

## НОВЫЙ ТИП КОЛОРИМЕТРА ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ЦВЕТОВЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ИСТОЧНИКОВ ОПТИЧЕСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

В. Н. Кузьмин, А. Л. Марьин, С. Е. Николаев  
Научно-техническое предприятие «ТКА», г. Санкт-Петербург, Россия

*В статье рассмотрены фотоколориметры интегрального и спектрального типа. Показаны преимущества и недостатки каждого из них. Предложен метод коррекции спектральной чувствительности многоэлементных фотоприемников (диодной линейки), на основе которого может быть создан новый тип колориметра, в котором удачно сочетаются преимущества приборов как спектрального, так и интегрального типа.*

*Ключевые слова:* спектроколориметр, спектральная коррекция.

## NEW TYPE OF THE COLORIMETER FOR MEASUREMENT OF COLOR CHARACTERISTICS OF SOURCES OF OPTICAL RADIATION

V. N. Kuzmin, A. L. Marin, S. E. Nikolaev  
Scientific and technical enterprise "TKA", St. Petersburg, Russia

*Principles of action and basic optical schemes of photocolorimeters of integrated and spectral type are considered in article, the advantages and lacks of them are given. The method of correction of spectral sensitivity of multielement photodetectors (linear image sensor) on which basis the new type of a colorimeter in which advantages of devices both spectral, and integrated type are successfully combined can be created is offered.*

*Keywords:* spectrocolorimeter, spectral correction.

**Введение.** Цветовые и эффективные характеристики источников оптического излучения, как правило, измеряют двумя способами:

— с помощью интегральных измерений приемниками оптического излучения, спектральная характеристика которых корригирована к заданному виду — приборами интегрального типа;

— с помощью измерения спектрального состава исследуемого источника и последующего вычисления необходимых фотометрических величин - спектроколориметрами.

**Основная часть статьи.** Сравнительные характеристики показывают следующее. Фотоэлектрические колориметры надежны в эксплуатации. Они не боятся механических нагрузок, перепада температур. Достаточно проста в изготовлении электронная часть прибора. Недостатком же способа является трудность коррекции фотоприемника под заданную эффективную чувствительность и невозможность обойти явление метамеризма.

Недостатком второго способа является техническая трудность реализации измерительного прибора. В то же время, нужно заметить, что знание спектрального состава исследуемого источника оптического излучения позволяет решить практически все колориметрические задачи, стоящие перед исследователем. Современные методы обработки информации дают возможность смоделировать с достаточной точностью любые эффективные спектральные характеристики приемников. При этом основная нагрузка по метрологическому обеспечению цветовых измерений ложится на точность измерения спектральной характеристики спектроколориметра в целом.

Вместе с тем необходимо отметить и принципиальную проблему, присущую приборам на основе полихроматора с дискретным фотоприемником.

Известно [1], что принцип действия большинства спектральных приборов можно пояснить с помощью графиков, приведённых на рисунках 1—4. Форма кривой 1 соответствует функции  $f(\lambda)$ , описывающей исследуемый спектр — распределение энергии излучения по длинам волн  $\lambda$ . Кривая 2 соответствует функции  $a(\lambda-\lambda')$ , описывающей способность спектрального прибора выделять из светового потока узкие участки  $\delta\lambda$  в окрестности каждой  $\lambda'$ . Эту важнейшую характеристику спектрального прибора называют функцией пропускания, или **аппаратной функцией** (АФ). Процесс измерения спектра  $f(\lambda)$  прибором с АФ  $a(\lambda-\lambda')$  можно имитировать, регистрируя изменения светового потока, проходящего через отверстие описываемой кривой 2, при перемещении (сканировании) относительно кривой 1. Очевидно, чем меньше ширина АФ, тем точнее будет измерена форма контура спектра  $f(\lambda)$ , тем более тонкая структура может быть в нём обнаружена.

Ширина АФ наряду с рабочим диапазоном  $\lambda$  является основной характеристикой спектрального прибора. Она определяет спектральное разрешение  $\delta\lambda$  и спектральную разрешающую способность  $R = \lambda/\delta\lambda$ . Чем шире АФ, тем хуже разрешение (и меньше  $R$ ), но больше поток излучения, пропускаемый прибором, т. е. больше оптический сигнал.

Очевидно, что корректное измерение монохроматического потока возможно лишь в том случае, когда он полностью попадёт на приёмную площадку. Что касается источников со сплошным спектром излучения, то картина здесь достаточно благополучная. Ту часть излучения, которая не регистрируется фотоприёмным элементом, можно определить методом аппроксимации функции  $f(\lambda)$ . Если же источник является не сплошным, а линейчатым, то ситуация усложняется. На фотоприёмную площадку попадает лишь часть излучения источника, в ряде случаев ещё и не самая основная. Следствием этого явления является ошибка в измерениях спектрального состава исследуемого источника.



Рисунок 1 — Исследуемый источник излучения



Рисунок 2 — Аппаратная функция прибора

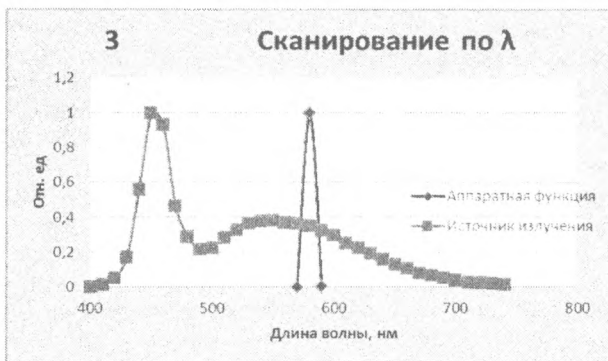


Рисунок 3 — Исследование источника



Рисунок 4 — Спектральная чувствительность одного датчика

Для устранения этой неприятной ситуации можно воспользоваться следующей закономерностью. При увеличении ширины входной щели полихроматора аппаратная функция спектрального прибора увеличивается — «ухудшается». Нетрудно заметить тот факт, что это приводит к изменению спектральной чувствительности каждого фоточувствительного элемента фотодиодной линейки, от узкой монохроматической до достаточно широкой, достигающей десятков нанометров.

Сигнал  $P_{\lambda_i}$ , регистрируемый с каждого элемента фотодиодной линейки, представляет собой произведение спектральной чувствительности этого элемента  $S_{\lambda_i}$  на монохроматическую составляющую  $\Phi_{\lambda_i}$  падающего на него потока:

$$P_{\lambda_i}(\lambda) = S_{\lambda_i}(\lambda) \cdot \Phi_{\lambda_i}(\lambda) \quad (1)$$

Если известен «сигнал»  $P_{\lambda_i}(\lambda)$ , снимаемый с каждого элемента, и спектральное распределение падающего потока, т. е.  $\Phi_{\lambda_i}(\lambda)$ , то легко получить спектральную чувствительность  $S_{\lambda_i}$  каждого элемента. Для этого, например, можно использовать излучение стандартной лампы с известным табулированным значением спектральной плотности потока излучения.

Зная реальную чувствительность каждого элемента линейки, можно получить необходимые поправочные коэффициенты для этого элемента, чтобы привести спектральную чувствительность прибора к виду относительной световой эффективности глаза  $V(\lambda)$  (рисунок 5), к идеальному «П-образному» виду или любой другой кривой спектральной эффективности, для вычисления спектральной освещённости (облучённости) входной щели.

Поправочный коэффициент для  $V(\lambda)$  можно получить из выражения при  $S_{\lambda_i}(\lambda) = V(\lambda)$ :

$$S_{\lambda i}(\lambda) = k_{\lambda i} \cdot \frac{P_{\lambda i}(\lambda)}{\Phi_{\lambda i}^{таб}(\lambda)}, \quad (2)$$

где  $k_{\lambda i}$  — поправочный коэффициент, учитывающий усиление сигнала для  $i$ -го элемента линейки, вырабатываемый микропроцессором;  $\Phi_{\lambda i}^{таб}$  — спектральная плотность потока излучения стандартного источника.



Рисунок 5 — Приведение спектральной чувствительности фотодиодной линейки к виду относительной световой эффективности глаза  $V(\lambda)$

Поправочный коэффициент для «П-образного» вида можно получить из выражения при  $S_{\lambda i}(\lambda) = 1$ :

$$S_{\lambda i}(\lambda) = k_{\lambda i} \cdot \frac{P_{\lambda i}(\lambda)}{\Phi_{\lambda i}^{таб}(\lambda)}, \quad (3)$$

Аналогичные операции производятся для других спектральных кривых.

**Заключение.** Таким образом, используя диспергирующую систему полихроматора — для формирования спектральной чувствительности фотодиодной линейки, получаем принципиально новый тип фотокориметра для проведения цветовых измерений, в котором используется принцип «Чем хуже спектральное разрешение, тем лучше».

В нём удачно сочетаются воедино преимущества приборов как спектрального, так и интегрального типа. Всё это позволяет измерять с необходимой точностью практически все источники оптического излучения, применяемые в осветительной технике.

#### Список литературы

1. Джадд Д. Цвет в науке и технике / Д. Джадд, Г. Вышецки ; пер. с англ. ; под ред. д-ра техн. наук, проф. Л. Ф. Артюшина. — М. : Мир, 1978. — 592 с., ил.
2. Рекомендации МКО 15:2004. Колориметрия. — (Colorimetry, 3-rd ed.).
3. Справочная книга по светотехнике / под ред. Ю. Б. Айзенберга. — М. : Энергомашиздат, 1983. — 466 с.
4. ГОСТ 8.205-2014 Государственная поверочная схема для средств измерений координат цвета координат цветности, показателей белизны и блеска.
5. ГОСТ Р 54350-2011 Приборы осветительные. Светотехнические требования и методы испытаний.