

# Физическая аппаратура и ее элементная база

УДК 621.384.32

## К вопросу об обнаружении, распознавании и идентификации посредством тепловизионного прибора ростовой фигуры человека

*В. А. Овсянников, Н. Л. Пантелеев, С. Д. Питик, В. Л. Филиппов  
ФГУП «НПО "Государственный институт прикладной оптики"», г. Казань, Россия*

**На основе анализа результатов экспериментальных данных по оценке дальности обнаружения, распознавания и идентификации посредством тепловизионных приборов (ТВП) ростовой фигуры человека устанавливаются значения соответствующих критериев Джонсона, необходимые для рационального проектирования таких приборов и прогноза их дальности действия.**

При оптимальном проектировании ТВП, а также при расчете дальности их действия ключевую роль играют значения соответствующих критериев Джонсона [1], которые были ориентировочно установлены им еще в 50-х годах. В последние несколько лет на основании накопленного в мире опыта дешифрирования различных изображений эти критерии были уточнены. В частности, в широко известной за рубежом модели ТВП Acquire они имеют следующие значения (для вероятности решения соответствующих задач наблюдения  $P = 0,5$ ) [2]:

$$C = \begin{cases} 0,75 & \text{обнаружение;} \\ 3 & \text{распознавание;} \\ 6 & \text{идентификация.} \end{cases} \quad (1)$$

В модели (1) под критическим размером объектов понимается среднее геометрическое габаритных размеров объекта в картинной плоскости:  $h = \sqrt{lb}$ .

Соответствующее разрешение на местности  $A$  (полупериод разрешаемой эквивалентной меры), необходимое для вскрытия (обнаружения, распознавания или идентификации) объекта, по определению составляет

$$A = h / 2C. \quad (2)$$

Однако указанные выше значения  $C$  ориентированы в основном на вскрытие объектов военной и транспортной техники (ВТТ). Поэтому нашей задачей является установление значений критериев Джонсона применительно к вскрытию объекта класса "ростовая фигура человека" (РФЧ), являющегося типовой целью при применении тепловизионных прицелов к стрелковому оружию.

Для дальнейшего изложения уточним понятия обнаружения, распознавания и идентификации применительно к РФЧ:

обнаружение — установление наличия в поле зрения ТВП некоего объекта, отличающегося от окружающих элементов фона, т. е. выделение объекта из фоновых неоднородностей;

распознавание — установление принадлежности объекта к классу РФЧ по наличию характерных контурных элементов (конечностей);

идентификация — установление принадлежности объекта РФЧ к типу "военнослужащий" или к типу "гражданский" по различию в экипировке.

Для определения критериев Джонсона, очевидно, необходимы соответствующие экспериментальные измерения, имеющие целью оценку в определенных условиях дальности действия какого-либо конкретного образца ТВП с известными значениями основных технических параметров по отношению к объекту РФЧ, имеющему также известные параметры. При этом согласно [3] искомая величина  $A$ , определяющая по (2) значение  $C$ , может быть найдена из выражения

$$A = \frac{D\delta}{2x}; \quad x = E_0^{-1}(m); \quad m = \frac{|\Delta T_R| \tau \xi * \vartheta \mu}{\Delta T_0};$$

$$\xi = \sqrt{2hx / 7D\delta}; \quad \xi^* = \xi / \sqrt{x} = \sqrt{2h / 7D\delta}; \quad \vartheta = \delta / \delta_0; \quad (3)$$

$$E_0(x) = E(x) / \sqrt{x}; \quad x = v\delta; \quad r = \sqrt{TF},$$

где  $D$  — дальность действия ТВП;

$\Delta T_0$  — разность температур, эквивалентная шуму;

$\delta$  и  $\delta_0$  — эффективное и номинальное значения элементарного поля зрения ТВП, соответственно;

$F$  — частота кадров;

$\tau$  — коэффициент пропускания атмосферы на дистанции  $D$ ;

- $T = 0,1\text{--}0,2$  с – постоянная времени глаза (зависит от яркости изображения);  
 $\Delta T_R$  – средняя разность радиационных температур объекта и фона;  
 $h$  – критический размер объекта;  
 $v$  – угловая частота;  
 $E(x)$  – температурно-частотная характеристика (ТЧХ) ТВП в относительных единицах;  
 $\xi$  – коэффициент пересчета ТЧХ от стандартной меры (формат полос 7:1) к эквивалентной;  
 $\mu$  – коэффициент пересчета значения  $\Delta T_0$ , определенного для температуры фона  $T_0 = 295$  К, к данной температуре фона  $T$ .

Отметим, что значение  $\delta$  отличается от  $\delta_0$  тем, что оно определяется параметрами всего информационного тракта ТВП (а не только его фотоприемника); обычно  $\delta \geq \delta_0$ .

Коэффициент  $\mu$  можно оценить по формуле [3]

$$\mu = \begin{cases} (T / T_0)^{10} & (\Delta\lambda = 3 - 5 \text{ мкм}) \\ (T / T_0)^3 & (\Delta\lambda = 8 - 14 \text{ мкм}). \end{cases} \quad (4)$$

ТЧХ прибора  $E(x)$  рассчитывается по известной формуле (для вероятности разрешения меры 0,5) [1–3]

$$E(x) = \frac{2,4x}{K(x)}; \quad K(x) = \exp(-2\pi^2\sigma^2x^2), \quad (5)$$

где  $K(x)$  – результирующая функция передачи модуляции ТВП, как правило, хорошо аппроксимируемая гауссовской зависимостью с параметром  $\sigma = 0,55$ .

При  $x = 0,75$  можно считать, что  $E(x) \rightarrow \infty$ , а при  $x = 0 - E(x) = 0,25$  [3].

Для оценки коэффициента пропускания атмосферы на горизонтальной трассе в нашем случае можно использовать упрощенное выражение

$$\tau = \exp(-\alpha D), \quad (6)$$

где  $\alpha$  – показатель ослабления на трассе.

Однако получение прямой оценки значения  $A$  по (3) обычно не обеспечивает необходимой точности, ибо для всех известных из литературы соответствующих экспериментальных исследований, как правило, отсутствовали четкие сведения о таких факторах, существенно влияющих на дальность действия ТВП, как вероятность вскрытия объекта, квалификация операторов, условия применения ТВП и наблюдения изображения. Кроме того, входящая в выражения (3) величина  $\delta$  может значительно отличаться от номинального значения элементарного поля зрения  $\delta_0$  ТВП, и она также неизвестна (в отличие от значений  $\Delta T_0$  и  $\delta_0$ ).

Поэтому для повышения точности определения значения  $A$  для объекта РФЧ целесообразно привлечь дополнительные сведения о дальностях действия  $D_s$  тех же образцов ТВП, полученных в тех же условиях по отношению к другому (эталонному) объекту, в качестве которого удобно использовать танк, ибо для объекта этого класса хорошо известны как типовые значения параметров  $\Delta T_{R,s}$ ,  $h_s = \sqrt{l_s b_s}$ , так и требуемые значения разрешения на местности  $A_s$ .

Согласно многочисленным экспериментальным данным, например [4], для вскрытия объекта БТТ из верхней полусферы (типовые габаритные размеры плановой проекции  $l_{s,p} \times b_{s,p} = 6,4 \times 3$  м) с вероятностью  $P = 0,5$  требуются следующие значения разрешения на местности:

$$A_{s,p} = \begin{cases} 1,5 & \text{обнаружение;} \\ 0,6 & \text{распознавание;} \\ 0,3 & \text{идентификация.} \end{cases}$$

Для пересчета этих значений  $A_{s,p}$ , например, на облическую проекцию танка ( $l_s \times b_s$ ), для которой и были выполнены соответствующие измерения дальности действия ТВП, следует, согласно определению критического размера, воспользоваться формулой

$$A_s = \frac{A_{s,p} \sqrt{l_s b_s}}{\sqrt{l_{s,p} b_{s,p}}}. \quad (7)$$

Составив для эталонного объекта выражения, аналогичные (3), легко получить искомые значения требуемого разрешения на местности для РФЧ

$$A = \frac{A_s D x_s}{D_s x}; \quad x_s = E_0^{-1}(m_s); \quad (8)$$

$$m_s = \frac{|\Delta T_{R,s}| \tau_s r \xi_s^* \mu \vartheta}{\Delta T_0}; \quad \xi_s^* = \sqrt{2 h_s / 7 D_s \delta},$$

где все величины с индексом "s" относятся к эталонному объекту.

Очевидно для объектов, обеспечивающих значения отношения сигнал/шум  $m$ ,  $m_s > 20$ , можно считать, что  $x_s/x = 1$ , и тогда формула (8) упрощается, т. е.

$$A \equiv A_s D / D_s, \quad (9)$$

и искомые значения  $A$  уже практически не будут зависеть от условий применения и параметров ТВП, использованных в экспериментах.

В ряде информационных зарубежных материалов удалось отыскать результаты экспериментальных измерений дальности действия (обнаружения, распознавания, идентификации) некоторых образцов ТВП, выполненных параллельно по отношению к РФЧ и облической проекции танка (таблица).

**Экспериментальные усредненные значения дальностей действия ряда образцов ТВП**

Прибор (ТВП)	Параметры		По РФЧ			По танку		
	$\Delta T_0$ , К	$\delta_0$ , мрад	$D_{dis}$ , км	$D_{rec}$ , км	$D_{id}$ , км	$D_{dis}$ , км	$D_{rec}$ , км	$D_{id}$ , км
ATTICA	0,05	0,1	6,7	—	1	11	—	2,2
OPHELIOS	0,05	0,045	7,8	—	1,9	15	—	3
SAGEM	0,035	0,05	13	5	—	16	6,7	—
CATHERINE	0,045	0,068	6,2	2,3	—	12	4,7	—

Далее полагаем, что параметры объектов "танк" и РФЧ соответствовали стандарту НАТО:

$$\Delta T_R = 2,5 \text{ К}; l \times b = 1 \times 1 \text{ м} - \text{РФЧ};$$

$\Delta T_{Rs} = 2 \text{ К}; l_s \times b_s = 6,1 \times 2,3 \text{ м} - \text{"танк"}, \text{облическая проекция},$   
а измерения проводились в ясную погоду ( $\alpha = 0,2 \text{ км}^{-1}$ ).

Тогда, выполнив по (5)–(8) соответствующие расчеты, получаем следующие искомые значения требуемого разрешения на местности (для вероятности вскрытия объекта РФЧ  $P = 0,5$ ), минимизированные по всем четырем образцам ТВП:

$$A = \begin{cases} 0,6 \text{ м} - \text{обнаружение}; \\ 0,25 \text{ м} - \text{распознавание}; \\ 0,12 \text{ м} - \text{идентификация}, \end{cases}$$

и соответствующие значения критериев Джонсона:

$$C = \begin{cases} 0,8 - \text{обнаружение}; \\ 2 - \text{распознавание}; \\ 0,3 - \text{идентификация}. \end{cases}$$

Отметим, что отношение  $x_s/x$  в (8) несколько отличалось от 1 лишь для случая обнаружения объектов.

В случае необходимости пересчета найденных значений  $A$  и  $C$  на вероятность вскрытия объекта  $P = 0,8$  следует по [3] значения  $A$  разделить на 1,5, а значения  $C$  умножить на 1,5.

Полученные значения  $A$  не противоречат и результатам выполненных в ФГУП «НПО "ГИПО"» экспериментальных исследований дальности вскрытия объекта РФЧ с помощью ТВП.

Как следует из этих результатов, при использовании ТВП с параметрами  $\Delta T_0 = 0,25 \text{ К}$  и  $\delta_0 = 0,25 \text{ мрад}$  при  $T = 300 \text{ К}$  ( $27^\circ\text{C}$ ) в ясную погоду были получены следующие значения даль-

ности действия ТВП, отвечающие вероятности вскрытия  $P = 0,8$ :

$$D = \begin{cases} 1,6 \text{ км} - \text{обнаружение}; \\ 0,9 \text{ км} - \text{распознавание}; \\ 0,5 \text{ км} - \text{идентификация}. \end{cases}$$

При этом средний тепловой контраст объекта был равен  $\Delta T_R = 4 \text{ К}$ . Тогда, используя формулу (3), для  $\delta = \delta_0$  получаем

$$A = \begin{cases} 0,5 - \text{обнаружение}; \\ 0,26 - \text{распознавание}; \\ 0,13 - \text{идентификация}. \end{cases}$$

Большее отличие значения  $A$  для случая обнаружения объекта здесь связано с тем, что дальность действия ТВП при этом существенно зависит и от степени тепловой неоднородности фона [3].

Таким образом, для случая обнаружения объекта РФЧ значение критерия Джонсона практически совпадает с таковым для ВТТ, а при распознавании и идентификации РФЧ — в ~1,5 раза меньше соответствующего критерия для ВТТ.

**Л и т е р а т у р а**

- Ллойд Д. Системы тепловидения — М.: Мир, 1978.
- Driggers R. et al. Sensor performance conversions for IR target acquisition// Applied Optics, 1999. V. 38. № 28. P. 5936.
- Алеев Р. М., Иванов В. П., Овсянников В. А. Основы теории анализа и синтеза воздушной тепловизионной аппаратуры. — Казань: Изд-во КГУ, 2000.
- Гаврилов Н. Американские разведспутники// Зарубежное военное обозрение, 1984. № 11. С. 54.

Статья поступила в редакцию 23 ноября 2004 г.

## To the problem of the detection, recognition and identification of the figure of man by means of the thermal imaging device

V. A. Ovsyannikov, N. L. Panteleev, S. D. Pitik, V. L. Philippov  
FSUE «NPO “State Institute of Applied Optics”, Kazan, Russia

*On the basis of the analysis of the results of the experimental data according to the estimation of the distance detection, recognition and identification of the figure of man by*

*means of the thermal imaging device there fixed the values of the specified Johnson criteria, necessary for the rational design of such devices and the prognosis of their range.*

УДК 621.37; 538.08

## Физические предпосылки применения сверхпроводников в импульсной энергетике микросекундного диапазона

Ю. Д. Куроедов, Г. Л. Дорофеев, В. С. Вяткин  
РНЦ "Курчатовский институт", Москва, Россия

*Рассмотрены методы накопления и быстрого вывода энергии магнитного поля из индуктивных накопителей с помощью сверхпроводящих магнитных экранов. Приведены результаты исследований экранирующей способности экранов, характерных времен проникновения поля внутрь экранов и величины ЭДС, возникающей во вторичной обмотке, связанной с экраном общим магнитным потоком.*

Формирование мощных электрических импульсов тока состоит в накоплении энергии в емкостных или индуктивных накопителях и последующем выводе ее в нагрузку с помощью коммутирующих устройств.

Исторически источники импульсной энергии с запасом энергии порядка 0,1–1 МДж, мощностью порядка 1 ГВт создавались на основе высоковольтных конденсаторных батарей (КБ) [1]. Современные частотные КБ типа ИКЧ-50-0,12 энергоемкостью 150 Дж имеют плотность запасаемой энергии  $w = 0,01\text{--}0,02 \text{ МДж}/\text{м}^3$  [2]. Конструкция импульсных источников энергии энергоемкостью  $10^5\text{--}10^6$  Дж на основе этих, сравнительно мелких, модулей чрезвычайно сложна (количество элементов достигает нескольких тысяч, включая выравнивающие со-противления, замыкатели, разрядники, шины). Система вывода требует сложную схему синхронизации запуска разрядников, высоковольтные маслонаполненные трансформаторы.

В сверхпроводящих индуктивных накопителях (СПИН) с полем 2–3 Тл запасается энергия плотностью  $w = 2\text{--}4 \text{ МДж}/\text{м}^3$ , однако их индуктивность велика, и быстрый вывод энергии в виде импульсов 10–100 мкс осуществляется путем многоступенчатой коммутации. Полупроводниковые устройства, обеспечивающие быстрый разрыв сильноточной цепи, рассчитаны на ток в несколько килоампер, вакуумные и газовые коммутаторы —  $10^4\text{--}10^5$  А. Одиночные попытки применения сверхпроводящих (СП) размыкателей мощностью порядка  $10^7$  Вт не увенчались успехом. Необходимость охлаждения магнитной системы до  $T = -273$  °С также препятствовала распространению СП накопителей в импульсной энергетике.

В конце XX века появилось несколько новых обстоятельств в пользу применения СПИН в

качестве основы импульсных источников энергии. Прежде всего это снятие проблемы охлаждения СП-устройств до гелиевых температур за счет создания и более широкого применения криокуллеров [3], а также открытие и освоение среднетемпературных ( $\text{Nb}_3\text{Sn}$ ,  $\text{NbN}$ ,  $\text{MgB}_2$ ) и высокотемпературных сверхпроводников (иттриевая, висмутовая и другие керамики), работоспособных при  $T > 10$  К и даже при  $T > 77$  К.

Создание магнитных систем с запасом энергии  $10^5\text{--}10^6$  Дж, объемом  $0,1\text{--}0,5 \text{ м}^3$  не представляет сегодня проблемы, так как производство проводов для них освоено у нас в стране и за рубежом [4, 5], технология изготовления магнитов отработана [6]. Однако быстрый вывод энергии из индуктивных накопителей затруднен по причине большей индуктивности и ограничений на скорость изменения поля в обмотке ( $dB/dt < 1 \text{ Тл}/\text{с}$ ) из-за возможности перехода обмотки в нормальное состояние и рассеяния в ней большей части запасенной энергии.

Авторами статьи в 1992 г. предложен метод накопления и вывода энергии из индуктивного накопителя с помощью СП магнитного экрана, размещенного между накопительной и вторичной обмотками [7]. Затем был предложен метод трансформаторного вывода энергии из СП-экрана, внутри которого запасается энергия поля, созданного наведенными СП-токами [8]. Новизна этих технических решений заключается в том, что изменение магнитного потока происходит за счет затухания экранирующих токов на сопротивлении самого экрана, переведенного в нормальное (резистивное) состояние, в отличие от традиционной схемы, в которой ток первичной обмотки затухает на внешнем сопротивлении.

Экран представляет собой тонкостенный цилиндр, который может быть выполнен как из