

УДК 621.383.8

## ПОВЫШЕНИЕ ПОМЕХОУСТОЙЧИВОСТИ ОПТИКО-ЭЛЕКТРОННОЙ СИСТЕМЫ НА БАЗЕ ВИДЕОКАМЕР С ЭЛЕКТРОННО-ОПТИЧЕСКИМ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕМ

**Бороненко М.П., Гуляев П.Ю., Серегин А.Е., Бебия А.Г.**

*ФГБОУ ВПО «Югорский государственный университет»,*

*Ханты-Мансийск, e-mail: MarinaB7@yandex.ru*

В измерения температуры быстропротекающих процессов с помощью ОЭС на видеокамерах с электронно-оптическим преобразователем может вноситься дополнительная погрешность, обусловленная остаточным от предыдущего изображения свечением люминофора в кадре. Представлены результаты экспериментального исследования времени послесвечения люминофора, покрывающего экран ЭОП, входящего в состав оптико-электронной системы. Обработку и анализ изображений осуществляли в программе ImageJ. Исследование кинетики послесвечения люминофора осуществлялось по последовательности кадров, на которых было отчетливо заметно постепенное гашение запечатленного на изображении следа светящейся движущейся частицы. По экспериментальным данным изменения яркости следа от кадра к кадру строился график. Из графика определялся коэффициент, позволяющий рассчитать остаточное послесвечение люминофора на каждом последующем кадре. Для того чтобы уменьшить вносимую послесвечением люминофора погрешность, необходимо из исследуемого кадра вычесть добавочный фон, обусловленный оставшимся послесвечением люминофора предыдущего кадра. Предлагаемый метод увеличивает помехоустойчивость ОЭС за счет устранения послесвечения люминофора, «унаследованного» от предыдущего кадра.

**Ключевые слова:** оптико-электронная система, помехоустойчивость, послесвечение люминофора, программа ImageJ

## INCREASING THE NOISE IMMUNITY OF OPTICAL-ELECTRONIC SYSTEMS BASED ON VIDEO CAMERAS WITH AN ELECTRONIC-OPTICAL CONVERTER

**Boronenko M.P., Gulyaev P.Y., Seregin A.E., Bebiya A.G.**

*State Educational Institution of Higher Professional Education «Yugra State University»,*

*Khanty-Mansiysk, e-mail: MarinaB7@yandex.ru*

Temperature measurement of fast processes with the help of video cameras with an electron-optical converter, maybe with additional error due to the residual luminescence. The article shows the results of an experimental study of residual luminescence. Image processing and analysis was carried out in the program ImageJ. Investigation of the kinetics of the afterglow phosphor was carried out by a sequence of frames, which was clearly evident gradual extinction of the luminous track of a moving particle. Change the brightness trace shown in the graph. From the graph took coefficient allows to calculate the residual glow phosphor at each subsequent frame. to reduce the inaccuracy must be subtracted from the image track afterglow phosphor. The article describes a technique to eliminate the afterglow phosphor. The proposed method increases the noise immunity of opto-electronic system, by eliminating the residual luminescence, left over from the previous frame.

**Keywords:** optical-electronic system, noise immunity, afterglow phosphor, the program ImageJ

Применение оптико-электронных систем (ОЭС) в научных экспериментах по исследованию быстропротекающих высокотемпературных процессов [1–11] связано с проблемами низкой чувствительности видеокамер, на которых базируются ОЭС, при высоких скоростях ввода кадров и малых экспозициях. Шумы принадлежат к факторам, существенно влияющими на порог чувствительности ОЭС. Практически все виды шумов уменьшаются при снижении рабочей температуры кристалла. Детерминированный геометрический шум, вызванный разбросом параметров отдельных пикселей, ограничивает пороговую чувствительность КМОП – фотоприемников. Еще одной проблемой ОЭС на базе видеокамер с ЭОП может быть послесвечение люминофора, покрывающего экран. Иногда именно остаточное свечение экрана является тормозящим фактором не-

которых исследований [1] быстропротекающих процессов. Если эксперименты не столь быстротечны, то послесвечение убиралось путем кратковременной (5–10 с) подсветки экрана несколькими миниатюрными накальными лампами [10, 11]. Предложен метод, уточняющий имеющееся решение этой проблемы без изменения аппаратной части ОЭС.

### Приборы и техника эксперимента

Для реализации поставленных задач был собран экспериментальный стенд, в состав которого входило следующее оборудование: 1 – оптическая скамья; 2 – бенгальский огонь; 3 – камера ВидеоСпринт на базе 4 – электронно-оптического преобразователя (ЭОП); 5 – монитор; 6 – системный блок; 7 – клавиатура (рис. 1, а). Послесвечение люминофора, наблюдаемое в последовательности кадров и профилях яркостей линии, представлено на рис. 1, б.

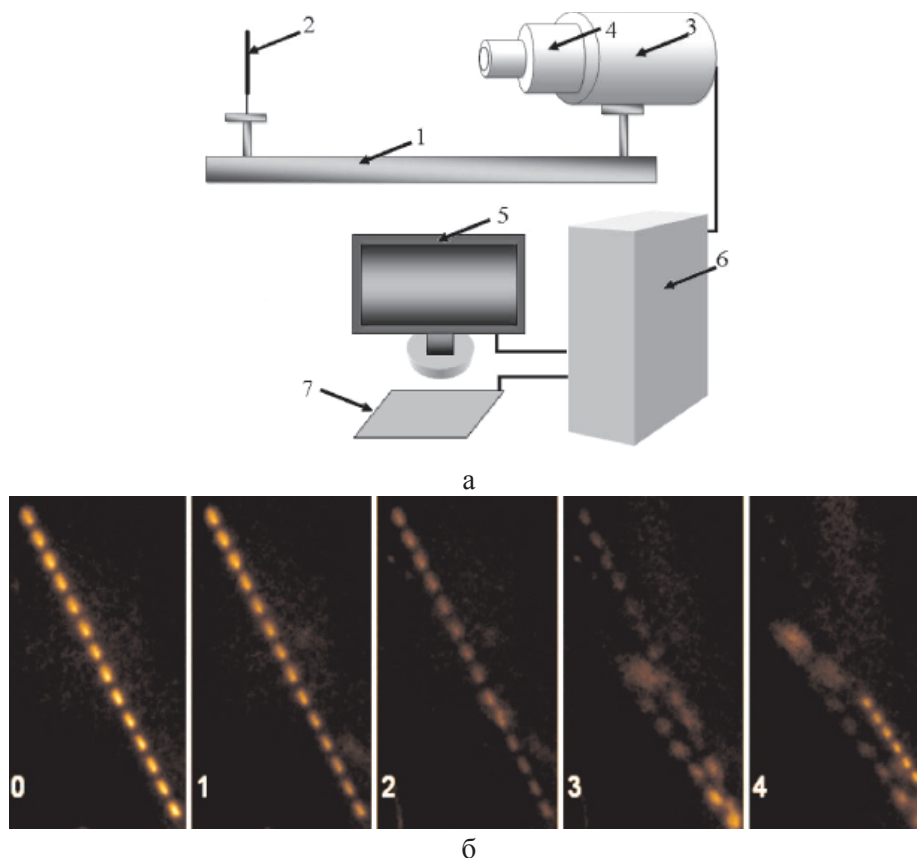


Рис. 1. а – экспериментальный стенд; б – послесвечение люминофора, наблюдаемое в последовательности кадров

В качестве импульса, провоцирующего свечение люминофора, использовалось изучение самосветящихся частиц искристого огня. За время накопления заряда в светочувствительной области сенсора летящие светящиеся частички сдвигаются на расстояние, зависящее от их скоростей. Тогда становится возможным исследование кинетики послесвечения люминофора. Стробоскопический эффект достигается тем, что происходит дополнительное срабатывание затвора ЭОП на промежутке фотокатод – МКП установленное количество раз с одним и тем же интервалом. Во время строб-режима длительность каждого из импульсов, отпирающих ЭОП, определяется временем экспозиции кадра. При этом на экране ЭОП формируется количество изображений, равное числу дополнительных срабатываний затвора  $N$ . При этом трек летящей частицы разбивается на  $N$  частей, в среднюю яркость которых вносит вклад каждый фоточувствительный элемент, на который попадало излучение частицы во время экспонирования. Таким образом, результат измерения средней яркости одной из частей трека обусловлен набором яркостей пикселей, входящих в трек, вместе со-

ставляющих группу детекторов. Средней яркости каждой части трека сопоставляется температура. Изображение следа искры-трека наблюдается на мониторе в виде области (линии), яркость пикселей которой выше фоновой яркости. Очевидно, что на заснятой последовательности кадров горения частиц яркость оставленного трека будет исчезать постепенно от кадра к кадру, если время послесвечения люминофора больше межкадрового интервала.

#### Измерение времени послесвечения люминофора

Для определения времени послесвечения [7] осуществлялся поиск последовательности кадров, на которых было отчетливо видно постепенное гашение зарегистрированного на изображении следа светящегося движущегося объекта. При этом исследуемый трек и трек влетающей в область визирования частицы не должны пересекаться. Яркость пикселей, составляющих треки, измерялась в программе ImageJ. Оценку времени послесвечения возможно получить следующим образом. Измеряется яркость пикселей, образующих трек частицы в каждом из кадров, на которых след еще виден.

Измеренные значения яркости нормируются по соответствующим максимальным значениям. Время послесвечения люминофора, покрывающего экран ЭОП, в среднем составило 4 мс. Графики интенсивности сигнала одной из частей трека, регистрируемого несколькими фоточувствительными ячейками, представлены на рис. 2.

По представленным графикам становится возможным определить коэффициент, характеризующий уменьшение от кадра к кадру остаточного свечения люминофора. Исходя из вышесказанного, в измерения температуры быстротекающих процессов с помощью ОЭС может входить дополнительная погрешность, обусловленная остаточным свечением люминофора. Дан-

ная проблема решалась другими авторами путем кратковременной подсветки экрана несколькими миниатюрными накаливаемыми лампами либо использованием люминофора с более коротким послесвечением.

### Методика повышения помехоустойчивости ОЭС

Для того чтобы уменьшить вносимую послесвечением люминофора погрешность, необходимо из исследуемого кадра вычесть добавочный фон, обусловленный оставшимся послесвечением люминофора предыдущего кадра. Поясняющие рисунки к процессу устранения остаточного свечения люминофора экрана ЭОП представлены на рис. 3.

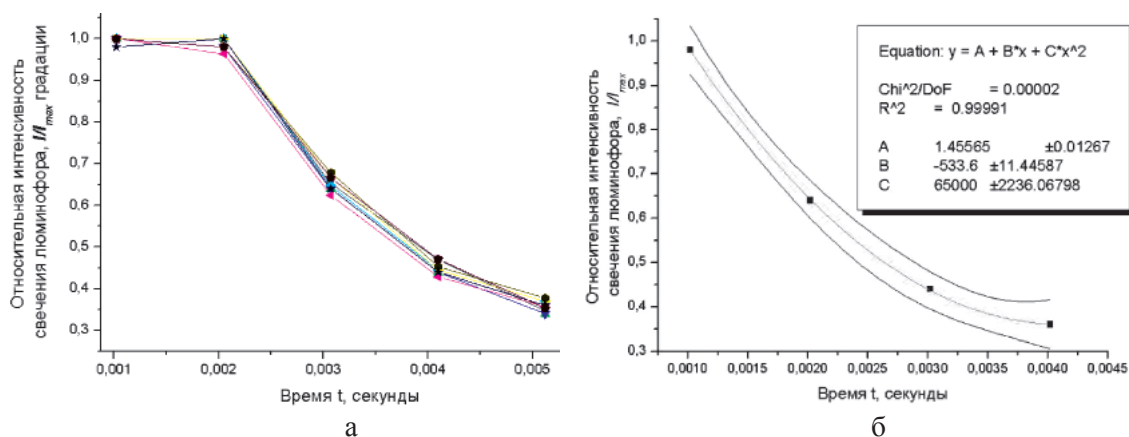


Рис. 2. а – послесвечение люминофора, определяемое по интенсивности сигнала в одной из частей трека, регистрируемого несколькими фоточувствительными ячейками; б – аппроксимация экспериментальных данных квадратичной функцией

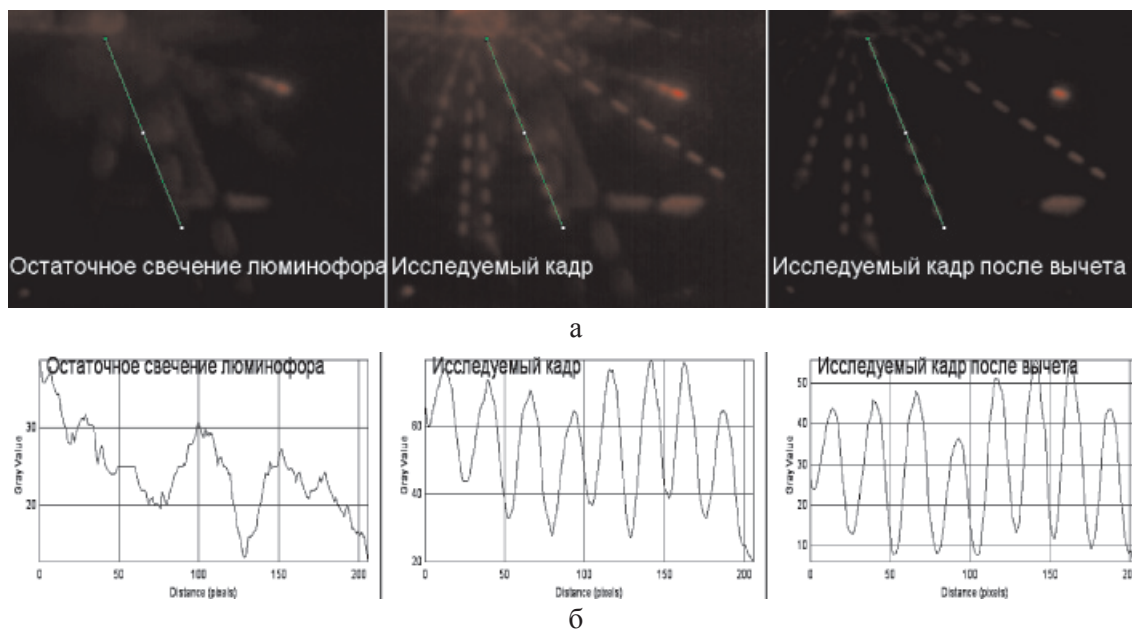


Рис. 3. Устранение остаточного свечения люминофора экрана ЭОП: а – последовательность кадров; б – профиль яркости пикселей вдоль линии

Пусть зарегистрированная каждым детектором яркость трека на первом кадре  $I_1$  имеет шумовую  $I_{ш}$  и полезную  $I_{01}$  составляющие:

$$I_1 = I_{ш} + I_{01}.$$

Тогда следующий кадр обусловлен  $I_{ш}$ ,  $I_{02}$  и остаточным свечением люминофора  $I_{1ост}$ :

$$I_2 = I_{ш} + I_{02} + I_{1ост}.$$

Причем  $I_{1ост}$  возможно рассчитать исходя из известного закона затухания свечения люминофора и осуществив межкадровый вычит, тем самым повысив точность измерения яркости треков на 12 Дб:

$$I_{1ост} = \mu \cdot I_1;$$

$$I_2 = I_{ш} + I_{02} + I_{1ост} - \mu \cdot I_1,$$

где  $\mu$  – коэффициент затухания послесвечения люминофора, определяемый из графика и зависящий от рода люминофора. Так же необходимо провести исследования по выявлению зависимости послесвечения люминофора от интенсивности излучения и длины волны.

Методика увеличения точности измерений осуществляется в программе ImageJ и состоит из четырех пунктов:

✓ Создание дубликата обрабатываемого файла. Для этого создается новое окно, содержащее копию активного изображения или прямоугольного выделения на нем. Для стеков можно указать диапазон каналов (с), фрагменты (z) и кадры (t).

✓ В оригинальном файле удаляется последний кадр, а в дубликате первый.

✓ В соответствии с графиком затухания свечения люминофора выбирается коэффициент, на который необходимо домножить значение яркости каждого пиксела вычитаемого файла. Изменение яркости каждого пиксела выполняется с помощью команды «Макрос». Эта команда выполняет арифметические операции над каждым пикселом изображения, используя выражение, заданное пользователем. Этот инструмент может быть использован для создания полностью нового изображения или выполнения точных пиксельных манипуляций существующих изображений.

✓ Межкадровый вычит (из дубликата вычитается оригинальный файл) осуществляется в калькуляторе изображений.

## Выводы

Предлагаемый метод увеличения помехоустойчивости ОЭС позволяет учесть оставшееся послесвечение в изучаемом кадре, вычесть его, тем самым увеличив точность измерений яркостной температуры до 12 Дб без изменения аппаратной части. Метод ограничен конкретным видом люминофора и интенсивностью излучения регистрируемых объектов.

## Список литературы

1. Антоненков Д.А. Средства получения информации о параметрах взвеси, основанные на обработке фотоизображений // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2014. – № 4 (9). – С. 15–20.
2. Афонин В.С., Малютин Ю.Ю. Моделирование зависимости электрической емкости 3-х электродного емкостного преобразователя от расположения в нем частицы конечного размера // Вестник Югорского государственного университета. – 2013. – № 2 (29). – С. 63–65.
3. Бороненко М.П., Гуляев П.Ю. Метрологические характеристики телевизионной измерительной системы наносекундного разрешения // Вестник Югорского государственного университета, Информационно-издательский центр Югорского государственного университета. – Ханты-Мансийск, 2014. – № 2(33). – С. 68–73.
4. Еськов А.В., Кирюшин И.И. Использование высокоскоростной цифровой камеры для изучения динамики длины струи распыленного топлива // Вестник Югорского государственного университета. – 2014. – № 2(33). – С. 29–31.
5. Иордан В.И., Рябченко И.К. Модернизация программно-аппаратного обеспечения высокоскоростной интеллектуальной видеокамеры // Вестник Югорского государственного университета. – 2014. – № 2(33). – С. 74–80.
6. Особенности кинетики колебаний жидкого электрода при прямом электрическом разряде / А.М. Орлов, И.О. Явтушенко, О.Г. Рынькова, М.П. Бороненко, Д.С. Болнарский, А.А. Соловьев // Письма в ЖТФ. – 2015. – Т. 41, Вып. 5. – С. 26–34.
7. Полухина К.К. Exploration of time of afterglow of luminescent screen electro – optical of converter / К.К. Полухина, М.П. Бороненко // Proceedings of the 3rd International conference on Eurasian scientific development // «East West» Association for Advanced Studies and Higher Education GmbH. Vienna. – 2014. – С. 112–117.
8. Сеулеков А.В. Аналитический обзор видеокамер на ПЗС и КМОП фотоприемниках, применяемых для исследования параметров динамических процессов // Ползуновский альманах. – 2013. – № 1. – С. 106–112.
9. Gulyaev I.P. New high-speed combination of spectroscopic and brightness pyrometry for studying particles temperature distribution in plasma jets / I.P. Gulyaev, K.A. Ermakov, P.Y. Gulyaev // European researcher. – 2014. – № 3–2(71). – С. 564–570.
10. Hirvonen L.M. et al. Sub- $\mu$ s time resolution in wide-field time-correlated single photon counting microscopy obtained from the photon event phosphor decay // New Journal of Physics. – 2015. – Т. 17. – № 2. – С. 023032.
11. Marchenko S.V. Spectral variability of Wolf-Rayet stars. – AN Ukrainkoj SSR. – Kiev: Inst. Teoreticheskij Fiziki, 1987.

References

1. Antonenkov D.A. Sredstva poluchenija informacii o parametroh vzvesi, osnovannye na obrabotke fotoizobrazhenij // Vostochno-Evropskij zhurnal peredovyh tehnologij. 2014. no. 4 (9). pp. 15–20.
2. Afonin V.S., Maljutin Ju.Ju. Modelirovanie zavisimosti jelektricheskoj emkosti 3-h jelektrodnogo emkostnogo preobrazovatelja ot raspolozhenija v nem chasticy konechnogo razmera / Afonin V.S., Maljutin Ju.Ju. Vestnik Jugorskogo gosudarstvennogo universiteta. 2013. no. 2 (29). pp. 63–65.
3. Boronenko M.P., Guljaev P.Ju. Metrologicheskie karakteristiki televizionnoj izmeritelnoj sistemy nanosekundnogo razreshenija // Vestnik Jugorskogo gosudarstvennogo universiteta, Informacionno-izdatelskij centr Jugorskogo gosudarstvennogo universiteta, Hanty-Mansijsk, 2014 no. 2(33), pp. 68–73.
4. Eskov A.V., Kirjushin I.I. Ispolzovanie vysokoskorostnoj cifrovoj kamery dlja izuchenija dinamiki dliny strui raspylennogo topliva / A.V. Eskov, I.I. Kirjushin. Vestnik Jugorskogo gosudarstvennogo universiteta. 2014. no. 2(33). pp. 29–31.
5. Iordan V.I., Rjabchenko I.K. Modernizacija programmno-apparatnogo obespechenija vysokoskorostnoj intellektualnoj videokamery / V.I. Iordan, I.K. Rjabchenko Vestnik Jugorskogo gosudarstvennogo universiteta. 2014. no. 2(33). pp. 74–80.
6. Osobennosti kinetiki kolebanij zhidkogo jelektroda pri prjamom jelektricheskom razrjade / A.M. Orlov, I.O. Javtushenko, O.G. Rynkova, M.P. Boronenko, D.S. Bodnarskij, A.A. Solovev // Pisma v ZhTF. 2015, T. 41, vyp. 5. pp. 26–34.
7. Poluhina K.K. Exploration of time of afterglow of luminescent screen electro optical of converter / K.K. Poluhina, M.P. Boronenko. Proceedings of the 3rd International conference on Eurasian scientific development. «East West» Association for Advanced Studies and Higher Education GmbH. Vienna. 2014. pp. 112–117.
8. Seulekov A.V. Analiticheskij obzor videokamer na pzs i kmpo fotopriemnikah, primenjaemyh dlja issledovanija parametrov dinamicheskikh processov Polzunovskij almanah. 2013. no. 1. pp. 106–112.
9. Gulyaev I.P. New high-speed combination of spectroscopic and brightness pyrometry for studying particles temperature distribution in plasma jets / Gulyaev I.P., Ermakov K.A., Gulyaev P.Yu. European researcher. 2014. no. 3–2(71). pp. 564–570.
10. Hirvonen L.M. et al. Sub- $\mu$ s time resolution in wide-field time-correlated single photon counting microscopy obtained from the photon event phosphor decay //New Journal of Physics. 2015. T. 17. no. 2. pp. 023032.
11. Marchenko S.V. Spectral variability of Wolf-Rayet stars. AN Ukrainskoj SSR, Kiev. Inst. Teoreticheskoy Fiziki, 1987.

**Рецензенты:**

Мартынов С.И., д.ф.-м.н., директор политехнического института, Югорский государственный университет, г. Ханты-Мансийск;

Платонов Н.И., д.т.н., профессор, заведующий кафедрой строительства политехнического института, Югорский государственный университет, г. Ханты-Мансийск.

Работа поступила в редакцию 01.04.2015.