

Д. ф.-м. н. И. М. ФОДЧУК, И. В. ДОКТОРОВИЧ,
д. т. н. В. Н. ГОДОВАНЮК, В. К. БУТЕНКО, В. Г. ЮРЬЕВ

Украина, г. Черновцы,
Черновицкий нац. университет им. Юрия Федьковича, ЦКБ «Ритм»
E-mail: Rhythm@chv.ukrpack.net

Дата поступления в редакцию
24.05 2007 г.

Оппонент к. т. н. Л. А. МИХЕЕНКО
(НТУУ “КПИ”, г. Киев)

МЕТРОЛОГИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЯРКОМЕРА “ТЕНЗОР-28”

Приведены результаты исследований метрологических характеристик яркомера “Тензор-28”, предназначенного для измерения средней яркости экранов кинескопов и других самоизлучающих поверхностей.

Измерители яркости относятся к классу фотометрических измерительных приборов и предназначены для измерения яркости самоизлучающих или несамосветящихся поверхностей. В зависимости от конструкции фотометрической измерительной головки яркомеры могут быть выполнены для контактного или бесконтактного измерения яркости.

Фирмы России и Украины [1—3] выпускают экспериментальные измерители яркости, метрологические характеристики которых мало изучены. Так как яркомеры в первую очередь должны использоваться для контроля санитарной нормы яркости, то они относятся к средствам измерительной техники, которые используются при выполнении работ по обеспечению охраны здоровья, и уровень метрологических характеристик яркомера является важным параметром измерителя. Согласно [4], основная относительная погрешность измерений яркости не должна превышать $\pm 10\%$.

Нами исследованы метрологические характеристики измерителя яркости “Тензор-28” (далее — яркомер), предназначенного для измерения средней яркости экранов кинескопов и других самоизлучающих поверхностей с немодулированным и модулированным потоками излучения, частота модуляции которых превышает 50 Гц [5].

Для исследований метрологических характеристик яркомера были разработаны методики измерения и собраны соответствующие измерительные установки.

Для определения основной относительной погрешности яркомера (δ_L) составим перечень вероятных факторов, влияющих на эту характеристику. К ним относятся:

- 1) погрешность калибровки δ_k ;
- 2) нестабильность чувствительности δ_s на протяжении 8 часов;
- 3) нелинейность энергетической характеристики δ_d в широком динамическом диапазоне — в пределах измерений яркости от 1 до 2000 кд/м²;

4) качество корректирования спектральной характеристики чувствительности фотометрической головки $\delta_{\nu\lambda}$ под относительную спектральную световую эффективность монохроматического излучения для дневного зрения;

5) влияние фоновой засветки δ_ϕ на чувствительность яркомера;

6) угловая зависимость чувствительности δ_β .

Рассмотрим отдельно каждую составляющую общей погрешности.

1. Для калибровки яркомера используется установка, структурная схема которой приведена на рис. 1. Здесь 1 — блок питания Б5-21; 2 — лампа накаливания с цветовой температурой $T_{\text{ц}}=2850$ К; 3 — светорассеивающая пластина, которая является вторичным источником излучения; 4 — эталонная фотометрическая головка; 5 — прецизионный преобразователь “ток—напряжение” ППТН-02.

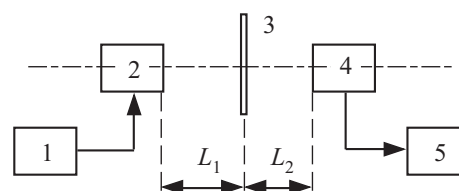


Рис. 1. Схема установки для калибровки яркомера

Так как яркость экрана (светорассеивающей пластины 3) определяется силой света, созданного единицей площади видимой поверхности источника [6, 7] в данном направлении, то погрешности калибровки яркомера δ_k состоят из погрешности определения силы света δ_I и ее нестабильности $\delta_{\Delta I}$, неравномерности яркости излучающей поверхности источника $\delta_{\text{и}}$, погрешности определения площади излучающей поверхности источника δ_A , погрешности определения расстояния между источником излучения и фотоприемником δ_{L2} и погрешности измерительного (электронного) блока яркомера $\delta_{\text{эл}}$.

Для определения силы света используется аттестованная в Харьковском НИИ “Метрология” эталонная фотометрическая головка 4 (погрешность фотометрической головки $\delta_{\text{этал}}=\pm 1,5\%$) и прецизионный преобразователь “ток—напряжение” ППТН-02 [8] (погрешность преобразователя $\delta_{\text{ППТН-02}}=\pm 1\%$).

Учитывая величины этих погрешностей, погрешность определения силы света δ_I будет равна [9,10]

$$\delta_I = \sqrt{\delta_{\text{этал}}^2 + \delta_{\text{ППТН-02}}^2} = \pm 1,8\% \quad (1)$$

Отметим, что величины погрешностей в (1) и далее приводятся с доверительной вероятностью $P=0,95$.

Нестабильность силы света $\delta_{\Delta I}$ определяется нестабильностью используемых лампы накаливания 2 и блока питания 1 и не превышает $\pm 0,3\%$.

Величина неравномерности яркости излучающей поверхности источника $\delta_{\text{н}}$ зависит от равномерности пропускания светорассеивающей пластины 3, от качества колбы лампы накаливания в направлении излучения и равномерности потока излучения, падающего на светорассеивающую пластину. Подбором пластин и ламп удастся добиться уменьшения неравномерности яркости излучающей поверхности пластины до величины $\delta_{\text{н}} = \pm 0,5\%$.

Для обеспечения равномерности потока излучения необходимо создать условия квазипараллельных лучей. Расчеты показывают, что при расстоянии между лампой накаливания 2 и светорассеивающей пластиной 3 $L_1 \geq 0,7$ м неравномерность освещенности δ_E в плоскости пластины диаметром 113 мм не превышает $\pm 0,3\%$.

Таким образом, неравномерность яркости излучающей поверхности $\delta_{\text{н}}$ будет равна

$$\delta_{\text{н}} = \sqrt{\delta_{\Delta I}^2 + \delta_{\text{н}}^2 + \delta_E^2} = \pm 0,7\% \quad (2)$$

Погрешность определения площади излучающей поверхности источника δ_A и расстояния между источником и контрольным фотоприемником δ_{L_2} определяется погрешностью измерительного инструмента. Диаметр светорассеивающей пластины (113 мм) определяется с погрешностью $\pm 0,1$ мм, а расстояние $L_2 = 700$ мм — с погрешностью $\pm 0,5$ мм. Соответственно погрешность δ_A не превышает $\pm 0,17\%$, а $\delta_{L_2} = \pm 0,07\%$.

В погрешность калибровки входит погрешность измерительного (электронного) блока яркомера, которая определяется техническими характеристиками комплектующих, использованных в измерительном блоке. С учетом этих характеристик погрешность измерительного блока яркомера $\delta_{\text{эл}}$ не превышает $\pm 0,02\%$.

Таким образом, погрешность калибровки δ_k будет равна

$$\delta_k = \sqrt{\delta_I^2 + \delta_{\Delta I}^2 + \delta_{\text{н}}^2 + \delta_A^2 + \delta_{L_2}^2 + \delta_{\text{эл}}^2} = \pm 2,65\% \quad (3)$$

2. Важной составляющей основной относительной погрешности является стабильность (или нестабильность) измерительного прибора. Для исследования нестабильности чувствительности яркомера δ_s была собрана установка, структурная схема которой приведена на рис. 2. Здесь 1 — блок питания Б5-21, 2 —

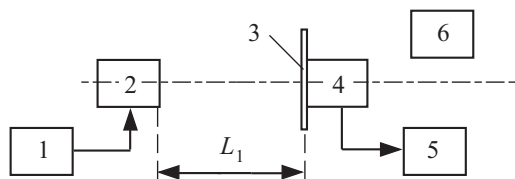


Рис. 2. Схема установки для измерения нестабильности чувствительности яркомера

лампа накаливания с цветовой температурой $T_{\text{ц}} = 2850$ К, 3 — светорассеивающая пластина (вторичный источник излучения), 4 — фотометрическая головка яркомера, 5 — электронный блок яркомера, 6 — канал сравнения.

После прогрева лампы 2 поочередно измерялись фотосигналы канала сравнения I_k (который состоит из высокостабильных эталонной фотометрической головки и преобразователя “ток—напряжение” ППТН-02) и исследуемого яркомера I_d и определялся коэффициент K_i :

$$K_i = \frac{I_d}{I_k} \quad (4)$$

Фотосигналы снова измерялись через 10 мин, 1 и 8 ч непрерывной засветки исследуемого яркомера, и определялся коэффициент K_{ii} .

Нестабильность чувствительности определялась по формуле

$$\delta_{Si} = \frac{K_{ii} - K_i}{K_i} \quad (5)$$

Максимальное из значений δ_{Si} не превышало $\pm 0,3\%$. Эта величина была принята за нестабильность чувствительности яркомера.

3. Исследования нелинейности энергетической характеристики δ_d в пределах измерения яркости от 1 до 2000 кд/м² проводились методом сложения освещенностей [11, 12]. Нелинейность энергетической характеристики δ_d не превышала значения 0,7%.

4. Так как спектральный состав излучения экрана кинескопа может изменяться, то при измерениях яркости измерительная (фотометрическая) головка должна иметь скорректированную спектральную характеристику под относительную спектральную световую эффективность монохроматического излучения для дневного зрения [13].

Измерения спектральной характеристики фотометрической головки яркомера и оценка качества корректирования проводились на спектральном комплексе КСВУ-6 согласно [13, 14] методом сравнения с эталонным фотоприемником (ФП). В качестве эталонного ФП использовался аттестованный во ВНИИОФИ (г. Москва) фотодиод ФД288.

В результате исследований установлено, что качество корректирования спектральной характеристики чувствительности фотометрической головки соответствует второму классу [13] с погрешностью в рабочей области $\delta_{V\lambda}$, равной $\pm 3,2\%$.

5. Для определения влияния фоновой засветки $\delta_{\text{ф}}$ на чувствительность яркомера использовалась установка, структурная схема которой приведена на рис. 3. Здесь 1 — монитор компьютера, 2 — фотометрическая головка яркомера, 3 — электронный блок яркомера, 4 — лампа накаливания.

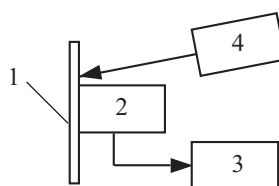


Рис. 3. Схема установки для определения влияния фоновой засветки на чувствительность яркомера

В установке сматетированы реальные условия влияния фоновой засветки: в качестве объекта измерений использовался экран монитора персонального компьютера 1, в качестве источника рабочего освещения — наиболее распространенная лампа накаливания 4.

Изменение фоновой освещенности экрана 1 от минимальной (300 лк) до максимальной (500 лк) [15] регулировали изменением расстояния между экраном и источником фоновой засветки 4, контролируя ее величину эталонной фотометрической головкой. Поскольку влияние фоновой засветки больше проявляется при малых уровнях яркости, то при исследованиях монитор был выключен.

В результате измерений установлено, что при фоновых засветках экрана $E_{\text{фон}} = 1000$ лк показания яркомера не изменялись. Для расчета основной относительной погрешности измерения яркости использовалась величина уровня влияния фоновой засветки $\delta_{\text{ф}}$, равная 0,1%.

б. При использовании яркомера не исключены ситуации, когда фотометрическая головка (ГФ) не будет четко зафиксирована на поверхности измеряемого экрана, т. е. возможны как незначительные угловые отклонения ГФ (в пределах 5—10°), так и отклонение размещения ее над экраном (в пределах 1—3 мм).

Определение угловой зависимости чувствительности яркомера δ_{β} и влияния продольного перемещения производилось на установке, структурная схема которой приведена на рис. 4. Здесь 1 — монитор компьютера, 2 — фотометрическая головка, 3 — электронный блок яркомера; стрелками показаны направления перемещения ГФ.

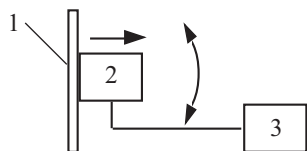


Рис. 4. Схема установки для измерений угловой зависимости чувствительности яркомера

Для уменьшения влияния цветности экрана и контрастных изображений на результаты измерений было создано однотонное (белое) излучение экрана со средним уровнем яркости 50 кд/м².

При наклонах ГФ в пределах углов ±20° показания яркомера δ_{β} изменялись на 0,1%, при перемещениях ГФ вдоль оптической оси (до расстояния 5 мм от экрана) они не изменялись. Это объясняется высокой равномерностью яркости экрана в пределах угла зрения яркомера.

Таким образом, погрешность калибровки яркомера составила 2,7%, нестабильность чувствительности — 0,3%, нелинейность энергетической характеристики — 0,7%, качество корректирования спектральной характеристики чувствительности ГФ — 3,2%, влияние фоновой засветки на чувствительность яркомера — 0,1%, угловая зависимость чувствительности — 0,1%.

Тогда пределы основной относительной погрешности измерения яркости будут равны [9]

$$\delta_L = 1,1 \times \sqrt{\delta_k^2 + \delta_s^2 + \delta_d^2 + \delta_{V\lambda}^2 + \delta_{\text{ф}}^2 + \delta_{\beta}^2} = \pm 4,6\% \quad (6)$$

Таким образом, основная относительная погрешность яркомера “Тензор-28” соответствует требованиям, предъявляемым к фотометрам-яркомерам.

Выводы

1. Яркомер “Тензор-28” обеспечивает высокие метрологические характеристики измерений яркости.

2. Впервые в Украине создан прибор, который обеспечивает измерения яркости экранов кинескопов и других самоизлучающих поверхностей в широком диапазоне изменения яркости.

3. Яркомер имеет устойчивые технические характеристики в диапазоне изменений условий измерений.

ИСПОЛЬЗОВАННЫЕ ИСТОЧНИКИ

1. www.laverna.msk.ru/catalog
2. www.tka.spb.ru
3. www.tenzor.org.ua
4. Гигиеническая оценка и методы контроля оптического излучения производственных источников (методические рекомендации).— К.: КНИИ гигиены труда и профзаболеваний, 1986.
5. Бутенко В. К., Юр’ев В. Г., Шабашкевич Б. Г. Вимірювач яскравості екранів телевізорів та моніторів // Український метрологічний журнал.— 2005.— № 2.— С. 20—22.
6. Гуревич М. М. Фотометрия (теория, методы и приборы).— Л.: Энергоатомиздат, 1983.
7. Ландсберг Г. С. Оптика.— М.: Наука, 1976.
8. Бутенко В. К., Годованюк В. М., Докторович І. В. Прецизійний перетворювач струм—напруга // Науковий вісник ЧНУ. (Чернівці).— 2001.— Фізика. Електроніка.— Вип. 102.— С. 84—85.
9. ГОСТ 8.207—76. Прямые измерения с многократными наблюдениями. Методы обработки результатов наблюдения. Основные положения.
10. Кассандрова О. Н., Лебедев В. В. Обработка результатов наблюдения.— М.: Наука, 1970.
11. Докторович І. В., Бутенко В. К., Годованюк В. Н., Юр’ев В. Г. Методика определения динамического диапазона полупроводниковых фотоприемников // Технология и конструирование в электронной аппаратуре (ТКЭА).— 2002.— № 6.— С. 14—15.
12. Бутенко В. К., Годованюк В. М., Докторович І. В. Установка для вимірювання динамічного діапазону фотоприймачів // Науковий вісник ЧНУ. (Чернівці).— 2001.— Фізика. Електроніка.— Вип. 112.— С. 67—70.
13. ОСТ 16.0.800.814—81. Преобразователи излучения измерительные для световых измерений. Характеристика относительной спектральной чувствительности. Требования и классификация.
14. ОСТ 16.0.800.926—82. Преобразователи излучения измерительные для световых измерений. Методы определения параметров, характеризующих качество воспроизведения относительной спектральной световой эффективности монохроматического излучения для дневного зрения.
15. ДСанПіН 3.3.2 007 1998. Державні санітарні правила і норми роботи з візуальними дисплейними терміналами електронно-обчислювальних машин.— К.: МОЗ України, 1998.