

В. В. РОЖЕНЦОВ, Р. К. МАМЕДОВ

**ГОНИОСПЕКТРОРАДИОМЕТРИЧЕСКИЙ МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ
ПРОСТРАНСТВЕННЫХ СПЕКТРАЛЬНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК
ЛОКАЛЬНЫХ СВЕТОВЫХ ПОЛЕЙ**

Представлен метод определения пространственных спектральных характеристик локальных световых полей. Приведена схема экспериментальной измерительной установки. Обосновывается применение данного метода для решения задач авиационного приборостроения.

***Ключевые слова:** пространственные спектральные измерения, локальные световые поля, спектрофотометрия.*

Качество и эффективность функционирования оптических и оптоэлектронных приборов и систем, формирующих и отображающих визуальную информацию не только в плоскости, но и в пространстве, могут быть достигнуты лишь при условии обеспечения высокого качества

пространственного оптического изображения и реализации улучшенных спектральных характеристик световых полей [1—3]. К таковым относятся устройства, использующие RGB-источники излучения; приборы и системы, использующие жидкокристаллические матрицы, интерференционные и поляризационные покрытия, анизотропные материалы, а также приборы и системы, изначально формирующие объемное изображение. Оптические характеристики таких приборов и систем могут зависеть от угла обзора, т.е. от их пространственного положения относительно наблюдателя. Особую актуальность информация о пространственных спектральных характеристиках световых полей обретает в тех случаях, когда наблюдения осуществляются в условиях темновой и цветовой адаптации глаза человека, а также посредством специальных оптических систем (например, систем ночного видения) [4, 5].

В настоящей статье предложен метод решения задачи определения пространственных спектральных характеристик локальных световых полей, основанный на сочетании спектро-радиометрического и гониофотометрического методов измерений и условно названный „гониоспектрорадиометрическим методом“. Данный метод реализуется посредством пошаговых измерений спектральных плотностей энергетических фотометрических величин объекта измерения при его повороте на заданные углы. Получаемая таким образом информация позволяет осуществить расчет пространственного распределения таких оптических характеристик, как световая яркость, световая освещенность, сила света, координаты цветности в системе любого цветового пространства, а также определить редуцированные фотометрические величины, например энергетическую яркость, воспринимаемую приборами ночного видения, — ПНВ-яркость [4, 6].

Для экспериментальной апробации предлагаемого метода разработана гониоспектрорадиометрическая установка, функциональная схема которой приведена на рис. 1.

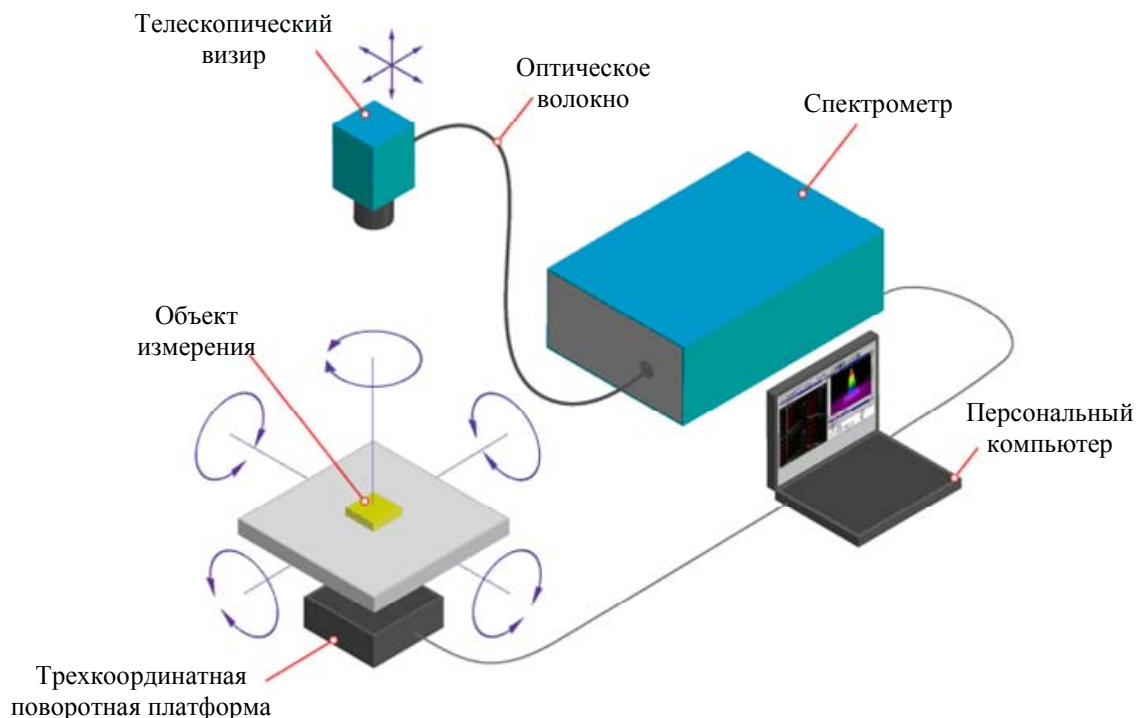


Рис. 1

В состав установки входит трехкоординатная поворотная платформа, на которой размещается объект измерений. Положение вращающейся части платформы контролируется датчиком угла поворота, который соединен с контроллером, управляющим перемещением платформы. В качестве средства измерения был использован спектро-радиометр, содержащий телескопический визир и спектрометр. Оптический сигнал, поступающий с телескопического

визира, передается в спектрометр посредством оптического волокна. Монохроматор спектрометра выполнен по схеме Черни — Тернера. Оптическая схема установки представлена на рис. 2.

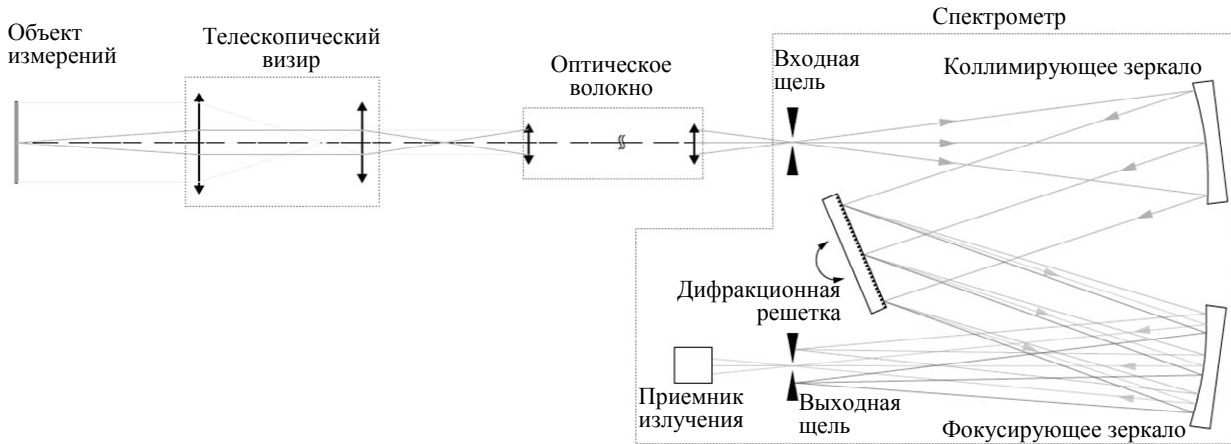


Рис. 2

Преимуществами выбранной оптической схемы спектрометра являются малые aberrации и достаточно большая светосила. В процессе измерений спектрометр регистрирует спектр излучения объекта для каждого дискретного положения платформы. Информация о спектре излучения объекта измерений и значении угла поворота платформы поступает на компьютер. На основе полученной информации осуществляется расчет спектральных световых фотометрических величин по следующим формулам [6]:

$$L_v(\varphi, \theta, \lambda) = 638 \cdot \int_{380}^{780} K(\lambda)N(\lambda)d\lambda,$$

где L_v — световая яркость; $K(\lambda)$ — нормированная спектральная кривая чувствительности глаза; $N(\lambda)$ — спектральная плотность энергетической яркости объекта измерений; φ, θ — углы наклона между нормалью и лучом в азимутальной и сагиттальной плоскостях соответственно;

$$E_v(\varphi, \theta, \lambda) = 638 \cdot \int_{380}^{780} K(\lambda)E_e(\lambda)d\lambda,$$

где E_v — световая освещенность; $E_e(\lambda)$ — спектральная плотность энергетической освещенности объекта измерений;

$$X = \int_{380}^{780} \bar{x}N(\lambda)d\lambda, \quad Y = \int_{380}^{780} \bar{y}N(\lambda)d\lambda, \quad Z = \int_{380}^{780} \bar{z}N(\lambda)d\lambda;$$

$$u' = \frac{4X}{X+15Y+3Z}; \quad v' = \frac{9Y}{X+15Y+3Z},$$

где $\bar{x}, \bar{y}, \bar{z}$ — спектральные чувствительности глаза (функции сложения цветов) согласно документации Международного комитета по освещению (МКО) 1931 г.; X, Y, Z — координаты цвета в системе МКО; u' и v' — координаты цветности в системе МКО 1976.

ПНВ-яркость (R_A) при указанной световой яркости L_v равна

$$R_A = \frac{L_r}{L_m} \int_{380}^{930} G_A(\lambda)N(\lambda)d\lambda,$$

где L_r — необходимый уровень световой яркости для R_A ; L_m — спектрально усредненная световая яркость; $G_A(\lambda)$ — относительная спектральная чувствительность ПНВ класса А.

Вычисление световых спектральных фотометрических величин производится автоматически с использованием программного обеспечения спектрорадиометра.

По результатам измерений $I_e(\lambda)$, $N(\lambda)$ и $E_e(\lambda)$ RGB-источника излучения были рассчитаны пространственные (угловые) распределения силы света в системе сферических координат (рис. 3), координаты цветности в системе МКО 1976, а также пространственные распределения спектральной плотности силы света для спектрального диапазона 620—650 нм (рис. 4). Результаты измерений позволили оценить абсолютные значения различных фотометрических характеристик объекта, получить информацию о форме их распределения, произвести оценку совместимости работы объекта измерений и ПНВ 3-го поколения класса А [6], выявить зависимость спектральных распределений фотометрических величин излучения от угла обзора. В частности, детальный анализ результатов измерений (см. рис. 4) показал, что при изменении угла обзора сила света уменьшилась на 70 %, а спектр излучения RGB-источника сместился на величину $\Delta\lambda=5$ нм в коротковолновую область спектра. Изменение спектра, в свою очередь, привело к изменению координат цветности. Зависимость изменения цветности RGB-источника излучения от угла обзора показана на рис. 3.

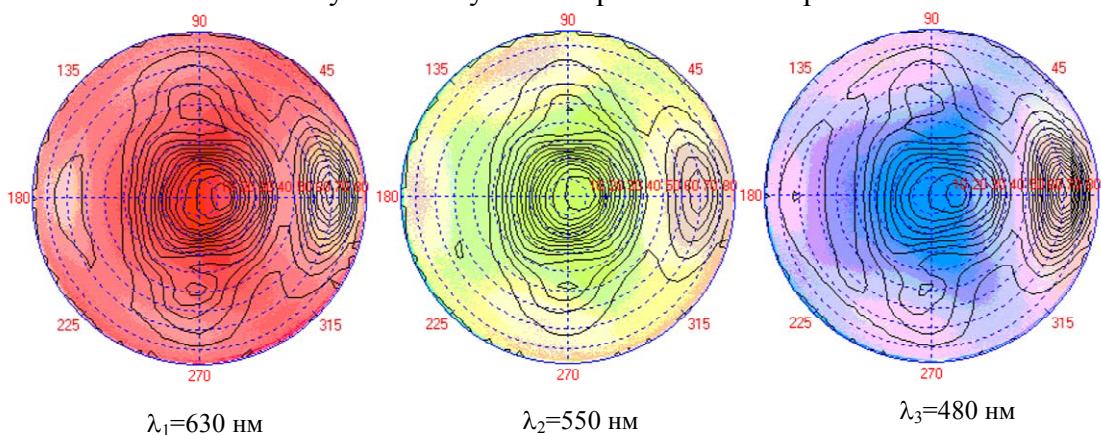


Рис. 3

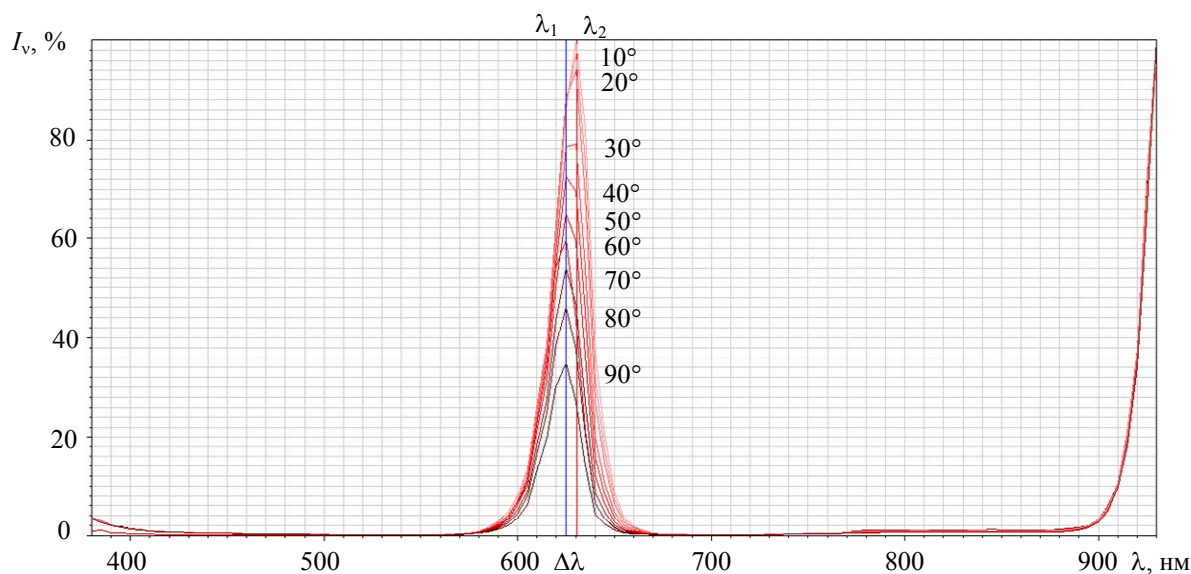


Рис. 4

Таким образом, основываясь на результатах экспериментальных исследований, можно утверждать, что использование предложенного метода позволяет на практике решить задачу определения пространственных спектральных характеристик локальных световых полей, способствует улучшению качества создаваемых систем отображения визуальной информации и обеспечивает возможность ее более эффективной эксплуатации.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Рожнецов В. В., Мамедов Р. К.* Проблемы и перспективы пространственных спектральных измерений локальных световых полей // Науч.-техн. ведомости СПбГПУ. Сер. Наука и образование. 2011. Вып. 1(117). С. 170—176.
2. *Бахарев Д. В.* О структуре световых полей // Светотехника. 2005. № 3. С. 40—44.
3. *Бахарев Д. В.* Геометрия размытого оптического изображения // Там же. 1993. № 8. С. 10—13.
4. Night Vision Imaging System Lighting Compatibility Assessment Methodology / *H. Lee Task, A. R. Pinkus, M. H. Barbato, M. A. Hausmann* // Air Force Research Laboratory, USA. 2004.
5. *Lloyd G. F. H.* Cockpit Lighting Standards and Techniques for Use with Night Vision Goggle // Working Paper 6. Iss B. Royal Aircraft Establishment, FS(F), 1986.
6. MIL-STD-3009. Lighting, Aircraft, Night Vision Imaging System (NVIS) Compatible. Department of Defense Interface Standard, 2001.

Сведения об авторах

- Вадим Вячеславович Рожнецов** — аспирант; Санкт-Петербургский государственный университет информационных технологий, механики и оптики, кафедра компьютеризации и проектирования оптических приборов;
E-mail: Vadim.Rozhentsov@transas.com
- Роман Камильевич Мамедов** — д-р техн. наук, профессор; Санкт-Петербургский государственный университет информационных технологий, механики и оптики, кафедра компьютеризации и проектирования оптических приборов;
E-mail: Romamedov@yandex.ru

Рекомендована кафедрой
компьютеризации и проектирования
оптических приборов

Поступила в редакцию
26.04.11 г.