

50 мкс, что исключает ее разрушение в процессе испытаний. Величина напряжения пробоя фиксируется вольтметром  $V1$ .

Устройство, разработанное на основе схемы рис.1, было использовано для измерения  $U_{np}$  и установления связи между параметрами дугового разряда в ЛН и сроком их службы. При проведении исследований у каждой из испытываемых ламп было измерено  $U_{np}$ , затем лампы устанавливали на испытательный стенд, где по ускоренной методике [3] определяли срок их службы  $\tau$ . Результаты испытаний и вычислений зависимости между измеренными величинами с применением корреляционного анализа [4] позволили установить факт существования линейной зависимости между сроком службы ЛН  $\tau$  и напряжением пробоя газового промежутка в лампе. Эмпирическая прямая регрессии записывается уравнением

$$\tau = 0,9U_{np} - 198,7. \quad (4)$$

Проведенные исследования свидетельствуют о возможности прогнозирования  $\tau$  в лампе посредством разработанного устройства.

1. Корочков В.Н., Пляскин П.В., Спирин А.А., Цветков Е.И. К вопросу о возникновении разряда в лампах накаливания // Светотехника. – 1973. – №4. – С.8-9.

2. А.С. 1138848 СССР, МКИ Н01Н9/50. Устройство для испытания ламп накаливания / Намитов К.К., Соколов В.Ф., Гуракова Л.Д. – Бюл.№5, 1985.

3. Денисов В.П. Производство электрических источников света. – М.: Энергия, 1975. – 488 с.

4. Румшинский Л.З. Математическая обработка результатов экспериментов. – М.: Наука, 1971. – 192 с.

Получено 16.04.2001

УДК 628.9:535

**В.В.МЕЗЕНЦЕВ**

*Харьковская государственная академия городского хозяйства*

### **МЕТОДИКА РАСЧЕТА И ПРИНЦИПЫ ИЗМЕРЕНИЯ ЯРКОСТИ В ПЕРЕХОДНОЙ ОБЛАСТИ АДАПТАЦИИ**

Приводится методика расчета эквивалентной яркости, позволяющая использовать традиционные методы светотехнических расчетов и исключая необходимость применять метод последовательных приближений. Она полностью приемлема для инженерной светотехнической практики.

Наиболее точно уровень зрительных восприятий в переходной области адаптации ( $10^{-3}$ - $10$  кд·м<sup>-2</sup>) определяется эквивалентной яркостью. Однако до настоящего времени в светотехнической практике это

не нашло применения из-за сложности расчетов и отсутствия фотоэлектрических методов измерения эквивалентной яркости. Единственным прибором для этой цели является визуальный фотометр ВФМ-57, который морально устарел. В то же время разнообразие спектрального состава современных источников света приводит к значительному (в несколько раз) различию зрительных восприятий в области адаптации ниже  $10 \text{ кд}\cdot\text{м}^{-2}$  при одинаковой стандартной яркости, создаваемой разными источниками. Это вызывает необходимость более простых методов расчета и измерения, приемлемых в практической работе.

Нами разработана методика, исключаящая необходимость применения метода последовательных приближений в расчетах. Суть ее заключается в использовании для расчетов эквивалентной яркости не соотношения доли энергетических потоков в красной, зеленой и синей областях спектра, а соотношения потоков, оцененных по функциям спектральной эффективности излучения для зрения дневного  $V(\lambda)$  и ночного  $V'(\lambda)$ .

Сложность поставленной задачи состоит в изменении формы кривой функции относительной спектральной световой эффективности излучения в переходной области адаптации  $V(\lambda, L_{\text{ЭК}})$  ( $10^{-3}$ - $10 \text{ кд}\cdot\text{м}^{-2}$ ) от эквивалентной яркости. Для расчета эквивалентной яркости  $L_{\text{ЭК}}$  используется соотношение

$$L_{\text{ЭК}} = K_{\text{max}}(L_{\text{ЭК}}) \int l_e(\lambda) V(\lambda, L_{\text{ЭК}}) d\lambda, \quad (1)$$

где  $K_{\text{max}}$ ,  $\text{кд}\cdot\text{м}^{-2}$  – максимальная спектральная чувствительность глаза, соответствующая яркости  $L_{\text{ЭК}}$ ;  $l_e(\lambda)$  – спектральная плотность яркости поля адаптации.

Расчет по этому уравнению требует использования метода последовательных приближений, что приводит к значительной трудоемкости вычислений и практически исключает возможность их применения в инженерной практике. Создание фотоэлектрического прибора для измерения эквивалентной яркости также является сложной, практически нерешимой задачей, так как требует создания приемника излучения, спектральная чувствительность которого изменялась бы от уровня яркости адаптации.

Анализ показал, что решить эту задачу можно, если функцию относительной спектральной световой эффективности излучения в переходной области представлять суммой составляющих функций на базе нормализованных, не зависящих от яркости и взятых в определенных соотношениях:

$$V(\lambda, L_{\text{ЭК}}) = K_1 f_1(\lambda) + K_2 f_2(\lambda) + K_3 f_3(\lambda) + K_4 f_4(\lambda). \quad (2)$$

Можно ожидать, что число таких функций будет не более четырех, что соответствует четырем типам светочувствительных анализаторов в сетчатой оболочке глаза. Коэффициенты  $K_1 - K_4$  определяют долю участия каждого анализатора в зрительном восприятии при заданном уровне адаптации. Сумма их может быть принята равной 1. В этом случае параметров  $K$  будет на единицу меньше. Функция  $V(\lambda, L_{\text{ЭК}})$  должна быть пронормирована из условия  $V_{\text{max}}(\lambda, L_{\text{ЭК}}) = 1$  и таким образом получены функции спектральной световой эффективности излучения для переходной области, которые должны совпадать с функциями  $V(\lambda)$  и  $V'(\lambda)$ , а также с функциями  $V(\lambda, L_{\text{ЭК}})$ , приводимыми в светотехнических справочниках через порядок величины эквивалентной яркости.

На первом этапе целесообразно получить интерполяцию функций  $V(\lambda, L_{\text{ЭК}})$  через порядок значений  $L_{\text{ЭК}}$  на основе функций  $V(\lambda)$  и  $V'(\lambda)$ , а при необходимости повышения точности дополнить уравнение (2) последующими составляющими, например, координатами цвета, которые отображают участие в восприятии трех цветовых анализаторов зрительного аппарата. Теоретический анализ и расчеты на ЭВМ показали, что с погрешностью не более 20% эту функцию можно представить таким образом:

$$V(\lambda, L_{\text{ЭК}}) = K_1 V(\lambda) + K_2 V'(\lambda). \quad (3)$$

Полагая  $K_1 + K_2 = 1$ , устанавливали долю участия функций  $V(\lambda)$  и  $V'(\lambda)$  в формировании функции  $V(\lambda, L_{\text{ЭК}})$ .

Достаточно хорошее воспроизведение функции  $V(\lambda, L_{\text{ЭК}})$  двумя составляющими позволило сделать вывод, что спектральный состав излучения по его влиянию на значение эквивалентной яркости может однозначно характеризоваться соотношением эффективных значений яркости, рассчитанных по функциям  $V(\lambda)$  и  $V'(\lambda)$ , т.е. соотношением фотометрических величин и эффективных величин для ночного видения. Это позволяет любое излучение характеризовать двумя эффективными потоками  $\Phi_{\text{дн}}$  и  $\Phi_{\text{н}}$ , причем полагая  $K_{\text{max}} = 1 \text{ св.Вт} \cdot \text{Вт}^{-1}$ , в световых ваттах они будут определяться уравнениями

$$\begin{aligned}\Phi_{\text{дн}} &= \int \varphi_e(\lambda) V(\lambda) d\lambda; \\ \Phi_{\text{н}} &= \int \varphi_e(\lambda) V'(\lambda) d\lambda.\end{aligned}\tag{4}$$

Естественно, что световой поток излучения будет равен  $\Phi = \Phi_{\text{дн}} \cdot 683$  (лм).

Для упрощения излучение любого спектрального состава можно характеризовать значением светового потока  $\Phi$  (и, естественно, пользоваться в расчетах всеми световыми величинами) и отношением  $\Phi_{\text{н}} / \Phi_{\text{дн}} = K_3$ . Поскольку, в конечном счете, зрительные восприятия определяются эквивалентной яркостью, все светотехнические расчеты можно проводить по общепринятым методикам, а после расчета яркости объекта наблюдения (или яркости поля адаптации) с помощью математических соотношений или графических зависимостей  $L_{\text{эк}} = f(L, K_3)$  определять эквивалентную яркость.

Описанная методика обеспечивает аддитивность, так как все расчеты выполняются в общепринятой системе величин. Для расчетов по разработанной методике необходимо произвести светотехнический расчет для определения яркости или освещенности. Для источников излучения нужно находить  $K_3$ . Если в системе используются отражающие поверхности или фильтры, то для них должны быть рассчитаны эффективные коэффициенты отражения или пропускания световых потоков  $\Phi_{\text{дн}}$  и  $\Phi_{\text{н}}$  по уравнениям

$$\begin{aligned}\rho_{\text{дн}} &= \rho = (\int \varphi_e(\lambda) V(\lambda) \rho(\lambda) d\lambda) / (\int \varphi_e(\lambda) V(\lambda) d\lambda); \\ \rho_{\text{н}} &= (\int \varphi_e(\lambda) V'(\lambda) \rho(\lambda) d\lambda) / (\int \varphi_e(\lambda) V'(\lambda) d\lambda); \\ \tau_{\text{дн}} &= \tau = (\int \varphi_e(\lambda) V(\lambda) \tau(\lambda) d\lambda) / (\int \varphi_e(\lambda) V(\lambda) d\lambda); \\ \tau_{\text{н}} &= (\int \varphi_e(\lambda) V'(\lambda) \tau(\lambda) d\lambda) / (\int \varphi_e(\lambda) V'(\lambda) d\lambda).\end{aligned}\tag{5}$$

Зависимости  $L_{\text{эк}} / L_{\text{ст}} = f(L_{\text{ст}})$  для различных значений  $K_3$  были рассчитаны по методике, описанной Мешковым В.В. [1]. При этом задавались эквивалентной яркостью  $L_{\text{ст}}$  и определяли стандартную яркость. Эти зависимости дают точное соотношение стандартной и эквивалентной яркости для однородных излучений и с погрешностью не более 20% для излучения любого спектрального состава.

Дальнейший теоретический анализ должен уточнить значение предельной погрешности для разноспектральных излучений, в первую очередь для стандартных источников излучения и ламп массового производства, используемых в осветительных установках.

Выполненные исследования позволяют разработать новую методику метрологии в переходной области адаптации, близкую к общепринятой в светотехнике. В основу этой методики должны быть приняты световой поток и коэффициент  $K_3$ , равный

$$K_3 = \left( \int \varphi_e(\lambda) V'(\lambda) d\lambda \right) / \left( \int \varphi_e(\lambda) V(\lambda) d\lambda \right). \quad (6)$$

Общепринятые методики светотехнических расчетов позволяют на основе этого произвести все расчеты, конечной целью которых является определение эквивалентной яркости. Определить  $K_3$  источников света можно при их фотометрировании общепринятыми методами, но с использованием дополнительного корректирующего фильтра, приводящего относительную спектральную чувствительность приемника к нормализованной функции относительной спектральной световой эффективности излучения для ночного зрения.

Эффективные оптические коэффициенты должны быть рассчитаны по уравнениям (5) или измерены с использованием соответствующих корректирующих фильтров.

Таким образом, спектральный состав любого излучения с точки его влияния на зрительные восприятия в переходной области можно оценивать по двум функциям  $V(\lambda)$  и  $V'(\lambda)$ . Разработанная методика расчета эквивалентной яркости позволяет использовать традиционные методы светотехнических расчетов, исключает необходимость применения метода последовательных приближений и вполне приемлема для инженерной практики. Обеспечивается также возможность создания фотоэлектрических методик измерения эквивалентной яркости.

1. Мешков В.В. Основы светотехники. – М.: Энергия, 1979. – 368 с.

2. Волькенштейн А.А. Визуальная фотометрия малых яркостей. – М.-Л.: Энергия, 1965. – 143 с.

Получено 16.04.2001

УДК 621.3.0.32.4

Н.Н.ГЕЗУЛЯ, В.Ф.РОЙ, д-р техн. наук, В.А.САЛТЫКОВ, канд. техн. наук  
Харьковская государственная академия городского хозяйства

## АНАЛИЗ СИСТЕМ ДИНАМИЧЕСКОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ

Рассматриваются существующие методы регулирования светового потока газоразрядных источников света, выявлены их преимущества и недостатки.