

УДК 535.23:628.98:004.9:535-31:535.247

Б. Г. Шабашкевич, канд. техн. наук,
Ю. Г. Добровольский, канд. техн. наук
 ООО НПФ «Тензор»
 58023, Украина, Черновцы, ул. Гайдара,
 1е, тел. 0373 57 50 52;
 E-mail: td_tenzor@mail.ru

С. В. Мамаев, канд. физ.-мат. наук,
В. В. Кушин, канд. физ.-мат. наук
 Приборостроительная компания ООО
 «ЭкоСфера»
 117105, Россия, г. Москва, Варшавское
 шоссе, д.21; тел. (495) 725 5510;
 E-mail: mamser@ekosf.ru,

СОВРЕМЕННЫЙ ЦИФРОВОЙ ПРИБОР ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ХАРАКТЕРИСТИК СВЕТОВОЙ СРЕДЫ

Введение

Как известно, спектральный состав излучения видимого диапазона определяет многие биологические эффекты, протекающие в организме человека. Учитывая, что вредными могут быть не только потоки оптического излучения высокой интенсивности, но и довольно слабое излучение, актуальной является проблема более точного и удобного измерения малых значений освещенности и яркости, создаваемых видимым светом, для обеспечения контроля условий труда и технологических процессов.

Опыт работы с потребителями Украины, Беларуси и России показывает [1], что актуальным является обеспечение измерений освещенности начиная от 0,01 лк, а яркости - также от 0,01 кд/м². Обычно это касается исследования люминесцентных покрытий и материалов, обладающих явлением световозвращения.

Требования ряда стандартов Украины [2], России [3], и Беларуси [3, 4] определяют минимальные значения освещенности как 0,2 лк и яркости (яркость освещения дорог и домов) начиная с 0,2 кд/м² (для улиц местного значения), которые нужно контролировать на рабочих местах вне помещений.

В нормативной документации, действующей в Украине, нет четко сформулированных требований к средствам измерительной техники (СИТ), предназначенных для измерения освещенности при аттестации рабочих мест. В ДСТУ [3] лишь указано, что люксметры должны иметь спектральную погрешность не более $\pm 10\%$ в то время, когда эта погрешность является лишь одной из составляющих, входящих в величину границ основной допустимой относительной погрешности измерения освещенности.

Обычно люксметры, используемые для измерения освещенности при аттестации рабочих мест, обеспечивают измерения освещенности в диапазоне 1 - 10⁵ лк с пределом основной допустимой относительной погрешности измерения $\pm (4 - 10)\%$. В то же время известно, что максимальная освещенность, существующая в обычных условиях на поверхности Земли на средних широтах в полдень не превышает 10⁵ лк, а

минимальная от полной Луны не превышает 0,2 лк. С другой стороны, строительные нормы регламентируют освещенность рабочих мест от 0,2 до 5000 лк [4].

В то же время существует потребность в калибровке источников света, способных создавать освещенность до $2,5 \cdot 10^5$ лк с соответствующим пределом основной допустимой относительной погрешности измерения.

Целью работы, исходя из выше изложенного, является создание современного цифрового прецизионного средства измерительной техники для измерения параметров световой среды, соответствующего требованиям нормативной документации, действующей в Украине, России и Белоруссии.

Результаты работы

Для решения этой задачи в НВФ "Тензор" совместно с российской приборостроительной компанией ООО «Эко-Сфера», разрабатывается и готовятся к выпуску современный многофункциональный цифровой (компьютеризованный) фотометр «ЭкоТензор-01» для измерения характеристик световой среды, создаваемой различными источниками естественного и искусственного света, в том числе, светодиодами.

Слово «современные» означает, что потребителю предлагается прибор нового поколения, отличающийся рядом новых возможностей. В частности:

- проводить цифровую обработку аналогового сигнала, генерированного первичным преобразователем под воздействием светового потока;
- представлять результаты измерений в том или ином формате светотехнической величины;
- накапливать информацию в режиме реального времени;
- обеспечивать обмен информацией между прибором и компьютером;
- обрабатывать результаты измерений в компьютере с помощью соответствующего программного обеспечения.

Фотометр «ЭкоТензор-01» разрабатывается на основе серийного российского фотометра Эколайт-01 и украинского ТЭС 0693.

В качестве первичного преобразователя в нашем случае использовался фотодиод на основе кремния оригинальной конструкции, которая позволяет уменьшить влияние фоновой освещенности, в частности в ближней инфракрасной области спектра. Конструкция фотодиода обеспечивает максимум спектральной характеристики чувствительности в области (800 – 850) нм.

Поскольку спектральная погрешность прибора определяется коррекцией спектральной характеристики чувствительности фотометрической головки ($S_{\text{отн}}(\lambda)ГФ$) под кривую видности глаза человека ($V(\lambda)$), для ее уменьшения, как известно, используют соответствующий светофильтр. В нашем случае в качестве светофильтра используется комбинация четырех цветных стеклянных фильтра. При правильном подборе светофильтров и фотодиода удастся обеспечить погрешность коррекции $S_{\text{отн}}(\lambda)ГФ$ относительно $V(\lambda)$ на уровне первого класса: в видимом диапазоне отклонение не более 3 %; в ультрафиолетовом диапазоне отклонение не более 0,5 %; в инфракрасном диапазоне отклонение не более 0,5 %.

Внешний вид фотодиода и спектральной характеристики чувствительности фотометрической головки на его основе приведены на рисунке 1.

Измерение яркости объекта на некотором расстоянии от него в новом фотометре организовано с помощью специализированной насадки, оптическая схема и внешний вид которой, приведены на рисунке 2. Наведение на объект производится с помощью специального зеркального визира.

Благодаря применению в первичном измерительном тракте прецизионного предварительного усилителя с чувствительностью от 10^{-12} А динамический диапазон

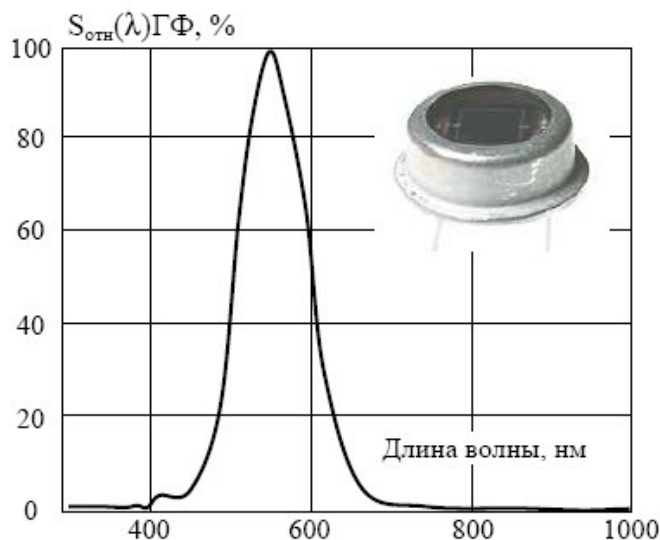


Рис. 1 – Спектральная характеристика чувствительности фотометрической головки для прибора

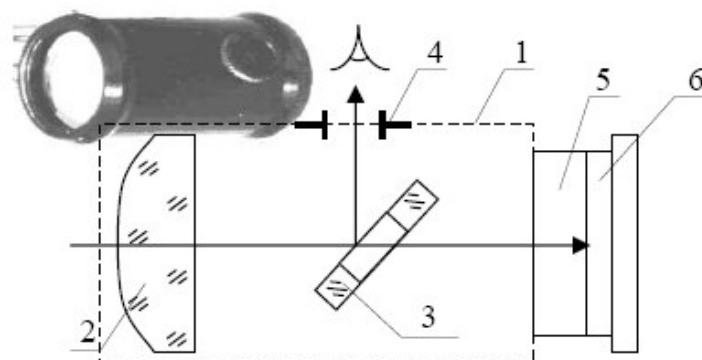


Рис. 2 – Оптическая схема насадки для измерения яркости.

1 - корпус насадки; 2 - линза; 3 - зеркало с отверстием-визиром; 4 - светофильтр; 5 - фотодиод

фотометрической головки используется для измерения коэффициента естественной освещенности (КЕО). Измеренные значения освещенности, коэффициента пульсации, яркости и КЕО записываются и сохраняются в собственной памяти прибора.



Рис. 3

прибора удалось расширить в области малых значений освещенности до 0,01 лк, что существенно расширяет потребительские свойства прибора.

Конструктивно прибор состоит из двух отдельных блоков: фотометрической головки ФГ-01 и блока отображения информации БОИ-01 (рисунок 3), связанных между собой гибким электрическим кабелем. В ФГ-01 расположен фоточувствительный элемент с корректирующими фильтрами и рассеивателем, электронный блок, осуществляющий аналоговую обработку сигнала и его аналого-цифровое преобразование, а также собственный микропроцессор фотометрической головки, осуществляющий связь в цифровой форме с БОИ-01. Микропроцессор позволяет, при необходимости, управлять работой фотометрической головки в автономном режиме без подключения ее к БОИ-01. Автономный режим работы

Считывание записанной в фотометрической головке информации может быть произведено при последующем ее подключении к БОИ-01.

Питание фотометрической головки осуществляется встроенным автономным аккумулятором, который подзаряжается, по мере необходимости, от блока отображения информации.

БОИ-01 имеет в своем составе собственный микропроцессор, органы управления, настройки и дисплей. Питание блока осуществляется встроенной батареей питания. БОИ-01 осуществляет выбор режимов работы прибора, настройку его параметров, вывод измеренных значений на дисплей, сохранение измеренных

значений в собственной памяти прибора.

Базовые параметры разрабатываемого фотометра следующие:

- погрешность коррекции спектральной характеристики фотометрической головки соответствует I классу;
- диапазон измерения: освещенности 10^{-2} - $2,5 \cdot 10^5$ лк;
- яркости $0,1$ - $2 \cdot 10^5$ Кд/м²;
- предел основной относительной погрешности при измерении освещенности:
 - в диапазоне от 10 до $2,5 \cdot 10^5$ лк, не более ± 5 %;
 - в диапазоне освещенности от $0,1$ до 10 лк не более ± 10 %;
- предел основной относительной погрешности при измерении яркости ± 10 %;
- диапазон измерения коэффициента пульсации 1 - 100 %
- частотный диапазон измерения коэффициента пульсации 40 - 300 Гц;
- предел основной относительной погрешности при измерении коэффициента пульсации, не более ± 10 %.

Предусматривается расширение рабочего температурного диапазона вплоть до минус 20 °С.

Соединение с компьютером предусмотрено через USB и через COM- порты.

Следует отметить, что коэффициент актинтичности (отличие реальных показаний люксметра от показаний идеального люксметра) у разрабатываемого прибора аналогичен коэффициенту актинтичности фотометра ТЕС 0693, поскольку вся оптическая и фотометрическая часть прибора, выполнена по схеме его прототипа – ТЕС 0693. Коэффициент актинтичности является составляющей частью величины погрешности измерения освещенности люксметром. И это составляющая тем больше, чем больше коэффициент актинтичности отличается от единицы.

Этот факт является существенным параметром при измерении характеристик белых светодиодов, поскольку эти источники света по своим световым характеристикам отличаются от источника типа А, а практически все существующие люксметры калибруются на таких источниках [5]. Согласно исследованиям Купко А.Д. [6, 7] коэффициент актинтичности известных люксметров, кроме ТЕС 0693, несущественно отличается от единицы при калибровке на источнике типа А и существенно отличаются от нее при измерении излучения других, в том числе монохроматических, источников. Таким образом, разрабатываемый фотометр «ЭкоТензор-01» наилучшим образом подходит для измерения световых потоков, создаваемых светодиодными источниками света.

Кроме выше перечисленных параметров, разрабатываемый прибор имеет следующие особенности:

- измерение коэффициента естественной освещенности (КЕО) в автоматическом режиме в соответствии с утвержденной методикой измерений, одним сотрудником - при наличии двух и более фотометрических головок;
- измерение искусственной освещенности в присутствии фона естественного освещения в соответствии с утвержденной методикой измерений;
- измерение коэффициента пульсации освещенности в присутствии фона естественного освещения в соответствии с утвержденной методикой измерений;
- сохранение результатов измерений в памяти прибора (количество хранимых данных не менее 10000);
- возможность передачи данных на компьютер;
- температурная стабилизация работы измерительного тракта;
- цветной графический OLED дисплей с улучшенной читаемостью;
- возможность работы как от сменных батарей типа АА, так и от встроенной аккумуляторной батареи или от внешнего источника питания;

- интегрированное интеллектуальное зарядное устройство для зарядки встроенной аккумуляторной батареи;
- возможность обновления встроенного программного обеспечения пользователем;
- возможность подключения к блоку оператора измерительных головок другого типа.

Для передачи данных из БОИ-01 на персональный компьютер (ПК) используется Многофункциональная Расширяемая Программная Оболочка (далее - МРПО) «Экосфера» (АКА Ekosfera Shell).

МРПО построена по модульному принципу. Небольшое основное исполняемое ядро, само по себе не несущее никакой функциональности, дополняется, по необходимости, подключаемыми модулями, выполняющими определенные задачи. Существуют три модуля – мониторинг параметров и калибровка фотометрической головки, и «производственный» ее модуль прошивки и БОИ-01, модуль менеджера данных и конфигурирования БОИ-01. Модули, поставляемые с оболочкой, автоматически регистрируются в ней при загрузке основного ядра. Зарегистрированные модули, сгруппированные по выполняемым задачам, показаны в секторе, слева от основного рабочего окна. В зависимости от конкретной задачи, пользователь может активировать тот или иной модуль двойным щелчком мыши на пиктограмме модуля в селекторе (рис. 4).

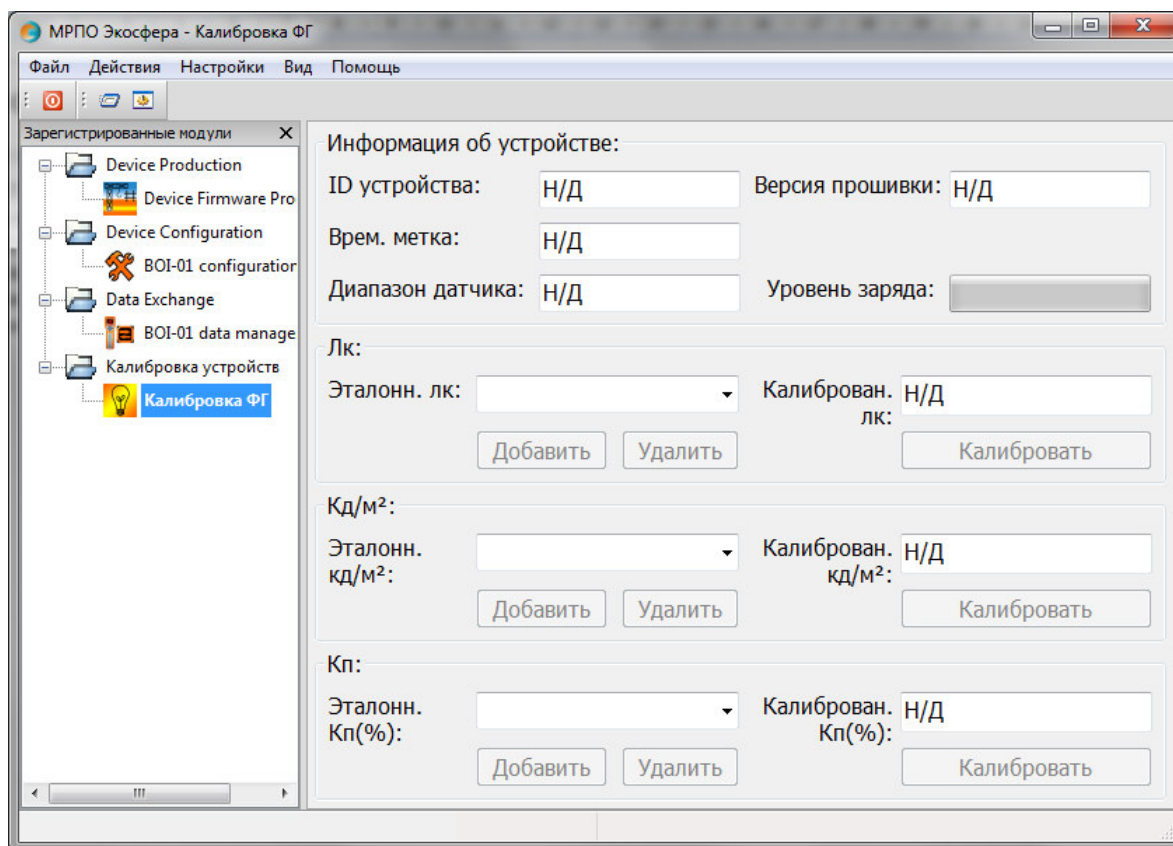


Рис. 4 – Общий вид МРПО «Экосфера».

Оболочка поддерживает неинтерактивное переключение языков интерфейса пользователя (после выбора языка необходим перезапуск программы).

Данные, загруженные из прибора, хранятся в формате xml. Это позволяет не только легко преобразовывать их в любой формат, но и просматривать в любом

текстовом редакторе, например, в блокноте Windows, в том числе обрабатывать данные на усмотрение оператора – удалять, усреднять и т.п.

Выводы

1. Рассмотрены пути разработки современного цифрового фотометра ЭкоТензор-01 для измерения параметров световой среды, соответствующего требованиям нормативной документации, действующей в Украине, России и Белоруссии.
2. Фотометр имеет расширенный диапазон измерения освещенности и яркости, а также спектральную погрешность, не превышающую видимом диапазоне 3 %.

Литература

1. Боднар Л.А. Дослідження параметрів вимірювачів освітленості з точки зору придатності для атестації робочих місць / Боднар Л.М., Добровольський Ю.Г., Шабашкевич Б.Г., Назаренко Л.А. // Метрологія та прилади. -№4. -2009. -с.19-23.
2. Природне і штучне освітлення : ДБН В.2.5-28-2006. - [чинний від 2007-01-01]. К: ИСС «Зодчий»: «ИМЦ», 2006. -76с. (Державний стандарт України).
3. Здания и сооружения : ГОСТ 24940-97 (ДСТУ Б В.2.2-6-97 Будівлі і споруди. Методи вимірювання освітленості.). - [чинний від 1998-01-01], МНТКС - М.: Минстрой России, ГУП ЦПП, 1997. 78с.(Міждержавний стандарт).
4. Технический кодекс. Естественное и искусственное освещение. Строительные нормы проектирования : ТКП 45-2.04-153-2009 Мінськ.: Госстандарт, 2009. -20с. (Державний стандарт Білорусі).
5. Дідух Н.І. Радиометрія і метрологія світлодіодів / Дідух Н.І., Міхеєнко Л.А., Свешніков В.С. // Вісник НТУУ «КПІ». -Серія Приладобудування. -2010. -Вип. 40. -с.46-54.
6. Купко А.Д. Светотехнические измерения на железнодорожном транспорте / А.Д. Купко, С.Г.Чуб // Український метрологічний журнал. -2010. -№ 1. -с.31-36.
7. Бутенко В.М. Сравнительный анализ измерений светотехнических изделий транспортного назначения / В.М. Бутенко, А.Д. Купко, С.Г. Чуб. // Збірник наукових праць Української державної академії залізничного транспорту. -2009. -вип. 110. -С.109-121.

СУЧАСНИЙ ЦИФРОВИЙ ПРИЛАД ДЛЯ ВИМІРЮВАННЯ ХАРАКТЕРИСТИК СВІТЛОВОГО СЕРЕДОВИЩА

Б. Г. Шабашкевич, Ю. Г. Добровольській, С. В. Мамаєв, В. В. Кушин

Пропонується концепція сучасного цифрового фотометра ЕкоТензор-01 для вимірювання параметрів світлового середовища, що має розширений діапазон вимірювання освітленості і яскравості, а також спектральну похибку, що не перевищує у видимому діапазоні 3 %.

MODERN DIGITAL INSTRUMENTS FOR MEASURING CHARACTERISTICS OF LIGHT ENVIRONMENT

B. G. Shabashkevych, Yu. G. Dobrovolsky, S. V. Mamaev, V. V. Kushin

A concept of modern digital EkoTensor-01 photometer to measure light environment that has an extended measurement range of illumination and brightness and spectral error not exceeding in the visible range of 3 %.