

В. П. Цыплаков¹✉, Д. М. Никулин¹

Обзор методов контроля разрешающей способности ЭОП

¹Сибирский государственный университет геосистем и технологий,
г. Новосибирск, Российская Федерация
e-mail: vladonehko@gmail.com

Аннотация. В работе рассматриваются методы контроля разрешающей способности электронно-оптических преобразователей, используемых в системах ночного видения и различных оптико-электронных устройствах. Выполнен анализ существующих подходов к измерению данного параметра, включая визуальные методы, основанные на использовании тест-объектов, и фотоэлектрические методы с цифровой регистрацией изображения. Отдельное внимание уделено методам, связанным с использованием частотно-контрастной характеристики для оценки качества изображения. Отмечены основные недостатки традиционных способов контроля, среди которых субъективность визуальной оценки и сложность практической реализации отдельных методик. Сделан вывод о целесообразности разработки автоматизированного метода контроля разрешающей способности с применением цифровой обработки изображений. Такой подход позволяет повысить точность измерений и обеспечить повторяемость получаемых результатов. Также использование автоматизированных систем позволяет сократить время проведения измерений и уменьшить влияние человеческого фактора на результаты контроля. Полученные результаты могут быть использованы при разработке современных измерительных стендов для исследования параметров электронно-оптических преобразователей.

Ключевые слова: электронно-оптические преобразователи, разрешающая способность, автоматизированный контроль

V. P. Tsyplakov¹✉, D. M. Nikulin¹

Review of Methods for Controlling the Resolution of Image Intensifier Tubes

¹Siberian State University of Geosystems and Technologies, Novosibirsk, Russian Federation
e-mail: vladonehko@gmail.com

Abstract. The paper discusses methods for controlling the resolution of image intensifier tubes used in night vision systems and various optoelectronic devices. An analysis of existing approaches to measuring this parameter is carried out, including visual methods based on the use of test targets and photoelectric methods with digital image acquisition. Particular attention is paid to methods related to the use of the modulation transfer function for image quality assessment. The main disadvantages of traditional control methods are noted, including the subjectivity of visual evaluation and the complexity of practical implementation of certain techniques. A conclusion is made about the feasibility of developing an automated method for resolution control using digital image processing. Such an approach makes it possible to improve measurement accuracy and ensure repeatability of the obtained results. In addition, the use of automated systems makes it possible to reduce measurement time and minimize the influence of the human factor on control results. The obtained results can be used in the development of modern measuring benches for studying the parameters of image intensifier tubes.

Keywords: image intensifier tubes, resolution, automated control

Введение

Наиболее распространенным является визуальный метод с использованием тест-объектов (мир), при котором оператор наблюдает изображение и определяет максимальную различимую группу линий [1, 5]. Данный метод отличается простотой, однако обладает высокой субъективностью, зависящей от индивидуальных особенностей наблюдателя.

Более современным является фотоэлектрический метод, основанный на регистрации изображения с помощью цифровых сенсоров [5, 6]. В этом случае изображение тест-объекта фиксируется камерой и подвергается последующей обработке. Это позволяет повысить объективность измерений и обеспечить возможность хранения и анализа данных.

В процессе обработки изображения анализируется контраст между светлыми и темными элементами, степень размытости границ и уровень шумов [8]. Разрешающая способность определяется по предельной пространственной частоте, при которой сохраняется различимость элементов.

Описание состояния вопроса

Электронно-оптические преобразователи (ЭОП) являются ключевыми элементами современных оптико-электронных систем, находящих широкое применение в приборах ночного видения и наблюдения, медицинской диагностической аппаратуре (эндоскопы, системы флуоресцентной визуализации), научных исследованиях для регистрации быстропротекающих процессов, а также в системах безопасности и навигации [1, 6, 7].

В настоящее время разработан и активно используется целый спектр различных типов ЭОП, различающихся по поколениям (I, II, II+, III), конструкции (канальные, плоские), спектральной чувствительности (от ближнего УФ до ближнего ИК диапазона) и специализированному назначению. Это и высокочувствительные ЭОП для астрономических наблюдений, и миниатюрные преобразователи для медицинских зондов, и скоростные ЭОП-регистраторы для научных экспериментов. Подобное многообразие выдвигает высокие и разнообразные требования к их характеристикам, что, в свою очередь, формирует сложную задачу объективного и точного контроля качества.

Анализ нормативной, научной и патентной литературы показывает, что базовые параметры, определяющие эксплуатационное качество ЭОП, хорошо известны и стандартизированы. [4] К ним, в первую очередь, относятся: предельное разрешение, частотно-контрастная характеристика (ЧКХ), коэффициент усиления яркости, равномерность свечения экрана и уровень шумов. Контроль этих параметров является обязательным на этапах разработки, приемо-сдаточных и эксплуатационных испытаний. Существуют нормативные документы, регламентирующие отдельные процедуры испытаний, такие как, например, контроль испытательным напряжением, описанный в ГОСТ 21815.5-86 [2].

Таким образом, состояние вопроса характеризуется наличием устойчивой научно-технической проблемы: существует объективная потребность в высоко-точной и воспроизводимой оценке параметров ЭОП, которую не могут удовлетворить устаревшие визуальные методики. Это определяет актуальность разработки инженерной методики и макета автоматизированного измерительного стенда, призванного устранить субъективность, повысить скорость и точность контроля.

Контроль разрешающей способности электронно-оптических преобразователей

Разрешающая способность электронно-оптического преобразователя (ЭОП) является одной из ключевых характеристик, определяющих качество формируемого изображения. Она характеризует способность системы различать мелкие детали объекта и обычно выражается в виде максимального числа различимых пар линий на единицу длины (линий/мм).

Контроль разрешающей способности необходим:

- при разработке ЭОП;
- при приемо-сдаточных испытаниях;
- в процессе эксплуатации.

В соответствии с нормативными документами (например, ГОСТ Р 55842–2013), измерение данного параметра может выполняться различными методами, основанными на анализе тестовых изображений.

Наиболее распространенным методом является визуальный контроль разрешающей способности с использованием тест-объектов – стандартных мир

На вход ЭОП подается изображение тест-объекта, содержащего группы чередующихся черных и белых линий с различной пространственной частотой.

Оператор наблюдает выходное изображение и определяет максимальную группу линий, которая еще различима.

Современный подход заключается в замене визуального наблюдения на регистрацию изображения с помощью цифровых сенсоров. Фотоэлектрический метод контроля разрешающей способности электронно-оптического преобразователя основан на регистрации выходного изображения с помощью цифрового фотоприемного устройства, такого как ПЗС- или КМОП-камера, с последующей компьютерной обработкой полученных данных. В отличие от традиционного визуального подхода, при котором оценка проводится оператором, в данном случае изображение тест-объекта сначала формируется на входе ЭОП, проходит через преобразователь, а затем фиксируется камерой в виде цифрового массива яркостей. Это позволяет перейти от субъективной оценки к количественному анализу, обеспечивая более высокую точность и воспроизводимость результатов измерений.

В процессе обработки зарегистрированного изображения анализируется ряд параметров, характеризующих качество воспроизведения тестового объекта. В первую очередь оценивается контраст между чередующимися светлыми и темными линиями, так как именно снижение контраста при увеличении простран-

ственной частоты указывает на предел разрешающей способности системы. Также учитывается степень размытости границ между элементами изображения, наличие и уровень шумов, а также возможные искажения, вносимые как самим ЭОП, так и регистрирующей камерой. На основе распределения яркости вдоль выбранных профилей изображения определяется, при какой пространственной частоте линии становятся неразличимыми или их контраст падает ниже заданного порогового значения. Такой подход позволяет не только точно определить разрешающую способность, но и создать основу для дальнейшего анализа характеристик системы, включая построение частотно-контрастной характеристики и оценку равномерности изображения по полю.

Данный метод основан на количественной оценке контраста между черными и белыми линиями тест-объекта.

Разрешение определяется как максимальная пространственная частота, при которой контраст остается выше заданного порога (например, от 10 % до 20 %).

Контраст рассчитывается по формуле 1.

$$C = \frac{I_{\max} - I_{\min}}{I_{\max} + I_{\min}}; \quad (1)$$

где $I_{\max}$ – интенсивность светлых участков;

$I_{\min}$ – интенсивность темных участков;

C – контраст.

Типовые измерительные стенды для контроля разрешающей способности ЭОП

Контроль разрешающей способности электронно-оптических преобразователей осуществляется с использованием специализированных измерительных стендов, обеспечивающих формирование тестового изображения, его преобразование и последующий анализ [9]. В зависимости от уровня автоматизации и применяемых средств регистрации различают классические (визуальные), полуавтоматические и автоматизированные измерительные стенды. Пример стенда показан на рис. 1.



Рис. 1. Стенд для контроля параметров ЭОП

Классический измерительный стенд предназначен для визуального контроля разрешающей способности и широко применяется благодаря своей простоте и соответствию нормативным методикам [9].

В состав такого стенда, как правило, входят: источник света, обеспечивающий равномерную подсветку тест-объекта; тест-объект (мира), содержащий группы линий различной пространственной частоты; коллиматор или объектив, формирующий изображение тест-объекта на входе ЭОП; сам электронно-оптический преобразователь; а также наблюдательная система (окуляр или микроскоп), через которую оператор оценивает качество изображения.

Принцип работы стенда заключается в проецировании изображения мира на вход ЭОП с последующим визуальным наблюдением выходного изображения. Оператор определяет максимальную группу линий, которые еще различимы, и по соответствующей шкале устанавливает значение разрешающей способности.

Несмотря на простоту и широкое распространение, данный тип стендов обладает рядом существенных недостатков. Основным из них является субъективность результатов, обусловленная зависимостью от индивидуальных особенностей зрения оператора, его опыта и условий наблюдения.

Полуавтоматические стенды с фотофиксацией

Полуавтоматические измерительные стенды представляют собой что-то среднее между визуальным и автоматизированными системами.

В состав таких стендов, помимо элементов классической схемы, включается цифровая камера, устанавливаемая на выходе ЭОП или в окулярной части. Камера фиксирует изображение тест-объекта, которое затем может быть сохранено, увеличено и проанализировано с использованием программного обеспечения.

Работа стенда заключается в том, что оператор, наблюдая изображение на экране компьютера, определяет границу различимости линий, однако при этом имеет возможность использовать дополнительные инструменты: масштабирование, изменение контраста, построение профилей яркости. Это позволяет повысить точность измерений по сравнению с чисто визуальным методом.

К преимуществам данного типа стендов относятся возможность документирования результатов, снижение влияния субъективного фактора и повышение удобства анализа. Однако окончательное решение все еще принимается оператором, что не исключает субъективности полностью.

Автоматизированные измерительные стенды

Автоматизированные измерительные стенды представляют собой современный и перспективный вариант систем контроля размещающей способности ЭОП. В отличие от классических и полуавтоматических решений, они позволяют проводить полный цикл измерений практически без участия оператора в анализе результатов.

Типовой автоматизированный стенд включает стабилизированный источник света, стандартный тест-объект с известными параметрами, оптическую си-

стему формирования изображения, сам электронно-оптический преобразователь, цифровую камеру высокого разрешения и вычислительный блок с специализированным программным обеспечением.

Принцип работы такого стенда заключается в автоматическом захвате изображения тест-объекта после его прохождения через ЭОП.

Далее программное обеспечение анализирует распределение яркости вдоль профилей линий, вычисляет контраст между элементами, определяет границу различимости и автоматически рассматривает значение разрешающей способности. Дополнительно система может строить графики, сохранять результаты в базе данных, проводить статистическую обработку и формировать отчеты.

Основными преимуществами автоматизированных стендов являются высокая объективность, точность и воспроизводимость результатов, а также возможность полной автоматизации процесса. Именно поэтому такие системы сегодня наиболее востребованы.

Частотно-контрастная характеристика

Более точной характеристикой качества изображения является частотно-контрастная характеристика (ЧКХ), которая описывает зависимость контраста изображения от пространственной частоты.

Разрешающая способность может быть определена как граничная пространственная частота, при которой контраст изображения падает до заданного уровня. Таким образом, она является частным случаем анализа ЧКХ.

Методы определения ЧКХ могут основываться на анализе тестовых изображений, а также на использовании функций отклика системы, таких как функция рассеяния края и линия рассеяния. Однако данные методы требуют сложной математической обработки и не всегда удобны для практической реализации.

Постановка задачи

Анализ существующих методов показывает, что визуальные подходы обладают высокой субъективностью, а методы на основе полной ЧКХ – сложностью реализации и трудоемкостью. В связи с этим актуальной является разработка метода контроля разрешающей способности ЭОП, который обеспечивает:

- объективность измерений;
- возможность полной автоматизации;
- достаточную точность;
- простоту и надежность реализации в лабораторных и производственных условиях.

Предлагаемый подход

В качестве перспективного решения предлагается использование автоматизированного фотоэлектрического метода на основе цифровой обработки изображений.

Суть подхода заключается в следующем:

- формирование изображения стандартного тест-объекта (миры) на входе

ЭОП;

- регистрация выходного изображения с помощью цифровой камеры;
- автоматический анализ распределения яркости вдоль профилей линий;
- расчет контраста по формуле (1) для каждой пространственной частоты;
- определение предельной частоты, при которой контраст падает ниже заданного порога.

Данный метод исключает влияние оператора, повышает точность и воспроизводимость результатов, позволяет документировать данные и интегрировать их в единую систему контроля параметров ЭОП. Он может быть реализован в составе автоматизированного измерительного стенда и использован как на этапе разработки, так и при приемосдаточных испытаниях.

Заключение

В работе проведен анализ методов контроля разрешающей способности электронно-оптических преобразователей. Показано, что существующие методы либо обладают высокой субъективностью, либо требуют сложной реализации.

Обоснована целесообразность использования автоматизированных методов, основанных на цифровой обработке изображений. Предложенный подход позволяет повысить точность и объективность измерений и может быть использован при разработке современных измерительных стендов.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Буткевич, В. Г. Электронно-оптические приборы и преобразователи / В. Г. Буткевич, В. П. Калашников. – М. : Радио и связь, 1988. – 320 с. – Текст : непосредственный.
2. ГОСТ 21815.5–86. Приборы электронно-оптические. Методы испытаний. – М. : Издательство стандартов, 1987. – 32 с. – Текст : непосредственный.
3. ГОСТ Р 55842–2013. Приборы электронно-оптические. Методы измерений параметров. – М. : Стандартинформ, 2014. – 24 с. – Текст : непосредственный.
4. ГОСТ Р 55843–2013. Приборы электронно-оптические. Методы измерения частотно-контрастных характеристик. – М. : Стандартинформ, 2014. – 18 с. – Текст : непосредственный.
5. Гуревич А. С. Оптико-электронные приборы и системы. – М. : Физматлит, 2010. – 384 с. – Текст : непосредственный.
6. Иванов В. А., Соколов А. Н. Приборы ночного видения на основе электронно-оптических преобразователей. – М. : Машиностроение, 2006. – 256 с. – Текст : непосредственный.
7. Костюков В. П. Оптико-электронные приборы наблюдения и прицеливания. – СПб. : Политехника, 2012. – 288 с. – Текст : непосредственный.
8. Лебедев В. М., Смирнов Ю. И. Методы контроля параметров электронно-оптических преобразователей // Оптический журнал. – 2015. – Т. 82, № 6. – С. 45–52. – Текст : непосредственный.
9. Мальцев А. Н. Измерительные стенды в оптико-электронном приборостроении. – Новосибирск : СГГА, 2011. – 180 с. – Текст : непосредственный.

© В. П. Цыплаков, Д. М. Никулин, 2026