УДК 621.384.3

АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ РАСЧЕТА ДАЛЬНОСТЕЙ ОБНАРУЖЕНИЯ, РАСПОЗНАВАНИЯ И ИДЕНТИФИКАЦИИ ТЕПЛОВИЗИОННОЙ СИСТЕМЫ ПО ДВУМ МЕТОДИКАМ

Кулакова Н.Н. [1], Мишин С.В. [2]

[1] *«МГТУ им. Н.Э. Баумана, г. Москва, Россия*
[2] *ОАО «Красногорский завод им. С.А. Зверева», г. Красногорск, Московская обл., Россия*
E-mail:nnkulakova@gmail.com, SvyatoslawMishin@yandex.ru

Одним из важнейших параметров, характеризующих тепловизионные наблюдательные системы, является дальность обнаружения, распознавания и идентификации наблюдаемых объектов. В литературе, посвященной данному вопросу, рассматриваются две возможных методики расчета этого параметра. Однако, каждая из них рассматривается в отдельности. Сравнительный анализ результатов расчетов по этим методикам не приводится.

В настоящей работе проведено сравнение результатов расчета дальностей обнаружения, распознавания и идентификации тепловизионной системы по двум методикам. В первой методике используется критерий Джонсона и геометрические характеристики оптической системы. Во второй методике используется критерий Джонсона и энергетические характеристики оптической системы.

Анализ результатов расчетов показал целесообразность применения методики расчета по геометрическим характеристикам, т.к. она является более точной по сравнению с методикой расчета по энергетическим характеристикам.

Ключевые слова: тепловизионная система, дальность, обнаружение, распознавание, идентификация.

ANALYSIS OF THE RESULTS OF THE CALCULATION RANGES OF DETECTION, RECOGNITION AND IDENTIFICATION OF THERMAL IMAGING SYSTEM BY TWO METHODS

Kulakova N.N. [1], Mishin S.V. [2]

[1] *Moscow State Technical University n.a. Bauman, Moscow, Russia*
[2] *JSC «Krasnogorsky Zavod», Krasnogorsk, Moscow region, Russia*
E-mail:nnkulakova@gmail.com, SvyatoslawMishin@yandex.ru

One of the most important parameters characterizing the thermal observation system is the range of detection, recognition and identification of the observed objects. The literature on this issue considers two possible methods of calculating this parameter. However, each of them considered in isolation. Comparative analysis of the results of calculations using these methods is not given.

This article contains a comparison of the results of calculation ranges of detection, recognition and identification of thermal imaging system by two methods. The first method uses the criterion of Johnson and geometrical characteristics of the optical system. The second method uses the criterion of Johnson and energy characteristics of the optical system.

Analysis of the calculation results showed the feasibility of the methodology that uses the geometric characteristics of the optical system, as it is more accurate than the method of calculation for the energy characteristics of the optical system.

Keywords: thermal imaging system, range, detection, recognition, identification.

Одним из важнейших параметров, характеризующих тепловизионные наблюдательные системы, является дальность обнаружения, распознавания и идентификации наблюдаемых объектов. В литературе [1 – 8], посвященной данному вопросу, рассматриваются две возможных методики расчета этого параметра. Однако каждая из них рассматривается в отдельности. Сравнительный анализ результатов расчетов по этим методикам не приводится.

Целью настоящей работы является сравнение результатов расчета дальностей обнаружения, распознавания и идентификации тепловизионной системы по двум методикам. В первой методике используется критерий Джонсона и геометрические характеристики оптической системы. Во второй методике используется критерий Джонсона и энергетические характеристики оптической системы.

1. Описание тепловизионной системы

Для анализа методик расчета дальностей обнаружения, распознавания и идентификации выбрана двухканальная тепловизионная наблюдательная система. Данная система предназначена для наблюдения объектов в сумерках и ночью в простых и сложных метеоусловиях, в том числе при запылении и задымлении. Эта система может быть использована в приборах, предназначенных для армии и правоохранительных органов.

Система состоит из двух оптико-электронных каналов, представленных на рисунке 1: узкопольного и широкопольного. Каждый из каналов выполнен отдельно. Каналы должны быть установлены в едином корпусе прибора. Каждый канал включает объектив и матричное фотоприемное устройство (МФПУ), установленное в плоскости наилучшего изображения. Оба объектива – линзовые. Узкопольный канал – канал высокого разрешения. Он работает в средней ИК-области: $\Delta\lambda$ = 3 – 5 мкм. Для повышения чувствительности МФПУ предусматривается его охлаждение. Широкопольный канал работает в дальней ИК-области: $\Delta\lambda$ = 8 – 11 мкм. Охлаждение МФПУ в этом канале не производится.

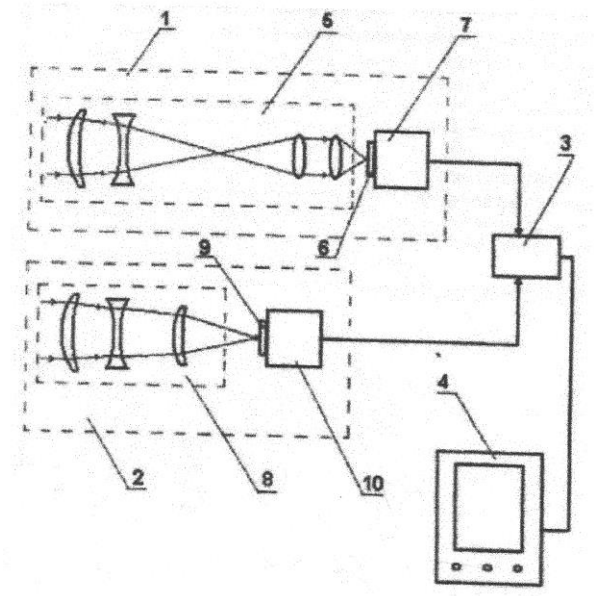

Рисунок 1.

Принципиальная схема двухканальной тепловизионной системы:

1 - канал узкого поля зрения; 2 - канал широкого поля зрения; 3 - переключатель каналов; 4 – монитор; 5 - линзовый объектив; 6 – охлаждаемое МФПУ; 7 - блок обработки сигнала; 8 – объектив; 9 - неохлаждаемое МФПУ; 10 - блок обработки сигнала.

Исходными данными для исследования методик расчета дальностей обнаружения, распознавания и идентификации тепловизионной оптической системы являются: рабочий спектральный диапазон $\Delta\lambda$, относительное отверстие объектива D/f', фокусное расстояние объектива f', тип МФПУ.

Исходные данные для канала узкого поля зрения: $\Delta\lambda$ = 3…5 мкм; D/f' = 1:4; f' = *340* мм; матрица – охлаждаемая с параметрами: формат – 640x512 пикселей, шаг – 15 мкм.

Исходные данные для канала широкого поля зрения: $\Delta\lambda$ = 8…11 мкм; D/f' = 1:1,2; f' = 170 мм; матрица – микроболометрическая с параметрами: формат – 384x288 пикселей, шаг – 25 мкм.

2. Оценка дальностей обнаружения, распознавания, идентификации каналов по критерию Джонсона с использованием геометрических характеристик каналов

Процесс обнаружения и распознавания объекта зависит от ряда случайных факторов и является вероятностным. Поэтому необходим критерий, позволяющий с определенной степенью достоверности принимать решение о выполнении задачи обнаружения, распознавания и идентификации. В качестве такого критерия широко применяется критерий Джонсона [2].

Критерий Джонсона представляет собой зависимость между числом разрешаемых периодов эквивалентной миры *N*, укладывающихся на критическом размере наблюдаемого объекта, и вероятностью решения задач наблюдения. Критическим называется размер, вдоль которого ведется анализ изображения объекта для выявления его характерных признаков. Эквивалентной штриховой мирой называют миру прямоугольной формы, ширина которой равна критическому размеру объекта, а длина соответствует его размеру в направлении, перпендикулярном критическому. Один период эквивалентной миры содержит два штриха равной толщины – темный и светлый.

Значения числа Джонсона *N*, характеризующие решение задач обнаружения, распознавания, идентификации с вероятностью 50%, по данным [2] приводятся в таблице 1.

Таблица 1.
Значения числа Джонсона

Решаемая задача	*N*
Обнаружение	1,0
Распознавание	3,0…4,0
Идентификация	6,0

Пространственная частота системы υ в плоскости изображения, обеспечивающая требуемое для решения задачи обнаружения или распознавания число *N*, может быть рассчитана по формуле (1), приведенной в [1]:

$$\upsilon = \frac{N\,l}{f'\,h_{кр}}, \quad (1)$$

где υ, *л/мм* – пространственная частота оптической системы в плоскости изображения;

N – число периодов эквивалентной миры, укладывающихся в критическом размере объекта;

l, м – расстояние от оптической системы до наблюдаемого объекта;

f', мм – фокусное расстояние оптической системы;

$h_{кр}$, *м* – критический размер наблюдаемого объекта.

Критическую пространственную частоту оптической системы в плоскости изображения можно определить, используя параметры МФПУ, по следующей формуле:

$$\upsilon = \frac{1}{2a}, \quad (2)$$

где *a, мм* – размер чувствительного элемента фотоприемного устройства.

Выберем в качестве объекта наблюдения человека с ростом 1,7 м. Рост человека является критическим размером $h_{кр}$.

Из формулы (1) выразим искомую величину – дальность до объекта наблюдения:

$$l = \upsilon \cdot \frac{f' \cdot h_{кр}}{N} \quad (3)$$

3. Оценка дальностей обнаружения, распознавания, идентификации каналов по критерию Джонсона с использованием энергетических характеристик каналов

В работе [3] описана связь дальностей обнаружения, распознавания, идентификации тепловизионной системы не только с критерием Джонсона, но и с энергетическими характеристиками системы, а также с квалификацией оператора.

В практике наблюдения во многих случаях используется формула расчета дальностей до объекта, на которых решается задача наблюдения:

$$l = \frac{h_{кр}\gamma_0 x}{C\delta}\sqrt{-\frac{0,7}{\ln(1-P)}}\ , \qquad (4)$$

где γ_0 - показатель квалификации оператора, для оператора невысокого уровня его можно принять равным 0,8;

C – критерий Джонсона, берется таким же, как в таблице 1 для вероятности 50% (т.е. *C* = *N*);

P – вероятность решения поставленной задачи;

δ – значение элементарного поля зрения тепловизионного прибора, которое определяется по формуле:

$$\delta = \frac{a}{f'}, \qquad (5)$$

где *a* – размер чувствительного элемента фотоприемного устройства;

f' – фокусное расстояние оптической системы;

x – коэффициент, учитывающий энергетические характеристики системы, приближенно определяется формулами (6) и (7):

$$x = \min(0,75; 0,59(\sqrt{1+0,78\ln(m/0,3)}-1)),$$
$$m = \frac{\Delta T_R \tau_a b}{\Delta T} \qquad (6), (7)$$

где ΔT_R – разность радиационных температур объекта и фона, для человека в качестве объекта наблюдения и типичных фонов обычно принимается $\Delta T_R = 5...10K$,

τ_a - коэффициент пропускания атмосферы, примем его равным 0,5;

b - число элементов МФПУ, на которое укладывается заданное число периодов эквивалентной миры, *b = 2*;

ΔT – разность температур, эквивалентная шуму, указана в паспорте МФПУ.

Согласно паспортным характеристикам, МФПУ канала узкого поля зрения имеет $\Delta T = 0,02K$, а МФПУ канала широкого поля зрения $\Delta T = 0,1K$.

4. Анализ результатов расчета дальностей обнаружения, распознавания и идентификации по двум методикам

Для анализа результатов расчета дальностей обнаружения, распознавания и идентификации по двум методикам используем следующее соотношение:

$$k = \frac{L_G}{L_E}, \qquad (8)$$

где L_G – значение дальности, полученное с помощью критерия Джонсона с использованием геометрических характеристик каналов (см. формулу (3));

L_E - значение дальности, полученное с помощью критерия Джонсона с использованием энергетических характеристик характеристик каналов (см. формулу (4));

Результаты расчета по формулам 3, 4 и 8 для каждого из каналов прибора приведены в таблице 3:

Таблица 3.

Отношение дальностей обнаружения, распознавания и идентификации объекта

Оптический канал	f', мм	Отношение $k = L_G / L_E$		
		Обнаружение (C=N=1)	*Распознавание (C=N=3)*	*Идентификация (C=N=6)*
Широкое поле зрения, Δλ = 8…11 мкм	170	0,86735	0,8676 3	0,866 77
Узкое поле зрения, Δλ = 3…5 мкм	340	0,82953	0,8291 8	0,8292 9

Как видно из таблицы 3, для обоих каналов прибора отношение $k = \frac{L_G}{L_E}$ меньше 1. Это говорит о том, что значения дальностей обнаружения, распознавания и идентификации, рассчитанные по методике с использованием геометрических характеристик меньше, чем значения дальностей обнаружения, распознавания и идентификации, рассчитанные по методике с использованием энергетических характеристик. Известно, что достоверность результатов расчета формуле (3) подтверждена экспериментальными исследованиями. Отсюда следует вывод о предпочтительности применения методики расчета дальностей обнаружения, распознавания и идентификации по критерию Джонсона с использованием геометрических характеристик.

Литература:

1. Госсорг Ж. Инфракрасная термография. Основы, техника, применение: Пер. с франц. — М.: Мир, 1988. — 452 с., ил.
2. Тарасов В.В., Якушенков Ю.Г. Инфракрасные системы «смотрящего» типа. М.: Логос, 2004. 452 с.
3. Иванов В.П., Овсянников В.А., Филиппов В.Л. Метод оптимизации несканирующих тепловизионных приборов // Оптический журнал. 2012. Т. 79, №3. С. 4 – 10.
4. О.Н. Вавилов В.П. Инфракрасная термография и тепловой контроль. М.: ИД Спектр, 2009-238 с.
5. Будадин, Вавилов В.П., Абрамова Е.В. Тепловой контроль М.: ИД Спектр, 2011-230с.
6. Вавилов В.П., Климов А.Г. Тепловизоры и их применение. М.: Интел универсал, 2002-290с.
7. Козёлкин В. В., Усольцев И. Ф. Основы инфракрасной техники. М.: Машиностроение, 1974-336 с.
8. Справочник по инфракрасной технике. / Ред. У. Вольф, Г. Цисис. В 4-х тт. Т. 4. Проектирование инфракрасных систем: Пер. с англ. – М.: «Мир», 1999. – 472 с., ил.

References

1. Gossorg Zh. Infrakrasnaia termografiia. Osnovy, tekhnika, primenenie: Per. s frants. — M.: Mir, 1988. — 452 s., il.
2. Tarasov V.V., Iakushenkov U.G. Infrakrasnye sistemy «smotriashchego» tipa. M.: Logos, 2004. 452 s.
3. Ivanov V.P., Ovsiannikov V.A., Filippov V.L. Metod optimizatsii neskaniruiushchikh teplovizionnykh priborov // Opticheskiĭ zhurnal. 2012. T. 79, №3. S. 4 – 10.
4. O.N. Vavilov V.P. Infrakrasnaia termografiia i teplovoi kontrol'. M.: ID Spektr, 2009-238 c.
5. Budadin, Vavilov V.P., Abramova E.V. Teplovoi kontrol M.: ID Spektr, 2011-230c.
6. Vavilov V.P., Klimov A.G. Teplovizory i ikh primenenie. M.: Intel universal, 2002-290c.
7. Kozelkin V. V., Usoltsev I. F. Osnovy infrakrasnoĭ tekhniki. M.: Mashinostroenie, 1974-336 s.
8. Spravochnik po infrakrasnoi tekhnike. / Red. U. Volf, G. Tsisis. V 4-kh tt. T. 4. Proektirovanie infrakrasnykh sistem: Per. s angl. – M.: «Mir», 1999. – 472 s., il.

Сведения об авторе

Мишин Святослав Валерьевич, 1991 года рождения. В 2014 г. закончил МГТУ имени Н.Э. Баумана, факультет «Оптико-электронное приборостроение» по специальности «Оптические и оптико-электронные приборы и системы». С 2014 г. – инженер отдела 611 ОАО «Красногорский механический завод им. С.А. Зверева».

Число опубликованных работ: 3 научных работы в области «Оптико-электронное приборостроение».

Тел. +7-(965)-322-29-79

E-mail: SvyatoslawMishin@yandex.ru

Mishin S.V. (b. 1991) graduated from Bauman Moscow Higher Technical School in 2014 by speciality «Optoelectronic Research Devices». Engineer of 611th Department at JSC «Krasnogorsky Zavod». Author of 3 publications in the field of design of optical systems of optical and electronic instruments.

Workplace: JSC «Krasnogorsky Zavod»

Phone: +7-(965)-322-29-79

E-mail: SvyatoslawMishin@yandex.ru

Кулакова Надежда Николаевна, 1956 года рождения. 1979 г. – окончание МВТУ имени Н.Э. Баумана. Кандидат технических наук.

Место работы – МГТУ имени Н.Э. Баумана, доцент кафедры РЛ2.

Число опубликованных работ: 46 научных работ в области «Оптико-электронное приборостроение»

Тел.: моб. +7-(917)-530-08-61; раб. 8-(499)-263-63-80 (каф. РЛ2)

E-mail: nnkulakova@gmail.com

Kulakova N.N. (b. 1956) graduated from Bauman Moscow Higher Technical School in 1979. Ph. D., Assoc Professor of the Optoelectronic Research Devices Department of Bauman Moscow State Technical University. Author of more than 40 publications in the field of design of optical systems of optical and electronic instruments.

Workplace: Bauman Moscow State Technical University

Phone: +7-(917)-530-08-61; 8-(499)-263-63-80

E-mail: nnkulakova@gmail.com