Характеристики линейных светодиодных ламп прямой замены

М. ВАН ГИЛС, Г. ДЮРИНК, Я. ОДЕНАТ, В.Р. РИКАЕРТ [1], И. А.А. РОЕЛАНДЦ, С. ФОРМЕНТ, П. ХАНСЕЛАЕР

Колледж Лёвенского католического университета, Гент, Бельгия
Отделение «*ESAT-ELECTA*» Лёвенского католического университета, Хеверли, Бельгия

Аннотация

Многие производители и дистрибьюторы трубчатых светодиодных ламп утверждают, что замена люминесцентных ламп (ЛЛ) *T8* на линейные светодиодные лампы прямой замены (СДЛПЗ) позволяет экономить 50 и более процентов электроэнергии. Кроме того, большинство дистрибьюторов заявляют, что подобная замена не приведёт к изменению зрительных работоспособности и комфорта. Нами были проведены измерение и сравнение оптических и электрических параметров двенадцати имеющихся в продаже СДЛПЗ и отслежены изменения этих параметров со временем. Были исследованы функциональные характеристики этих ламп, существенным образом отличающихся друг от друга в части распределения яркости. Кроме того, в целях сравнения распределения освещённости на рабочей плоскости нами рассмотрен случай замены установленных в небольшом офисе ЛЛ на СДЛПЗ. В результате оказалось, что не следует недооценивать влияние замены классических ЛЛ на СДЛПЗ на зрительную работоспособность.

Ключевые слова: линейная светодиодная лампа прямой замены, люминесцентная лампа.

1. Введение

Многие производители позиционируют имеющие более низкую, чем ЛЛ, мощность трубчатые СД лампы в качестве энергоэффективной замены обычных ЛЛ, что вызвало разногласия между светотехниками. Действительно, СД обладают многочисленными достоинствами, и основанные на них светильники скоро займут значительную часть рынка. С другой стороны, оптические характеристики линейных СД ламп прямой замены (СДЛПЗ) очень неоднородны и во многих случаях страдают от отсутствия стандартов и низкого качества контроля изделий.

В данной работе нами были проведены измерение и сравнение оптических и электрических параметров двенадцати имеющихся в продаже СДЛПЗ и отслежены изменения этих характеристик со временем. Дистрибьюторы СДЛПЗ рекомендуют эти изделия в качестве великолепной замены обычных ЛЛ типа *T8*. При этом светильник в большинстве случаев не заменяют, а модернизируют, для чего следует обойти существующие ПРА и удалить стартёры. Некоторые дистрибьюторы, ссылаясь на обусловленный направленностью излучения СД больший КПД светильников с СД, утверждают, что несмотря на меньшие световые потоки СД модернизированные светильники обеспечивают на рабочей плоскости те же или большие уровни освещённости. Однако предоставляемые производителями СДЛПЗ сведения часто являются неполными, и пространственное распределение силы света модернизированного светильника неизвестно. Так что в целях сравнения распределения освещённости на рабочем месте нами был рассмотрен случай замены установленных в небольшом офисе ЛЛ на СДЛПЗ.

2. Прогнозирование дискомфортной блёскости

2.1. Распределение яркости

Имеется много оптических отличий между обычными ЛЛ типа *T8* и предназначенных им на смену СДЛПЗ, самым заметным из которых является распределение яркости. Обычные ЛЛ имеют светящую поверхность с равномерным распределением яркости, тогда как у большинства СДЛПЗ яркость сильно меняется из-за наличия большого числа отдельных СД.

В этом разделе на основе компьютерного моделирования проводятся сравнение распределений яркости и дискомфортной блёскости излучающей равный 3350 лм световой поток ЛЛ *T8* длиной 1200 мм и излучающей равный 1500 лм световой поток СДЛПЗ с 32 смонтированными на её поверхности СД. В обоих случаях моделирование осуществлялось с использованием пакета программ трассировки лучей «*TracePro*»® (рис. 1). Наружная поверхность ЛЛ и излучающие свет поверхности СД размером 2×2 мм считались ламбертовскими излучателями. Каждому из СД был приписан равный 46,875 лм световой поток. Посредством обратной трассировки лучей для обоих источников света были сформированы карты распределения яркости. Продольное се-

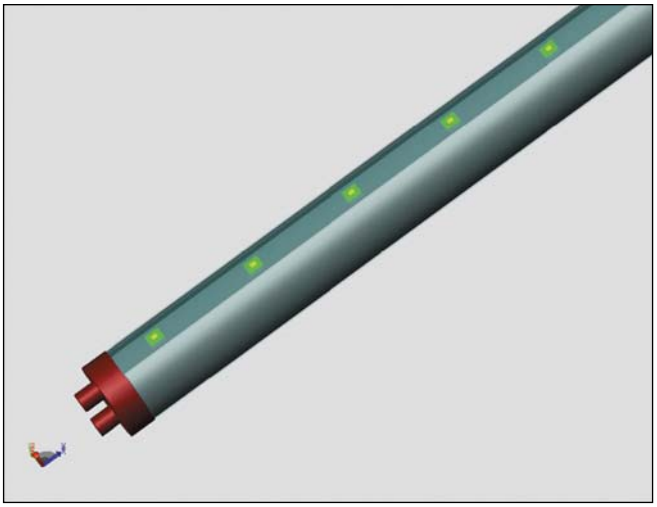

Рис. 1. Часть СДЛПЗ, смоделированная при помощи программ трассировки лучей. Расстояние между центрами соседних СД равно 37 мм, количество СД равно 32

[1] По материалам доклада на 27-й Сессии МКО. 10-15.07.2011, Сан-Сити, ЮАР. E-mail: Wouter.Ryckaert@kahosl.be
Перевод с англ. Е.И. Розовского

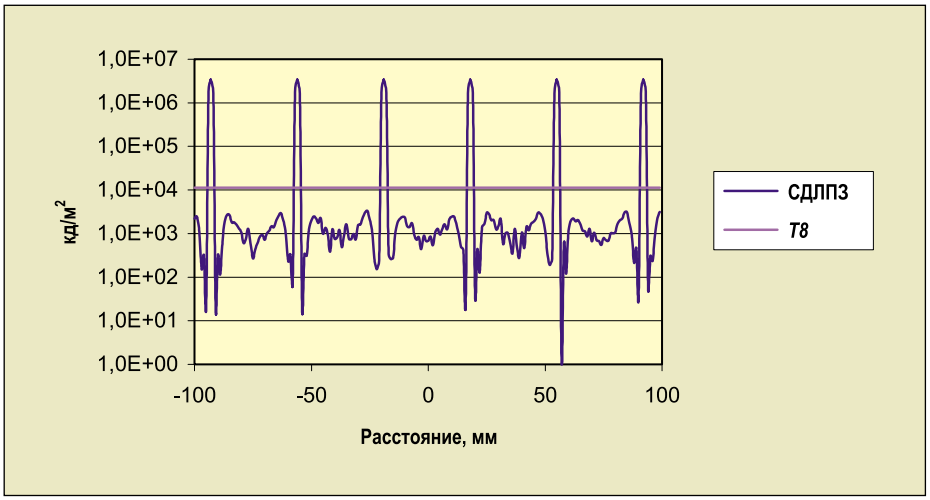

Рис. 2. Часть продольного сечения карты распределения яркости обычной ЛЛ и СДЛПЗ. Яркость рассчитывалась с интервалом 1 мм, ноль соответствует центру СДЛПЗ. Обратите внимание на то, что отсчёты по вертикальной оси даны в логарифмическом масштабе

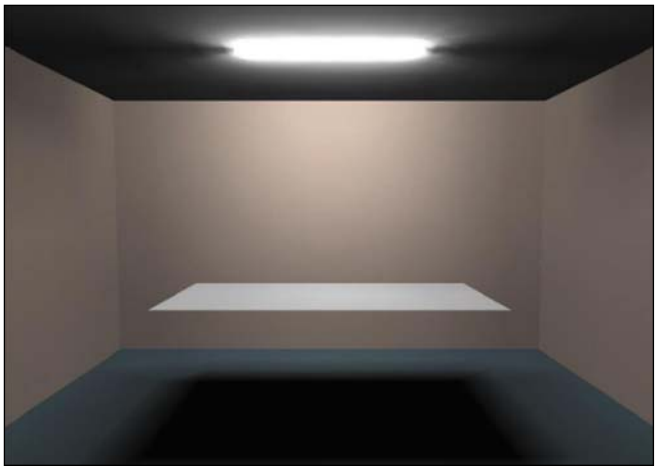

Рис. 3. Модель комнаты, освещённой обычной люминесцентной лампой типа T8

чение карты распределения яркости в плоскости проходящей через центры СД оси показано на рис. 2.

ЛЛ имеет постоянную яркость, равную 11270 кд/м^2, тогда как в случае СДЛПЗ яркость меняется от 0 до 3,42·10^6 кд/м^2. То, что яркость на участке между излучающими свет поверхностями СД не всегда равна нулю, обусловлено рассеянием в направлении наблюдателя света, отражённого пластмассовым корпусом на несущую СД пластину.

2.2. Блёскость

Пространственное распределение силы света ЛЛ точно рассчитывается посредством трассировки большого (5·10^6) числа лучей. Рассматривая источник света в качестве светильника, на основе этих данных был сформирован файл «*Eulumdat*». При помощи этого файла источник света импортировался в программу расчёта освещения «*Relux*»®. Так как формат файла «*Eulumdat*» неприменим к состоящим из многочисленных пространственно разделённых очень маленьких источников света СДЛПЗ, то каждый из расположенных на поверхности СД рассматривался в качестве небольшого светильника, и в «*Relux*»® импортировались полученные применительно к одному СД результаты моделирования.

Для сравнения работы светильников в «*Relux*»® была смоделирована простая ситуация. Лампа *T8* помещалась на потолке в центре комнаты размером 3×4×2,3 м. Непосредственно под лампой располагался стол размером 1×2 м, крышка которого находилась на высоте 0,8 м над уровнем пола. Освещённости всех поверхностей рассчитывались программой «*Relux*» на основе яркости. Коэффициенты отражения всех, кроме потолка и пола, поверхностей комнаты считались равными 50%, а коэффициенты отражения потолка и пола – равными 90 и 20% соответственно. Все поверхности считались диффузно отражающими свет. Эта ситуация продемонстрирована на рис. 3. В случае рассматриваемой комнаты голая ЛЛ создаёт дискомфортную блёскость, которая может быть выражена количественно при помощи обобщённого показателя блёскости (*UGR*). Так как лампа *T8* имеет большую диффузно излучающую поверхность, то можно воспользоваться классической формулой расчёта *UGR* [1–3]:

$$UGR = 8\log_{10}\left(\frac{0,25}{L_b}\sum_{i=1}^{n}\frac{L_i^2\omega_i}{p_i^2}\right), \qquad (1)$$

где n – количество светильников в комнате, L_b – средняя яркость фона (адаптации), L_i – средняя яркость светящей поверхности светильника i по направлению к точке наблюдения, ω_i – телесный угол, под которым видна светящая поверхность светильника i, p_i – индекс позиции светильника i по Лекишу-Гату [4].

Яркость фона определяется посредством осуществляемого при помощи программы «*Relux*»® расчёта общей и прямой освещённости глаза наблюдателя. Разность этих двух величин представляет собой отражённую освещённость E_i. Яркость фона рассчитывается по формуле [2]:

$$L_b = \frac{E_i}{\pi}. \qquad (2)$$

Мы поместили глаз наблюдателя на высоте 1,75 м на равном 0,8 м по горизонтали расстоянии от центра стола; при этом наблюдатель смотрел на противоположную стену (то есть мы рассматриваем взрослого человека, стоящего перед столом и смотрящего в направлении центра комнаты). Мы получили: L_b = 29,6 кд/м^2, *UGR* = 26. Согласно европейскому стандарту на освещение рабочих мест [4], столь большое значение *UGR* говорит о том, что подобное простое решение приемлемо только в проходах.

В рамках этой же модели ЛЛ была заменена на СДЛПЗ, которая была представлена в виде ряда из 32 светодиодов-светильников. В ком-

Таблица 1

Начальные значения параметров ламп

Торг. марка	Свет. поток, лм	*P*, Вт	Свет. отдача, лм/Вт	$T_ц$, К	ИЦП	*MCRI*	$K_м$	*THD*, %
A	1 650	22,8	72,4	4 186	90	96	0,97	14
B	1 535	23,6	65,0	6 876	72	74	0,45	192
C	1 595	17,8	89,6	3 709	76	84	0,82	56
D	1 774	21,2	83,7	4 016	69	74	0,66	90
E	754	10,3	73,4	4 207	76	86	0,48	55
F	1 707	20,9	81,6	3 194	65	72	0,93	17
G	1 036	15,2	68,2	3 307	71	78	0,51	162
H	1 437	17,7	81,1	3 853	77	86	0,96	16
I	1 605	31,6	50,8	3 365	88	95	0,53	135
J	920	14,5	63,4	3 678	78	89	0,84	59
K	1 479	18,3	80,8	4 733	65	63	0,78	54
L	1 185	17,6	67,3	5 329	73	80	0,91	22
Медиана	1 479	17,8	73,4	3 853	76	84	0,82	55

Рис. 4. Модель комнаты, освещённой содержащей 32 СД СДЛПЗ

пьютерном отображении сцены освещения не было заметно наличия явной блёскости (рис. 4). Из-за чрезвычайной малости площадей светящих участков СДЛПЗ (4 мм^2 на один СД и 128 мм^2 в целом) классическое выражение для расчёта *UGR* здесь неприменимо. В случае, когда площадь светящей поверхности не превышает 0,005 м^2, следует использовать модифицированное выражение для расчёта *UGR*, в котором учтена сила света *I* источника света [2, 5]:

$$UGR = 8\log_{10}\left(\frac{0,25}{L_b}\sum_{i=1}^{n}200\frac{I_i^2}{r_i^2 p_i^2}\right), \quad (3)$$

где r_i – расстояние от наблюдателя до светящей поверхности *i*.

В случае СДЛПЗ при расчёте *UGR* каждый из СД рассматривается в качестве отдельного источника света (n = 32). При том же, что и в случае *T8*, положении наблюдателя получаем: L_b = 10,2 кд/м^2, *UGR* = 21,6. Это более низкое значение *UGR* говорит о том, что голая СДЛПЗ подходит для большего, чем голая ЛЛ типа *T8*, числа сцен освещения. Однако реальное качество освещения не следует оценивать только на основе значений *UGR* и освещённости. Например, СДЛПЗ описанного типа могут создавать многочисленные раздражающие тени; к тому же, многим людям просто не нравятся ряды ярких точек в качестве атрибута общего освещения. Кроме того, лампы *T8* в большинстве случаев используются в составе светильников, конструкции которых позволяют нейтрализовать всенаправленность излучения лампы. Простая замена лампы *T8* на СДЛПЗ может приводить к значительному изменению пространственного распределения силы света светильника [6].

3. Оптические и электрические характеристики СДЛПЗ

3.1. Начальные характеристики ламп

В сентябре 2010 г. нами были приобретены 12 продаваемых на бельгийском рынке разных СДЛПЗ длиной 120 см. Эти лампы предназначены для замены обычных ламп *T8* мощностью 36 Вт. Первоначально дистрибьюторов попросили предоставить лампы с коррелированной цветовой температурой ($T_ц$) между 3500 и 4000 К. Однако контрольные измерения показали, что, как следует из табл. 1, $T_ц$ имеет больший разброс (3194–4733 К без учёта ламп холодного белого света торговой марки *B*). Большинство дистрибьюторов предлагают лампы только трёх типов (тёплого белого, естественного белого и холодного бело-

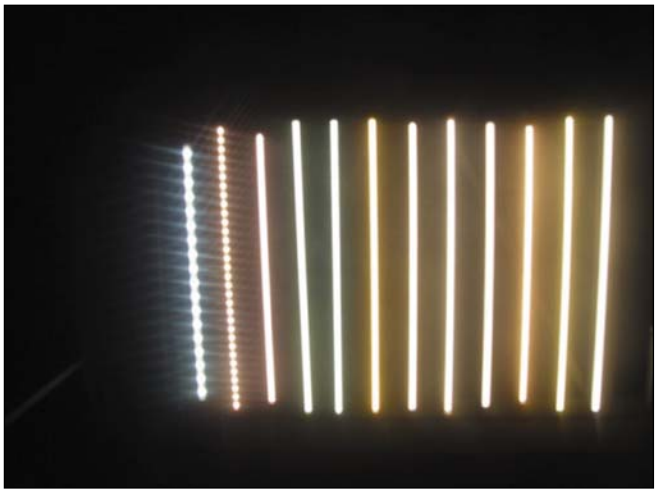

Рис. 5. Фотография ламп: неодинаковость коррелированной цветовой температуры

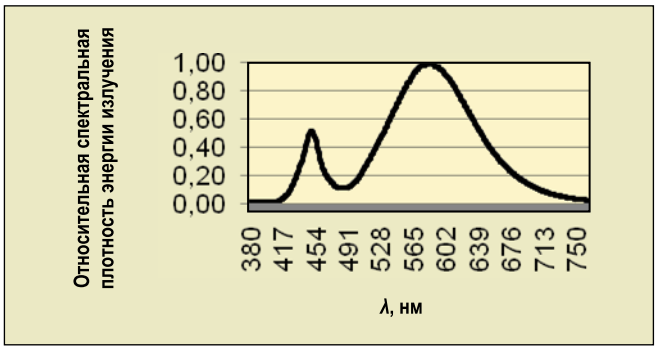

Рис. 6. Спектр излучения СДЛПЗ (торговая марка А)

го света), причём указываемый ими разброс значений $T_ц$ обычно довольно велик (например, 3800–4800 К). Зрительный эффект разброса значений $T_ц$ проиллюстрирован на рис. 5. Этот разброс может оказываться проблемой в случае негрупповой замены ламп или при необходимости замены одной неисправной лампы.

После стабилизации лампы нами измерялись начальные значения всех её существенных оптических и электрических параметров: светового потока, пространственного распределения силы света, спектра, индекса цветопередачи (ИЦП), запоминающегося индекса цветопередачи (*memory colour rendering index*) (*MCRI*) [7], коррелированной цветовой температуры $T_ц$, активной мощности P, световой отдачи, коэффициента мощности $K_м$ и полного коэффициента гармоник *THD*. Световые потоки и пространственные распределения излучения всех ламп определялись при помощи гониофотометра ближнего поля *RIGO801* компании *TechnoTeam*®, в котором для получения пространственных распределений силы света в условиях дальнего поля использовалась техника измерений, основанная на приборах с зарядовой связью. Температура и относительная влажность в комнате поддерживались в узком диапазоне (25±1 и 32±5 % соответственно). Спектры и соответствующие значения $T_ц$, ИЦП и *MCRI* измерялись при помощи телескопической светоизмерительной головки, посредством оптического волокна соединённой со спектрорадиометром *Oriel*®. Охлаждаемый приёмник на приборах с зарядовой связью, откалиброванный при помощи эталона спектральной плотности энергетической яркости, определял спектральный состав потока излучения. Значения электрических параметров измерялись при помощи прецизионного анализатора электрической энергии *Yokogawa*® *WT3000* (точность измерения 0,02 %). Синусоидальное питающее напряжение 230 В обеспечивалось источником питания *Agilent*® *7813 B*. Полученные результаты представлены в табл. 1.

Примечания:

• Срединное значение (медиана) светового потока равно 1479 лм, то есть только 44 % от светового потока имеющей те же самые размеры новой обычной лампы *T8 36 W/830* мощностью 36 Вт (3350 лм). Разброс значений светового потока составляет 754–1774 лм.

• Наблюдаются значительные колебания мощности ламп, которая изменяется в диапазоне от 10,3 до 31,6 Вт при медиане, равной 17,8 Вт. Световые отдачи ламп колеблются в пределах от 50,8 до 89,6 лм/Вт. Для сравнения, световая отдача системы «лампа *T8* – ПРА» колеблется в пределах от 75 до 95 лм/Вт в зависимости от потерь мощности в электронном ПРА.

• Примечательно, что только две из двенадцати ламп имеют больший чем 80 ИЦП! Согласно европейскому стандарту *EN-12464–1* «Свет и освещение. Освещение рабочих мест. Часть 1: Рабочие места внутри помещений» [4], лампы с меньшими чем 80 индексами цветопередачи не должны применяться внутри помещений, в которых люди работают или находятся длительное время. Типичный спектр излучения люминофорного белого СД показан на рис. 6. Во всех исследовавшихся СДЛПЗ использовались синие СД со слоями люминофора.

• Для СДЛПЗ с не превышающей 25 Вт номинальной мощностью до сих пор нет никаких конкретных рекомендаций касательно формы тока и максимальных значений его гармонических составляющих [8]. Однако при замене большого числа ЛЛ на СДЛПЗ гармонические искажения могут вызывать проблемы, связанные с гармоническим составом тока. Мерой гармонических искажений служит полный коэффициент гармоник *THD*. В случае синусоидальной формы питающего напряжения коэффициент мощности $K_м$ связан с *THD* выражением

$$K_м = \frac{\cos\varphi_1}{\sqrt{1+THD^2}}. \qquad (4)$$

Следовательно, коэффициент мощности объединяет угол сдвига фаз φ_1 между первыми гармониками тока и напряжения и гармонические искажения тока. Чем меньше значение коэффициента мощности, тем выше потери в электрической установке и тем выше риск возникновения связанных с гармоническими искажениями проблем. Четыре СДЛПЗ имеют высокие, превышающие 0,9, значения коэффициента мощности. С другой стороны, у трёх СДЛПЗ *THD* превы-

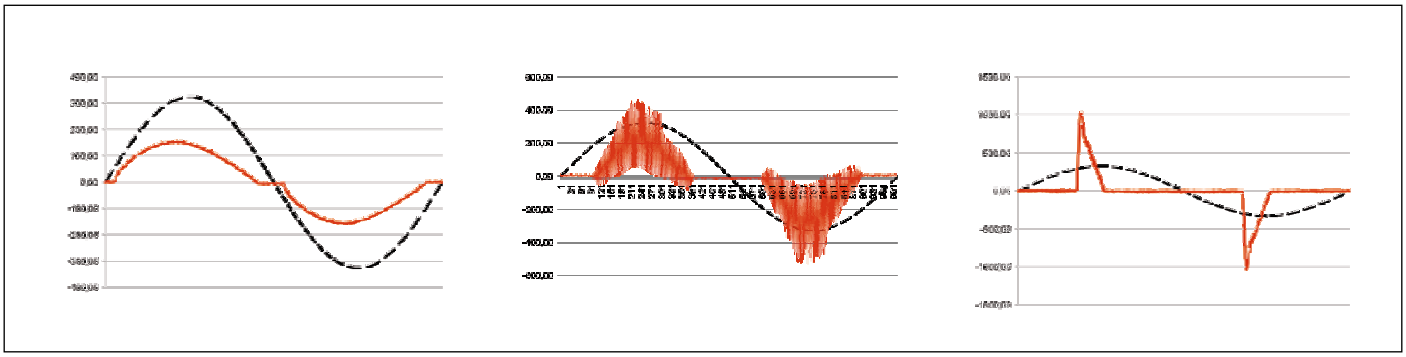

Рис. 7. Формы тока (красная линия) и напряжения (штриховая линия) (слева: торговая марка A; посередине: торговая марка D; справа: торговая марка B)

шает 100 %, в результате чего их коэффициенты мощности оказываются равными примерно 0,5! Это означает, что для обеспечения того же, что и в случае ЛЛ, токи которых совпадают по фазе с питающим напряжением, значения активной мощности, им требуется вдвое больший ток. Токи остальных СДЛПЗ содержат большое количество высоких гармоник, что может вести к радиопомехам. Некоторые типичные формы тока показаны на рис. 7.

Так как СД являются ламбертовскими источниками света, то их пространственные распределения силы света также являются ламбертовскими, характеризующимися равной 120° полной шириной на уровне половины максимума силы света, что проиллюстрировано на рис. 8–9.

3.2. Характеристики ламп после 2000 ч работы

После того, как в сентябре 2010 г. были определены начальные характеристики ламп, все лампы проработали по меньшей мере в течение одного года в режиме 3-часового цикла горения (2 ч 45 мин – «включено», 15 мин – «выключено»). В январе, апреле, июле и октябре 2011 г. вновь были измерены значения всех оптических и электрических параметров этих ламп, из которых здесь представлены лишь январские данные. В табл. 2 приведены изменения световых потоков всех ламп.

В СДЛПЗ торговых марок *C, E, G* и *J* использовались белые СД сквозного монтажа. Как хорошо известно, у традиционных СД сквозного монтажа эффективный отвод тепла от полупроводникового элемента невозможен, что может служить объяснением (сильного) спада светового пото-

Таблица 2

Изменение светового потока

Торг. марка	Световой поток, лм		Разность, %
	Сентябрь 2010 г.	Январь 2011 г.	
A	1 650	1 659	+0,6
B	1 535	1 503	-2,1
C	1 595	978	-38,7
D	1 774	1 792	+1,0
E	754	645	-14,4
F	1 707	1 711	+0,2
G	1 036	894	-13,7
H	1 437	1 519	+5,7
I	1 605	1 643	+2,4
J	920	823	-10,5
K	1 479	1 584	+7,1
L	1 185	1 224	+3,3

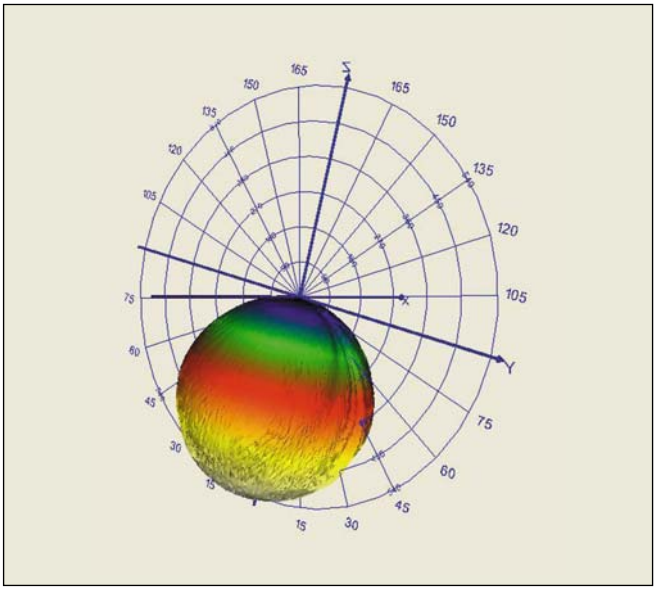

Рис. 8. Пространственное распределение силы света (трёхмерное)

Таблица 3

Освещённость на рабочей плоскости

	Установленная мощность, Вт	E_{avg}, лк	g_1
ЛЛ *T8*	153,6	**278**	0,21
Торг. марка *A*	70,5	149	0,21
Торг. марка *I*	95,7	146	0,15
Торг. марка *K*	59,1	160	0,19

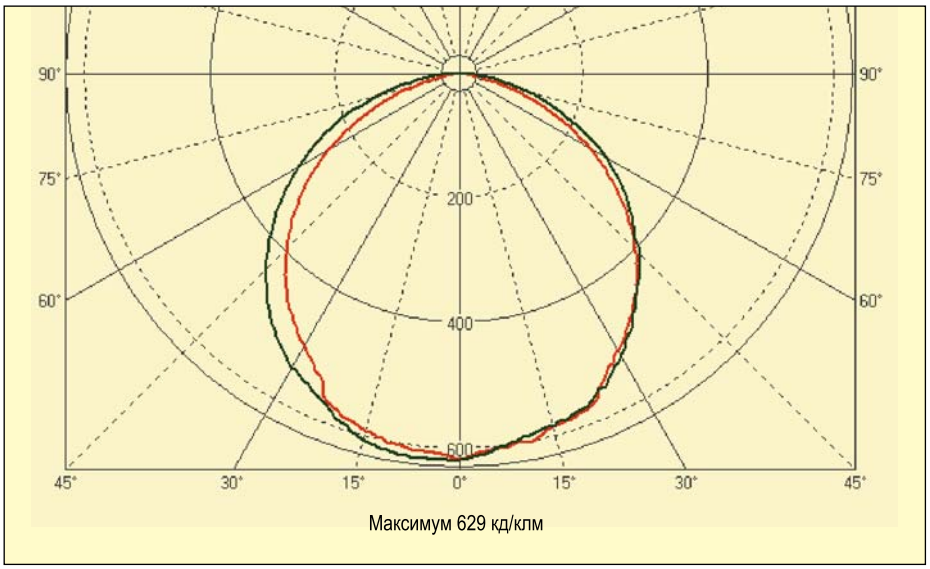

Рис. 9. Пространственное распределение силы света (0–180 º и 90–270 º)

Рис. 10. Небольшой офис студенческого союза Колледжа Католического университета

ка. Кроме того, активная мощность, рассеиваемая СДЛПЗ торговой марки *C*, уменьшилась на 19 %, что частично объясняет спад её светового потока. Измеренные значения активной мощности остальных ламп, равно как и их прочих рассматривавшихся параметров ($T_ц$, ИЦП, K_M и *THD*), оставались почти неизменными (изменения составляли от –0,2 до +1 %).

4. Пример: модернизация светильника с люминесцентными лампами

На рис. 10 показан небольшой офис студенческого союза Колледжа Лёвенского католического университета. Эта комната имела размеры 4×6×2,7 (высота) м. Она освещалась тремя старыми светильниками для ламп *T8* с одной ЛЛ *T8–36 W/840* в каждом.

Замена обычной ЛЛ на СДЛПЗ хотя и с полусферическим, но совсем иным распределением яркости, приводит к изменению пространственного распределения силы света исходного светильника и, тем самым, к изменению освещённости на рабочей плоскости.

При помощи гониофотометра ближнего поля в контролируемых условиях (25 ºС, синусоидальное питающее напряжение) были измерены распределения силы света этого светильника с четырьмя различными лампами. Были рассмотрены следующие лампы:

– Новая ЛЛ *T8–36 W/840*, соответствующие кривые силы света показаны на рис. 11, *г*. Измеренное значение потребляемой светильником активной мощности было равно 51 Вт, так что старый, электромагнитный ПРА потребляет 15 Вт. Измеренное значение КПД светильника составляло 77 % ($T_ц$ = 4000 К).

– СДЛПЗ торговой марки *A* (с рассеивателем) (рис. 11, *а*). Потребляемая светильником активная мощность была равна 23,5 Вт, КПД оказался равным 85 % ($T_ц$ = 4186 К).

– СДЛПЗ торговой марки *I* (всего лишь с 32-мя, хотя и мощными, СД) (рис. 11, *б*). Потребляемая светильником активная мощность была равна 32 Вт, КПД оказался равным 86 % ($T_ц$ = 3365 К).

– СДЛПЗ торговой марки *K* (с 360-ю СД поверхностного монтажа) (рис. 11, *в*). Потребляемая светильником активная мощность была равна 19,7 Вт ($T_ц$ = 4733 К).

ЛЛ излучает свет во всех направлениях, тогда как СДЛПЗ представляет собой ламбертовский направленный источник света, излучающий свет в нижнюю полусферу (рис. 8). Следовательно, СДЛПЗ не могут использовать отражатель светильника таким же, как и ЛЛ, образом. Полусферическая направленность света СДЛПЗ приводит к уменьшению потерь све-

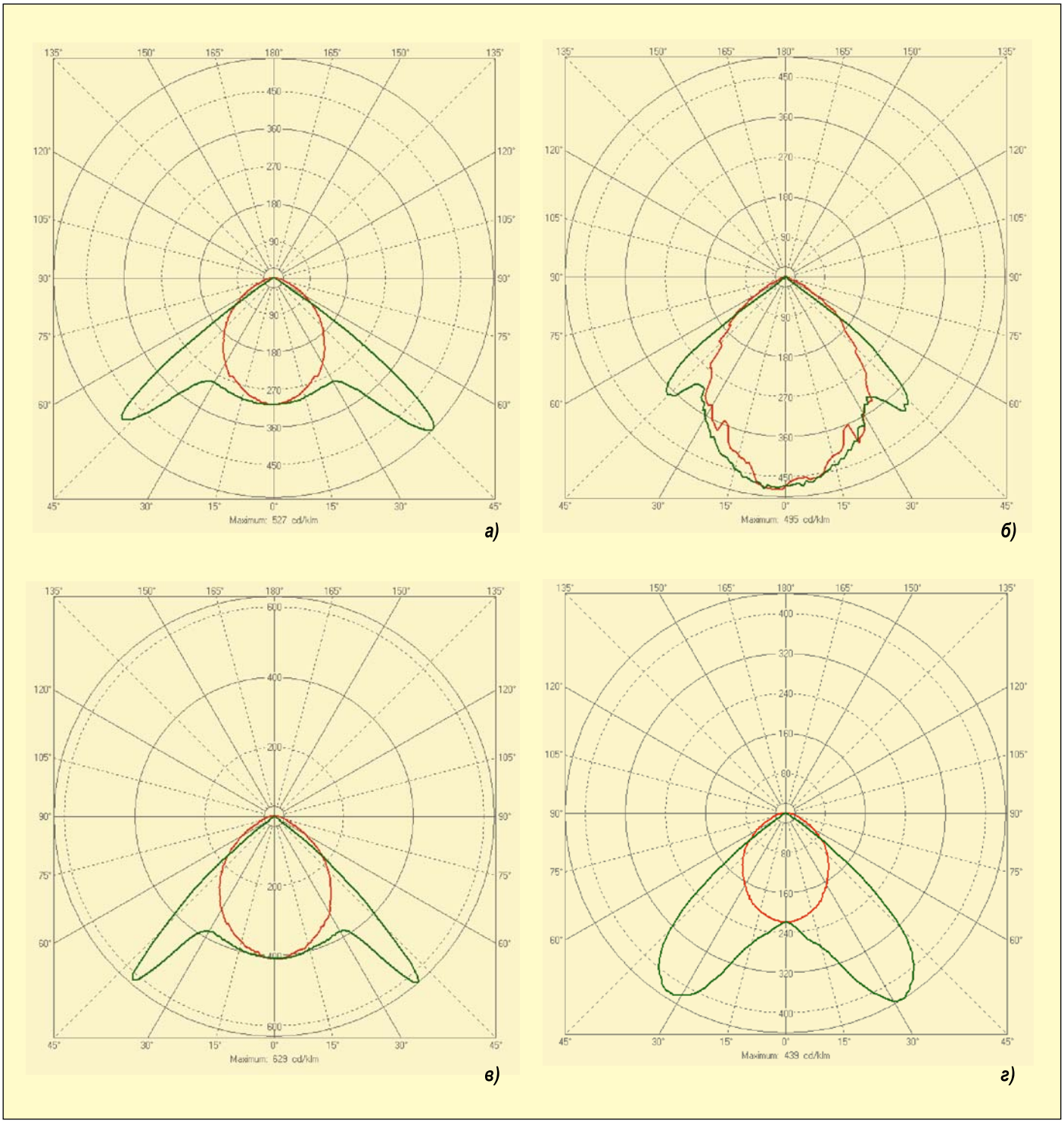

Рис. 11. Кривые силы света светильника с разными источниками света: а – СДЛП3 с рассеивателем; б – СДЛП3 с 32-мя мощными СД; в – СДЛП3 с 360-ю СД поверхностного монтажа; г – люминесцентная лампа Т8–36 W/840

та в светильнике. В результате после замены ламп КПД светильника возрастает (в нашем случае КПД увеличивается от 77 до примерно 85 %). С другой стороны, пространственное распределение силы света светильника может при этом значительно измениться (рис. 11).

Для каждой комбинации «светильник – лампа» были сформированы файлы «*Eulumdat* (*.ldt*)», которые были импортированы в программы расчёта освещения «*DIALux*»® для моделирования распределения освещённости в пределах рассматриваемой комнаты. Рассчитанные значения средней освещённости E_{avg} и коэффициента равномерности освещения g_1 (отношение минимальной освещённости к средней) горизонтальной рабочей плоскости (на высоте 0,8 м) приведены в табл. 3. Ширина прилегающей к стене зоны считалась равной 0,3 м.

Замена всех ЛЛ на СД-трубки ведёт к значительному, доходящему до 70 %, уменьшению энергопотребления (капитальные затраты и затраты на техобслуживание нами не рассматривались). Однако средняя осве-

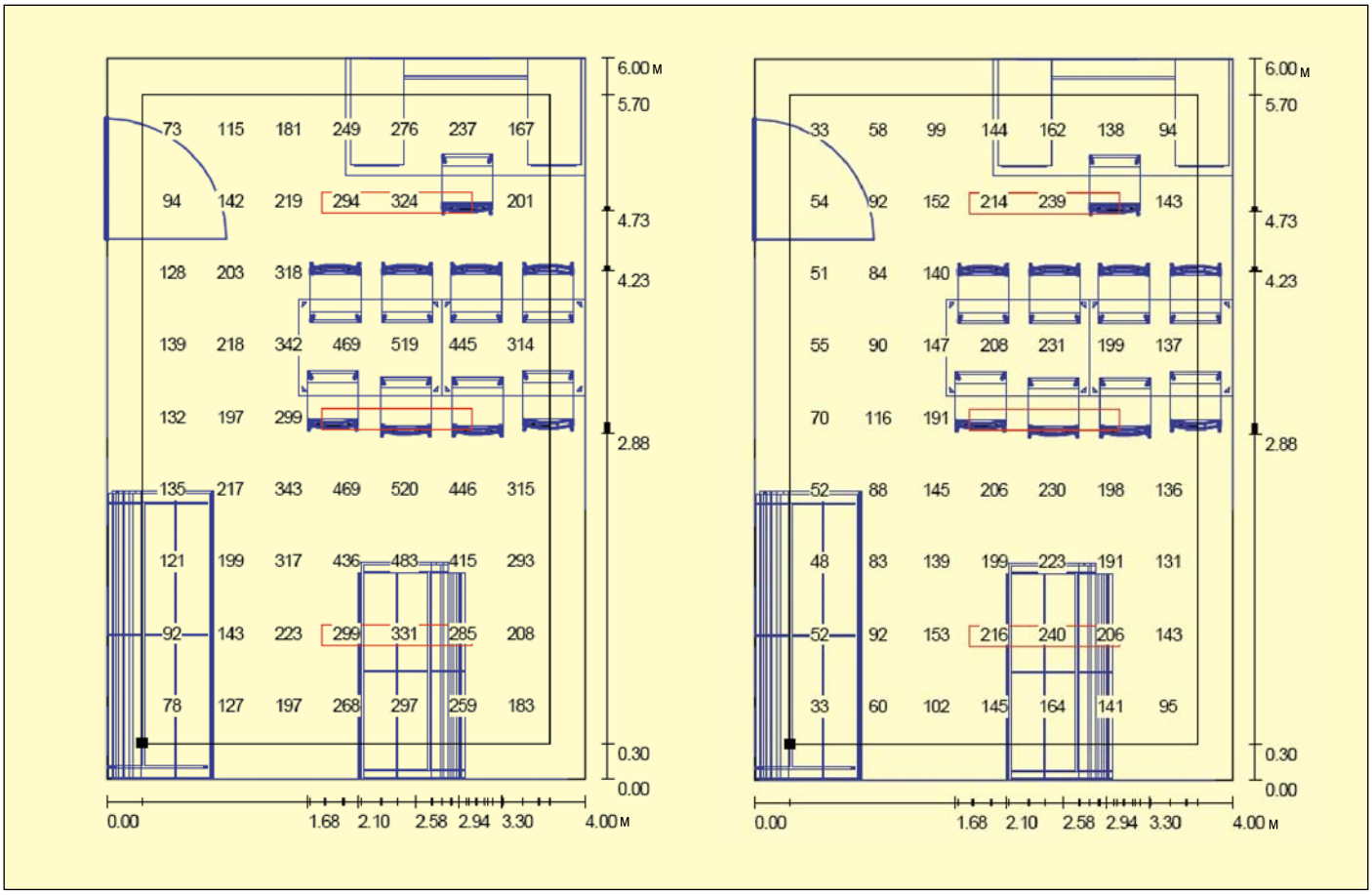

Рис. 12. Распределение освещённости на рабочей плоскости. Слева: светильник с лампой T8; справа: светильник с СДЛПЗ торговой марки I

щённость при этом уменьшится до примерно 50 % от своего приемлемого значения! Приведённые в табл. 3 значения освещённости соответствуют началу работы осветительной установки (коэффициент запаса равен 1) и со временем будут уменьшаться, особенно в случае СД сквозного монтажа. Значения равномерности в случаях ЛЛ и СДЛПЗ лежат в одном и том же интервале. Распределения освещённости рабочей плоскости до и после замены источников света приведены на рис. 12.

Первоначальная осветительная установка была спроектирована в соответствии с нормами [4]. Очевидно, что в большинстве случаев модифицированная осветительная установка не сможет обеспечить те же, что и первоначальная установка, уровни освещённости (рис. 12) и что при этом не будут удовлетворены нормативные требования по освещению рабочих мест.

Для зрительной оценки этого небольшого офиса (рис. 10) 44-х наблюдателей попросили заполнить вопросники. Наблюдатели, разделённые на группы по 4–6 человек в каждой, должны были оценить лампы всех четырёх типов. При замене ламп наблюдатели на несколько минут покидали комнату. Уменьшение освещённости было замечено почти всеми наблюдателями. Очевидно, что после замены ЛЛ на СДЛПЗ комната воспринимается как более тёмная. Адаптация не может скомпенсировать столь большие расхождения в значениях освещённости и яркости.

5. Дополнительные замечания

Коммерческие, экономические и юридические аспекты замены ламп рамках этой работы не рассматривались. Однако следует отметить, что при подобной замене могут возникать некоторые как связанные с безопасностью, так и иные проблемы [9]:

– Известно, что установка СД-модулей может вести к возникновению опасных ситуаций (опасность поражения электрическим током).

– Патроны ламп первоначального светильника могут быть перегружены под воздействием веса СДЛПЗ.

– Возможно, что модифицированные светильники не будут удовлетворять стандартам на безопасность светильников (*EN 60598–1*) и требованиям к нанесению европейского знака соответствия. Фактически осуществляющая модификацию организация должна брать на себя всю полноту ответственности за «новый» светильник (безопасность, электромагнитная совместимость, фотометрические характеристики и т. д.).

– Гарантийные обязательства производителей ламп будут недействительными, если адаптированный светильник не будет удовлетворять нормативным требованиям по безопасности и рабочим характеристикам ламп.

6. Заключение

Светильники с СД постепенно внедряются на рынок. Низкое энергопотребление, большой срок службы, возможность светорегулирования и разнообразие, компактность и пренебрежимо малое количество переносимого световыми лучами тепла делают освещение светодиодами привлекательной

альтернативой освещению с использованием традиционных источников света. С другой стороны, в настоящее время отсутствуют стандарты, позволяющие оценивать изделия с СД, многие изделии имеют плохое качество и/или сопровождаются дезориентирующей или недостоверной технической информацией. В данной работе были исследованы 12 СДЛПЗ, предназначенных для замены ЛЛ типа *T8*. Были проведены испытания как голых ламп, так и ламп, установленных в типичный светильник с параболическим отражателем. Испытанные СДЛПЗ имели низкие значения светового потока, что может вести к недопустимо низким уровням освещённости даже несмотря на то, что при замене лампы *T8* на её светодиодный аналог имеет место некоторое увеличение КПД светильника. Кроме того, многие СДЛПЗ имеют плохой индекс цветопередачи. Зрительные испытания подтвердили, что характеристики СДЛПЗ всё ещё не позволяют использовать их вместо ЛЛ, особенно в случае офисного освещения. Наиболее приемлемым способом увеличения энергоэффективности осветительной установки до сих пор является использование нового высокоэффективного светотехнического оборудования. В этом случае можно гарантировать высокое качество освещения при одновременном уменьшении эксплуатационных затрат. Там, где были установлены устаревшие ЛЛ с низкими индексами цветопередачи (50–60), замена этих ламп на новые ЛЛ также приведёт к улучшению качества освещения и уменьшению энергопотребления. Тем не менее, имеются области применения (особенно низкотемпературные), в которых СДЛПЗ могут оказаться наилучшим решением.

Авторы благодарят Институт по внедрению научно-технических инноваций во Фландрии (*IWT-Vlaanderen*) за финансовую поддержку.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1.Discomfort glare in interior lighting/ Commission Internationale de l'Eclairage (CIE) 117–1995.

2. *Eble-Hankins, M.L., Waters, C.E.* VCP and UGR Glare Evaluation Systems: A Look Back and A Way Forward// Leukos. – 2004. – 1 (2). – P. 7–38.

3. *Murdoch, J.B.* Illuminating Engineering, From Edison's Lamp to the LED. 2 nd ed. – 2003 – Visions Communications, ISBN: 1–885750–05–6.

4. EN 12464–1. Light and lighting – Lighting of work places – Part 1 : Indoor work places. – 2009.

5. Glare from small, large and complex sources/ CIE TC 3–01 Report, Vienna, 2002.

6. *Myer, M.A., Paget, M.L., Lingard, R.D*, Performance of T12 and T8 Fluorescent Lamps and Troffers and LED Linear Replacement Lamps// CALiPER Benckmark Report. – 2009. (US Department of Energy, http://www1.eere.energy.gov/buildings/ssl/benchmark.html).

7. *Smet, K., Ryckaert, W., Deconinck, G., Michael, P., Hanselaer, P.* Memory colours and colour quality evaluation of conventional and solid-state lamps// Optics Express. – 2010. -– 18 (25). – P. 26229–26244.

8. IEC 61000–3-2 Electromagnetic compatibility (EMC) – Part 3–2: Limits – Limits for harmonic current emissions (equipment input current ≤ 16 A per phase). – 2005.

9. T5 and T8 Fluorescent Lamp and LED Lamp/Module Adaptors «Retro-fit Conversion Units» for T8, T10 & T12 Luminaires // CELMA position pape. – 2010.

Миеке Ван Гилс (Mieke Van Gils), *инженер-строитель. Окончила в 2011 г. Лёвенский католический университет (UCL). Инженер компании AVG Consulting. Область деятельности: энергосбережение, методы конструирования и обеспечение безопасности на строительных площадках*

Гай Дюринк (Guy Durinck), *Ph.D (1999). Окончил Гентский университет, инженер-физик. Доцент UCL и Брюссельского университета. Область деятельности: проектирование оптических систем осветительных установок и моделирование на основе трассировки лучей*

Ян Оденат (Jan Audenaert), *инженер. Специалист в области информатики и коммуникаций. Докторант (Ph.D) в UCL. Область деятельности: трассировка лучей в случае не создающих изображения оптических систем*

Воутер Р. Рикаерт (Wouter R. Ryckaert), *Ph.D (2006). Окончил в 1998 г. UCL, инженер-электрик. Преподаватель UCL. Руководитель работ по внутреннему освещению и энергоэффективности в Лаборатории света и светотехники UCL*

Инге А.А. Роеландц (Inge A.A. Roelandts), *инженер. Окончила в 2011 г. UCL, инженер-строитель. Область деятельности: освещение, методы конструирования и измерения*

Стефаан Формент (Stefaan Forment), *Ph.D (2005). Окончил Гентский университет, инженер-физик. Технический консультант и сотрудник Лаборатории света и светотехники UCL. Область деятельности: спектральная радиометрия и гониофотометрия ближнего поля применительно к полупроводниковым источникам света*

Петер Ханселаер (Peter Hanselaer), *Ph.D (1986). Профессор и вице-президент отделения промтехники UCL. Основатель Лаборатории света и светотехники UCL. Область деятельности: спектральная радиометрия и фотометрия источников света и материалов, применение полупроводниковых источников света, проектирование оптических систем, энергоэффективное освещение и автономные фотоэлектрические системы*