

А.А. Макаров, В.А. Чикуров

### ХАРАКТЕРИСТИКИ СУПЕРВИДИКОНА ЛИ-702-3 КАК ЭЛЕМЕНТА МНОГОКАНАЛЬНОГО СЧЕТЧИКА ФОТОНОВ

Экспериментально оценены чувствительность, характеристика «памяти» и световая при регистрации супервидиконом моноимпульсных изображений диаметром  $\approx 0,15$  мм,  $\lambda = 567$  нм. Сделан вывод о существовании оптимальной величины интенсивности считываемого изображения.

Многоканальные счетчики фотонов (МСФ), применяемые для регистрации предельно-слабых изображений (например спектров флуоресценции, комбинационного рассеяния и т. д.), часто строят на основе микроканальных усилителей яркости и телевизионных передающих трубок (ТПТ). В этих устройствах ТПТ предназначены для считывания фотоэлектронных сцинтилляций с экрана усилителя яркости. Считываемые сцинтилляции обычно характеризуются:

1. Законом распределения энергий фотоэлектронных сцинтилляций (РЭФЭС), имеющим для высокоэффективного МСФ одногорбый вид [1]. При этом, например, для усилителя яркости, содержащего две шевронно-уложенных микроканальных пластины, большая часть энергий сцинтилляций (в фотонах) лежит в диапазоне  $(2,5 \div 300) \cdot 10^5$  фот/сцинт, а наиболее вероятное значение составляет  $\approx 5 \cdot 10^6$  фот/сцинт [2].

2. Длительностью сцинтилляций, которые не превышают сотни микросекунд [3].

3. Средним диаметром, составляющим не более 0,1 мм [4]. Очевидно, в данном случае супервидикон, регистрирующий лишь наличие сцинтилляций, работает в условиях, отличных от общепринятых в телевидении, и поэтому основные характеристики этого режима — чувствительность, световая и «памяти» в литературных источниках практически не представлены.

Для оценки этих характеристик была собрана экспериментальная установка (рис. 1). На светодиод *СД* типа АЛ-307Б с помощью переключателя  $\Pi_2$  подавалось либо импульсное напряжение с генератора Г5-56, либо постоянное от источника  $E_2$ , в результате светодиод через нейтральный светофильтр *НС* освещал диафрагму импульсным или непрерывным световым потоком. Изображение диафрагмы объективом *О* строилось на фотокатоде супервидикона ЛИ-702-3, помещенного в прикладную телевизионную установку ПТУ-50. Напряжения на электродах супервидикона были установлены в соответствии с паспортными значениями. На экране видеоконтрольного устройства *ВК* отображалось построенное изображение. Генератор Г5-56, запускаемый первым кадровым синхроимпульсом *КСИ*, после нажатия кнопки  $\Pi_1$  блока формирователя генерировал также задержанный моноимпульс, запускающий развертку запоминающего осциллографа С8-2. На сигнальный вход этого осциллографа подавался видеосигнал с выхода ПТУ-50. Таким образом, в установке имелась возможность формировать на фотокатоде супервидикона малоразмерное постоянное изображение или имитировать фотоэлектронные установки сцинтилляции, а с помощью осциллографа регистрировать возникающий в этих случаях видеосигнал.

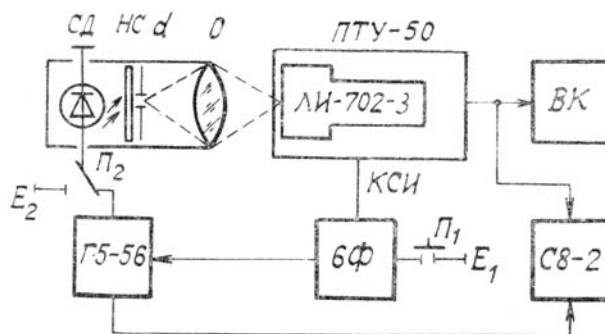


Рис. 1. Структурная схема экспериментальной установки

Оценка интенсивности изображения на фотокатоде (в люменах) проводилась на основе законов геометрической оптики по следующему соотношению:

$$E \approx \Phi (I_{сд}) \cdot \left(\frac{R_{л}}{R_{сд}}\right)^2 \cdot \left(\frac{R_{об}}{F}\right)^2 \cdot 4\pi \cdot K_{об} \cdot K_{с},$$

где  $\Phi(I_{cd})$  — сила света светодиода  $CD$  как функция тока  $I_{cd}$ , протекающего через него (справочные данные);  $R_d$  — радиус диафрагмы  $d$ ;  $R_{cd}$  — радиус излучающей части светодиода;  $R_{об}$ ,  $F$ ,  $K_{об}$  — радиус, фокусное расстояние и коэффициент пропускания объектива  $O$ ;  $K_{нс}$  — коэффициент пропускания нейтрального светофильтра  $НС$ .

Эксперимент показал, что предельная чувствительность для постоянного точечного изображения на фотокатоде диаметром  $\approx 0,15$  мм составляет  $8 \cdot 10^{-12}$  лм. Это соответствует освещенности этой точки  $3,0 \cdot 10^{-3}$  лк или потоку  $3,0 \cdot 10^4$  фот/с (1200 фотонов за кадр). При этом отношение сигнал-шум на выходе, оцениваемое визуально с помощью видеоконтрольного устройства  $BK$ , было равно единице. Все дальнейшие измерения проводились при освещении супервидикона одиночными световыми импульсами, создающими на фотокатоде аналогичное малоразмерное изображение. В этом случае для получения такого же отношения сигнал-шум на выходе требовался световой поток, в два раза больший ( $2,4 \cdot 10^3$  фотонов за световой импульс). Снижение чувствительности можно объяснить (частично) неполным считыванием заряда мишени ТПТ за один кадр. Так как потенциальный рельеф на мишени, вызванный малоразмерным изображением, считывается несколькими последовательными строками полукадра, то в видеосигнале формируется пачка импульсов. В ходе эксперимента было отмечено, что при увеличении интенсивности импульсной световой засветки в большей степени возрастает ширина этой пачки ( количество импульсов) в то время как средняя амплитуда импульсов увеличивается в меньшей степени. В пределах варьируемой интенсивности импульсной засветки было зарегистрировано увеличение «считываемого диаметра»  $D$  (ширины пачки) более чем в три раза, рис. 2. (Диаметр оценивался по количеству строк в полукадре, относящихся к считываемому изображению). Отмеченный эффект может быть объяснен расплыванием сформированного изображением заряда на мишени ТПТ. Изменение интенсивности световых импульсов здесь и далее осуществлялось варьированием как длительности так и мощности засветки, полагая, что для ТПТ выполняем закон взаимозаменяемости [5],

$$i_c = \text{const при } P_{и}/\tau_{и} = \text{const},$$

где  $i_c$  — ток сигнала ТПТ;  $\tau_{и}$  — длительность светового импульса;  $P_{и}$  — мощность засветки.

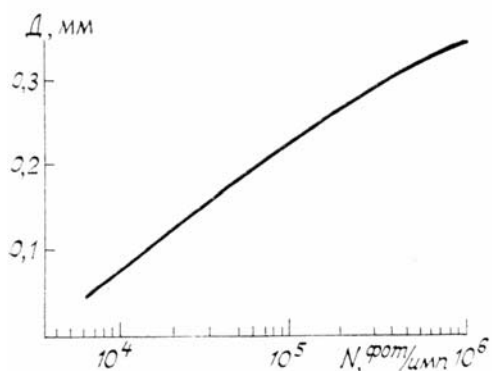


Рис. 2. Зависимость «считываемого диаметра» от интенсивности импульсной засветки

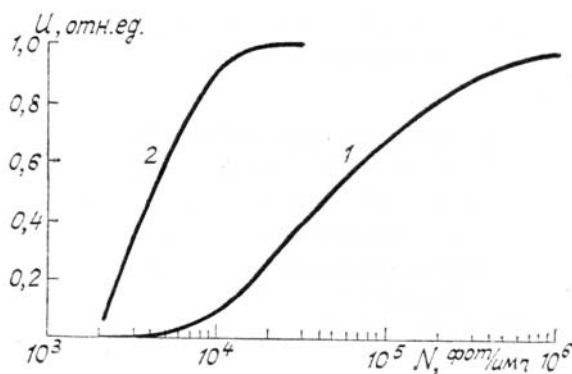


Рис. 3. Зависимость средней энергии пачки импульсов (1) и средней амплитуды пачки импульсов (2) от интенсивности импульсной засветки

На рис. 3 представлены экспериментально полученные «световые» характеристики. Кривая 1 характеризует зависимость средней энергии пачки импульсов, а кривая 2 — зависимость средней амплитуды пачки импульсов, в первом полукадре после светового импульса, от интенсивности этого импульса. Полученные результаты подтверждают прямую зависимость между интенсивностью засветки и величиной расплывания заряда на мишени. В эксперименте также оценивалась характеристика «памяти» супервидикона. Для этого при освещении его однократным световым импульсом измерялась средняя энергия пачки импульсов в нескольких следующих друг за другом полукадрах после светового импульса. Эксперимент показал, что в пределах применяемых ранее интенсивностей импульсных засветок ( $10^3 \pm 10^6$  фот/имп) остаточный сигнал во втором кадре не превышал 10% (паспортное значение). Результаты измерений сведены в таблицу.

Номер полукадра	1	2	3	4
Остаточный сигнал	100%	22%	7%	1,5%

Проведенные экспериментальные измерения позволяют сделать следующие выводы.

1. Супервидикон ЛИ-702-3 способен считывать одноэлектронные сцинтилляции с экрана микроканального усилителя яркости.

2. Существует оптимальная величина интенсивности считываемой сцинтилляции  $E_{\text{сц}}^0$ , т.к. при  $E_{\text{сц}} < E_{\text{сц}}^0$  увеличивается неопределенность в определении координат сцинтилляции за счет шумов телевизионной установки, а при  $E_{\text{сц}} > E_{\text{сц}}^0$  за счет возрастания величины расплывания заряда на мишени ( $E_{\text{сц}}$  — интенсивность сцинтилляции). Так как считываемые сцинтилляции имеют разброс интенсивностей, который может составлять не менее  $10^2$ , можно предположить, что для повышения точности измерения МСФ интенсивность низкоэнергетичных «сигнальных» сцинтилляций должна находиться на пределе чувствительности ТПТ. Очевидно, это легко реализовать, например, варьированием эффективности оптики, «перебрасывающей» изображение с экрана микроканального усилителя на фотокатод супервидикона.

3. Как уже упоминалось, динамический диапазон интенсивностей считываемых сцинтилляций может составлять не менее  $10^2$  поэтому для устранения эффекта многократного считывания одних и тех же сцинтилляций необходимо отводить не менее четырех полукадров для стирания мишени ТПТ либо применять форсированный режим стирания мишени.

1. Wick Robert A. // Appl. Opt. V. 26. № 16. 1987. P. 3210—3218.
2. Замятин Н.В., Климкин В.М., Федотова Г.В., Чикуров В.А. // Оптика атмосферы. 1989. Т. 2. № 6. С. 665—667.
3. Замятин Н.В., Климкин В.М., Чикуров В.А. // Оптика атмосферы. 1988. Т. 1. № 3. С. 104—108.
4. Бутслов М.М., Степанов Б.М., Фанченко С.Д. // Электронно-оптические преобразователи и их применение в научных исследованиях. М.: Наука, 1978. С. 210.
5. Петраков А.В., Харитонов В.М. // Высокоточные телевизионные комплексы для измерения быстропротекающих процессов. М.: Атомиздат, 1979. С. 45.

Институт оптики атмосферы СО АН СССР,  
Томск

Поступило в редакцию  
5 июня 1989 г.

**A. A. Makarov, V. A. Chikurov. Characteristics of a Supervidicon L1-702-3 in Application to Multichannel Photon Counting.**

The paper presents the data on experimental evaluation of the device sensitivity, memorizing ability and its light characteristic in application to record single pulsed images, with the diameter 0.2 mm at  $\lambda = 567$  nm. A conclusion is drawn in the paper on the existence of an optimal intensity of the image recorded.