

УДК 681.7.069.32

DOI: 10.33764/2411-1759-2021-26-1-143-149

ОПРЕДЕЛЕНИЕ СТЕПЕНИ ЧИСТОТЫ РАБОЧЕГО ПОЛЯ ЗРЕНИЯ ЭЛЕКТРОННО-ОПТИЧЕСКОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ

Дмитрий Михайлович Никулин

Сибирский государственный университет геосистем и технологий, 630108, Россия, г. Новосибирск, ул. Плеханова, 10, кандидат технических наук, доцент кафедры фотоники и приборостроения, тел. (383)344-29-29, e-mail: dimflint@mail.ru

Валерий Андреевич Райхерт

Сибирский государственный университет геосистем и технологий, 630108, Россия, г. Новосибирск, ул. Плеханова, 10, старший преподаватель кафедры специальных устройств, инноватики и метрологии, тел. (913)959-15-44, e-mail: vreichert@yandex.ru

В статье предложен метод определения степени чистоты рабочего поля зрения электронно-оптических преобразователей. Для решения данной задачи предлагается автоматизировать контроль степени чистоты поля зрения с применением пакета прикладных программ. Автоматизированный контроль предполагает получать изображение рабочего поля экрана и его дальнейшую обработку компьютерными средствами. Это позволяет определять допустимое количество точек и пятен по зонам, размеров и местоположения светлых и темных дефектов. Представлен разработанный авторами алгоритм контроля степени чистоты поля зрения электронно-оптических преобразователей, упрощающий проведение контроля с помощью измерительных приборов и вспомогательных устройств, предлагаемых ГОСТ 21815.15–86. Приведены результаты контроля дефектов в виде светлых точек автоэмиссионного характера и степень чистоты поля зрения в пределах рабочего поля фотокатода с использованием источника света.

Ключевые слова: электронно-оптический преобразователь, чистота поля зрения, Matlab, КМОП-матрица с объективом, светлые и темные дефекты, автоматизированный контроль, инвертированное изображение

Введение

Степень чистоты поля зрения (СЧПЗ) электронно-оптических преобразователей (ЭОП) обусловлена внутренними дефектами ЭОП, которые могут привести к значительному сокращению ресурса преобразователя [1] и ухудшают восприятие изображения.

Измерение СЧПЗ ЭОП осуществляется в соответствии с ГОСТ 21815.15–86 [2]. Допустимое количество дефектов определенных размеров для каждой зоны приводится в паспорте на ЭОП [3, 4]. В каждой зоне контроль размеров дефектов, представляющих собой темные и светлые пятна и точки, измеряют при помощи окулярной сетки микроскопа, для упрощения допускается их сравнивать с контрольными марками при помощи окулярной оптики [2].

ЭОП с микроканальной пластиной (МКП) является сложным оптико-электронным при-

бором [5–7], в технических условиях которого приводится более 20 различных специфических параметров и характеристик [1], из которых к основным можно отнести шесть или семь [3, 4]. Количество и размеры темных и светлых пятен и точек для каждой зоны оператор считает вручную и определяет их соответствие стандарту и техническим условиям (ТУ) на ЭОП конкретного типа. Например, в ТУ АО «Экран-оптические системы» допустимые размеры дефектов, видимых на экране и не передающих изображение по зонам, приведены в табл. 1.

В этих же ТУ регламентируется при контроле СЧПЗ в пределах рабочего поля фотокатода использование источника света с цветовой температурой 2 860 К, тест-объект на отражение, на котором нанесены концентрические окружности, выделяющие зоны, и регламентируемые контрольные марки, окуляр $10\times$ или телескопическую лупу $10\times$.

Таблица 1

Чистота поля зрения ЭОП

Диаметр точек, пятен, мм	Допустимое количество точек, пятен по зонам, шт.		
	Зона 1 Круг диаметром 5,6 мм	Зона 2 Кольцо с диаметрами 5,6–14,7 мм	Зона 3 Кольцо с диаметрами 14,7–17,5 (18*) мм
До 0,02 включительно	не учитываются		
Свыше 0,02 до 0,05 включительно	0	2	2
Свыше 0,05 до 0,15 включительно	0	1	1
Свыше 0,15	не допускаются		

Примечания:

1. Окулярное увеличение – $10\times$.

2. Во 2-й и 3-й зонах допускаются полосы шириной $0,01 \div 0,05$ мм общей длиной не более 1,5 мм. Полосы шириной менее 0,01 мм не учитываются, более 0,05 мм не допускаются.

* Для ЭОП ЭПМ 207Г-01(02÷04)-22 и их модификаций по электрическим, энергетическим и оптическим параметрам.

Темные и светлые точки контролируют сравнением с регламентированными контрольными марками.

Дефекты некруглой формы (скопления точек, пятна), а также видимые в поле зрения полосы контролируют с помощью микроскопа с окулярной сеткой, измеряя их размеры.

Светлые точки автоэмиссионного характера не допускаются.

Контроль наличия светлых точек автоэмиссионного характера проводят при напряжении питания ЭОП и отсутствии освещенности на фотокатод.

В статье предложен метод, показывающий возможность автоматизированного контроля СЧПЗ ЭОП с применением пакета прикладных программ системы Matlab [8].

Цель и метод исследования

В работах [9–12] авторы отмечают актуальность автоматизации контроля и измерений оптических характеристик ЭОП. На практике, благодаря автоматизации, можно повысить точность и производительность при определении СЧПЗ ЭОП, исключить субъективность в оценке при контроле оператором вручную.

Для автоматизированного контроля предлагается фотографировать экран ЭОП.

Далее выполнять обработку изображений [13] программой системы Matlab. Отметим, что файл изображения должен иметь расширение, не допускающее потери качества, например, *.bmp (расширение .jpg сжимает изображение, ухудшая качество). При этом использование черно-белой КМОП-матрицы предпочтительнее [14].

При написании статьи авторы пользовались изображениями с довольно низким разрешением 288×386 пикселей. Но, несмотря на это, по мнению авторов, перспективность и возможность использования системы Matlab продемонстрирована.

На практике установилось, что дефектными считаются точки и пятна, контраст которых по отношению к рабочему полю экрана ЭОП составляет более 30 % [1].

Отметим, что при автоматизированном контроле пороговый контраст, соответствующий наименьшей величине яркостного контраста, при котором автомат может обнаружить дефект на некотором фоне [15, с. 212], зависит от передаточных (частотно-контрастных) характеристик устройств, входящих в состав (автоматизированной) системы, и их шумов.

К устройствам могут быть отнесены: источник света, ЭОП, КМОП-матрица с объективом.

Контроль дефектов в виде светлых точек автоэмиссионного характера при отсутствии освещенности фотокатода

На рис. 1, а представлено изображение фотографии участка экрана ЭОП при напряжении питания преобразователя и отсутствии освещенности на фотокатод, для которого требуется проконтролировать СЧПЗ на наличие светлых точек автоэмиссионного характера.

При визуальном контроле без применения измерительных приборов и вспомогательных устройств на экране ЭОП просматривается только одна светлая точка автоэмиссионного характера (рис. 1, а), отмеченная белым кружком

ком (второй слева). При выводе средствами Matlab на экран 3D-изображения (рис. 1, б) видно, что количество светлых точек автоэмиссионного характера равно четырем, реальное местоположение которых также отмечено белыми кружками (рис. 1, а). Началу координат на 3D-изображении (рис. 1, б) соответствует верхний правый угол изображения фотографии (рис. 1, а). По вертикали расположена ось X, значение X соответствует номеру строки изображения (от 1 до 288). По горизонтали, соответственно, ось Y, значение Y соответствует номеру столбца изображения (от 1 до 384). Оси Z соответствует диапазон, который составляет от 0 до 255 дискрет яркости.

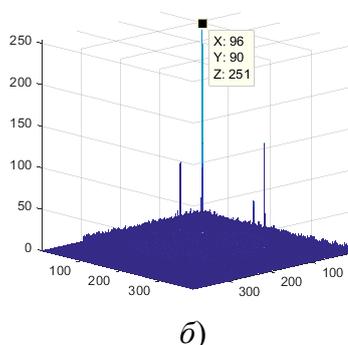
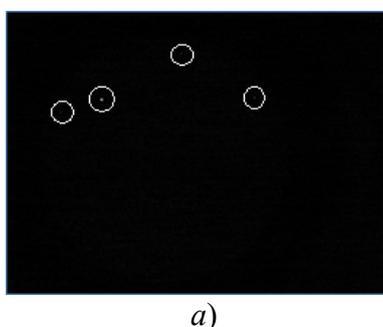


Рис. 1. Дефекты автоэмиссионного характера:

а) изображение фотографии рабочего поля экрана ЭОП; б) 3D-изображение фотографии

Используя курсор, можно определить координаты точек и соответствующие им максимальные яркости. Например, самая яркая точка имеет координаты (рис. 1, б): $X = 96$, $Y = 90$ и $Z = 251$. Значения максимальных яркостей для всех четырех дефектов слева направо (рис. 1, а) представлены в табл. 2.

Таблица 2

Яркость дефектов

№ дефекта	Максимальная яркость, дискрет
1	82
2	251
3	41
4	127

Для определения размера площади точек и пятен удобно использовать бинаризацию изображения, т. е. преобразование полутоно-

вого изображения в двухуровневое [8]. При этом порог бинаризации может быть определен как автоматически, так и вручную. Автоматизированный критерий пороговой яркости бинаризации может быть определен на основе средней яркости экрана ЭОП (средняя интенсивность изображения фотографии экрана, получаемая КМОП-матрицей с объективом). Например, для контроля дефектных светлых точек и пятен с контрастом, по отношению к рабочему полю экрана ЭОП 30 % порог бинаризации (пороговая интенсивность) равен $I_{пор} = 1,3 \cdot I_{ср}$, где $I_{ср}$ – средняя интенсивность.

В этой связи следует отметить следующее. Выбранный критерий в виде пороговой интенсивности должен давать результат, который хорошо согласуется с визуальным контролем оператора на основе сравнения с регламентируемыми контрольными марками.

На рис. 2 приведен результат обработки изображения фотографии с установленным диапазоном контраста 30 %.

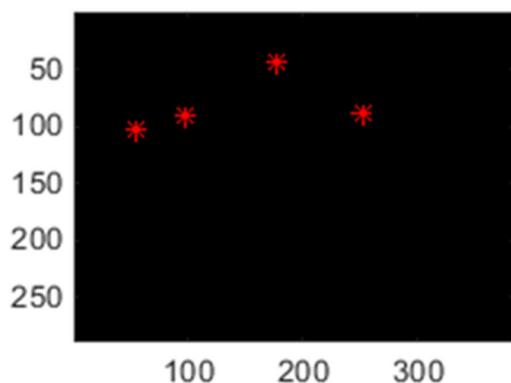


Рис. 2. Результат обработки изображения фотографии рабочего поля экрана ЭОП в автоэмиссионном режиме

Как видно из рис. 2, обнаружилось четыре дефекта, отмеченных звездочками, на экране ЭОП. Местоположение и площадь обнаруженных дефектов выводится в формате представленной ниже табл. 3.

Для изображений, представленных на рис. 1, 2, одному пикселю соответствует площадь рабочего поля экрана ЭОП около 0,005 мм². Соответственно, площади самого большого светлого пятна (дефект № 2) в шесть пикселей соответствует площадь на экране

ЭОП 0,03 мм². Для круглой формы пятна это соответствует диаметру 0,2 мм.

Таблица 3

Характеристики дефектов

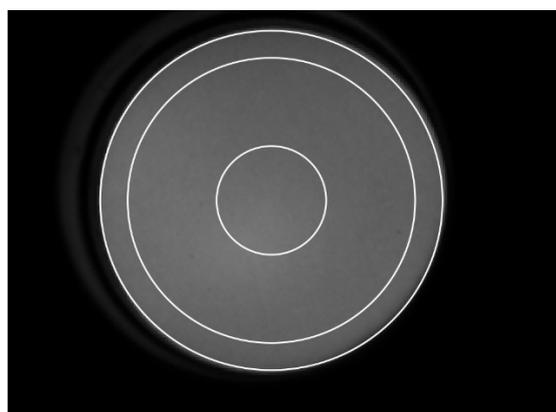
№ дефекта	Площадь, пиксель	Координата X, пиксель	Координата Y, пиксель
1	1	55	103
2	6	96	90
3	2	177	43
4	1	252	88

Контроль дефектов в виде светлых и темных пятен, полос при освещенности фотокатода

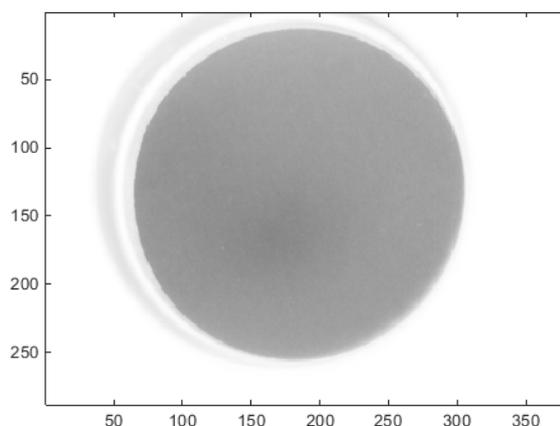
Определение светлых дефектов не имеет принципиальных отличий от вышеизложенных соображений.

Для определения темных дефектов может быть использован аналогичный подход, для чего необходимо предварительно проинвертировать исходное изображение [8].

На рис. 3 представлено изображение фотографии рабочего поля фотокатода, для которого требуется проконтролировать допустимое количество темных дефектов по зонам, а также его инвертированное изображение.



а)



б)

Рис. 3. Изображение фотографии рабочего поля экрана ЭОП:

а) исходное изображение с отмеченными зонами; б) инвертированное изображение

Результат обработки инвертированного изображения фотографии с установленным диапазоном контраста 30 % приведен на рис. 4.

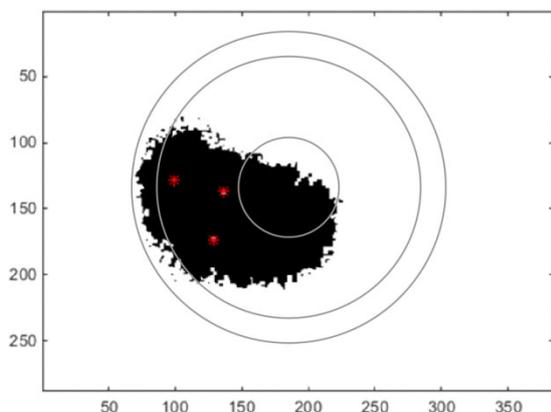


Рис. 4. Результат обработки инвертированного изображения

Как видно из рис. 4, обнаружилось три темных дефекта, отмеченных звездочками, все они находятся во второй зоне экрана ЭОП. В табл. 4 представлен результат контроля.

Таблица 4

Характеристики дефектов

№ дефекта	Площадь, пиксель	Координата X, пиксель	Координата Y, пиксель
1	9	99	128
2	12	129	173
3	9	136	137

При соотношении 1 пиксела к 0,005 мм² площади рабочего поля экрана ЭОП площадь самого большого дефекта (№ 2) равна 3,9 мм², это соответствует диаметру в 0,28 мм, что не допускается для любых зон ЭОП (см. табл. 1).

Заключение

В статье предложен метод определения СЧПЗ ЭОП. Для решения данной задачи рассматривается применение пакета прикладных программ системы Matlab. На основе представленных изображений экранов ЭОП выполнены: обнаружение дефектов в виде светлых точек автоэмиссионного характера и СЧПЗ в пределах рабочего поля фотокатода с использованием источника света; определены местоположение и размер (площадь) дефектов, показана возможность 3D-визуализации дефектов (см. рис. 1).

Применение автоматизированного метода определения СЧПЗ ЭОП, в отличие от операторного (ручного), позволяет повысить производительность измерений, объективность результатов контроля, исключить или свести к минимуму субъективные ошибки. Кроме того, он позволяет определить не только размеры дефектов, но и их координаты, выполнить персональную паспортизацию ЭОП, а это в свою очередь позволяет собрать статистические данные для улучшения технологии изготовления и, соответственно, уменьшения дефектности ЭОП.

Предлагаемый метод автоматизированного контроля определения СЧПЗ ЭОП предлагается вводить поэтапно. На первом этапе провести эксперименты для подтверждения адекватности (идентичности) автоматизированного и операторного методов контроля и корректировка настроек автоматизированной установки. На втором этапе либо использовать только автоматизированный метод (требуется разработка ТУ по методу контроля), либо использовать в основном автоматизированный метод контроля, а в случае пограничных с максимально допустимыми дефектами контроль выполняет оператор.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Грузевич Ю. К. Оптико-электронные приборы ночного видения. – М. : ФИЗМАТЛИТ, 2014. – 276 с.
2. ГОСТ 21815.15-86. Преобразователи электронно-оптические. Метод контроля степени чистоты поля зрения. – М., 1986. – С. 2–3.
3. Официальный сайт АО «Катод» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://katodnv.com/ru/catalog>.
4. Официальный сайт АО «Экран-оптические системы» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://ekran-os.ru/ru/products>.

5. Козырев Е. Н., Гончаров И. Н., Маркина В. А. Основные направления совершенствования электронно-оптических преобразователей // Изв. вузов. Северо-Кавказский регион. Естественные науки. – 2007. – № 3. – С. 36–38.
6. Николаев Д. Н. Электронно-оптические преобразователи. История развития и виды поколений // Доклады ТУСУРа. – 2007. – № 1 (15). – С. 29–33.
7. Кирпиченко Ю. Р. Зависимость яркости свечения экрана ЭОП от напряжения на его электродах // Доклады Томского государственного университета систем управления и радиоэлектроники. – 2014. – № 2 (32). – С. 22–24.
8. Дьяконов В. П. MATLAB 6.5 SP1/7/7 SP1 + Simulink 5/6. Работа с изображениями и видеопотоками. – М. : СОЛОН-Пресс, 2005. – 400 с.
9. Никулин Д. М., Райхерт В. А., Звягинцева П. А. Метод измерения коэффициента неравномерности яркости поля зрения электронно-оптического преобразователя // Перспективы науки. – 2019. – Вып. 10 (121). – С. 129–126.
10. Chrzanowski K. Computerized station for semi-automated testing image intensifier tubes // Metrology and measurement systems. – 2015. – Vol. XXII, № 3. – P. 371–382.
11. Bender E. J. et al. Characterization of domestic and foreign image intensifier tubes, infrared imaging systems // Design, Analysis, Modeling and Testing XXIV. – 2013. – Proc. of SPIE, 8706.
12. Ming X. et al. MTF Measurement and analysis of Micro-channel Plate Image Intensifiers // J. Acta Photonica Sinica – 2007 – Vol. 36 (11). – P. 1983–1987.
13. Носков М. Ф. Оптико-электронная обработка изображений шаровых элементов // Вестник СГУГиТ. – 2016. – Вып. 4 (36). – С. 254–262.
14. Официальный сайт ООО «ЭВС» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.evs.ru/publ_1.php?st=16.
15. Ковалевская Т. Е., Овсяк В. Н., Белоконев В. М., Дегтярев Е. В. Фотоника: словарь терминов. – Новосибирск : Изд-во СО РАН, 2004. – 342 с.

Получено 24.07.2020

© Д. М. Никулин, В. А. Райхерт, 2021

DETERMINATION OF IMAGE INTENSIFIER VIEW FIELD PURITY LEVEL

Dmitry M. Nikulin

Siberian State University of Geosystems and Technologies, 10, Plakhotnogo St., Novosibirsk, 630108, Russia, Ph. D., Associate Professor, Head of the Department of Photonics and Device Engineering, phone: (383)344-29-29, e-mail: dimflint@mail.ru

Valery A. Raychert

Siberian State University of Geosystems and Technologies, 10, Plakhotnogo St., Novosibirsk, 630108, Russia, Senior Lecturer, Department of Special Devices, Innovation and Metrology, phone: (913)959-15-44, e-mail: vreichert@yandex.ru

The article offers a method for determining image intensifier working view field purity. In order to solve this problem, it is suggested to automate control under view field purity by using application program package. The automatic control is supposed to get an image of working view field and carry out its further processing by computer means. It allows to determine a permissible zonal amount of points and spots, as well as sizes and locations of light and dark defects. The article presents an algorithm for image intensifier view field purity level control developed by the authors simplifies control by means of measuring instruments and auxiliaries provided by GOST. It shows the results of field-emission bright point defect control and the view field purity level within the working field of a photocathode using a source of light.

Keywords: image intensifier, view field purity, Matlab, CMOS-matrix with lens, light and dark defects, automatic control, invert image

REFERENCES

1. Gruzevich, Y. K. (2014). *Optiko-elektronnyye pribory nochnogo videniya [Opto-electronic devices of night vision]*. Moscow: FIZMATLIT Publ., 276 p. [in Russian].
2. Standarts Soviet Union. (1986). GOST 21815.15-86. Image intensifier and image converter tubes. Method of checking the viewing area picture quality (pp. 2–3). Moscow [in Russian].
3. Official website "Katod". (n. d.). Retrieved from <http://katodnv.com/ru/catalog> [in Russian].
4. Official website "Ekran optical systems" (n. d.). Retrieved from <http://ekran-os.ru/ru/products> [in Russian].
5. Kozyrev, E. N., Goncharov, I. N., & Markina, V. A. (2007). Main directions of improvement of electron-optical converters. *Izvestiya vuzov. Severo-kavkazskij region. Estestvennyye nauki [Izvestiya Vuzov. North Caucasus Region. Natural Science]*, 3, 36–38 [in Russian].
6. Nikolaev, D. N. (2007). Electron-optical converters. History of development and types of generations. *Doklady Tomskogo gosudarstvennogo universiteta sistem upravleniya i radioelektroniki [Reports of Tomsk State University of Control Systems and Radioelectronics]*, 1(15), 29–33 [in Russian].
7. Kirpichenko, Yu. R. (2014). Dependence of the brightness of the electron-optical converter screen on the voltage at its electrodes. *Doklady Tomskogo gosudarstvennogo universiteta sistem upravleniya i radioelektroniki [Reports of Tomsk State University of Control Systems and Radioelectronics]*, 2(32), 22–24 [in Russian].
8. Diakonov, V. P. (2005). *MATLAB 6.5 SPI/7 / 7 SPI + Simulink 5/6. Rabota s izobrazheniyami i videopotokami [MATLAB 6.5 SPI/7 / 7 SPI + Simulink 5/6. Work with images and video streams]*. Moscow: SOLON-Press Publ., 400 p. [in Russian].
9. Nikulin, D. M., Reichert, V. A., & Zvyagintseva, P. A. (2019). Method of measuring the coefficient of uneven brightness of the field of view of an electron-optical converter. *Perspektivy nauki [Perspectives of Science]*, 10(121), 123–126 [in Russian].
10. Chrzanowski, K. (2015). Computerized station for semi-automated testing image intensifier tubes. *Metrology and Measurement Systems*, XXII(3), 371–382.
11. Bender, E. J., & et al. (2013). Characterization of domestic and foreign image intensifier tubes, Infrared Imaging Systems. *Design, Analysis, Modeling and Testing XXIV. Proc. of SPIE*, 8706.
12. Ming, X., & et al. (2007). MTF Measurement and analysis of Micro-channel Plate Image Intensifiers. *J. Acta Photonica Sinica*, 36(11), 1983–1987.
13. Noskov, M. F. (2016). Optical-electronic image processing of spherical elements. *Vestnik SGUGiT [Vestnik SSUGT]*, 4(36), 254–262 [in Russian].
14. Official website "EVS". (n. d.). Retrieved from https://www.evs.ru/publ_1.php?st=16 [in Russian].
15. Kovalevskaya, T. E., Ovsyuk, V. N., Belokonev, V. M., & Degtyarev, E. V. (2004). *Fotonika: clovar' terminov [Photonics: Dictionary of terms]*. Novosibirsk: RAS Publ., 342 p. [in Russian].

Received 24.07.2020

© D. M. Nikulin, V. A. Raychert, 2021