

Перевод и комментарии: Владимир Рентюк

Аспекты влияния качества светодиодных ламп на здоровье: исследование для европейского рынка бытового освещения

Нехватка для потребителей доступной и достоверной информации о высококачественных лампах с низким энергопотреблением, предназначенных для замены традиционных ламп накаливания, вызывает у них значительное недовольство и раздражение. В рамках программы «Европа с рациональной энергетикой» Европейского Союза (Intelligent Energy Europe Program) профессор, доктор Жорж Зиссис (Georges Zissis) из Университета Тулузы III — Университета Поля Сабатье (Paul Sabatier — University Toulouse) и его команда исследовали 370 светодиодных ламп. В ходе этих исследований, направленных на определение взаимосвязи между их качеством и влиянием на здоровье потребителей, были измерены и оценены все основные параметры 95 различных типов ламп, взятых непосредственно с полок магазинов в 12 европейских странах.

В настоящее время использование твердотельного освещения (англ. Solid State Lighting, SSL), а именно светодиодного освещения, меняет не только всю систему организации освещения, но и практику его использования. В долгосрочной перспективе неорганические и органические светодиоды станут наиболее широко используемыми источниками света. На протяжении уже более пятнадцати лет белые светодиоды демонстрируют устойчивый рост светоотдачи, что обещает при замене ими ламп старых технологий освещения дать значительную экономию электроэнергии.

Правила Европейского Союза (ЕС) по экологическому проектированию (эко-дизайн) и маркировке для систем освещения обеспечивают необходимую базу для поддержки энергоэффективных решений в области освещения в бытовом секторе. Правила экологического дизайна (Eco-design regulation) определяют поэтапный отказ от неэффективных ламп накаливания, в то время как еще одно правило, касающееся маркировки (Labeling regulation), направлено на поддержание спроса именно на высокоэффективные источники света. Однако из-за нехватки полной и достаточной информации для потребителей высококачественных энергоэффективных продуктов — заменителей традиционных ламп накаливания среди потребителей наблюдается значительное раздражение и отрицательное отношение к заместительной технологии, а именно к компактным люминесцентным лампам



(англ. compact fluorescent lamp, CFL) и светодиодным источникам света (англ. light-emitting diodes, LED).

Такое негативное восприятие новых энергоэффективных технологий еще более усиливается тем фактом, что рынок ламп этих обеих технологий по-прежнему заполнен продуктами низкого качества, а также выпущено несколько публикаций, где сообщается о вредном влиянии данных продуктов на здоровье пользователя. Плавный переход от старой технологии неэффективного освещения на высокоэффективное требует дополнительных мер для поддержки этого начинания и широкого информирования о нем непосредственных потребителей. Создание в высокой степени энергоэффективных продуктов для освещения жилых помещений, сопровождающееся их всесторонним тестированием, способно кардинально изменить сложившуюся ситуацию. С этой целью было проведено именно такое тестирование светодиодных, в высокой степени энергоэффективных источников света, результаты которого будут представлены в первой части предлагаемой статьи. Ее вторая часть будет посвящена некоторым проблемам, связанным с влиянием светодиодного освещения на здоровье, а именно той опасности, которую несут в себе синий свет и пульсация света ламп.

Оценка качества светодиодных ламп разных производителей

Чтобы поддерживать продвижение высококачественных светодиодных светильников для освещения жилых помещений, в двенадцати странах ЕС под эгидой ИЕЕ (Institution of Electrical Engineers — Институт инженеров-электриков, Великобритания) был реализован Европейский проект PremiumLight, широко охватывающий рынок продуктов светодиодного освещения. Помимо всего прочего, он подразумевал отбор высококачественных светодиодных ламп с каждого рынка стран-участниц и их систематическое тестирование в специализированных лабораториях. Географический регион действия проекта охватывал 12 стран, представленных следующими лабораториями светотехники и организациями: Austrian Energy Agency (Австрия), Berlin Energy Agency (Германия), SEVEN (Чехия), Politecnico Milano (Италия), Energy Saving Trust (Великобритания), Energy Piano (Дания), Motiva (Финляндия), University Toulouse

III (Франция), EKODOMA (Латвия), ISR-University Coimbra (Португалия), Ecoserveis (Испания), TEM (Швеция).

Однако в своей основе проект PremiumLight был сосредоточен на оценке характеристик ламп двух классов, а именно светодиодных ламп всенаправленного и направленного (прожектора или, как их еще называют, споты) освещения. Результаты тестирования обеспечивают конкретную, необходимую для потребителей информацию о продукции должного качества, которая полностью удовлетворяет запросам потребителей с точки зрения качества и энергоэффективности таких источников света, освещает экологические аспекты и т. п. Результаты тестирования были включены во все мероприятия по распространению информации организациями, входящими в консорциум, а также через ключевых участников проекта.

Проект PremiumLight был сосредоточен на высококачественных осветительных приборах, которые во время проведения исследования были широко представлены и доступны на рынках ЕС, где они непосредственно и были приобретены. В рамках проекта были разработаны критерии определения такого понятия, как «эффективная, высококачественная лампа», которые включали бы основные характеристики данного продукта и были бы понятны и осязаемы потребителем. Некоторые из таких критериев были определены ранее, например в Quality Charter for Solid-State Lighting (Руководство по определению качества для систем твердотельного освещения) [1] или в схемах уровней качества, предложенных в рамках специальной программы IEA 4E SSL Annex Международного энергетического агентства (International Energy Agency) [2]. Кроме того, в соответствии с правилами эко-дизайна 244/2009 и 1194/2012 [3, 4] также недавно был принят ряд аналогичных стандартов, определяющих минимальные требования, которым должны отвечать любые лампы, представленные сейчас в продаже на рынке Европейского Союза.

Чтобы установить критерии в рамках проекта PremiumLight, были рассмотрены следующие характеристики источников светодиодного освещения.

Эффективность лампы

Такой параметр, как эффективность, или светоотдача лампы, показывает, сколько света производит лампа на ватт потребляе-

мой ею электроэнергии. Он выражается в люменах на ватт (лм/Вт). В начале пути развития светодиодной технологии эффективность часто измерялась в лабораторных условиях для непрогретых ламп. Тем не менее эффективность лампы при температуре 25 °С значительно выше, чем лампы при ее типичных установившихся рабочих температурах. В рамках выполнения проекта PremiumLight для оценки эффективности светодиодов были установлены следующие критерии: класс эффективности А+ в соответствии с Директивой 92/75/ЕС. Методика его расчета была основана на значении индекса энергоэффективности (Energy Efficiency Index, EEI). Если в настоящее время наиболее эффективные светодиодные лампы могут иметь значение эффективности более 100 лм/Вт в реальных условиях эксплуатации, то не представляется возможным принять одно общее значение, с точки зрения соответствующей светоотдачи в люменах на ватт, поскольку значение индекса энергоэффективности различается для продуктов различных классов.

Средний срок службы и временная стабильность мощности светового потока

Для светодиодов, предназначенных для бытового освещения, производитель указывает срок службы, колеблющийся в пределах 10 000–50 000 ч. Чтобы проверить лампы с целью определения, являются ли такие заявленные сроки службы точными, потребуется год и даже более. Однако этот вид испытания не будет показателем для потребителя в текущий момент времени, так как модели лампы, как правило, заменяются каждые несколько лет. Тем не менее полезный срок службы светодиодов не только с определенной вероятностью определяется общим временем функционирования лампы до ее отказа, но еще и указывает на уменьшение ее светового потока с течением времени. Так что, в общем виде, срок службы лампы определяет продолжительность времени, за который мощность светового потока, генерируемого лампой, снижается до 70% от уровня, заявленного при ее приобретении. Таким образом, лампа, полезный срок службы светодиодов которой указывается как L70B50, дает соответственно количество часов, за которое по крайней мере 50% ламп достигнут снижения мощности светового потока до 70% от

начальной. Испытания должны следовать процедуре стандарта IEC/PAS 62612 Ed.1 [5], включая термоциклирование и испытание на включение-выключение лампы с числом циклов, равным половине или всему номинальному числу таких циклов в течение срока службы светильника.

Критерий качества, заложенный в проект PremiumLight, предполагает, что срок службы лампы, выполненной на светодиодах премиум-класса, должен быть не менее 20 тыс. ч. Более короткий срок службы, например равный 15 тыс. ч, может быть приемлемым для светодиодов лишь в том случае, если они продаются по сравнительно низким ценам. Недостатком такого срока службы является тот факт, что низкий (15 тыс. ч) срок жизни, определяемый по критерию L70B50, может включать в себя и те изделия, 25% из которых выходят из строя уже после 5 тыс. ч наработки, и это, естественно, неприемлемо для высококачественной продукции.

Цветопередача

Индекс цветопередачи (Color Rendering Index, CRI) указывает на то, насколько хорошо человеческий глаз способен определять конкретные цвета при освещении предмета (в терминологии стандартов — тела) определенной лампой. Значение CRI, равное 100, достигается применением стандартизированного дневного света или с помощью стандартных ламп, в качестве которых используются лампы накаливания. Другие источники света, как правило, имеют более низкие значения индекса цветопередачи. Правила эко-дизайна требуют минимального значения CRI, равного 80. Программа по светодиодным источникам света Энергетической комиссии EST (Великобритания) требовала достижения значения CRI не менее 85 в 2011 г. и CRI не менее 90 в 2012 г. Сейчас уже существуют светодиодные лампы с CRI в диапазоне 90–95. В рамках проекта PremiumLight при выборе критерия оценки было взято минимально допустимое значение CRI, равное 80.

Коррелированная цветовая температура

Цветовая температура лампы указывает на характеристику белого света, который может варьироваться от желтоватого «теплого белого» до голубоватого «холодного белого». Со ссылкой на IEC/PAS 62612 Ed.1 [5] Руководство по определению качества

для систем твердотельного освещения [1] требует, чтобы значения коррелированной цветовой температуры (Correlated Color Temperature, CCT) ламп для домашнего освещения находились в пределах между F2700 (CCT = 2720 K, $x = 0,463$ и $y = 0,420$), F3000 (CCT = 2940 K, $x = 0,440$, $y = 0,403$) или F3500 (CCT = 3450 K, $x = 0,409$, $y = 0,394$). Тем не менее цветовая температура сама по себе не является критерием качества, поскольку это также определяется тем цветовым окружением, которое будет создавать лампа и которое уже напрямую влияет на удовлетворенность потребителей. Выбор конкретной цветовой температуры зависит в первую очередь от личных предпочтений потребителей. Для домашнего освещения в северных европейских странах предпочтительным является теплый белый свет с CCT в диапазоне 2700–3000 K. Однако имеются данные, что, в частности, в странах Южной Европы потребители отдают предпочтение источникам света с более нейтральным, холодным белым светом с CCT 5000 K и выше. Так что здесь критерием оценки качества в большей мере является равномерность цветовой температуры для конкретной модели лампы, т. е. отклонение ее цветовой температуры от заявленных значений должно быть небольшим. Это важно, для того чтобы избежать видимых изменений цвета при освещении поверхностей многоточечными направленными

светодиодными светильниками, лампами или даже общими системами освещения.

Дополнительные критерии для оценки

Еще одним критерием, который использовался в исследовании при выполнении проекта PremiumLight, была регулировка яркости светодиодов. Само по себе наличие регулировки яркости не является критерием качества, так как на рынке имеются как регулируемые, так и не регулируемые по яркости модели ламп. Сама регулировка, или, как ее называют, диммирование яркости, зависит от типа используемого диммера. Дополнительные критерии, которые частично были протестированы в проекте PremiumLight, — это уровень пульсации (фликкера) и коэффициент мощности. Лампы по этим параметрам не так легко проверить потребителям, а соответствующая информация обычно не предоставляется на упаковке лампы. Тем не менее светодиодные лампы могут значительно различаться по этим двум критериям, т. е. одни модели ламп показывают сильную пульсацию или низкий коэффициент мощности, а другие — достаточно высокие характеристики по этим параметрам.

Все критерии, использованные при анонимном выборе ламп в ходе исследования и тестирования по проекту PremiumLight, приведены в таблице 1.

Таблица 1. Критерии, использованные в ходе выполнения проекта PremiumLight

| Параметр | Светодиодная лампа | Светодиодный прожектор (спот) | Комментарии |
|---|--------------------|-------------------------------|---|
| Минимальная световая эффективность, лм/Вт | 60 | 50 | Эти значения, выбранные в соответствии с результатами предыдущих обследований рынков Европы и США (2011, 2012), соответствуют 10% лучших продуктов |
| Минимальная мощность, Вт | 8 | 4 | При подборе светодиодных ламп для замены ламп накаливания общего назначения и галогенных ламп основным показателем является значение светового потока (не менее 470 лм). Для светодиодных направленных ламп световой поток не является отличительным критерием, здесь во внимание должна быть принята апертура раскрытия светового потока. Угол раскрытия светового потока задавал производитель, и его не проверяли в наших лабораториях |
| Минимальный световой поток, лм | 470 | | |
| Минимальный угол излучения, град. | | 20 | |
| Минимальный класс энергоэффективности | | A+ | Расчет выполнен на основе данных по индексу энергоэффективности с использованием экспериментально полученных результатов в отношении уровня светового потока к измеренному значению потребляемой мощности |
| Минимальный индекс цветопередачи, CRI | | 80 | Фактическое определение показателя CRI не в полной мере применимо к светодиодам |
| Диапазон цветовой температур, К | | 2500–4000 | Подходит для замены внутренних источников обычного освещения (теплый белый) с цветовой температурой CCT не более 3000 K, однако для южных стран CCT до 4000 K также является приемлемым |
| Минимальный срок службы при L70B50, ч | | 20 тыс. | Используется так, как указано производителем, и на этой стадии проект в наших лабораториях не проверяли. Испытания на деградацию (старение) продолжаются |
| Минимальное число циклов включения/выключения | 50 тыс. | | |

Итак, в ходе проекта PremiumLight измеряли следующие параметры, которые затем сравнивали с данными, заявленными производителями:

- среднеквадратичное напряжение (В) и ток (А);
- потребляемая мощность (Вт);
- коэффициент мощности PF и $\cos \varphi$;
- суммарный световой поток (лм);
- световая эффективность (лм/Вт);
- коррелированная цветовая температура — CCT (К);
- индекс цветопередачи CRI;
- цветовая неравномерность $\Delta u'v'$;
- пульсация (%).

Такие характеристики, как коэффициент мощности, цветовая неравномерность и процент пульсации света, были включены в качестве дополнительных для всех исследованных продуктов, поскольку для Европы их определение имеет крайне важное значение, а производители, как правило, эти характеристики не афишируют.

Все лаборатории, участвующие в проекте, использовали методику тестирования IEC 4E SSL Annex Test Method version 1.0 [6]. Этот метод испытаний включает в себя самые строгие требования для большинства методов испытаний твердотельных источников света, налагаемые различными национальными и региональными стандартами в области метрологии. Метод испытаний Annex Test Method включает в себя все требования, содержащиеся в требованиях по испытаниям твердотельных источников света, уже использующихся в США, Японии, Китае, а также в проекте стандарта по испытанию таких источников, который разрабатывают Международная комиссия по освещению (CIE — International Commission on Illumination) и Европейский комитет по стандартизации (CEN — Comité Européen de Normalisation). Термины, используемые в настоящей статье, соответствуют определениям, данным в стандартах CIE S017 [7], МЭК 62504 [8], МЭК 60050 [9] и LM-79:08 [10]. Тестирование продуктов на соответствие было проведено в трех независимых лабораториях, которые имеют все необходимое сертифицированное оборудование для этих видов измерений и испытаний: в лаборатории LAPLACE Тулузского университета (Toulouse University — LAPLACE laboratory, Франция), лаборатории шведского научно-исследовательского технического института (Swedish Technical Research Institute, Швеция) и в венской городской

лаборатории (Laboratory of City of Vienna, Австрия). Предварительно все три лаборатории сравнили полученные результаты измерений с заданными техническими характеристиками на трех ранее отобранных тестовых лампах.

Эти лампы были поочередно исследованы и измерены по программе испытаний, разработанной в соответствии с задачами данного проекта. Каждая из лабораторий измеряла световой поток, цветовую температуру и индекс цветопередачи для всех трех тестовых ламп. Результаты, полученные в этих лабораториях, были собраны и проанализированы. Было установлено следующее:

- значения для светового потока в люменах имели максимальное отклонение в $\pm 6,0\%$;
- значения для коррелированной цветовой температуры в градусах Кельвина имели отклонения максимум $\pm 4,0\%$;
- значения индекса цветопередачи имели отклонения максимум $\pm 1,5\%$.

Ниже кратко изложены наиболее важные особенности программы испытаний и ключевые определения.

Условия окружающей среды

Температура окружающей среды во время измерения продукта поддерживалась равной $(25 \pm 1)^\circ\text{C}$. Датчик температуры должен был быть расположен на расстоянии 1 м от нее и на той же высоте, что и испытываемая лампа. Скорость потока воздуха вокруг испытываемой лампы должна поддерживаться на уровне более 0,2 м/с, чтобы он не влиял на нормальную конвекцию воздуха, создаваемую проверяемым устройством.

Рабочее положение и стабилизация параметров

Рабочее положение ламп должно быть выбрано в соответствии с нормальными условиями использования конкретного продукта. До проведения измерений тестируемый продукт должен пройти приработку в номинальном состоянии, чтобы обеспечить стабилизацию его потребляемой электрической мощности и общего светового потока, а флуктуации этих параметров находились бы на уровне не более чем 0,5% в течение 30 мин по отношению к 1 мин их мониторинга. При необходимости могло быть принято и более длительное время стабилизации. Его можно было устанавливать в том случае, если лампа не стабилизировалась в течение

30 мин. Тогда измерения проводили после 2 ч ее непрерывной работы.

Условия для измерения электрических параметров

Испытания ламп проводили при номинальных напряжении питания (230 В переменного тока) и частоте (50 Гц). Отклонение значения напряжения от номинального не превышало $\pm 0,2\%$, а отклонение по частоте — $\pm 0,2\%$. Блоки питания переменного тока, используемые для этого испытания, генерировали напряжение синусоидальной формы при заданной частоте с общим уровнем гармонических искажений не более 3% на резистивной (активной) нагрузке. Если лампа имела функцию димминга, то измерения проводили при ее максимальной яркости. Эти значения среднеквадратичного напряжения (В), тока (А), мощность (Вт) и коэффициент мощности также использовали в ходе фотометрических измерений. Измерители мощности переменного тока, применяемые при проведении данных испытаний, имели частоту дискретизации, соответствовавшую волновой функции тока испытываемого продукта. При этом учитывалось, что стандарт IEC 61000-3-2 [11] требует, чтобы электрические характеристики осветительных приборов были проверены в диапазоне частот от базовой частоты (50 Гц) и до гармоники 40-го порядка (2 кГц). А стандарт EN/IEC 61000-4-7 [12] указывает на то, что оборудование для измерения мощности должно быть способно проанализировать составляющие спектра частотой до 9 кГц.

Условия проведения фотокolorиметрических измерений

Для измерения общего светового потока, CCT, цветовой неравномерности ($\Delta u'v'$) и CRI в каждой испытательной лаборатории использовали сферический спектрорадиометр. Эти устройства были откалиброваны по общей спектральной плотности лучистого потока соответствующими национальными институтами метрологии. Спектрорадиометр охватывает диапазон длин волн не менее чем 380–780 нм, а ширина полосы пропускания (полная ширина полувысоты) с шагом сканирования составляет не более 5 нм. При этом шкала длины волны имеет погрешность не более 0,3 нм. При тестировании продуктов измеряли такие цветовые величины, как коррелированная

цветовая температура (CCT) и общий индекс цветопередачи (CRI).

Определение реального светового потока

Эта величина используется только для направленных ламп, за исключением filamentных (филаментные лампы — это светодиодные лампы с имитацией нити накаливания), и она определяется в соответствии с европейскими требованиями No 1194/2012 [13]. Проверку проводили следующим образом: направленные лампы с углом луча $\geq 90^\circ$, имеющие соответствующие указания на своей упаковке, проверяли в соответствии с пунктом 3.1.2(j) вышеуказанного требования ЕС по номинальному световому потоку в конусе 120° . Другие направленные лампы проверяли по номинальному световому потоку в конусе 90° .

Определение световой эффективности

При испытаниях эффективность светового потока, или светоотдачу η , каждого из продуктов определяли в люменах на ватт (лм/Вт) по формуле

$$\eta = \Phi / P,$$

где P — потребляемая лампой электрическая мощность; Φ — суммарный световой поток, измеренный по описанной выше методике.

Определение коэффициента мощности

Коэффициент мощности (PF) и $\cos \phi$ определяли по формулам

$$PF = P / V \times I \text{ и } \cos \phi = P / V_0 \times I_0,$$

где P , I и V — потребляемая мощность и среднеквадратичные значения тока и напряжения соответственно.

При этом I_0 и V_0 — напряжение и ток синусоидальной формы с частотой 50 Гц соответственно.

Результаты испытаний ламп по разработанной программе

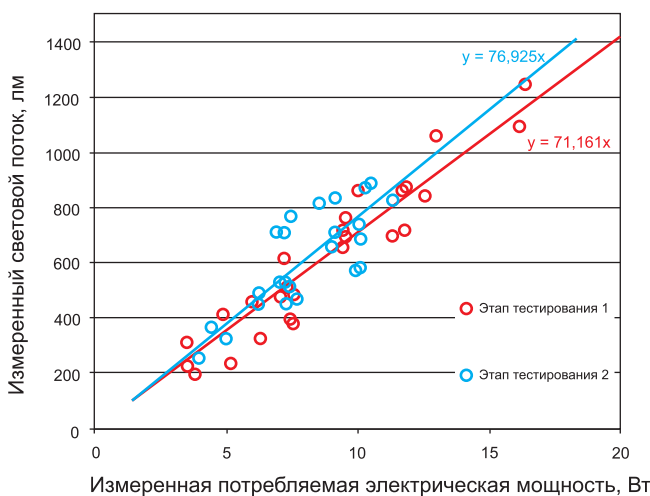
Комплексное тестирование высокоэффективных ламп было успешно завершено. В ходе выполненных работ по реализации проекта были проверены более 330 ламп 85 различных типов. Для каждой модели были протестированы от трех до пяти образцов ламп. А для каждой марки ламп размер выборки можно рассматривать как относительно небольшой, но для таких продуктов, как лампы, выпускаемые крупными партиями на промышленном автоматизированном оборудовании, такую выборку можно рассматривать в качестве репрезентативной. Увеличение размера выборки предполагает большие затраты времени на проведение испытаний и высокую стоимость самого тестирования. Наши результаты показали, что для всех ламп одной и той же марки стандартное

отклонение для каждого из исследуемых параметров оставалось на приемлемо низком уровне, не превышающем 5%. Были проверены следующие типы ламп:

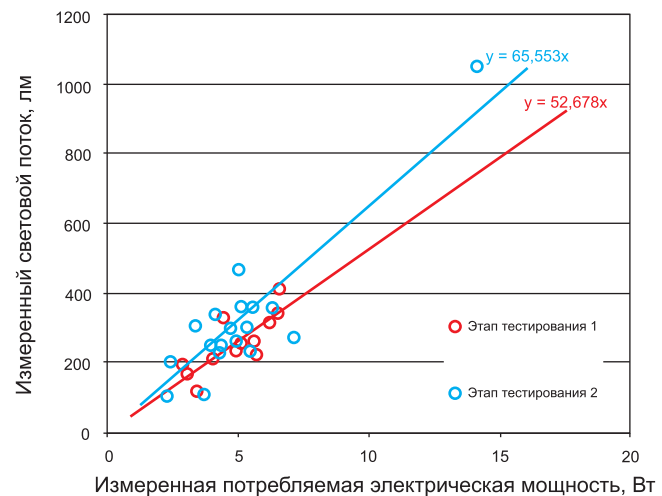
- 49 типов всенаправленных светодиодных ламп и ламп типа «свеча» (патроны E27, E14, B22d и B15d);
- 35 типов направленных светодиодных ламп (патроны E27, E14, GU10, GU5.3, GU5 и GU4) и одна модель потолочного светильника AR111.

На рис. 1 показан измеренный общий световой поток по сравнению с измеренной потребляемой мощностью для ненаправленных и направленных светодиодных ламп. Для направленных была определена максимальная светоотдача, составившая 94 лм/Вт, а ее минимальное значение было равно 30 лм/Вт. В случае всенаправленных ламп эти значения составили 104 и 47 лм/Вт соответственно. Также было отмечено, что некоторые всенаправленные светодиодные лампы имели световой поток, эквивалентный потоку от лампы накаливания общего назначения мощностью 75 Вт (1000 лм). Кроме того, потолочный светильник AR111 произвел световой поток значением более 1000 люменов.

При анализе приведенных выше результатов измерений была обнаружена одна общая тенденция — за время проведения исследований средняя эффективность светоотдачи светодиодных ламп повышалась от 71 до 77 лм/Вт. Таким образом, в течение года между двумя этапами тести-



а



б

Рис. 1. Измеренный световой поток по отношению к измеренной потребляемой электрической мощности: а) для светодиодных ненаправленных ламп; б) для светодиодных направленных ламп (каждая точка представляет собой среднее значение, полученное от трех до пяти измеренных ламп)

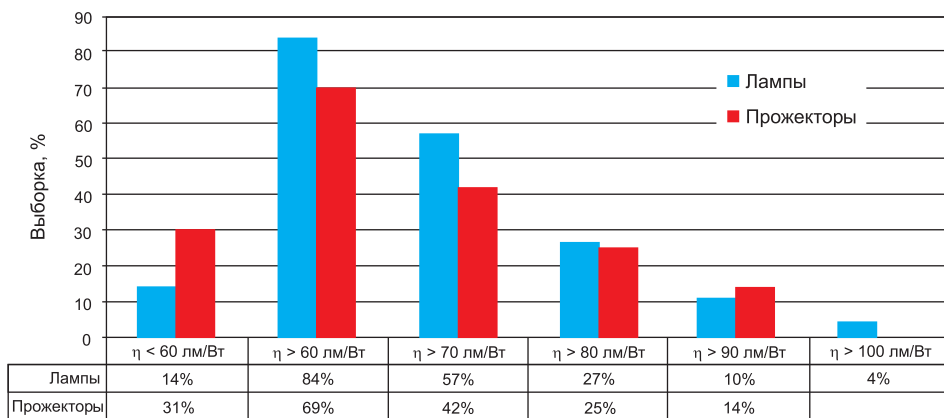


Рис. 2. Распределение измеренной светоотдачи для светодиодных ламп (показано синим цветом) и светодиодных прожекторов (отмечено красным цветом)

рования эффективность ненаправленных светодиодных ламп увеличилась на 8%. Для светодиодных источников направленного освещения средняя эффективность повы-

силась от 53 до 66 лм/Вт, что соответствует ее улучшению более чем на 30% за год.

На рис. 2 показано, что 15% образцов из всей партии отобранных светодиодных

ненаправленных ламп имеют эффективность ниже 60 лм/Вт, а среди ламп направленного освещения 31% образцов от всех партий имели эффективность менее 50 лм/Вт.

Как показано на рис. 3, данные по потребляемой мощности, приведенные изготовителями, в целом находятся в пределах $\pm 10\%$ общепринятого доверительного интервала. Тем не менее была выявлена одна модель всенаправленной светодиодной лампы, которая показала отклонение по потребляемой мощности в 21%. Что касается направленных светодиодных источников, то почти 33% из них находились за пределами этого интервала.

Значения в такой ситуации значительно отличаются от уровня значений общего светового потока. Лишь у 63% ненаправленных светодиодных ламп и только у 39% светодиодных направленных источников света измеренный уровень све-

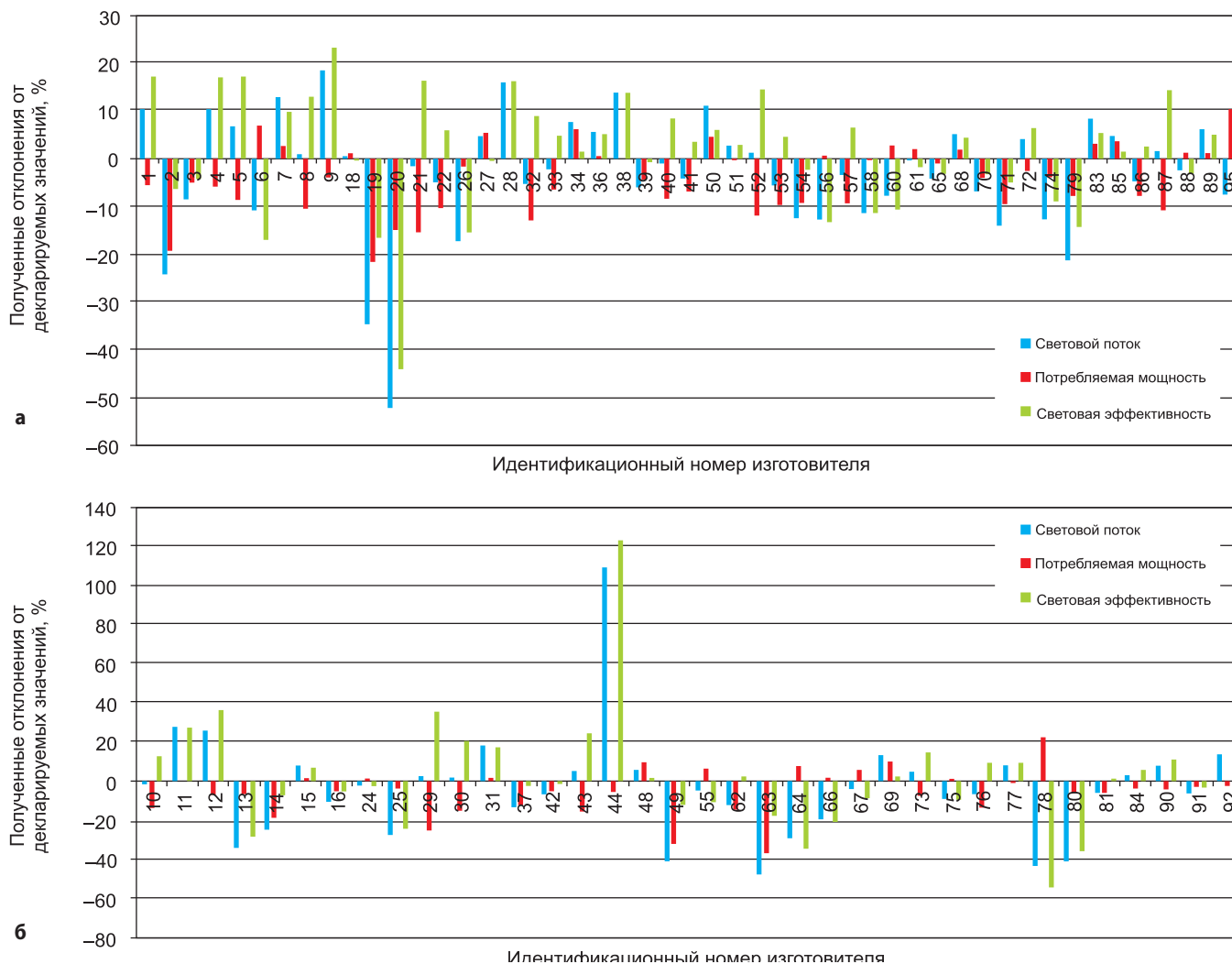


Рис. 3. Полученные отклонения между декларируемыми и фактически измеренными значениями потребляемой мощности, значения светового потока и световая эффективность: а) для светодиодных ламп; б) для направленных светодиодных источников

того потока оказался в пределах $\pm 10\%$ доверительного интервала от значений светового потока, заявленных производителем, которые обязательно должны быть указаны в соответствии с директивой ЕС 2009/125/ЕС [14]. Для одной модели светодиодного направленного светильника это отклонение доходит до 109%, что приводит к 123% отклонения по световой эффективности.

На рис. 4 приведено сравнение заданного Директивой ЕС 92/75/ЕС [15] значения индекса энергоэффективности для всенаправленных светодиодных ламп по отношению к проведенным измерениям. Были обнаружены значительные отклонения, но только шесть моделей были помечены неправильно (четыре модели были объявлены как класс А, но они, пожалуй, соответствуют классу А+, кроме того, две модели были объявлены как А+, но они все же соответствуют классу А). Большинство исследованных ламп соответствовали классу А+ (70,8% партии). Продуктов с низкой энергоэффективностью, относящихся к классу В, в выбранной для исследования партии не было обнаружено. Однако 29,2% моделей оказались соответствующими классу А и не отвечали требованиям к качеству по проекту PremiumLight.

Что же касается цветовых характеристик света, то все протестированные типы ламп,

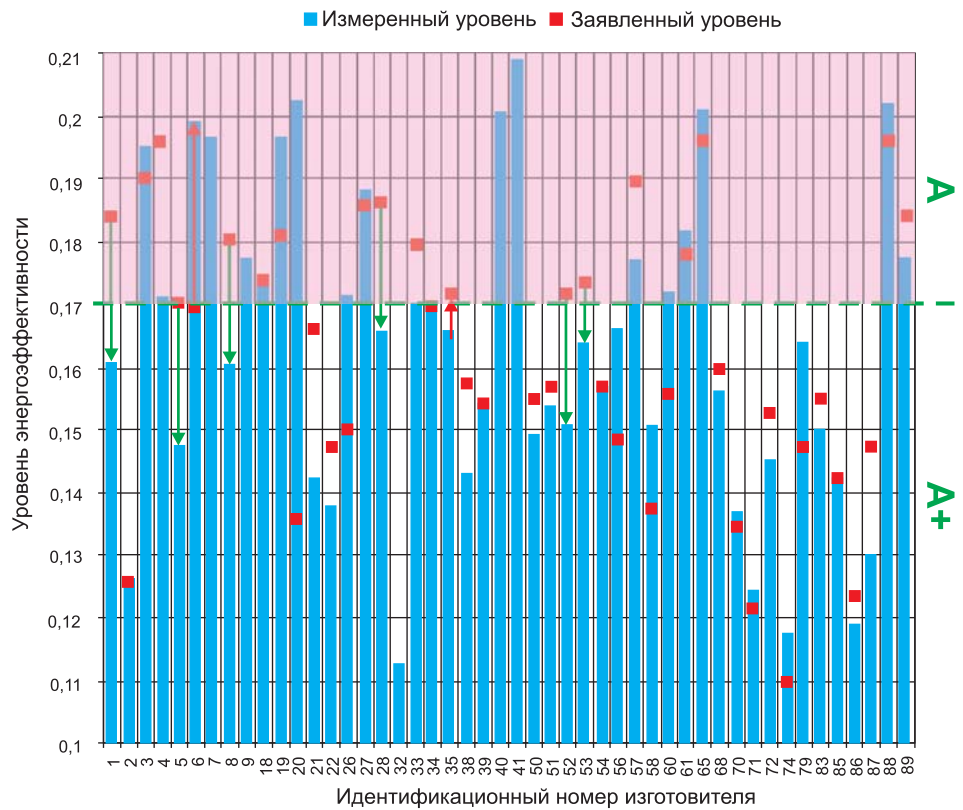


Рис. 4. Измеренные значение энергоэффективности и класс ламп (указаны синим цветом), а также параметры, заявленные изготовителем (красные точки)

кроме одной, относились к теплomu белому ($CCT < 3100$ K). При этом наблюдались лишь незначительные отклонения между заявленными и измеренными значениями. Цветовая температура варьировала только

лишь в пределах $\pm 5\%$ доверительного интервала.

На рис. 5 приведены результаты, относящиеся к измерениям цветовой температуры для светодиодных ламп

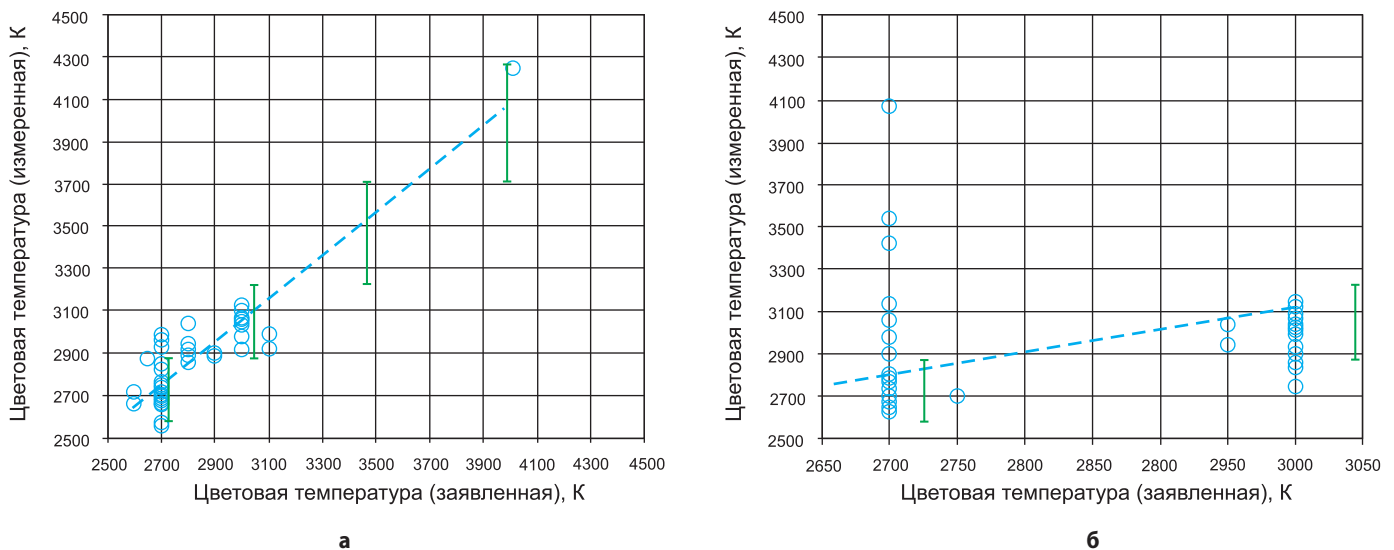


Рис. 5. Заявленные и фактические значения коррелированной цветовой температуры: а) для светодиодных ламп; б) светодиодных направленных источников освещения (зеленые полосы показывают превышение допустимых отклонений, заданных ANSI¹)

¹ Американский национальный институт стандартов — American national standards institute, объединение американских промышленных и деловых групп, разрабатывающее торговые и коммунационные стандарты.

и светодиодных направленных источников освещения. По результатам тестирования становится понятно, что если для светодиодных ламп заявленные значения в основном соответствуют фактическим, то для направленных светодиодных источников ситуация складывается значительно хуже.

Отклонения от декларированных изготовителем колориметрических характеристик (CCT и CRI) для направленных светодиодных источников света представлены на рис. 6. Если они превышают $\pm 5\%$, то являются приемлемыми. Очевидно, что выполнить требование по соответствию CRI при обнаружении максимума превышения в 25,4% для производителей гораздо сложнее, чем соответствовать требованиям в отношении коррелированной цветовой температуры CCT, по которой отклонения от деклараций изготовителей оказались не настолько большими — максимальное замеченное составило 10,5%.

Что касается индекса цветопередачи, то испытания показали, что у большинства ламп измеренное значение CRI составляет около 80, т. е. превышает установленный минимальный уровень, который требуется правилами эко-дизайна. Таким образом, индекс цветопередачи большинства протестированных светодиодных источников остается на стандартном, не слишком высоком уровне. Тем не менее в исследуемых образцах были обнаружены модели ламп

с CRI около или даже выше 90, что можно считать хорошим знаком.

Проблемы со здоровьем, которые могут быть вызваны системами светодиодного освещения

Как и для любых новых или перспективных технологий, для светодиодных осветительных приборов должно быть доказано, что они, по крайней мере, настолько же безопасны, насколько и продукты, которые они должны заменить. В новых приложениях для целей освещения, где не могут быть использованы старые технологии, безопасность светодиодной продукции следует оценивать с учетом новых или нетрадиционных условий использования.

Потенциальные риски, связанные с влиянием светодиодного освещения на здоровье человека, можно классифицировать по следующим категориям:

- электробезопасность;
- потенциальные риски, связанные с воздействием электромагнитных полей;
- потенциальные риски, связанные с оптическим излучением: взаимодействие оптического излучения с кожей и глазами (светобиологическая безопасность), нежелательные эффекты, вызванные воздействием оптического излучения на зрение (блики и, в частности, пульсации), а также на суточный биоритм (циркадные ритмы).

Первые два пункта обусловлены характеристиками белых светодиодов, как, впрочем, и других искусственных источников света. Поэтому рассмотрим потенциальную опасность, которую могут вызвать синий свет и пульсации.

Опасность синего света

Вопросы светобиологической опасности связаны с теми эффектами, которые оптическое излучение оказывает на глаза человека. Светодиоды, используемые в настоящее время, имеют одно важное преимущество перед другими источниками света — они испускают незначительное количество ультрафиолетового и инфракрасного излучения. Следовательно, стоит рассмотреть только эффекты видимого спектра излучения. Здесь одна из проблем — вредное воздействие синего света, который негативно влияет на сетчатку глаза из-за усиления клеточного окислительного стресса. Вследствие высокой яркости светодиодов уровни освещенности для сетчатки глаза будут потенциально высокими, поэтому их использование должно быть тщательно взвешено.

Также предполагается, что синий свет является одним из факторов риска, приводящих к развитию возрастной макулярной дегенерации — макулодистрофии. (Примечание переводчика: макулодистрофия — болезнь, поражающая центральную, самую важную область сетчатки — макулу, играющую ключевую роль в обеспечении зрения.) Поэтому



Рис. 6. Полученные различия между декларируемыми и фактически измеренными значениями коррелированной цветовой температуры (CCT) и индекса цветопередачи (CRI) для направленных светодиодных ламп

для всех светодиодов и продуктов с использованием светодиодов следует производить оценку светобиологического риска при применении синего света. (Примечание переводчика: согласно действующему в РФ ГОСТ Р МЭК 62471-2013, «опасность синего света» (англ. blue light hazard, BLH) — это «возможная опасность для сетчатки, вызванная фотохимией вследствие облучения лучистой энергией в диапазоне длин волн 400–500 нм».) Ее необходимо проводить с целью определения, имеют ли место или нет предельно допустимые уровни синего и могут ли они быть превышены в условиях использования источника света. При оценке рисков стандарт IEC 62471 [16] устанавливает два различных критерия для определения расстояния до источника света. Согласно этому стандарту, источники света, используемые для общего освещения, следует оценивать на расстоянии, соответствующем освещенности 500 лк. Другие типы источников света следует оценивать на фиксированном расстоянии 200 мм. В этой статье, поскольку такой подход бывает иной раз неоднозначным и не всегда реальным в конкретных реальных условиях эксплуатации, была проведена дискуссия относительно оптимальности выбора расстояния для оценки по стандарту МЭК 62471.

Согласно стандарту IEC 62471, лампы и системы лампы подразделяются на группы риска с учетом различных светобиологических опасностей. Группа риска зависит от максимально допустимого времени освещения или экспозиции (предельно допустимого времени воздействия), которое оценивается на заданном расстоянии облучения (в соответствии со стандартом, это будет расстояние от лампы или ламповой системы до ближайшей точки тела человека). Группы риска согласно IEC 62471:

- группа без риска 0 (RG0: нет риска): предельный уровень облучения не превышен в течение 10^4 с;
- группа риска 1 (RG1: низкий риск): предельный уровень облучения не превышен в течение 10^2 с;
- группа риска 2 (RG2: умеренный риск): предельный уровень облучения не превышен в течение $2,5 \times 10^{-1}$ с (глаза моргают, возникновение отвращения);
- группа риска 3 (RG3: высокая степень риска): предельный уровень облучения

превышен даже для кратковременного или однократного воздействия (за время менее $2,5 \times 10^{-1}$ с).

В течение нескольких последних лет данные по уровням облучения голубого света предоставили как непосредственно сами производители светодиодов, так и профессиональные ассоциации, работающие в области освещения, независимые лаборатории и правительственные учреждения. Было установлено, что после продолжительности воздействия от нескольких секунд для мощных синих светодиодов до нескольких десятков секунд для мощных холодных белых светодиодов, ретинальные уровни (согласно ГОСТ Р МЭК 62471-2013, ретинальные уровни — это уровни повреждения сетчатки синим светом) воздействия синего света, производимого на расстоянии 200 мм от пользователя синими и холодными белыми светодиодами (как самими светодиодами, так и светодиодами, оснащенными фокусирующей линзой), превышают предельно допустимые уровни излучения, установленные Международной комиссией по защите от неионизирующих излучений (ICNIRP — International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection).

На рис. 7 показано взвешенное излучение синего света L_B (энергетическая яркость),

как это определено Международной комиссией по защите от неионизирующих излучений [17], и данные по шести синим светодиодам, выбранным рабочей группой Французского агентства по санитарной безопасности ANSES [18] и опубликованным в работе [19]. В этом примере светодиоды были включены таким образом, что испускали поток излучения в 0,5 Вт. Это составляет примерно половину от номинального максимального значения их мощности.

Для этого исследования были использованы различные типы одиночных светодиодов в условиях излучения постоянного светового потока. Когда холодные белые светодиоды включались так, чтобы обеспечить световой поток в 100 лм, при этом уровне светового потока предел облучения ни разу не был достигнут, а группа риска всегда соответствовала нулевой (группе без риска). При увеличении светового потока до 200 лм все холодные белые светодиоды попали в группу риска 2 (группа с умеренным риском) с предельно допустимым временем облучения, находящимся между 40 и 100 с. Точно так же нейтрально белые светодиоды при излучении светового потока в 100 лм все попали в нулевую группу риска. При излучении в 200 лм был достигнут предел экспозиции, а значение при

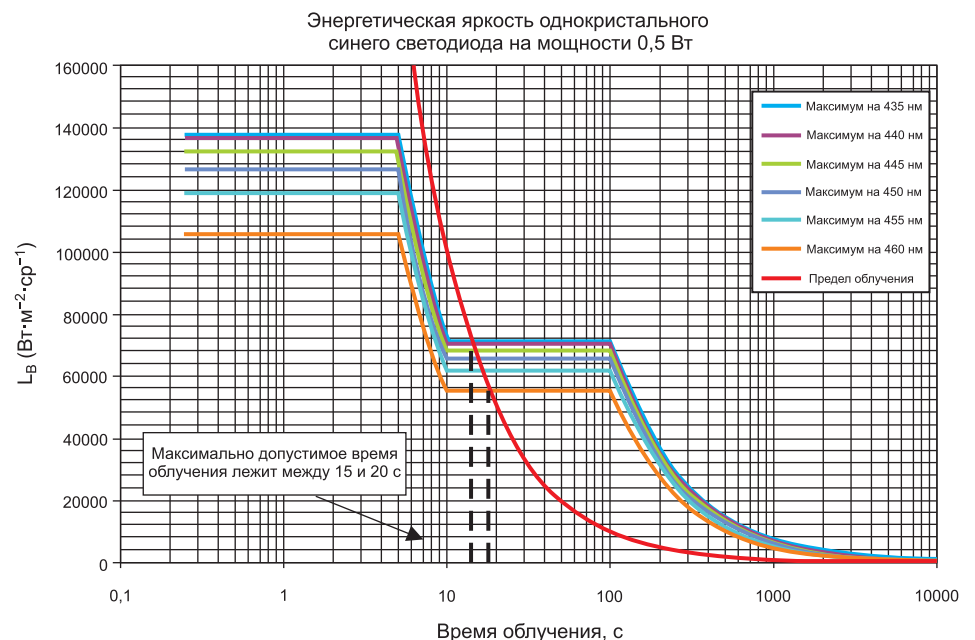


Рис. 7. Зависимость уровня взвешенной энергетической яркости L_B от времени облучения, определенная для шести типов синих светодиодов (в зависимости от положения пика длины волны синего). Красная кривая является предельным значением времени облучения. Точка пересечения соответствует максимально допустимому времени облучения. Этот график может быть использован для определения группы риска

Таблица 2. Группы риска и максимальное время облучения для различных светодиодных ламп, как измерено по методике CSTB в рамках рабочей группы ANSES

| Тип светодиода | Световой поток, лм | Группа риска | Максимальное время облучения, с |
|-------------------|--------------------|--------------|---------------------------------|
| Холодный белый | 100 | RG0 | Без риска |
| | 200 | RG2 | Средний уровень риска |
| Нейтральный белый | 100 | RG0 | Без риска |
| | 200 | RG1 | Низкий уровень риска |
| Теплый белый | 100 | RG0 | Без риска |
| | 200 | RG0 | Без риска |
| | 500 | RG1 | Низкий уровень |

времени облучения составило около 100 с, в результате чего исследуемые продукты попали в 1-ю группу риска (группа низкого риска). Теплые белые светодиоды ни разу не превысили предельно допустимую величину облучения и всегда оставались в нулевой группе риска (группе без риска), причем даже тогда, когда они работали при световом потоке 200 лм. На самом

же деле, чтобы попасть в группу риска 1 (низкий уровень риска), теплые белые светодиоды должны обеспечить уровень светового потока по меньшей мере в 500 лм. В таблице 2 приведены полученные результаты, что позволяет сделать соответствующие выводы.

Ни один из исследованных однокристалльных светодиодов не показал риска высокого

уровня (группа риска 3). Синие светодиоды и холодные белые светодиоды могут принадлежать к группе риска 2 в соответствии с их цветовой температурой и уровнем тока. Точно так же нейтрально белые светодиоды могут принадлежать к группе риска 1. И наоборот, все теплые белые светодиоды относились к группе риска 0.

Пульсации света

Пульсация — это модуляция светового потока, которая может быть вызвана колебаниями источника сетевого напряжения, остаточными пульсациями в цепи питания напряжением постоянного тока или преднамеренных модуляций тока светодиода, таких как широтно-импульсная модуляция (ШИМ), которая широко используется для регулирования яркости.

Известно, что воздействие пульсации света, в частности на частотах между 3 и 55 Гц, может привести к эпилептическим припадкам, связанным с светочувствительностью, которые выражаются в различных формах в зависимости от индивидуальных особенностей конкретного человека, его визуальной патологии, контрастности освещения, длины волны, угла обзора и расстояния до источника света [20].

По приведенным в различных изданиях данным, пульсация света на частотах выше 70 Гц обычно не ощутима, но она все еще может оказывать влияние на людей. Например, люди, страдающие от мигрени, с большей степенью вероятности будут особенно чувствительны к пульсации света на высоких частотах. Кроме того, для людей, имеющих определенные заболевания, пульсации света может иметь и более серьезные последствия (например, для людей, имеющих психические расстройства).

Пульсации света в сочетании с движущимися или вращающимися в освещаемом пространстве предметами могут привести к возникновению стробоскопического эффекта, а он, в свою очередь, может создать опасность для рабочих или персонала, работающего в непосредственной близости от вращающихся машин и инструментов. Коммерчески доступные светодиодные лампы могут иметь серьезные проблемы, вызванные пульсацией света на удвоенной частоте питающей сети (в Европе частота сети составляет 50 Гц, и значит, наблюдаемая остаточная частота пульсации равна 100 Гц). Пульсации этого типа связаны в основном с остаточными пульсациями напряжения на светодиодах после его выпрямления из переменного

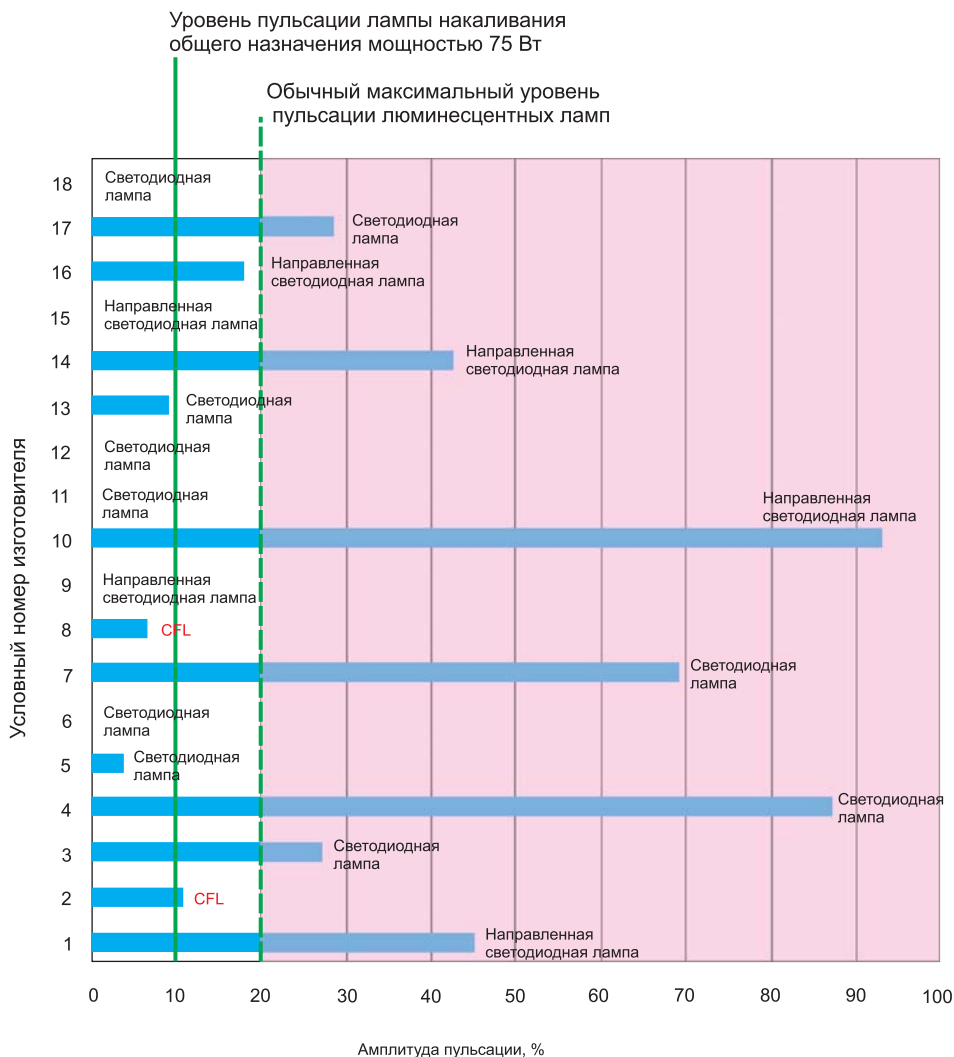


Рис. 8. Некоторые экспериментальные значения пульсации (в процентах) для ламп на основе различных технологий, полученные в лаборатории LAPLACE в рамках работ, проводимых по проекту EU-PremiumLight

тока в постоянный. Результаты измерений, представленные в данной исследовательской работе, показывают, что на рынке представлено несколько типов коммерческих светодиодных ламп без наличия какой-либо пульсации. Тем не менее значительное количество продуктов продемонстрировали аномально высокий уровень пульсации. Некоторые из них имеют колебания светового потока около 100%. Это соответствует тому, что светоотдача таких ламп периодически колеблется от нуля до максимального значения.

В использованную в рассматриваемом исследовании выборку ламп были включены светодиодные лампы, компактные люминесцентные лампы и лампы накаливания, которые использовались в качестве эталонных. На рис. 8 показаны экспериментально полученные значения по уровню пульсаций. Были протестированы несколько ламп. Следует отметить, что уровень пульсации светового потока 100-Вт лампы накаливания составляет 10%, что обусловлено изменением температуры ее нити накала, которая изменяется в зависимости от формы питающего напряжения. У высококачественных компактных люминесцентных ламп коэффициент пульсации не превышает 20%. В ходе исследования было установлено, что наибольшее значение индекса пульсаций для испытания компактных люминесцентных ламп был равен 0,14, а это значение согласуется с рекомендациями, действующими в США. Совершенно иная ситуация складывается для светодиодов. Как видно на рис. 8, светодиоды имеют очень большой разброс по этому параметру. Однако некоторые из них обладают высококачественными источниками питания, которые содержат хорошие выпрямители и фильтры. Эти лампы показали очень низкий уровень пульсаций, который был настолько близок к нулевому, что не поддавался измерению. Другие устройства, наоборот, имели уровень пульсаций до 100%. В этом случае световой поток такой лампы падает до нуля каждые 10 мс. Были обнаружены всего восемь светодиодных ламп, которые полностью соблюдали условия, налагаемые требованиями стандарта Energy Star (индекс пульсаций не более 0,1), в то время как все исследованные компактные люминесцентные лампы выполняли их.

Выводы

В целом, обширное тестирование ламп в ходе выполнения проекта PremiumLight

показало, что в настоящее время доступны эффективные, высококачественные светодиодные лампы с уровнями эффективности до 104 лм/Вт (для всенаправленных светодиодных ламп), CRI до 95 и силой света 1040 лм для модели AR111. Для многих светодиодных ламп был подтвержден класс энергоэффективности А+ и установлено, что можно приобрести лампы с коэффициентом мощности, превышающим 0,5. Наши измерения показали, что многие тестируемые лампы имели индекс цветопередачи 90 и даже выше. Таким образом, по качеству света, который обеспечивают протестированные лампы, по крайней мере с точки зрения цветопередачи, они уже приближаются к уровню, близкому к тому, который обеспечивают галогенные лампы и стандартные лампы накаливания. Технические характеристики протестированных светодиодных ламп в значительной мере соответствуют данным, заявленным их производителями, но были найдены и отдельные экземпляры, имеющие существенные отклонения от задекларированных их производителем характеристик. Хотя большинство протестированных ламп и показали высокие качество и эффективность, наши результаты также продемонстрировали, что некоторые торговые марки не обеспечивают заявленные их производителями качество и эффективность. У таких продуктов было выявлено наличие несоответствий в отношении эффективности, уровня светового потока, цветопередачи и некоторых других аспектов качества.

Что же касается проблемы, вызванной опасностью синего света, а более конкретно, ее наличия в лампах, производимых для широкого потребления, например в ретрофитных светодиодных лампах, мы решительно поддерживаем принятие постановления, которое ограничило бы их группой риска на уровне первой (RG1). Кроме того, при этом минимальное расстояние до источника облучения должно быть равно 200 мм, что обычно и встречается в домашних условиях. Проведенные измерения в рамках проекта по утвержденной программе, а также проверка в нескольких других независимых лабораториях показали, что большинство светодиодных ламп и светильников, предназначенных для применения в жилых помещениях, уже соответствует этому требованию. Следовательно, эта проблема не является критически неразрешимой для

светодиодной индустрии. Но все же понятие безопасного расстояния будет более подходящим при общении с организациями, выполняющими установку и монтаж систем освещения, а также и для самих пользователей, особенно в широком понимании этого слова. Для систем на основе светодиодов безопасным будет такое минимальное расстояние, для которого группа риска по опасности синего света не превышает RG1, причем его значение должно быть указано на упаковке. А для той светодиодной продукции, с которой работают исключительно профессионалы, монтажники осветительного оборудования должны гарантированно предпринять все меры, направленные на то, чтобы ограничить группу риска монтируемой системы освещения на уровне RG1.

Что же касается пульсаций света ламп, то с целью оценки этой проблемы более пятидесяти различных ламп были протестированы для определения значения коэффициента пульсаций светового потока. В выборку были включены светодиодные лампы, а также некоторые компактные люминесцентные лампы и лампы накаливания в качестве источника пульсации опорного уровня. Было установлено, что наибольшее значение индекса пульсаций светового потока при испытаниях компактных люминесцентных ламп составило 0,14.

Светодиодные лампы продемонстрировали совершенно произвольное поведение. Одни из них, имевшие высококачественный источник питания, показали практически нулевой уровень пульсаций на грани погрешности измерений. Однако в то же время у других светодиодных ламп коэффициент пульсаций доходил до 100%. В результате было найдено всего восемь светодиодных ламп, которые в полной мере отвечали рекомендациям, принятым в США (индекс пульсаций не более 0,1), а все протестированные компактные люминесцентные лампы соответствовали этому условию. Так что потребители должны проявить особую бдительность, когда речь идет об этом факторе. В данной статье приведен быстрый метод, позволяющий обнаружить пульсации с помощью камеры смартфона. Так что рядовой потребитель сумеет оценить, имеются ли в лампе пульсации. Для этого в настройке камеры необходимо отключить опцию подавления пульсаций и поднести смартфон в режиме «камера» к лампе. Если окажется пульсация,

то появятся темные полосы, причем чем выше будет коэффициент пульсаций, тем более четко они будут видны. ●

Проект PremiumLight выполнен совместно с программой Европейского Союза «Европа с рациональной энергетикой» (Intelligent Energy Europe Program of the European Union, грант н° IEE/11/941/SI2.615944). Авторы выражают свою благодарность за финансовую поддержку.

Оригинал статьи опубликован на www.led-professional.com

Литература

- http://iet.jrc.ec.europa.eu/energyefficiency/sites/energyefficiency/files/files/documents/eu_led_qc_background_report_10_feb_2011_final.pdf
- International Energy Agency Annex 4E-Solid State Lighting, <http://ssl.iea-4e.org/>
- <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2009:076:0003:0016:en:PDF>
- <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2012:342:0001:0022:EN:PDF>
- IEC/PAS 62612 Ed.1 Self-ballasted LED lamps for general lighting services with supply voltages > 50 V — Performance requirements, IEC, 2013.
- IEA 4E SSL Annex: Interlaboratory Comparison Test Method 1.0, 2013, http://ssl.iea-4e.org/files/otherfiles/0000/0059/SSL_Annex_2013_IC_Test_Method_v.1.0.pdf
- International Lighting Vocabulary, Standard CIE S 017/E, 2011.
- IEC 62504 General lighting — Light emitting diode (LED) products and related equipment — Terms and definitions, 2014.
- Electropedia: The World's Online Electrotechnical Vocabulary, <http://www.electropedia.org/>
- LM-79 Approved Method: Electrical and Photometric Measurements of Solid-State Lighting Products, IES, 2008.
- IEC 61000-3-2 ed4.0 Electromagnetic compatibility (EMC) — Part 3-2: Limits — Limits for harmonic current emissions (equipment input current ≤ 16 A per phase) is an international standard concerning the harmonics emitted by electric equipment, 2014.
- EN/IEC 61000-4-7 Electromagnetic compatibility (EMC) — Part 4-7: Testing an measurement techniques — General guide on harmonics and interharmonics measurements and instrumentation, for power supply systems and equipment connected thereto, IEC, 2002.
- <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2012:342:0001:0022:en:PDF>
- <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:32009L0125>
- <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:31992L0075>
- CIE/IEC 62471, Photobiological safety of lamps and lamp systems, First Edition 2006–2007.
- Guidelines on Limiting Exposures to Non-ionizing Radiation, ICNIRP 7/99 (2006).
- Effets sanitaires des syst mes d'clairage utilisant des diodes lectroluminescentes (LED), Saisine no. 2008-SA-0408, Rapport d'expertise collective de l'Agence Nationale de S curit Sanitaire de l'Alimentation, de l'Environnement et du Travail (ANSES), 2010.
- Behar-Cohen F., Martinsons C., Vi not F., Zissis G., Barlier-Salsi A., Cesarini J.P., Enouf O., Garcia M., Picaud S., Attia D. Progress in Retinal and Eye Research 30(4): (2011).
- http://en.wikipedia.org/wiki/Photosensitive_epilepsy