

## ОТНОСНО ВЪЗМОЖНОСТИТЕ НА ТЕЛЕВИЗИОННИ КАМЕРИ ЗА ВЪЗДУШНО НАБЛЮДЕНИЕ И РАЗУЗНАВАНЕ

Валентина Цекова, Младен Младенов

ВА “Г. С. Раковски”, Институт за перспективни изследвания за отбраната  
[valsof20@hotmail.com](mailto:valsof20@hotmail.com), [mlm@bitex.bg](mailto:mlm@bitex.bg),

## ABOUT CAPABILITIES OF THE TV CAMERAS FOR AERIAL SURVEILLANCE AND RECONNAISSANCE

Valentina Tsekova, Mladen Mladenov

Military Academy “G. S. Rakovsky”, Institute for advanced Defence Research  
[valsof20@hotmail.com](mailto:valsof20@hotmail.com), [mlm@bitex.bg](mailto:mlm@bitex.bg)

**Key words:** TV camera, unmanned air vehicles, airborne surveillance and reconnaissance, sensibility, attitude signal /noise

**Abstract:** Some TV cameras which can be use in unmanned air vehicles for aerial surveillance and reconnaissance are presented. The analysis is made and the main parameters and characteristics of shown TV cameras are calculated.

### ВЪВЕДЕНИЕ

Телевизионните (ТВ) камери, монтирани на борда на безпилотни летателни апарати (БЛА) за въздушно наблюдение и разузнаване, играят важна роля за получаване в реално време на достоверна информация за наблюдаваните и разузнавани цели и обекти.

Те решават сложни разузнавателни задачи и работят в условия на непрекъснати промени:

- във видимостта и осветеността на обектите за наблюдение вследствие изменения както в метеорологичните условия – задимяване, мъгла, валежи, така и в маневрите на БЛА;

- във взаимното положение между ТВ камера и наблюдаваните обекти при големи относителни скорости на линейни и ъглови изменения.

Всяка телевизионна камера преобразува светлинната информация от наблюдавания обект в електрически сигнали. Тя се състои от ТВ оптика и ТВ датчик (сензор). С помощта на оптиката се формира изображение на наблюдавания обект върху работната светочувствителна повърхност на сензора, състояща се от фоточувствителни елементи. В съвременните ТВ камери най-често се използват сензори, разработени на базата на прибори със зарядна връзка (CCD сензори). Те се характеризират с малка маса и габарити, ниско захранващо напрежение, малка консумация на електроенергия и висока чувствителност и разделителна способност.

## ТЕЛЕВИЗИОННИ КАМЕРИ ЗА ВЪЗДУШНО НАБЛЮДЕНИЕ И РАЗУЗНАВАНЕ – ПАРАМЕТРИ И ЗАВИСИМОСТИ МЕЖДУ ТЯХ

Основен параметър, характеризиращ работата на ТВ камера, особено при работа в условия на минимална осветеност и на електромагнитни смущения и радиация, е нейната чувствителност. Тя характеризира способността на ТВ камера да осъществява наблюдения в условия на ниска осветеност. Най-общо чувствителността представлява минималната осветеност на обекта, при която ТВ камера все още е способна да формира изображение на наблюдавания обект. Обикновено чувствителността на ТВ камери за стандартни условия на измерване се задава в паспортните им данни и варира в границите от 1,5 до 8 lx [6]. В таблица 1 са показани основните параметри на ТВ камери за въздушно наблюдение и разузнаване [5].

ТАБЛИЦА 1

Наименование на ТВ камера, Фирма-производител	Параметър		
	Формат на сензора	Брой елементи в сензора, Н x V	чувствителност
VK – C317E HITACHI	1/4"	752 x 582	6,9 lx
SSC – DC593 SONY	1/3"	752 x 582	2,9 lx
LTC0455 PHILIPS	1/3"	752 x 582	2,6 lx
NCL735CK VISTA	1/3"	752 x 582	3,1 lx
TK – C1480E JVC	1/2"	752 x 582	1,3 lx

Известно е, че броят на фотоните, които образуват зарядния пакет върху един фоточувствителен елемент (пиксел) от CCD сензора за един цикъл на натрупване, се определя по формулата:

$$N_{\phi} = \frac{E S_{\text{пиксел}} t \eta}{W_{\phi}}, \quad (1)$$

където:  $E$  е енергетична облъченост (осветеност), измервана в  $W/m^2$ ;

$S_{\text{пиксел}}$  - площ на фоточувствителния елемент (пиксел) в  $m^2$ ;

$t$  - време за натрупване в s;

$W_{\phi}$  - енергия на фотона в J;

$\eta$  - квантов изход.

Съгласно теорията на Бор излъчването на енергията е свързано с преминаването на атоми или молекули от по-високи енергийни нива към по-ниски, при което се изпускат фотони. От това следва, че енергията на фотона се определя със зависимостта [1]:

$$W_{\phi} = h c \nu, \quad (2)$$

където:  $h = 6,626 \cdot 10^{-34} \text{ W s}^2$  е константа на Планк;

$$\nu = \frac{1}{\lambda}$$

е вълново число, измервано в  $\text{m}^{-1}$ ;

$c = 300\,000\,000 \text{ m/s}$  - скорост на светлината във вакуум;

$\lambda$  - дължина на вълната на излъчването, измервана в  $\text{m}$ .

Да оценим енергетичната облъченост (осветеност) на обекта на наблюдение. От една страна  $1 \text{ W} = 1 \text{ J/s}$ . От друга страна  $1 \text{ W}$  средна мощност на светлинното излъчване от светлинен източник на бяла светлина, който е с равномерно разпределение на енергията в спектъра на видимата област, съответства на светлинен поток, равен на  $220 \text{ lm}$  [3]. Тогава на енергетична осветеност, равна на  $1 \text{ W/m}^2$ , съответства осветеност, равна на  $220 \text{ lx}$ . Поради това, че типичната минимална осветеност на обекта за ТВ камери е  $2 \text{ lx}$ , то съответстващата й енергетична осветеност ще бъде равна на  $9,09 \cdot 10^{-3} \text{ W/m}^2$ .

На практика енергетичната облъченост отслабва в светочувствителната равнина на CCD сензора. Коефициентът на отслабване на потока от фотони при отразяване от обекта и преминаване в равнината на фокусиране на обектива, който е фокусиран на безкрайност, се пресмята с израза:

$$\frac{E_{\text{обект}}}{E_{\text{фотоприемник}}} = \frac{\rho \tau}{4F^2}, \quad (3)$$

където  $\rho$  е коефициент на отражение от обекта;

-  $\tau$  - коефициент на пропускане на обектива;

-  $F$  - апертура на обектива.

В стандартни условия се получава, че отслабването на потока от кванти при преноса на изображението на наблюдавания обект върху равнината на фокусиране на обектива е равно на:

$$E_{\text{обект}} / E_{\text{фотоприемник}} = 9,$$

тъй като за стандартни условия на измерване на чувствителността на телевизионните камери се приема, че коефициентът на отражение е равен на  $0,75$ , на пропускане –  $0,85$  и апертура  $F = 1,2$  [5].

От това следва, че енергетичната облъченост в светочувствителната повърхност на CCD сензора при минимална осветеност на обекта, равна на  $2 \text{ lx}$ , ще бъде приблизително равна на:

$$E \approx 10^{-3} \text{ W / m}^2.$$

Тогава броят на фотоелектроните, които са натрупани за стандартното време на натрупване, равно на  $0,02 \text{ s}$ , върху един пиксел от CCD сензора, ще бъде определен с формулата :

$$N_e = \frac{E S_{\text{пиксел}} t}{W_{\phi}} \eta. \quad (4)$$

Тъй като наблюдението на обекта се осъществява във видимата област, то за този спектрален диапазон се приема, че квантовият изход има средно значение  $\eta=0,7$  [2], а средната стойност на енергията на фотоните във видимата област се определя с израза:

$$\overline{W}_{\phi} = h \frac{2c}{\lambda_{\max} + \lambda_{\min}}. \quad (5)$$

За разглеждания случай след заместване се получава, че:

$$\overline{W}_{\phi} = 6,626 \cdot 10^{-34} \cdot \frac{2 \cdot 3 \cdot 10^8}{(0,72 + 0,40) \cdot 10^{-6}} = 3,54 \cdot 10^{-19} \text{ J}.$$

Тогава формулата за средния брой електрони в потенциалната яма на пиксела (един елемент) на CCD сензора придобива вида:

$$\overline{N}_e = \frac{E S_{\text{пиксел}} t}{W_{\phi}} \eta. \quad (6)$$

Преди да определим средния брой на електроните в потенциалната яма на отделния пиксел за показаните в таблица 1 ТВ камери ще извършим следните пресмятания. Приемаме, че пикселът е квадратен със страна  $a$ , а CCD сензорът е с правоъгълна форма със страни  $L_{\text{сензор}}$  и  $m_{\text{сензор}}$ . Тогава зависимостта между диаметъра на CCD сензора  $d$  и страната на пиксела  $a$  ще бъде:

$$d^2 = (H a)^2 + (V a)^2, \quad (7)$$

където  $H$  x  $V$  са броят на елементите в CCD матрицата на ТВ сензор. След преобразуване на (7) се получава, че страната на пиксела е:

$$a = \frac{d}{\sqrt{H^2 + V^2}}. \quad (8)$$

В таблица 2 са определени размерите и площите на фоточувствителните елементи и на CCD сензор за показаните по-горе ТВ камери. Тук със  $S_{\text{пиксел}}$  е означена площта на пиксела, а със  $S_{\text{сензор}}$  - площта на CCD сензора.

ТАБЛИЦА 2

Наименование на ТВ камера, фирма-производител	VK-C317E, HITACHI	SSC-C593, SONY	LTC0455, PHILIPS	NCL735CK, VISTA	TK-1480E, JVC
Диagonal на Тв сензор, m	(1/4"), $0,635 \cdot 10^{-2}$	(1/3"), $0,847 \cdot 10^{-2}$	(1/3"), $0,847 \cdot 10^{-2}$	(1/3"), $0,847 \cdot 10^{-2}$	(1/2"), $1,27 \cdot 10^{-2}$
$a$ , $\mu\text{m}$	6,677	8,9	8,9	8,9	13,3
$S_{\text{пиксел}}$ , $\text{m}^2$	$44,49 \cdot 10^{-12}$	$79,21 \cdot 10^{-12}$	$79,21 \cdot 10^{-12}$	$79,21 \cdot 10^{-12}$	$176,89 \cdot 10^{-12}$
$S_{\text{сензор}}$ , $\text{m}^2$	$19,47 \cdot 10^{-6}$	$34,67 \cdot 10^{-6}$	$34,67 \cdot 10^{-6}$	$34,67 \cdot 10^{-6}$	$77,42 \cdot 10^{-6}$

$L_{\text{сензор, m}}$	$0,5016 \cdot 10^{-2}$	$0,669 \cdot 10^{-2}$	$0,669 \cdot 10^{-2}$	$0,669 \cdot 10^{-2}$	$1 \cdot 10^{-2}$
$m_{\text{сензор, m}}$	$0,388 \cdot 10^{-2}$	$0,518 \cdot 10^{-2}$	$0,518 \cdot 10^{-2}$	$0,518 \cdot 10^{-2}$	$0,774 \cdot 10^{-2}$

Използвайки данните от двете таблица можем да определим средния брой на електроните в потенциалната яма на пиксела за представените телевизионни камери за стандартно време на натрупване  $t = 0,02 \text{ s}$  при енергетична облъченост, равна на  $10^{-3} \text{ W/m}^2$ .

При формиране на изображение на наблюдавания обект в ТВ камера се осъществява фотоелектрично преобразуване, в резултат на което оптичният сигнал се преобразува във видеосигнал. При това преобразуване естествено възниква и шум, който е съставен от две компоненти. Първата включва така наречения фотонен шум, който се дължи на дискретната природа на светлината. Втората компонента се дължи на собствените шумове на CCD сензора и на видеотракта. Фотонният шум зависи от средния брой електрони в потенциалната яма на пиксела на ТВ сензора и се определя по формулата [7]:

$$N_{\text{фшум}} = \sqrt{N_e} \quad (9)$$

Собствените шумове на ТВ сензор се дължат на много фактори и зависят от особеностите на ПЗВ като – технологично ниво на изработка на кристала и техническо решение на изходното устройство, в което се извършва преобразуването на заряда на фоточувствителния елемент в електрическо напрежение. Обикновено се приема, че шумовите електрони от собствени шумове са около 15 – 25 броя [2].

Тогава броят на електроните, формиращи шума, ще бъде равен на:

$$N_{\text{ешум}} = \sqrt{N_{\text{фшум}}^2 + 20^2} \quad (10)$$

Като използваме зависимостите, изразени с формули от (1) до (10), можем да определим отношението сигнал/шум за представените Тв камери, а именно:

$$\frac{S}{N} = 20 \log \frac{U_s}{U_N} \quad (11)$$

където:  $U_s$  е амплитуда на видеосигнала;

-  $U_N$  е средноквадратично значение на шума.

В таблица 3 са изчислени и показани: средният брой на електроните в потенциалната яма на пиксела  $\overline{N_e}$ , броят на електроните на фотонния шум  $N_{\text{фшум}}$ , броят на електроните на шума  $N_{\text{ешум}}$  и съответните разчетни стойности на

отношението сигнал/шум  $\frac{S}{N}$  за представените ТВ камери.

Обикновено измерването на средноквадратичното значение на шума се осъществява с тегловни нормирани филтри, които имитират визуалното възприемане на флукуационните шумове, зависещо от спектралното разпределение на енергията на шума. Експериментално е установено, че използването на такива филтри е целесъобразно когато отношението сигнал/шум е по-голямо от 30 db [5]. При равномерен спектър на флукуационните шумове нормираният филтър внася затихване от порядъка на 9,2 db [4]. В такъв случай към

разчетните значения на отношението сигнал/шум трябва да се добавят 9,2 db. В най-долния ред на таблица 3 са показани истинските значения на отношението сигнал/шум за различните ТВ камери.

ТАБЛИЦА 3

Наименование на Тв камера, фирма-производител	VK-C317E, HITACHI	SSC-C593, SONY	LTC0455, PHILIPS	NCL735CK, VISTA	TK-C1480E, JVC
Диagonal на Тв сензор, m	(1/4"), $0,635 \cdot 10^{-2}$	(1/3"), $0,847 \cdot 10^{-2}$	(1/3"), $0,847 \cdot 10^{-2}$	(1/3"), $0,847 \cdot 10^{-2}$	(1/2"), $1,27 \cdot 10^{-2}$
a - страна на пиксела, $\mu\text{m}$	6,677	8,9	8,9	8,9	13,3
$\bar{N}_e$ , бр.	1760	3129	3129	3129	6966
$N_{\text{шум}}$ , бр.	42	56	56	56	83
$N_{\text{ешум}}$ , бр.	47	59	59	59	86
разчетно S/N, db	31,5	34,5	34,5	34,5	38,3
S/N, db	40,2	43,7	43,7	43,7	47,5

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В представената работа е извършено пресмятане на основни параметри, характеризиращи ТВ камери, използвани в бордови системи за наблюдение и разузнаване.

Анализът на това пресмятане показва, че по-високи стойности на отношението сигнал/шум се получават при CCD сензори с по-големи размери на пиксела.

За целите на въздушното наблюдение и разузнаване от борда на БЛА е целесъобразно използването на ТВ камери със CCD сензори, които имат по-големи размери на фоточувствителните си елементи, тъй като това ще осигури по-добро отношение сигнал/шум и следователно по-добро качество на получаваното изображение.

### Литература:

- [1] Крискунов Л. Справочник по основам инфракрасной техники. М. Советское радио, 1978.
- [2] Неизвестный С.И., Никулин О.Ю. Приборы с зарядной связью – основа современной телевизионной техники. Основные характеристики ПЗС. "Специальная техника", № 5, 1999.
- [3] Самойлов В. Ф, Хромов Б. П. Телевидение, М. Связь, 1975.
- [4] Ткаченко А.П., Кириллов В.И., Техника телевизионных измерений, Минск, Вышэйшая школа, 1976.
- [5] Уваров Н., Секреты высокой чувствительности ТВ камер. Алгоритм безопасности, №6, 2002.
- [6] CCTV Today, September/October 2002, Product testing - Cameras, pp. 30 – 34.
- [7] Janesick J., Klaasen K. and Elliott T. CCD charge collection efficiency and the photon transfer technique" in Solid State Imaging Arrays, K. N. Prettyjohns and E. L. Ditrniak, eds., Proc. SPIE 570, 7-19 (1985).