

Уточнения авторов к статье

«Исследование фотобиологической опасности светодиодных осветительных приборов для нужд железнодорожного транспорта»

В статье приведены уточнения и разъяснения к расчетам и результатам эксперимента по исследованию фотобиологической опасности светодиодных осветительных приборов для нужд железнодорожного транспорта, опубликованным в журнале «Полупроводниковая светотехника» № 1'2011 и получившим резонанс среди специалистов.

История вопроса и ответа на него

Инициатива ОАО «РЖД» по проведению экспериментов по исследованию фотобиологической опасности воздействия излучения светодиодов на зрительный аппарат человека вызвала резонанс среди светотехников. Понимание необходимости таких исследований присутствует в этой среде давно, однако их проведение не было реализовано или даже запланировано. Тем не менее вновь формируемая законодательная база по нормам освещенности не может быть принята без оценки такой безопасности и, соответственно, не могут быть допущены

к применению осветительные устройства на основе светодиодов. Одновременно с этим МКО разработала ряд документов и методик для проведения таких исследований, в ряде стран они уже были успешно реализованы и проводятся сейчас. Авторами статьи была проведена работа по оценке фотобиологической опасности излучения от конкретных светильников на основе светодиодов, потенциально могущих использоваться на ЖД, о чем было подробно описано в статье [1]. Следует добавить, что проведенный эксперимент был выполнен на основе методик, описанных в стандарте МКО S 009/E:2002, в частности п. 5.2.2.2. «Альтернативный метод».

Авторы выражают благодарность светотехническому сообществу в лице редакции журнала «Светотехника» за внимание к исследованию, а также за указанные неточности в расчетах, имеющиеся в публикации [1]. Однако следует сделать акцент на том факте, что методика проведения эксперимента и используемые средства измерений полностью соответствуют стандарту МКО S 009/E:2002 и имеют действующие свидетельства о поверке и метрологические характеристики, рекомендуемые этим документом (рисунок). Также, несмотря на данное уточнение, выводы, сделанные в работе по результатам расчетов, остались прежними. Поэтому подавляющее большинство критических замечаний, выдвинутых указанным коллективом в сторону авторов, их публикации и собственно эксперимента, не имеют под собой оснований. Сочетание значительного теоретического запаса знаний в области метрологии излучения и в то же время полное отсутствие практики измерений и расчетов на их основе создает подобные коллизии в понимании методов проведения экспериментов. И если учесть, что в таких работах в основном используются полупроводниковые источники света, традиционно цель подобных агрессивных обличительных выступлений направлена на организацию очередной шумихи вокруг чужого исследования, и таким образом, введение в заблуждение всей светотехнической общечественности. Коллектив авторов данной работы считает своим долгом предупредить об этом светотехническое сообщество.

Авторы работы выражают надежду на конструктивную критику проведенных исследований и описанных результатов со стороны заинтересованных специалистов и организаций, а также на сотрудничество в области подобных измерений и экспериментов как для совершенствования методик их проведения и формирования национальных стандартов, так и для получения практических и научных знаний о физике восприятия светодиодного излучения. Следует добавить, что коллектив авторов уже имеет большой опыт по исследованию порогов и параметров цветоразличия в практике разработки ж/д-светофоров на основе светодиодов



Рисунок. Свидетельства о поверке средств измерения и сертификаты измерительных установок (эксперимент проходил в декабре 2010 г., когда актуальность всех свидетельств о поверке была в действии)

Таблица 4. Радиометрические и эффективные параметры излучения светодиодной панели

Фототок радиометра I, А	$1,4 \times 10^{-5}$
$K_x = \int_{\lambda_{\max}}^{\lambda} \varphi_{\lambda} \times \lambda \times d\lambda, \text{ А/Вт}$	0,285
$P = I/K_x, \text{ Вт}$	$4,912 \times 10^{-5}$
r, м	1,44
$\gamma, \text{ рад}$	0,1
S, м ²	$1,6278 \times 10^{-2}$
$\Omega, \text{ ср}$	$7,85 \times 10^{-3}$
$L = P/S\Omega, \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{ср)}$	$3,844 \times 10^{-1}$
$\int \varphi_{\lambda} \times d\lambda, \text{ нм}$	240
$C = L/\int \varphi_{\lambda} \times d\lambda, \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{ср нм)}$	$1,6 \times 10^{-3}$
$L_{\lambda} = 1,6 \times 10^{-3} \times \varphi_{\lambda}, \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{ср нм)}$	
$L_B = \sum_{\lambda=300 \text{ нм}}^{\lambda=700 \text{ нм}} L_{\lambda} \times B(\lambda) \times \Delta\lambda, \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{ср)}$	$4,3968 \times 10^{-2}$

Таблица 8. Радиометрические и эффективные параметры излучения образца № 1

Фототок радиометра I, А	$6,467 \times 10^{-6}$
$K_x = \int_{\lambda_{\max}}^{\lambda} \varphi_{\lambda} \times \lambda \times d\lambda, \text{ А/Вт}$	0,304
$P = I/K_x, \text{ Вт}$	$2,125 \times 10^{-5}$
r, м	0,443
$\gamma, \text{ рад}$	0,1
S, м ²	$1,540 \times 10^{-3}$
$\Omega, \text{ ср}$	$7,85 \times 10^{-3}$
$L = P/S\Omega, \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{ср)}$	1,758
$\int \varphi_{\lambda} \times d\lambda, \text{ нм}$	348
$C = L/\int \varphi_{\lambda} \times d\lambda, \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{ср нм)}$	$5,051 \times 10^{-3}$
$L_{\lambda} = 1,6 \times 10^{-3} \times \varphi_{\lambda}, \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{ср нм)}$	
$L_B = \sum_{\lambda=300 \text{ нм}}^{\lambda=700 \text{ нм}} L_{\lambda} \times B(\lambda) \times \Delta\lambda, \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{ср)}$	0,011

и формированию национальной нормативной документации по результатам таких исследований, опубликованным, в том числе, в рецензируемых изданиях [2–7]. Описанный в статье [1] эксперимент можно считать продолжением прежних работ в области изучения физики восприятия и цветового зрения человека при пороговых и надпороговых уровнях яркости светящихся объектов. Это может дополнять и информационно поддерживать исследования в области коррекции колориметрических систем и проблем их «равноконтрастности», сделанных, например, в [8].

Уточнения к прежней публикации

Основным и единственным уточнением расчетов, выполненных по результатам измерений комплекса спектральных и радиометрических характеристик, является измене-

Таблица 6. Радиометрические и эффективные параметры излучения светильника СОЛ-1 образец № 3

Фототок радиометра I, А	$6,232 \times 10^{-6}$
$K_x = \int_{\lambda_{\max}}^{\lambda} \varphi_{\lambda} \times \lambda \times d\lambda, \text{ А/Вт}$	0,29
$P = I/K_x, \text{ Вт}$	$2,145 \times 10^{-5}$
r, м	0,486
$\gamma, \text{ рад}$	0,1
S, м ²	$1,854 \times 10^{-3}$
$\Omega, \text{ ср}$	$7,85 \times 10^{-3}$
$L = P/S\Omega, \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{ср)}$	1,4738
$\int \varphi_{\lambda} \times d\lambda, \text{ нм}$	331,8
$C = L/\int \varphi_{\lambda} \times d\lambda, \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{ср нм)}$	$4,442 \times 10^{-3}$
$L_{\lambda} = 1,6 \times 10^{-3} \times \varphi_{\lambda}, \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{ср нм)}$	
$L_B = \sum_{\lambda=300 \text{ нм}}^{\lambda=700 \text{ нм}} L_{\lambda} \times B(\lambda) \times \Delta\lambda, \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{ср)}$	0,1423

Таблица 9. Радиометрические и эффективные параметры излучения образца № 1

Фототок радиометра I, А	$0,823 \times 10^{-7}$
$K_x = \int_{\lambda_{\max}}^{\lambda} \varphi_{\lambda} \times \lambda \times d\lambda, \text{ А/Вт}$	0,304
$P = I/K_x, \text{ Вт}$	$2,708 \times 10^{-7}$
r, м	0,443
$\gamma, \text{ рад}$	0,011
S, м ²	$1,865 \times 10^{-5}$
$\Omega, \text{ ср}$	$0,95 \times 10^{-4}$
$L = P/S\Omega, \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{ср)}$	152,84
$\int \varphi_{\lambda} \times d\lambda, \text{ нм}$	348
$C = L/\int \varphi_{\lambda} \times d\lambda, \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{ср нм)}$	0,439
$L_{\lambda} = 1,6 \times 10^{-3} \times \varphi_{\lambda}, \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{ср нм)}$	
$L_B = \sum_{\lambda=300 \text{ нм}}^{\lambda=700 \text{ нм}} L_{\lambda} \times B(\lambda) \times \Delta\lambda, \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{ср)}$	156,5

ние формулы (3) [1]. В обновленном варианте она выглядит так:

$$\Omega = \pi \times \gamma^2 / 4.$$

Далее приводятся таблицы 4, 6, 8, 9, 10 [1] со значениями параметров, перерасчитанных в соответствии с исправленной формулой (3).

Из приведенных таблиц можно заметить, что скорректированные числовые значения рассчитываемых параметров не привели к изменению выводов о безопасности исследованных светильников, сделанных в [1].

В отношении корректности расчета мощности излучения можно добавить, что, на первый взгляд, отсутствующее в последовательности формул значение площади радиометрической головки уже косвенно входит в фототок, значение которого пропорционально этой площади и измерено в ходе эксперимента (первая строка таблицы 4, 6, 8, 9). Несмотря на то обстоятельство,

что при проверке абсолютная характеристика спектральной чувствительности (АСЧ) фотодиода измеряется засветкой калиброванным сигналом в области площадки размером приблизительно 2×2 мм, а не всей площади радиометра с диаметром 7 мм, что может вызвать вопрос о корректности АСЧ такого средства измерения, все результаты измеренных фототоков, а также значений мощности излучения следует считать правильными ввиду крайне незначительной (доли процента) неравномерности АСЧ, примененной в радиометре фотодиода фирмы Hamamatsu по площади его приемной части.

Рассчитанный по формуле (5) в [1] коэффициент преобразования радиометра для каждого конкретного светильника учитывал спектральную чувствительность фотодиода вплоть до 1100 нм (аттестованный по свидетельству о поверке (рис. 1) диапазон), однако выводы по термической безопасности воздействия излучения сделаны до 1400 нм. Данное утверждение не находится в противоречии с корректностью выводов ввиду абсолютно отсутствующего излучения светодиодов в диапазоне не более 900 нм, что можно заметить на рис. 9, 11, 13 [1], где приведены относительные спектры распределения мощности излучения исследуемых образцов. В противном случае применение датчика с такой АСЧ недопустимо. ●

Литература

- Мурашова М. А., Никифоров С. Г., Шищенко А. А. Исследование фотобиологической опасности светодиодных осветительных приборов для нужд железнодорожного транспорта // Полупроводниковая светотехника. 2011. № 1.
- Агафонов Д. Р., Мурашова М. А., Никифоров С. Г., Пинчук О. П., Столяревская Р. И. Исследования визуального восприятия красных железнодорожных светофоров на основе светоизлучающих диодов // Светотехника. 2003. № 6.
- Агафонов Д. Р., Аникин П. П., Никифоров С. Г. Вопросы конструирования и производства светоизлучающих диодов и систем на их основе // Светотехника. 2002. № 6.
- Agafonov D., Murashova M., Nikiforov S., Pinchuk O., Stolyarevskaya R. Red LED Railway Traffic Lights Visual Perception Research // Light & Engineering. 2003. V. 11. № 4.
- Agafonov D., Murashova M., Nikiforov S., Pinchuk O., Stolyarevskaya R. Red LED Railway Traffic Lights Visual Perception Research // Report to 25th CIE Session 2003 (25 June – 2 July), San Diego, USA. Proceedings, volume 2.
- Никифоров С. Г. Фотометрический метод исследования полупроводниковых гетероструктур // Заводская лаборатория. 2010. № 1.
- Никифоров С. Г. Физические аспекты восприятия приборов световой ж/д-сигнализации на основе светодиодов и оправданность их применения // Доклад на конференции «ТрансЖат–2008». 22–24 октября 2008.
- Гордюхина С. С. Разработка методики определения удельных координат цвета колориметрической системы КЗС: Диссертация на соискание ученой степени к. т. н. Москва, МЭИ, 2011.

Таблица 10. Измеренные и предельные значения L_B и L_R

Тип светильника со светодиодами	Значения $L_B, \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{ср}$		$L_R, \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{ср}$	
	измеренные	предельные	измеренные	предельные
Светодиодная панель ExP-600	$4,3968 \times 10^{-2}$	100		
Светильник СОЛ-1 № 3	0,1423			
Светильник СОЛ-1 № 1	0,011		156,5	280