это демонстрирует быстрое развитие СД-техники вообще и ламп прямой замены в частности. Значения световой отдачи усреднялись по трём лампам за исключением группы СДЛ (2013), состоящей из 5 ламп. Лампы, входящие в группы КЛЛ (2010) и СД (2010), соответственно, были куплены в 2010 г.

Начальный световой поток измерялся после 100 ч горения, а спад светового потока – после 1000 ч. У КЛЛ грушевидной формы спад светового потока после 1000 ч горения составлял 8–14%. У трубчатых и спиральных КЛЛ спад был меньшим – от 2 до 7%. В случае СДЛ световой поток некоторых ламп в процессе горения даже возрастал. У четырёх ламп световой поток увеличился на 1–3%, у одной остался тем же, а ещё у одной снизился на 1%.

2.2. Качество света

Нормируемое для внутреннего освещения значение R_a превышает 80. R_a измеренных КЛЛ лежали в пределах от 80 до 90. R_a большинства СДЛ составлял 75–85, а две лампы имели R_a 55 и 65.

T_u ЛН составляет 2700 К, и её свет имеет желтоватый оттенок; белому свету соответствует $T_u = 3000$ К, холодно-белому – 4000 К, а лампы дневного света обычно имеют $T_u = 5000$ или 6500 К. Все измеренные КЛЛ имели T_u от 2500 до 3000 К, то есть их T_u аналогичны характерным для ЛН. T_u СДЛ составляли 2600–3600 К.

2.3. Классы энергопотребления

Классы энергопотребления ламп для быта приведены в регламенте ЕС № 874/2012 [7]. В предшествующей редакции регламента 98/11/ЕС классов «А+» и «А++» ещё не было. В настоящее время наиболее эффективным является класс «А++», а наименее – класс «Е». Классы энергопотребления определяются индексом энергоэффективности EEI , который находят делением номинальной мощности P_{cor} на опорную P_{ref} . Например, КЛЛ с ненаправленным световым потоком и встроенными ПРА принадлежат к классу «А» при условии $0,17 < EEI < 0,24$. P_{ref} рассчитывают по полезному световому потоку Φ_{use} . Если

$$\Phi_{use} < 1300 \text{ лм, то } P_{ref} = 0,88 \cdot \sqrt{\Phi_{use}} +$$

$0,049 \cdot \Phi_{use}$. Так что, если $\Phi_{use} = 741$ лм, то $P_{ref} = 60,62$ Вт. Класс «А» ограничен значением EEI 0,24, и для того, чтобы лампа попала в класс «А», её P_{cor} не должна превышать 14,46 Вт ($14,46/60,26 = 0,24$). В этом случае световая отдача будет равна 51 лм/Вт. Аналогичным образом, при этом же Φ_{use} (741 лм) световые отдачи для классов «А+» и «А++», соответственно, будут равны 72 и 112 лм/Вт. Все представленные на рис. 1 КЛЛ относятся к классу «А», а большинство СДЛ (2013) – к классу «А+».

2.4. Зажигание и разгорание

КЛЛ представляет собой разрядный источник света НД, в котором свет в основном генерируется по-

рошкообразным люминофором, возбуждаемым УФ излучением ртутной дуги. И требуется некоторое время, чтобы после зажигания лампы достигались рабочие температура дуги и давление паров ртути. Напротив, ЛН, ГЛН и СДЛ выходят на полный световой поток сразу же после зажигания.

Регламент № 244 определяет «время зажигания лампы» как время после подачи напряжения, требуемое для того, чтобы лампа полностью зажглась и продолжала гореть. С другой стороны, «время разгорания лампы» – это время, требующееся лампе после зажигания для того, чтобы её световой поток составил определённую часть светового потока при стабильной работе лампы [1].

В настоящее время нормируемое время зажигания КЛЛ составляет менее 2 с, а время разгорания до достижения 60% от стабильного светового потока – менее 60 с. В случае использования амальгамы, время разгорания увеличивается до 120 с. Амальгама используется в некоторых лампах потому, что улучшает стабильность светового потока вне зависимости от окружающей температуры, как в холодных, так и в тёплых условиях.

Лампа нами считалась зажжённой после стабилизации тока. Ток измерялся при помощи токоизмерительных клещей, которые подключались к осциллографу. Измеренное время зажигания КЛЛ составляло от 0,02 до 120 с, в среднем 0,64 с. На разгорание требовалось от 15 до 100 с, в среднем 41 с.

В случае СДЛ зажигание происходило мгновенно, и световой поток также мгновенно достигал 100%. На самом же деле при разгорании СДЛ световой поток несколько уменьшается по мере её нагревания и соответствующего повышения температуры p - n -перехода излучающего кристалла. Согласно результатам измерений, световой поток СДЛ уменьшался на 4–21% от своих максимальных значений. При помещении этих ламп в закрытые светильники это уменьшение примерно на 20% превышало характерное при горении ламп на открытом воздухе.

Медленное разгорание КЛЛ в ряде случаев может раздражать, например, в коридорах или вестибюлях. Для таких помещений лучше выбирать СДЛ.

2.5. Зажигание при низких температурах

Низкая температура окружающей среды влияет и на характеристики зажигания, и на световой поток КЛЛ. При комнатной температуре количества содержащихся в лампе паров ртути достаточно для мгновенного начала ионизации атомов ртути. При низких температурах большая часть ртути присутствует в виде маленьких капель жидкости на внутренней поверхности трубки, что затрудняет зажигание лампы.

Зажигание КЛЛ измерялось при температурах 0, –10, –20 и –30 °С. Все испытывавшиеся лампы отжигались в течение 100 ч при комнатной температуре. Перед началом испытаний лампы выдерживались при температуре испытаний в течение 2 ч. Напряжение сети было равно 230 В, рабочее положение – цоколем вверх. Зажглись все испытывавшиеся лампы, причём у некоторых ламп время зажигания несколько возросло. Так, у одной лампы при изменении температуры от 0 до –30 °С время зажигания последовательно проходило значения 1,5; 1,8; 2,2 и 2,5 с.

2.6. Температура окружающей среды

Температура холодной точки определяет давление внутри разрядной трубки КЛЛ, и тем самым световой поток. Существует оптимальное значение температуры холодной точки, и при большем или меньшем её значении имеет место снижение светового потока. При низких температурах воздуха КЛЛ следует использовать в закрытых светильниках и оптимальным положением горения является положение цоколем вниз. В случае СДЛ наблюдается обратный эффект: низкая температура окружающей среды уменьшает температуру $p-n$ -перехода, повышая этим световой поток.

На рис. 2 представлены зависимости световых потоков от температуры. Если КЛЛ используется в закрытом светильнике, то температура внутри светильника будет постепенно увеличиваться, и температура холодной точки может оказываться близкой к оптимальной. Этот эффект усиливается, если у лампы есть окружающая разрядную трубку дополнительная колба, как у КЛЛ «лук-элайк». При-

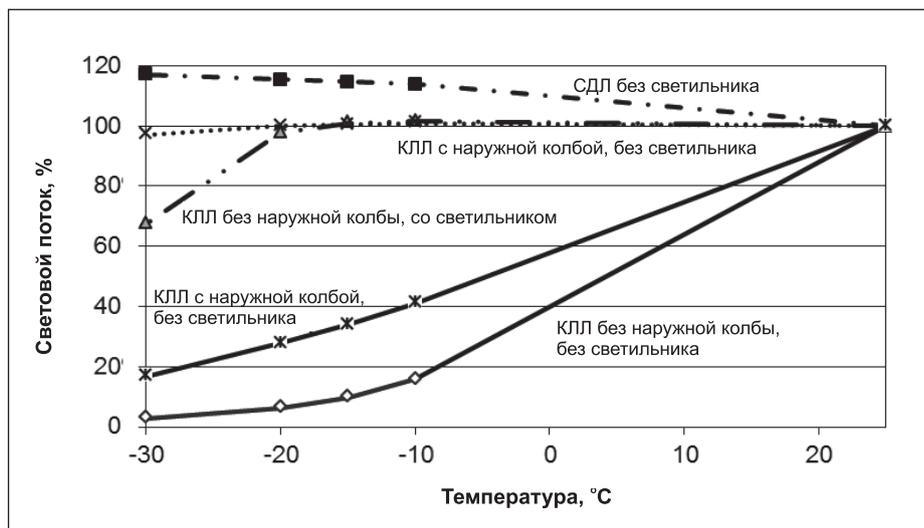


Рис. 2. Влияние температуры окружающей среды на световой поток

ведённая на рис. 2 кривая «КЛЛ с колбой, без светильника» говорит о том, что и КЛЛ может сохранять свой световой поток при низких температурах. Это была лампа с амальгамой, предназначенная, в том числе, и для работы при низких температурах. Световые потоки СДЛ при –30 °С возросли почти на 20%.

2.7. Утилизация

КЛЛ содержат 2–5 мг ртути, вследствие чего отработавшие лампы относятся к вредным отходам, а содержащаяся в них ртуть нуждается в переработке. С другой стороны, некоторое количество ртути может выделяться и при выработке электроэнергии. По оценкам, в Финляндии это количество составляет 3,9 мг/кВт·ч. Срок службы КЛЛ может достигать 10000 ч. Если бы ЛН мощностью 60 Вт горела на протяжении этого же времени, то потребление энергии составило бы 600 кВт·ч, а соответствующее количество выделенной ртути было бы равно 2,3 мг. СДЛ не содержат ртути, и благодаря их низкому энергопотреблению связанное с эксплуатацией этих ламп количество выделяемой ртути оказывается меньше, чем в случае ЛН.

2.8. Распределение силы света

Распределения силы света разных ламп могут сильно различаться: ЛН светят во всех направлениях, тогда как некоторые СДЛ имеют угол излучения 120° и меньше. Светильник, с одной стороны, направляет свет туда,

где он нужен, а, с другой – обеспечивает защиту от блёскости. В светильниках для быта обычно нет отражателей, и иногда у них очень небольшие световые потоки. Распределения силы света как самой лампы, так и светильника с ней измеримы при помощи гониофотометра. Существует мнение, что СДЛ особенно хорошо подходят для светильников, обеспечивающих рабочее освещение, таких как настольные. Световой поток трубчатых КЛЛ в основном падает на вертикальные поверхности (при работе ламп цоколем вверх). У спиральных КЛЛ и у КЛЛ «лук-элайк» распределения силы света больше похожи на имеющиеся у ЛН.

2.9. Стоимости ламп и эксплуатационные расходы

Годовые затраты в расчёте на одну лампу можно определить умножением стоимости лампы на коэффициент возмещения капитала:

$$C_I = I \times \frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n - 1}$$

где C_I – первоначальные капиталовложения в расчёте на 1 год, €; I – капитальные затраты (здесь – стоимость лампы), €; i – кредитная ставка ($i = p/100$, где p – кредитная ставка в процентах); n – количество лет (срок службы осветительной установки).

Стоимость электроэнергии определяется умножением мощности лампы на годовую продолжительность горения и на стоимость электроэнергии.

Сравнение характеристик ламп для быта

		ЛН	КЛЛ	СДЛ
Затраты	Стоимость лампы	Низкая	Средняя	Высокая
	Стоимость энергии	Высокая	Низкая	Низкая
Световая отдача, лм/Вт		12	60	40
Срок службы, ч		~ 1000	5000–15000	> 10000
Размеры		Маленькие	Грушевидная, трубчатая, спиральная форма	Тяжёлый радиатор у некоторых ламп
ПРА		Не требуется	Встроенный	Встроенный
Температура окружающей среды	Высокая	Не влияет	Не оказывает заметного влияния	Срок службы и световой поток уменьшаются
	Низкая	Не влияет	Световой поток уменьшается	Световой поток увеличивается
Число циклов включения		Не оказывает заметного влияния	Уменьшение срока службы	Не влияет
	Зажигание	Мгновенно	1–2 с	Мгновенно
	Разгорание	Мгновенно	30 с – 2 мин (60%)	Мгновенно
Светорегулирование		Легко (посредством изменения напряжения)	Только специальные лампы	Только специальные лампы
Напряжение		Влияет на световой поток и срок службы	Не оказывает заметного влияния	Не оказывает заметного влияния
Ртуть	В лампе, мг	Нет	2–5	Нет
	Генерация энергии*, мг	2,3	0,4	0,4

* 3,9 мг/кВт·ч (1999 г.), 10000 ч, 60 Вт/11 Вт

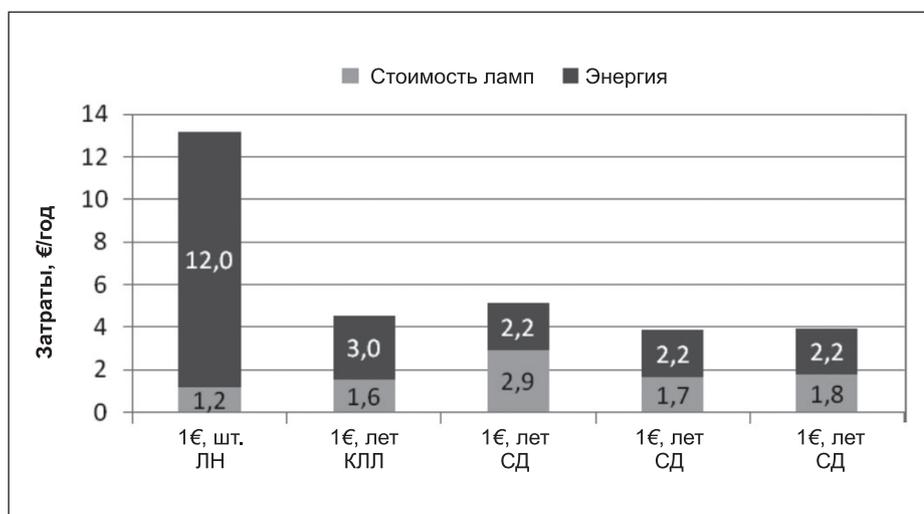


Рис. 3. Капитальные и эксплуатационные затраты для ЛН, КЛЛ и СДЛ, €/год

При проведении расчётов использовались следующие значения параметров:

- Цена электроэнергии: €0,2/кВт·ч.
- Мощность лампы: 60 Вт (ЛН), 15 Вт (КЛЛ), 11 Вт (СДЛ).
- Продолжительность горения: 1000 ч/год.
- Кредитная ставка: 3%.
- Стоимость лампы: €1 (ЛН), €10 (КЛЛ), €15/25 (СДЛ).
- Срок службы лампы: 1 год (ЛН), 6 лет (КЛЛ), 10/20 лет (СД). (Выраженные в часах горения сроки службы ламп составляют 1000 ч у ЛН, 6000 ч у КЛЛ, 10000 или 20000 ч у СДЛ. Сроки службы ламп основаны на данных производителей.)

• Количество лет: 10/20 (расчётное время для определения капитальных затрат).

В случае ЛН доминирует стоимость электроэнергии. При указанных значениях исходных параметров в случаях КЛЛ и СДЛ полные затраты (стоимость ламп и стоимость электроэнергии) составляют всего лишь 30–40% от полных затрат в случае ЛН. Стоимость КЛЛ меньше, чем у СДЛ, однако последние уже сейчас более энергоэффективны, из-за чего годовая стоимость электроэнергии у них ниже. Если количество часов горения превышает приведённое на рис. 3, то СДЛ становятся экономичнее КЛЛ. Хотя стоимости ламп, цены на электроэнергию, количество часов горения и т.д. могут быть разными, можно утверждать, что конечному потребителю будет выгоднее платить больше за энергоэкономичные варианты.

3. Заключение

Сравнительные характеристики ламп приведены в табл. 2.

Для освещения жилищ, в основном, используются ЛН, что приводит к большому потреблению энергии. ЛН являются неэффективными источниками света, у которых в свет преобразуется только 5–10% потребляемой электроэнергии. Замена ЛН даёт большую экономию энергии, и поэтапное удаление ЛН с рынка ЕС уже привело к увеличению энергоэффективности освещения жилья.

Световая отдача ЛН составляет примерно 12 лм/Вт, тогда как световые отдачи КЛЛ и СДЛ равны в среднем 60 и 80 лм/Вт соответственно. В дальнейшем световая отдача СДЛ продолжит расти. СДЛ лучше КЛЛ в некоторых областях применения, таких как места, где после зажигания требуется мгновенное обеспечение полного светового потока, а также в холодных условиях.

В настоящее время КЛЛ и СДЛ дороже ЛН, однако полные затраты, включающие в себя стоимости ламп и электроэнергии, в большинстве случаев меньше как у КЛЛ, так и у СДЛ. Так что при замене имеющих более чем вековую историю ЛН на современные КЛЛ или СДЛ потребитель окажется в выигрыше.

Данная работа финансировалась Электротехническим училищем при Университете Аалто и проектом «Automation EffiNano».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Commission Regulation (EC) No. 244/2009 of 18 March 2009. Implementing Directive 2005/32/EC of the European Parliament and of the Council with regard to ecodesign requirements for non-directional household lamps. Official Journal of the European Union.

2. Tetri, E., Sarvaranta, A., Syri, S. Potential of new lighting technologies in reducing household lighting energy use and CO₂ emissions in Finland // Energy Efficiency. – 2014. – No. 7. – P. 559–570.

3. Kogan, Y.M. Analysis of the factors, which influence consumption of electric pow-

er for illumination of households in Russia and in the USA // Light & Engineering. – 2014. – Vol. 22, No. 2. – P. 38–42.

4. Aizenberg, Y.B. The development strategies and tactics of the Russian lighting industry: Addressing the target of decreasing illumination power consumption by half whilst improving living conditions // Light & Engineering. – 2014. – Vol. 22, No. 1. – P. 29–39.

5. Raunio, J. Hehkulamppujen korvaaminen sisävalaistuksessa (in Finnish; Replacing incandescent lamps in indoor lighting) // Aalto University School of Science and Technology, Master's Thesis, 2010.

6. Rolamo, N. LED lamps – photometric and electrical performance // Aalto University School of Electrical Engineering, Master's Thesis, 2014.

7. EU No 874/2012. Commission delegated regulation (EU) No 874/2012 of 12 July 2012 supplementing Directive 2010/30/EU of the European Parliament and of the Council with regard to energy labelling of electrical lamps and luminaires.



Эйно Тэтри (Eino Tetri), D.Sc.

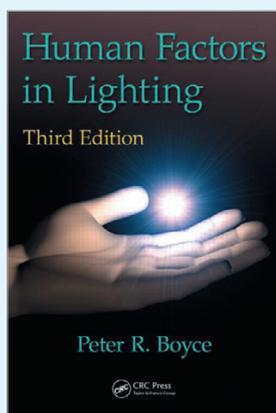
Окончил в 2001 г.

Хельсинкский технический университет.

Руководитель группы Светотехнического блока Университета Аалто по

источникам света и энергоэффективным системам освещения

НОВЫЕ КНИЖИ



Human Factors in Lighting

3-d edition

Peter Robert Boyce

В апреле в издательстве CRC Press вышло 3-е издание классической книги «Человеческий фактор в освещении» Питера Роберта Бойса, почётного профессора архитектуры Политехнического института Ренсселера, автора многочисленных публикаций по поведенческим, психологическим, чувственным и физиологическим аспектам реакции людей на условия освещения, члена британского Общества света и освещения и Североамериканского светотехнического общества, лауреата ряда премий этих организаций, технического редактора журнала «Lighting Research and Technology».

Книга посвящена, в основном, экологическим сторонам электрического освещения с небольшим обсуждением и его полезных сторон.

3-е издание отличают от предыдущих:

Новые главы – по системе, не формирующей изображений (неизобразительной), освещению для пешеходов, световому загрязнению и теме «освещение и энергопотребление».

Переработка (обновление) всех остальных глав с учётом достижений последних 10 лет в понимании действий света на человека.

Интеграция суммарного действия света через зрительную и неизобразительную системы на работоспособность и восприятие.

При этом автор объединяет данные из множества разных источников в логически последовательный обзор осветительной практики, который можно использовать для улучшения светотехнических решений и снижения расходов на охрану окружающей среды.

Книга содержит 703 с. и 255 чёрно-белых ил.

Цена её электронного варианта (eBook) – от £22.