

Journal of Siberian Federal University. Engineering & Technologies, 2019, 12(6), 683-693

~ ~ ~

УДК 518.6, 536.6

Methods of Assessment of Dynamics of Change of Probability Characteristics of Recognition of Objects in Aerial Reconnaissance

Igor N. Ischuk^b, Alexey A. Dolgov^{*a},

Andrey M. Filimonov^a and Dmitry D. Dmitriev^b

^a*Military Education and Research Centre of Military-Air Forces*

“Military-Air Academy

named after Professor N.E. Zhukovsky and Yu.A. Gagarin”

54a Starykh Bolshevikov Str., Voronezh, 394064, Russia

^b*Siberian Federal University*

79 Svobodny, Krasnoyarsk, 660041, Russia

Received 11.03.2019, received in revised form 20.03.2019, accepted 24.03.2019

The article presents a method of assessing the dynamics of changes in the probabilistic characteristics of recognition and distinction of objects of aerial reconnaissance in the operator and automatic decryption, respectively. The mathematical formulation of the problem of recognition of objects of aerial reconnaissance by infrared images is presented. The results of the evaluation of changes in the probabilistic characteristics of recognition (distinction) of objects of aerial reconnaissance on the results of full-scale experiment.

Keywords: aerial reconnaissance, the probability of successful detection, optimal detection, optical-electronic system, the unmanned aerial vehicle.

Citation: Ischuk I.N., Dolgov A.A., Filimonov A.M., Dmitriev D.D. Methods of assessment of dynamics of change of probability characteristics of recognition of objects in aerial reconnaissance, J. Sib. Fed. Univ. Eng. technol., 2019, 12(6), 683-693. DOI: 10.17516/1999-494X-0168.

© Siberian Federal University. All rights reserved

This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License (CC BY-NC 4.0).

* Corresponding author E-mail address: alexdolgov88-08@rambler.ru

Методика оценки динамики изменения вероятностных характеристик распознавания объектов воздушной разведки

**И.Н. Ишук^б, А.А. Долгов^а,
А.М. Филимонов^а, Д.Д. Дмитриев^б**

*^аВоенный учебно-научный центр Военно-воздушных сил
«Военно-воздушная академия
имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина»
Россия, 394064, Воронеж, ул. Старых Большевиков, 54а*

*^бСибирский федеральный университет
Россия, 660041, Красноярск, пр. Свободный, 79*

В статье представлена методика оценки динамики изменения вероятностных характеристик распознавания и различения объектов воздушной разведки при операторном и автоматическом дешифрировании соответственно. Представлена математическая постановка задачи распознавания объектов воздушной разведки по инфракрасным изображениям. Приведены результаты оценки изменения вероятностных характеристик распознавания (различения) объектов воздушной разведки по результатам натурного эксперимента.

Ключевые слова: воздушная разведка, вероятность распознавания, вероятность оптимального различения, оптико-электронная система, беспилотный летательный аппарат.

Введение

Появление и развитие комплексов с беспилотными летательными аппаратами (БпЛА) большой продолжительности полета (БПП) с установленными на них современными оптико-электронными средствами (ОЭС) привели к значительному росту возможностей воздушной разведки (ВР) наземных целей, ограниченной пространственно-временными, географическими и погодными условиями.

Анализ технических возможностей ОЭС, устанавливаемых на БпЛА БПП, и особенностей их компоновки свидетельствует о необходимости комплексного подхода к сбору и обработке информации, интеграции различных источников информации во взаимосвязанную ОЭС, что, в свою очередь, ведет к повышению возможностей системы, увеличению надежности ее работы, снижению массогабаритных характеристик, что в целом повышает эффективность ведения ВР. При этом основными параметрами, определяющими возможности обнаружения, распознавания и идентификации объекта на изображениях, получаемых с ОЭС БпЛА, являются линейные размеры объекта на изображении, его форма, контраст по отношению к фону, степень неравномерности фона.

Актуальным остается вопрос оценки эффективности применения ОЭС для выполнения задач ВР в различных условиях. Общим критерием эффективности при этом может выступать значение вероятности распознавания объекта на изображении, полученного с ОЭС БпЛА БПП.

Распознавание объекта воздушной разведки (ОВР) на фоне земной поверхности (ЗП), в качестве которой может выступать, например, грунт (песчаный, травяной и т.д.), вода, бетонные покрытия взлетно-посадочных полос и стоянок, зависит от качества изображения и от его масштаба. Поэтому одним из важнейших параметров процесса дешифрирования является вероятность обнаружения и распознавания изображений ОВР до вида, класса и типа [1]. На величину вероятности обнаружения и распознавания ОВР при ведении ВР влияют различные факторы, например, такие, как высота полета БПЛА с ОЭС ВР, разрешающая способность ОЭС ВР, линейные размеры и форма ОВР, тепловой контраст ОВР относительно фона.

Математическая постановка задачи распознавания объектов воздушной разведки по инфракрасным изображениям

Пусть U – множество ОВР в задаче распознавания. Причем на всем U существует множество m разбиений на подмножества (классы) ОВР $U = \bigcup_{i=1}^m \Omega_i$.

Каждый ОВР ω может характеризоваться совокупностью признаков $x_j \in X, j = 1 \dots N$, где X – конечномерное метрическое или линейное пространство. Тогда описание ОВР ω на основе совокупности признаков можно записать в виде

$$I(\omega) = (x_j(\omega)) + I_0, \quad j = 1 \dots N, \quad (1)$$

где I_0 – априорные сведения об ОВР.

Исходя из этого формализованная постановка задачи распознавания ОВР на фоне земной поверхности по инфракрасным (ИК) изображениям может быть записана в следующем виде:

$$\forall \omega \in U \quad \alpha_i = (\omega \in \Omega_i | I(\omega)), \quad i = 1 \dots m, \quad (2)$$

$$\alpha_i = \begin{cases} 1, & \text{если } \omega \in \Omega_i, \\ 0, & \text{если } \omega \notin \Omega_i. \end{cases} \quad (3)$$

Таким образом, для каждого ОВР ω необходимо вычислить вектор параметров

$$\alpha(\omega) = (\alpha_i(\omega)), \quad i = 1 \dots m, \quad (4)$$

характеризующий принадлежность данного ОВР каждому из существующих классов множества U .

Оценка вероятностных характеристик оптимального распознавания объектов воздушной разведки на инфракрасных изображениях

Множество значений вероятностей распознавания $P_{\text{расп}}$ ОВР на фоне ЗП с использованием зрительного анализатора в зависимости от значения линейного разрешения ОЭС ВР на местности L можно аппроксимировать экспоненциальной зависимостью вида

$$P_{\text{расп}} = \exp\left(-\left(\frac{B \cdot L^*}{l_{\text{пикс}}}\right)^2\right), \quad (5)$$

где $\left(\frac{B \cdot L^*}{l_{\text{пикс}}}\right)^2$ – показатель ослабления разрешения ОВР на изображении, полученном с ОЭС

ВР; $B = \sqrt{\frac{G(R_{\text{впис}} + R_{\text{опис}})}{2S}}$ – коэффициент распознавания формы ОВР; G – периметр ОВР; $R_{\text{впис}}$,

$R_{\text{опис}}$ – радиусы вписанной и описанной окружностей вокруг контура ОВР; S – площадь ОВР;

L^* – линейное разрешение на местности при реальном контрасте; $l_{\text{пикс}} = 360 \cdot \frac{N \cdot \text{tg}^{-1}(\frac{l_M}{2R})}{\pi \beta_\Gamma}$ – мак-

симальный линейный размер ОВР в пикселях; l_M – максимальный линейный размер ОВР, м; R – расстояние до ОВР, м; N – количество элементов приемника излучения в строке матрицы; β_Γ – горизонтальный угол поля зрения (угол захвата) ОЭС, град [1].

Из-за того, что значение линейного разрешения на местности у ОЭС ВР зависит от величины контраста, аппроксимирующую функцию (1) можно представить в виде

$$P_{\text{расп}} = \exp\left(-\left(\frac{B \cdot L}{l_{\text{пикс}} \sqrt{K}}\right)^2\right), \quad (6)$$

где $L = \frac{R \cdot B}{2R_C f_\Sigma}$ – линейное разрешение на местности [1]; R – расстояние до ОВР; B – коэффициент

распознавания формы ОВР; $f_\Sigma = f_0 \cdot K_f = f_0 \cdot \frac{36}{d_\Gamma}$ – фокусное расстояние объектива или

датчика в эквиваленте для 35 мм кадра; f_0 – реальное фокусное расстояние ОЭС ВР; K_f – кроп-фактор – отношение размера ширины матрицы ОЭС ВР к кадру фотопленки тип 135 размером 36x24 мм; d_Γ – размер матрицы ОЭС ВР в ширину; R_C – разрешающая способность ОЭС ВР,

мм⁻¹; $K = \frac{|T_{\text{об}} - T_\Phi|}{T_{\text{об}} + T_\Phi}$ – температурный контраст ОВР и фона; $T_{\text{об}}$ – температура поверхности ОВР;

T_Φ – температура поверхности фона [2].

При автоматическом дешифрировании задачу распознавания ОВР на фоне ЗП можно рассматривать как задачу оптимального различения двух сигналов, являющуюся частным случаем общей задачи статистической проверки гипотез.

Рассмотрим задачу оценки вероятности оптимального различения двух детерминированных сигналов (ОВР и фон). Для задач различения наиболее обоснованным является применение критерия идеального наблюдателя, минимизирующего суммарную вероятность ошибок 1-го и 2-го рода.

Принимаемое тепловизионным приемником (ТВП) колебание, представляющее собой сумму одного из полезного сигналов (ОВР либо фон) и нормального белого шума (НБШ), в общем виде можно записать выражением

$$y(n, m, \tau) = \lambda s_{\text{ОВР}}(n, m, \tau) + (1 - \lambda) s_\Phi(n, m, \tau) + w(n, m, \tau), \quad \tau = \text{const}, \quad (7)$$

где $w(n, m, \tau)$ – НБШ; $s_{\text{ОВР}}(n, m, \tau)$, $s_\Phi(n, m, \tau)$ – детерминированные сигналы ОВР и фона соот-

ветственно; $\lambda = \begin{cases} 1, & \text{если присутствует } s_{\text{ОВР}}(n, m, \tau) \\ 0, & \text{если присутствует } s_\Phi(n, m, \tau) \end{cases}$ – неизвестный параметр.

Априорные вероятности присутствия каждого из сигналов известны. По принятой реализации $y(n, m, \tau)$ необходимо оптимальным образом принять решение, какой из сигналов, $s_{\text{ОВР}}(n, m, \tau)$ или $s_\Phi(n, m, \tau)$, присутствует на входе ТВП, иначе говоря, найти значение параметра

λ . Решение поставленной задачи заключается в статистической проверке двух гипотез: H_0 – в реализации $y(n, m, \tau)$ присутствует сигнал $s_\Phi(n, m, \tau)$ ($\lambda = 0$) и H_1 – в реализации присутствует сигнал $s_{\text{ОВР}}(n, m, \tau)$ ($\lambda = 0$). Априорные вероятности каждой из гипотез $P_{pr}(H_0)$ и $P_{pr}(H_1) = 1 - P_{pr}(H_0)$ известны.

Апостериорные плотности вероятностей гипотез можно записать с помощью следующих выражений:

$$P_{ps}(H_1) = kP_{pr}(H_1) \exp \left[-\frac{1}{N_0} \sum_{n=1}^N \sum_{m=1}^M \sum_{\tau=1}^T \left(y_{n,m,\tau} - s_{\text{ОВР}n,m,\tau} \right)^2 \right], \quad (8)$$

$$P_{ps}(H_0) = kP_{pr}(H_0) \exp \left[-\frac{1}{N_0} \sum_{n=1}^N \sum_{m=1}^M \sum_{\tau=1}^T \left(y_{n,m,\tau} - s_{\Phi n,m,\tau} \right)^2 \right], \quad (9)$$

или

$$P_{ps}(H_1) = kP_{pr}(H_1) \exp \left[-\frac{E_{\text{ОВР}}}{N_0} + \frac{2}{N_0} \sum_{n=1}^N \sum_{m=1}^M \sum_{\tau=1}^T y_{n,m,\tau} s_{\text{ОВР}n,m,\tau} \right], \quad (10)$$

$$P_{ps}(H_0) = kP_{pr}(H_0) \exp \left[-\frac{E_\Phi}{N_0} + \frac{2}{N_0} \sum_{n=1}^N \sum_{m=1}^M \sum_{\tau=1}^T y_{n,m,\tau} s_{\Phi n,m,\tau} \right], \quad (11)$$

где

$$E_{\text{ОВР}} = \sum_{n=1}^N \sum_{m=1}^M \sum_{\tau=1}^T s_{\text{ОВР}n,m,\tau}^2 = \sigma \varepsilon \sum_{n=1}^N \sum_{m=1}^M \sum_{\tau=1}^T T_{r\text{ОВР}n,m,\tau}^4 \quad (12)$$

$$E_\Phi = \sum_{n=1}^N \sum_{m=1}^M \sum_{\tau=1}^T s_{\Phi n,m,\tau}^2 = \sigma \varepsilon \sum_{n=1}^N \sum_{m=1}^M \sum_{\tau=1}^T T_{r\Phi n,m,\tau}^4 \quad (13)$$

n и m – координаты пространственной сетки; $(n, m) \in D = M \cdot N$; $\tau \in [1, T]$ – временной интервал наблюдения; $E_{\text{ОВР}}$ и E_Φ – энергии сигналов ОВР и фона соответственно.

Согласно критерию идеального наблюдателя принимается гипотеза H_1 , если верно неравенство

$$\frac{P_{ps}(H_1)}{P_{ps}(H_0)} = \frac{P_{pr}(H_1)}{P_{pr}(H_0)} \exp \left[-\frac{E_{\text{ОВР}} - E_\Phi}{N_0} + \frac{2}{N_0} \sum_{n=1}^N \sum_{m=1}^M \sum_{\tau=1}^T y_{n,m,\tau} (s_{\text{ОВР}n,m,\tau} - s_{\Phi n,m,\tau}) \right] > 1. \quad (14)$$

Отсюда следует:

$$q = \frac{2}{N_0} \sum_{n=1}^N \sum_{m=1}^M \sum_{\tau=1}^T y_{n,m,\tau} (s_{\text{ОВР}n,m,\tau} - s_{\Phi n,m,\tau}) > \ln \frac{P_{pr}(H_0)}{P_{pr}(H_1)} + \frac{E_{\text{ОВР}} - E_\Phi}{N_0} = h. \quad (15)$$

Вероятность общей ошибки

$$P_e = P_{pr}(H_0)P(s_{\text{ОВР}}|s_\Phi) + P_{pr}(H_1)P(s_\Phi|s_{\text{ОВР}}), \quad (16)$$

где $P(s_{\text{ОВР}}|s_\Phi) = \sum_h^\infty f_\Phi(q)$ – условная вероятность принятия решения о наличии сигнала ОВР, когда в действительности присутствует сигнал фона; $P(s_\Phi|s_{\text{ОВР}}) = \sum_{-\infty}^h f_{\text{ОВР}}(q)$ – условная вероятность принятия решения о наличии сигнала фона, когда в действительности присутствует сигнал ОВР. Значение порога оптимального различения можно получить из условия минимума суммарной ошибки $dP_e / dh = 0$. Таким образом, величина суммарной ошибки:

$$P_e = 1 - \Phi \left(\sqrt{\frac{E_{\text{ОВР}} + E_\Phi}{2N_0}} (1 - R_S) \right). \quad (17)$$

Отсюда вероятность правильного различения:

$$P_{\text{пр}} = 1 - P_e = \Phi \left(\sqrt{\frac{E_{\text{ОВР}} + E_\Phi}{2N_0}} (1 - R_S) \right). \quad (18)$$

Оценка динамики изменения вероятности оптимального распознавания объектов воздушной разведки по результатам натурального эксперимента

Оценка вероятностных характеристик распознавания ОВР на изображениях, полученных с ОЭС ВР БПЛА в ИК-диапазоне длин волн, была произведена в ходе натурального суточного эксперимента. Было получено 9 ИК-изображений одного и того же участка земной поверхности с расположенными на ней ОВР с ОЭС комплекса с БПЛА «Гранат-2» с высоты 300 м (рис. 1).

На основе полученных ИК-изображений был произведен расчет пространственного распределения температурных полей исследуемого участка земной поверхности с использованием эталонных точек, в качестве которых были выбраны участки земной поверхности с расположенными на ней объектами, состоящими из материалов с разными теплофизическими свойствами: плита из пенопласта (эталон №1) с теплопроводностью $\lambda = 0,026 \dots 0,09 \frac{\text{Вт}}{\text{м}\cdot\text{К}}$, удельной теплоемкостью $C = 1200 \dots 1600 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}\cdot\text{К}}$ и плотностью $\rho = 30 \dots 80 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$ и круги из стали (эталон №2) с теплопроводностью $\lambda = 40 \dots 100 \frac{\text{Вт}}{\text{м}\cdot\text{К}}$, удельной теплоемкостью $C = 300 \dots 500 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}\cdot\text{К}}$ и плотностью $\rho = 6000 \dots 8000 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$ (рис. 2).

Пересчет значений яркостей ИК-изображений в значения радиационных и термодинамических температур производился в соответствии с выражениями:

$$T_r = T_{r0} + \frac{I \cdot \Delta T_{r\Delta}}{\Delta I_{\Delta}}, \quad (19)$$

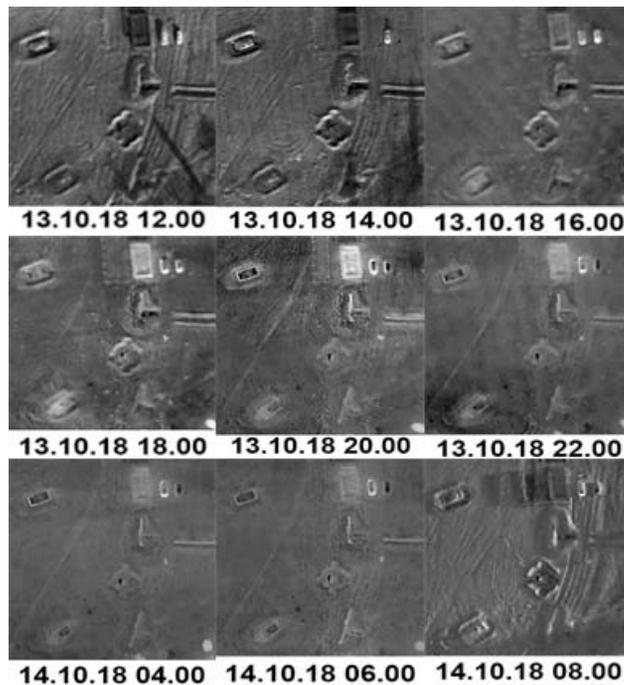


Рис. 1. ИК-изображения района ведения воздушной разведки

Fig. 1. IR images of the area of aerial reconnaissance

$$T = \left(\frac{|T_r^4 - (1-\varepsilon)T_A^4|}{\varepsilon} \right)^{0.25}, \quad (20)$$

где $T_{r0} = (\varepsilon T_0^4 + (1-\varepsilon)T_A^4)^{0.25}$ – начальная радиационная температура;

$T_0 = \frac{1}{2} \left(T_{1\varepsilon} + T_{2\varepsilon} - \frac{(I_{1\varepsilon} + I_{2\varepsilon}) \Delta T_{\varepsilon}}{\Delta I_{\varepsilon}} \right)$ – начальная термодинамическая температура; I – яркость те-

кущего пиксела ИК-изображения; $\Delta T_{r\varepsilon} = \Delta T_{\varepsilon} \varepsilon^{0.25} = |T_{1\varepsilon} - T_{2\varepsilon}| \varepsilon^{0.25}$ – разность радиационных температур на эталонах 1 и 2; $\Delta I_{\varepsilon} = |I_{1\varepsilon} - I_{2\varepsilon}|$ – разность яркостей на эталонах 1 и 2; ε – коэффициент излучения; T_A – температура окружающего воздуха (табл. 1).

В результате преобразований на основе (19) и (20) были получены температурные изображения (термограммы) исследуемого участка земной поверхности (рис. 3).

Для определения оценки вероятностных характеристик распознавания были выбраны два ОВР: боевая машина пехоты (БМП) и БМП под маскировочной сетью МКТ-2, а в качестве земной поверхности, являющейся фоном, – участок травяного грунта (рис. 4).



Рис. 2. Расположение эталонных материалов

Fig. 2. Location of reference materials

Таблица 1. Температуры на эталонных материалах и приземного слоя воздуха

Table 1. Temperature reference materials and the ground layer of air

Дата, время	Температура на 1-м эталоне (пенопласт), $T_{ст1}$, °C	Температура на 2-м эталоне (сталь), $T_{ст2}$, °C	Температура воздуха в приземном слое, T_0 , °C
13.10.2018 г. 12.00	38.3	29.1	16.1
13.10.2018 г. 14.00	33.2	29.0	17.7
13.10.2018 г. 16.00	20.9	23.8	17.7
13.10.2018 г. 18.00	10.4	17.8	16.0
13.10.2018 г. 20.00	5.0	9.3	14.1
13.10.2018 г. 22.00	4.7	7.4	12.3
14.10.2018 г. 04.00	2.0	4.5	8.4
14.10.2018 г. 06.00	1.0	3.5	7.2
14.10.2018 г. 08.00	9.8	4.1	12.5

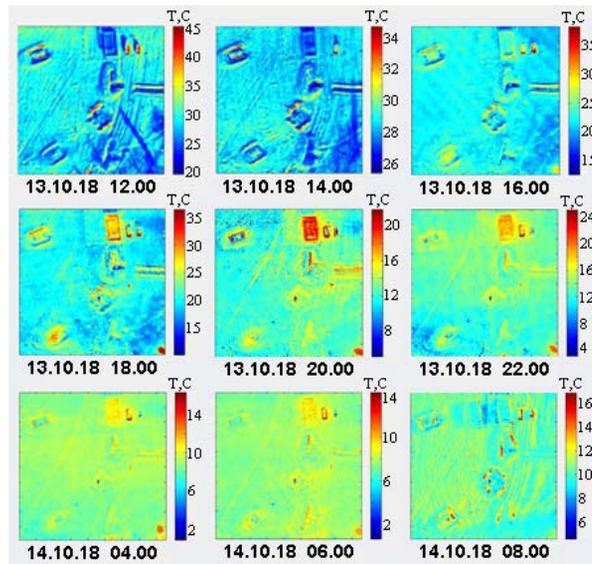


Рис. 3. Термограммы района ведения воздушной разведки

Fig. 3. Thermograms of the area of aerial reconnaissance

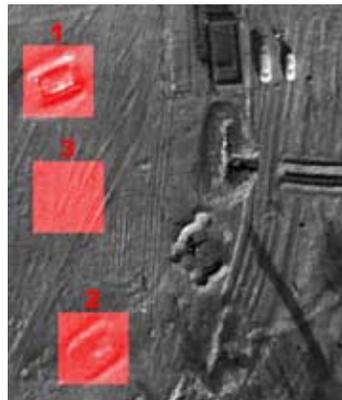


Рис. 4. Район проведения эксперимента (ведения воздушной разведки): 1 – БМП; 2 – БМП под МКТ-2; 3 – травяной грунт

Fig. 4. The area of the experiment (aerial reconnaissance): 1 – BMP; 2 – BMP under MKT-2; 3 – grass soil

Для оценки вероятности распознавания ОВР на фоне земной поверхности при дешифрировании с помощью зрительного анализатора были взяты наиболее контрастирующие участки ОВР и фона. При заданных параметрах L , B и $l_{\text{пикс}}$ с помощью выражений (5) и (6) рассчитаем значения температурного контраста ОВР и фона, а также вероятности распознавания ОВР на фоне ЗП (табл. 2).

При автоматическом дешифрировании по температурным распределениям для каждого из заданных ОВР и фона в соответствии с (16), (17) и (18) определим значения вероятности суммарной ошибки P_e и вероятности правильного различения P_{rr} , а также оптимального порога различения $h_{\text{опт}}$ сигналов ОВР и фона (рис. 5, 6).

Таблица 2. Значения контрастов ОВР и фона и вероятности их распознавания

Table 2. Values of contrasts of objects of air reconnaissance and their background and probability of recognition

Дата, время	БМП ($B = 1.51; l_{\text{ниск}} = 55$)		БМП под МКТ-2 ($B = 1.51; l_{\text{ниск}} = 55$)	
	L = 0.5			
	К	$P_{\text{расп}}$	К	$P_{\text{расп}}$
13.10.2018 г. 12.00	0.019	0.81	0.160	0.97
13.10.2018 г. 14.00	0.023	0.86	0.010	0.70
13.10.2018 г. 16.00	0.075	0.95	0.090	0.96
13.10.2018 г. 18.00	0.087	0.96	0.250	0.98
13.10.2018 г. 20.00	0.010	0.72	0.190	0.97
13.10.2018 г. 22.00	0.052	0.93	0.070	0.95
14.10.2018 г. 04.00	0.040	0.92	0.020	0.79
14.10.2018 г. 06.00	0.037	0.91	0.100	0.96
14.10.2018 г. 08.00	0.135	0.97	0.090	0.96

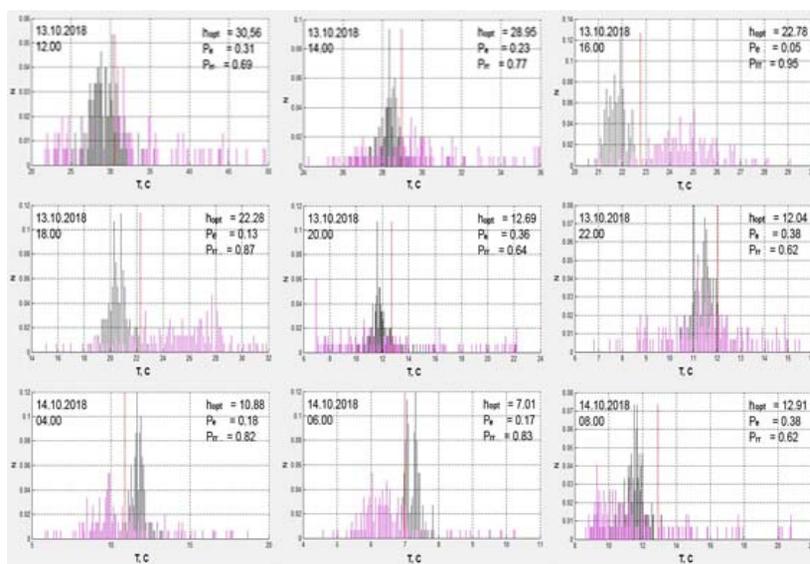


Рис. 5. Гистограммы температурного распределения БМП и травяного грунта

Fig. 5. Histograms of temperature distribution of BMP and grass soil

Графики суточного изменения значений вероятности правильного различения для ОВР типа БМП и БМП под маскировочной сетью МКТ-2 на фоне травяного грунта приведены на рис. 7.

На представленных зависимостях (рис. 8) видно, что значения вероятности распознавания $P_{\text{расп}}$ при дешифрировании с использованием зрительного анализатора в среднем на 10-15 % выше значений вероятности оптимального различения P_{rr} при автоматическом дешифрировании.

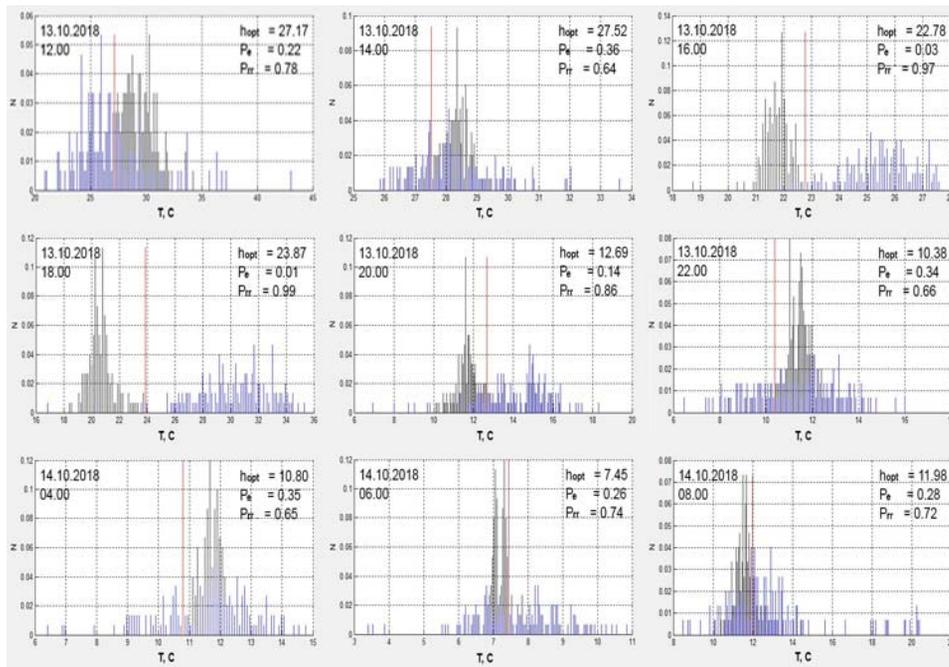


Рис. 6. Гистограммы температурного распределения БМП под МКТ-2 и травяного грунта

Fig. 6. Histograms of the temperature distribution of the BMP under ICB-2 and grass soil

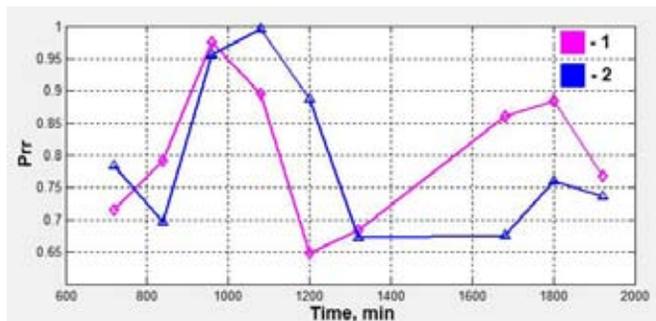


Рис. 7. Динамика изменения вероятности правильного различения ОВР на фоне земной поверхности: 1 – БМП на фоне травяного грунта; 2 – БМП под МКТ-2 на фоне травяного грунта при автоматическом дешифрировании

Fig. 7. Dynamics of change of probability of correct discrimination objects of air reconnaissance on the background of the earth's surface: 1 – BMP on the background of grass-soil; 2 – infantry fighting vehicles under ICB-2 on the background of grass ground with automatic interpretation

Вывод

Использование предложенной методики оценки динамики изменения вероятностных характеристик распознавания (различения) объектов на фоне земной поверхности, полученных на основе дешифрирования ИК-изображений с применением зрительного и автоматического анализаторов, позволяет определять временные интервалы за сутки, в течение которых вероятность распознавания (различения) ОВР на фоне земной поверхности определенных классов

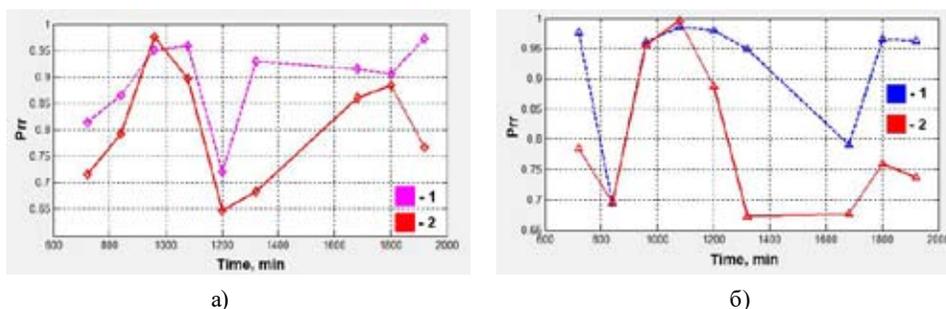


Рис. 8. Динамика изменения вероятности распознавания (правильного различия) ОВР на фоне земной поверхности: а – БМП на фоне травяного грунта; б – БМП под МКТ-2 на фоне травяного грунта при дешифрировании с использованием: 1 – зрительного и 2 – автоматического анализаторов

Fig. 8. Dynamics of changes in the probability of recognition (correct distinction) of objects of air reconnaissance against the earth's surface: а – BMP against the background of grass soil; б – BMP under MCT-2 against the background of grass soil when decoding using: 1 – visual and 2 – automatic analyzers

достигает максимальных или выше заданного порога значений. Это позволяет уменьшить количество вылетов на воздушную разведку и тем самым сократить время её ведения без ухудшения качественных показателей, что в целом ведет к повышению её эффективности.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (грант № 18-08-00053А).

Список литературы

- [1] Студитский А.С. *Исследование и разработка многофункционального оптико-электронного средства наблюдения и разведки*. М.: НИИ и МНПО «Спектр», 2013. 112 с. [Studitsky A.S. *Research and development of multifunctional optical-electronic surveillance and intelligenc*. М.: НИИ and MSIA “Spectrum”, 2013. 112 p. (in Russian)]
- [2] Травникова Н.П. *Эффективность визуального поиска*. М.: Машиностроение, 1985. 128 с. [Travnikova N.P. *Efficiency of visual search*. М.: mechanical engineering, 1985, 128 p. (in Russian)]
- [3] Алтухов А.И., Гнусарев Н.В., Коршунов Д.С. Прогнозирование качества изображений космических объектов. *Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики*, 2013, 3(85) [Altukhov A.I., Gnusarev N.In. Korshunov D.S. Forecasting the quality of images of space objects. *Journal Scientific and technical of information technologies, mechanics and optics*, 2013, 3(85) (in Russian)]
- [4] Веселов Ю.Г., Данилин А.А., Тихонычев В.В. Выбор тест-объекта для оценки разрешающей способности цифровых оптико-электронных систем мониторинга земной поверхности. *Наука и образование*, 2012, 4 [Veselov Yu.G., Danilin A.A., Tikhonichev V.V. Select the test object for evaluation of the resolution of the digital opto-electronic systems for monitoring the earth's surface. *Science and education*, 2012, 4 (in Russian)]
- [5] Ковалев А.В., Ковалев А.А. Возможности методов неразрушающего контроля. *Мир и безопасность*, 2007, 2 [Kovalev A.V., Kovalev A.A. Possibilities of non-destructive testing methods. *Journal of Peace and security*, 2007, 2 (in Russian)]