

Рафаил Тукшаитов | trh\_08@mail.ru | Александр Константинов | kankazan@mail.ru |  
Ренат Фатыхов | Рустэм Нигматуллин | Гузель Зайнашева

# Повышение точности измерения и представления малых уровней освещенности

**В статье описаны методика и способы повышения точности измерения и представления малых уровней освещенности при разработке энергосберегающих режимов эксплуатации светодиодных светильников, питаемых от гальванических батарей, с помощью люксметров типа ТКА-ПКМ, Аргус и др.**

При определении ресурса портативных светодиодных светильников и фонарей, питаемых от гальванических батарей, и выбора оптимального режима их эксплуатации на основе исследования их люкс-временных характеристик, имеется необходимость осуществления измерения освещенности при снижении ее уровня вплоть до 1 лк [1, 2]. Такой ее уровень и даже меньший вполне может быть использован в экстремальных условиях: при разного рода техногенных авариях, многосуточном отключении электроснабжения жилых массивов, больниц, детских садов и т. п., поскольку она позволяет не только хорошо ориентироваться в пределах небольших помещений, но и прочесть на небольшом расстоянии необходимые инструкции, документы и даже вести рабочие дневники, например геологам в условиях таежных экспедиций.

С измерением малых уровней освещенности приходится также иметь дело при исследовании характеристик светофоров на РЖД, дорожного покрытия автомагистралей, маломощных светодиодов и светильников.

Исследование характера линейности начального участка шкалы (1–10 лк) приборов ТКА-ПКМ/42 и ТКА-ПКМ/08 с использованием аттестованных нейтральных светофильтров ООО «ЛОМО ФОТОНИКА» с коэффициентами направленного пропускания 10 и 2,5% показало, что наибольшее занижение результатов измерения имеет место при освещенности в 1 лк, которое вместе с тем не превышает 10–15%. Это свидетельствует о достаточной линейности амплитудной характеристики фотоприемной части данных люксметров и открывает определенную возможность проведения в ряде опытов динамических измерений малых уровней освещенности. Однако следует иметь в виду, что при этом допускается дополнительная по-

грешность, заключающаяся в систематическом занижении/завышении результатов измерения, обусловленная выводом на дисплей данных с опережением/отставанием во времени. Кроме того, может иметь место высокая погрешность представления в публикациях таких результатов измерений, поскольку они выводятся на экран и регистрируются с одной значащей цифрой.

При исследовании длительных изменений малых уровней освещенности эти типы допускаемых погрешностей могут быть существенно нивелированы путем внесения соответствующими приемами поправок в результаты измерения.

В таблице для наглядности указаны предельные значения допускаемых погрешностей измерения и представления освещенности в случае использования начального участка шкалы люксметров.

Как следует из таблицы, погрешность измерения освещенности существенно растет по мере уменьшения ее уровня. Она, при уровнях освещенности менее 3 лк, регистрируется с отрицательным знаком и достигает 34–50%. Например, показанию прибора, равному 2 лк, могут соответствовать самые разные значения от 2,9 до 2,0 лк. Причем результаты соответствуют своему истинному значению лишь в тот момент времени измерения, когда, например, цифра 2 или 1 на дисплее сменяется соответственно на 1 или 0. Погрешность представления освещенности также существенно возрастает по мере снижения ее уровня.

С целью возможности применения выпускаемых типов люксметров для измерения достаточно малых уровней освещенности имеется определенная необходимость в разработке методики и способов повышения точности результатов измерения и их представления на графиках и в таблицах.

Наглядная иллюстрация величины допускаемых погрешностей и методики их коррекции проведена на основе изучения зависимости освещенности от времени эксплуатации одного комплекта гальванических батарей светильника. В качестве объекта исследования взят светильник JAZZWAY T1-L24, предназначенный для дачников, туристов, геологов и др. Он содержит 24 светодиода, расположенных по окружности диаметром 12 см. Измерение освещенности проводилось люксметром ТКА-ПКМ/42 по оптической оси на расстоянии 50 см от светильника по ранее предложенной методике [1].

В заводском варианте исполнения данного светильника для питания используются четыре последовательно соединенных гальванических элемента типа R6 AA. В силу подачи на светодиоды исходного напряжения значительно выше номинального уже за первый час работы светильника обеспечиваемая им освещенность уменьшается в 10 раз, а через четверо суток (100 ч) становится меньше значения, ранее принятого за предельно допустимое (1 лк) [2]. При этом выявлено, что с момента первоначального включения нового светильника вначале происходит мигание одного-двух из 24 светодиодов, имеющих наибольшую крутизну вольт-амперной характеристики. Подключение следующих комплектов гальванических батарей приводит уже к перегоранию этих светодиодов.

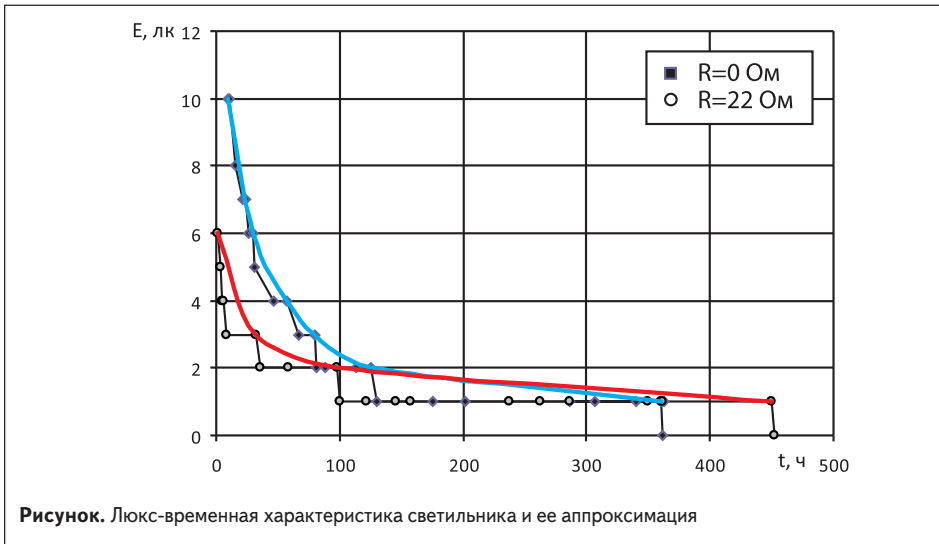
После состоявшейся беседы с представителем фирмы JAZZWAY на выставке Interlight–2011 и нашей публикации [2] изготовители уже к маю 2012 г. ускоренно «модернизировали» данный светильник, дополнительно включив в электрическую цепь ограничительный низкоомный резистор (5 Ом).

С целью повышения длительности эксплуатации светильника в экстремальных условиях питания его, с учетом результатов ранних исследований [3], осуществили от двух гальванических элементов типа R 20 марки DAEWOO с электроемкостью, равной 5 А·ч.

Поскольку снижение освещенности в первые несколько суток происходит с большей скоростью, то вначале интервал измерения днем составлял 1–3 ч, а ночью — 5–8. Вместе с тем для повышения точности построения графиков по мере приближения к моменту смены показания оцениваемый по появлению

**Таблица.** Предельные значения погрешности измерения и представления малых уровней освещенности

Показания прибора, лк	1	2	3	4	6	8	10
Допускаемое занижение результатов, %	50	34	25	20	15	9	10
Погрешность представления результатов, ±%	50	25	17	12	8	6	5



неустойчивой индикации интервал измерения в ряде случаев уменьшался до 1–2 ч.

Для наглядности на рисунке представлены люкс-временные характеристики, снятые при двух режимах эксплуатации гальванических батарей.

При построении графиков непосредственно по всем экспериментальным значениям получаем на рисунке ступенчато понижающиеся кривые. Появление на графиках ступенек обусловлено скачкообразным уменьшением индикации прибора сразу на 1 лк. В первом опыте отсутствовал ограничительный резистор, а во втором в электрическую цепь был последовательно включен резистор с сопротивлением 22 Ом.

На этом же рисунке приведены графики, построенные методом наименьших квадратов с использованием значений освещенности, наиболее близких к истинным, то есть в моменты смены индикации на 1 лк. Такой прием позволяет представить графики с большей точностью, объективно отобразив характер снижения освещенности во времени. Кроме того, при тех или иных выбранных уровнях освещенности они позволяют определить с большей точностью время наработки светильника.

Данные графики представляют и самостоятельный интерес для выбора уровня освещенности в экстремальных условиях эксплуатации светильника. Из них следует, что при использовании ограничительного резистора в 22 Ом ресурс батарей возрастает с 350 до 460 ч.

В случае выбора предельного значения освещенности на некотором расстоянии от светильника, равного 0,3–0,5 лк, а не 1 лк, как говорилось выше, ресурс прибора при непрерывной его работе составит уже около 1000–1400 ч, или более полутора-двух месяцев. Измерения таких значений освещенности проводились косвенно, при смещении фотоприемной головки люксметра в направлении светильника до достижения значения освещенности в 1 лк, когда показания прибора более близки к истинным.

Данный уровень освещенности позволяет успешно видеть в экстремальных и полевых условиях окружающие предметы и ориентироваться в радиусе 3–5 м, а также прочесть

содержание необходимого текста, но уже на расстоянии лишь 25 см.

Для дальнейшего повышения достоверности результатов необходимо усреднять данные не менее трех опытов. Поскольку в каждом опыте моменты регистрации освещенности обычно отличаются друг от друга, то для систематизации результатов следует выбрать ряд конкретных значений ординат по оси абсцисс для всех опытов и при помощи компьютерных средств методом наименьших квадратов определить соответствующие им значения ординат, регистрируя при этом их уже двузначными числами в соответствии с более высокой точностью их оценки. Далее результаты всех опытов суммируются, статистически обрабатываются и на основе полученных показателей строится усредненный график зависимости освещенности от времени непрерывной наработки одного комплекта гальванической батареи светильника с указанием доверительных интервалов или их отклонений [4]. Погрешность оценки освещенности по графикам и представление их в таблицах благодаря предложенной методике и кратности проведения опытов может быть снижена в три-четыре раза и не превышать  $\pm 3\text{--}6\%$ .

При одноразовых измерениях малых уровней освещенности точность оценки данных также может быть повышена путем увеличения или уменьшения расстояния между источником и фотоприемной головкой люксметра до смены индикации дисплея на 1 лк. Поскольку интервал перемещения фотоприемной головки значительно меньше расстояния до светильника, это позволяет по месту ее положения относительно реперных точек с большей точностью оценить уровень освещенности.

При единичных или одноразовых измерениях освещенности точность ее измерения, но несколько в меньшей степени, может быть также повышена другим простым способом. Для этого следует повернуть светильник в любой плоскости на небольшой угол (15–20°) в обе стороны относительно исходного положения. Если при этом показание прибора (например, 2 лк) близко к 2,4–2,9 лк, то индикация на дисплее

не изменится, а если оно близко к 2,2–2,1 лк, то сразу уменьшится на 1 лк. В первом случае результат измерения вполне правомерно записать равным 2,5 лк, а во втором случае — равным только 2 лк.

Таким образом, в результате проведенных исследований были разработаны методика и простые способы, позволяющие повысить точность оценки и представления малых уровней освещенности при ее измерении с помощью типовых отечественных люксметров. ●

## Литература

1. Тукшаитов Р. Х., Алхамсс Я. Ш., Иванова В. Р., Шириев Р. Р. Обеспечение энергоресурсосбережения при питании светодиодных светильников от гальванических батарей // Известия вузов. Проблемы энергетики. 2010. № 3.
2. Киямутдинова А. Р., Айхайти Исыхакефу, Тукшаитов Р. Х. Исследования эксплуатационных характеристик светильника JAZZWAY, питаемого от гальванических элементов / Радиоэлектроника, электротехника и энергетика // Тез. докл. 18-й МНТК студентов и аспирантов. М.: МЭИ. 2012.
3. Тукшаитов Р. Х., Нигматуллин Р. М., Недзвецкая Р. Я. Повышение продолжительности работы приборов на основе определения разрядных характеристик гальванических элементов типа R6 AA и R3 AAA // Труды Академэнерго. 2009. № 5–6.
4. Тукшаитов Р. Х. Основы оптимального представления статистических показателей на графиках, диаграммах и в таблицах. Казань: КГЭУ. 2006.