



Оперативная оценка возможностей средств оптико-электронной разведки инфракрасного диапазона

А. В. Леньшин, Е. В. Кравцов, С. А. Ситников
Военно-воздушная академия им. профессора
Н. Е. Жуковского и Ю. А. Гагарина (ВУНЦ ВВС «ВВА»),
г. Воронеж, Россия

Предложен методический подход к повышению оперативности оценки возможностей средств инфракрасной разведки, базирующийся на применении графоаналитического и автоматизированного алгоритмов. Метод повышает дальность и разрешение за счет использования значений излучаемой площади и максимальных размеров объектов, усредненных в диапазоне ведения инфракрасной разведки значений коэффициентов излучения объектов и типовых фонов, температур объекта и фона, значений коэффициента пропускания атмосферы, усредненное в диапазоне рабочих длин волн и реализующийся с помощью графиков зависимости вероятности обнаружения от дальности при различных фиксированных значениях коэффициента условий ведения разведки, рассчитанных заранее для типизированных параметров средств инфракрасной разведки различного базирования с приемлемой точностью. Разработаны рекомендации по противодействию средствам инфракрасной разведки в условиях неудовлетворительного показателя разведдоступности.

Ключевые слова: инфракрасная разведка, объект разведки, вероятность обнаружения, оперативность оценки

Статья поступила: 30.06.2023

Статья принята: 02.08.2023

Operational Capability Assessment Means of Optical-Electronic Intelligence of the Infrared Range

A. V. Lenshin, E. V. Kravtsov, S. A. Sitnikov
Military Educational and Scientific Center of the Air Force "Air Force Academy named after Professor N. E. Zhukovsky and Yu. A. Gagarin" (VUNC VVS "VVA"), Voronezh, Russia

A methodological approach is proposed to improve the efficiency of assessing the capabilities of infrared reconnaissance tools, based on the use of graphoanalytic and automated algorithms, as well as the use of the values of the radiated area and maximum dimensions of objects averaged in the range of infrared reconnaissance of the values of the radiation coefficients of objects and typical backgrounds, object and background temperatures, atmospheric transmittance values, averaged over the range of operating wavelengths and implemented using graphs of the dependence of the probability of detection on the range at various fixed values of the coefficient of exploration conditions calculated in advance for the typed parameters of infrared reconnaissance facilities of various bases with acceptable accuracy. Recommendations have been developed to counteract the means of infrared reconnaissance in conditions of unsatisfactory intelligence availability.

Keywords: infrared reconnaissance, object of reconnaissance, probability of detection, efficiency of assessment

Article received: 30.06.2023

Article accepted: 02.08.2023

INTRODUCTION

The analysis of armed conflicts and local wars of recent years allows us to conclude that in modern warfare, in which a significant role is assigned to the transmission of information through the propaga-

ВВЕДЕНИЕ

Анализ вооруженных конфликтов и локальных войн последних лет позволяет сделать вывод о том, что в современной войне, в которой значительная роль отведена передаче информации посредством распространения электромагнитных волн, технические средства разведки (ТСР) играют важнейшую роль в обеспечении высокой боевой эффективности средств вооруженной борьбы [1]. В настоящее время широко используются инфракрасные (ИК) системы визуализации, принимающие сигналы в ИК-области спектра и преобразующие их в видимые изображения. Это обусловлено тем, что именно в данной области сосредоточена основная доля собственного электромагнитного излучения большинства окружающих нас объектов естественного и искусственного происхождения [2, 3].

Качественные изменения в развитии средств оптико-электронной разведки ИК-диапазона, размещаемых на различных носителях, быстро меняющаяся оперативная обстановка, значительное возрастание возможностей средств ИК-разведки (ИКР) и их влияния на исход боевых действий требуют глубокого изучения опыта организации и применения средств ИКР, оперативного прогнозирования разведобстановки и разведдоступности. Интересы национальной безопасности требуют развития мер противодействия (ПД) в предполагаемых районах дислокации объектов для повышения их живучести, создания перспективных и совершенствования существующих комплексов и систем ПД ИКР [4, 5].

Основными задачами ИК-видового контроля являются следующие:

- проверка и оценка скрытия состояния подготовки, строительства, ввода в строй и ремонта военных объектов (ВО);
- контроль поддержания режима жизнедеятельности и светомаскировки на объектах;
- контроль эффективности маскировки вооружения, военной техники (ВВТ) частей и подразделений;
- контроль скрытности проведения регламентных, восстановительных и погрузочно-разгрузочных работ на ВО и ВВТ;
- контроль технических и организационных мероприятий по дезинформации в позиционном районе;
- воздушный ИК-видовой контроль незанятых полевых позиций с целью оценки их маскировочной емкости (при выборе позиций), а также формирования банка изображений;

tion of electromagnetic waves, technical means of reconnaissance (TSR) play the most important role in ensuring high combat effectiveness of means of armed struggle [1]. Currently, infrared (IR) imaging systems are widely used, receiving signals in the IR region of the spectrum and converting them into visible images. This is due to the fact that it is in this area that the bulk of the own electromagnetic radiation of the majority of objects of natural and artificial origin surrounding us is concentrated [2, 3].

Qualitative changes in the development of IR range optoelectronic reconnaissance means placed on various carriers, the rapidly changing operational situation, a significant increase in the capabilities of IR reconnaissance means (IR) and their impact on the outcome of hostilities require in-depth study of the experience of organizing and using IR means, operational forecasting of intelligence placement and intelligence availability. The interests of national security require the development of counteraction measures (PD) in the proposed areas of deployment of objects to increase their survivability, create promising and improve existing complexes and systems of PD ICR [4, 5].

The main tasks of the IR species control are the following:

- verification and evaluation of the concealment of the state of preparation, construction, commissioning and repair of military facilities (VO);
- monitoring of maintenance of the mode of vital activity and blackout on objects;
- control of the effectiveness of the disguise of weapons, military equipment (IWT) units and divisions;
- control of the secrecy of routine maintenance, restoration and loading and unloading operations at the military and industrial complex;
- control of technical and organizational measures for disinformation in the positional area;
- aerial IR view control of unoccupied field positions in order to assess their masking capacity (when selecting positions), as well as the formation of an image bank;
- aerial IR view control of field positions (areas) immediately before occupation and after their abandonment [4, 5].

PROBLEM STATEMENT

The existing methods provide high reliability of the assessment in the presence of the necessary completeness of the initial data. However, in a dynamically changing radio-electronic environment, their use for a number of objective reasons is often not possible. Therefore, increasing the efficiency of assessing the capabilities of ICR funds is an urgent scientific task.



- воздушный ИК-видовой контроль полевых позиций (районов) непосредственно перед занятием и после их оставления [4, 5].

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Существующие методики обеспечивают высокую достоверность оценки при наличии необходимой полноты исходных данных. Однако в условиях динамично изменяющейся радиоэлектронной обстановки их использование по целому ряду объективных причин зачастую не представляется возможным. Поэтому повышение оперативности оценки возможностей средств ИКР является актуальной научной задачей.

Основными задачами при осуществлении защитных мероприятий от средств ИКР являются исключение возможности (уменьшение вероятности) обнаружения объекта, определения параметров и характеристик ИК-объекта, а также распознавания объекта. Способы уменьшения информации об объекте разведки разделяют на пассивное скрытие (снижение уровня собственных излучений объекта, уменьшение его отражающих свойств), активное скрытие (подавление, функциональное поражение основных элементов средств ИКР) и дезинформацию (создание ложных объектов) [4, 6].

В работе [7] предложен методический подход к повышению оперативности оценки возможностей телевизионной разведки с использованием значений коэффициентов яркости объектов разведки, фонов и покрытий, минимального размера объекта с приемлемой достоверностью.

Оперативная оценка возможностей ИКР может быть реализована с использованием двух алгоритмов – графоаналитического и автоматизированного [8].

Графоаналитический алгоритм основывается на предварительном обобщении данных по средствам разведки, объекту разведки, условиям разведки путем их типизации и представлении в виде табличных сведений и графических зависимостей, которые используются для получения численных значений оценки возможностей ИКР. Данный алгоритм предполагает наличие указанных данных, графиков и проведение элементарных расчетов, для которых не обязательны вычислительные средства.

Автоматизированный алгоритм основывается на использовании аналитических соотношений, которые оформляются в виде программно-алгоритмической реализации. Данный алгоритм предполагает наличие вычислительных

The main tasks in the implementation of protective measures against ICR means are to exclude the possibility (decrease the probability) of detecting an object, determining the parameters and characteristics of the object, as well as object recognition. Methods of reducing information about the object of intelligence are divided into passive concealment (reducing the level of the object's own radiation, reducing its reflective properties), active concealment (suppression, functional damage to the main elements of the means of IR) and disinformation (creating false objects) [4, 6].

In [7], a methodological approach is proposed to increase the efficiency of assessing the capabilities of television intelligence using the values of the brightness coefficients of intelligence objects, backgrounds and coatings, the minimum size of the object with acceptable reliability.

Operational assessment of the capabilities of ICR can be implemented using two algorithms – graphoanalytic and automated [8].

The graphoanalytic algorithm is based on the preliminary generalization of data on the means of exploration, the object of exploration, the conditions of exploration by typing them and presenting them in the form of tabular information and graphical dependencies, which are used to obtain numerical values for evaluating the capabilities of the ICR. This algorithm assumes the presence of the specified data, graphs and elementary calculations, for which computing tools are not required.

The automated algorithm is based on the use of analytical relations, which are formed in the form of a software-algorithmic implementation. This algorithm assumes the presence of computing facilities with a pre-installed evaluation program.

The purpose of the article is the further development of operational methods for assessing the intelligence availability of ICR objects, as well as the development of recommendations on ICR PD related to the presentation of requirements for masking an object in relation to specific conditions.

OPERATIONAL ASSESSMENT OF ICR CAPABILITIES USING A GRAPHOANALYTIC ALGORITHM

The database for the graphoanalytic algorithm includes the following source data:

1. According to the means of reconnaissance, evaluation and analysis of the result: graphs of the dependence of the probability of detection on the range $W_p = f(D_p)$ for the lower and upper boundary values of the assessment at various fixed values of the coefficient of the conditions of exploration U_p ,



средств с заранее установленной программой оценки.

Целью статьи является дальнейшее развитие оперативных методов ИКР-оценки разведдостоупности объектов ИКР, а также разработка рекомендаций по ПД ИКР, связанных с предъявлением требований к маскировке объекта применительно к конкретным условиям.

ОПЕРАТИВНАЯ ОЦЕНКА ВОЗМОЖНОСТЕЙ ИКР С ПОМОЩЬЮ ГРАФОАНАЛИТИЧЕСКОГО АЛГОРИТМА

База данных для графоаналитического алгоритма включает следующие исходные данные:

1. По средству разведки, получению оценки и анализу результата: графики зависимости вероятности обнаружения от дальности $W_p = f(D_p)$ для нижней и верхней граничных значений оценки при различных фиксированных значениях коэффициента условий ведения разведки U_p , рассчитанные заранее для типизированных параметров средств по видам разведки; высота ведения воздушной ИКР (для различных вариантов) – H_p , км.
2. По объекту разведки: табличные данные со значениями излучаемой площади $S_{об}$ и максимальным размером типизированных объектов L_{max} .
3. По условиям ведения разведки: данные по усредненным в диапазоне ведения ИКР значениям коэффициентов излучения объектов ϵ_o и типовых фонов ϵ_ϕ ; тип фона; значения температур объекта T_o и фона T_ϕ (в случае отсутствия $T_o = T_\phi$); значение коэффициента пропускания атмосферы, усредненное в диапазоне рабочих длин волн τ_a (может отсутствовать); дальность разведки D_p .

Графоаналитический алгоритм оперативной оценки возможностей ИКР относительно критически важного объекта (КВО) иллюстрирует рис. 1 и включает следующий порядок действий:

- шаг 1. Ввод исходных данных;
- шаг 2. Рассчитывается значение коэффициента условий ведения разведки U_p , используя измеренные или принятые температуры объекта и фона, справочные данные по средним значениям коэффициентов излучения объекта и фона в заданном диапазоне длин волн, по формуле

$$U_p = [T_o - T_\phi + 35(\epsilon_o - \epsilon_\phi)] \cdot \tau_a; \quad (1)$$

calculated in advance for the typed parameters of the means by type of exploration; the height of aerial caviar (for various options) – H_p , km;

2. For the object of exploration: tabular data with the values of the radiated area $S_{об}$ and the maximum size of the typed objects L_{max} ;
3. According to the conditions of exploration: data on the values of the radiation coefficients of objects ϵ_o and typical backgrounds averaged in the IR range ϵ_ϕ ; the type of background; the temperature values of the object T_o and background T_ϕ (if absent $T_o = T_\phi$); the value of the atmospheric transmittance averaged in the range of operating wavelengths τ_a (may be absent); the range of exploration D_p .

The graphoanalytic algorithm for the operational assessment of the capabilities of the ICR relative to a critical object (CVO) is illustrated in Figure 1 and includes the following procedure:

- Step 1. Input of initial data;
 - Step 2. The value of the coefficient of exploration conditions U_p is calculated using the measured or accepted temperatures of the object and background, reference data on the average values of the radiation coefficients of the object and background in a given wavelength range, according to the formula
- $$U_p = [T_o - T_\phi + 35(\epsilon_o - \epsilon_\phi)] \cdot \tau_a; \quad (1)$$
- Step 3. According to the $W_p = f(D_p)$ schedule, an assessment of the capabilities of the ICR is carried out according to the calculated value of the U_p : a) at an unknown range for the probability corresponding to the normative value, the range of the intelligence availability limit is determined; b) at a known range of D_p reconnaissance, the probability of detection is determined along the curve for the U_p value found in step 1;
 - Step 4. A decision is made to implement the PD measures. When solving on PD and having standard means with known parameters in a given wavelength range, their implementation is carried out, leading to a decrease in the U_p coefficient due to a corresponding change in the temperature of the object, the radiation coefficient or the transmission coefficient of the atmosphere (for example, due to the use of aerosols). The effectiveness of the measures taken is evaluated according to steps 1 and 2 of the algorithm.

Thus, for the implementation of the graphoanalytic algorithm, it is necessary to type data on the TSR of the ICR, the CVO and the conditions of exploration.

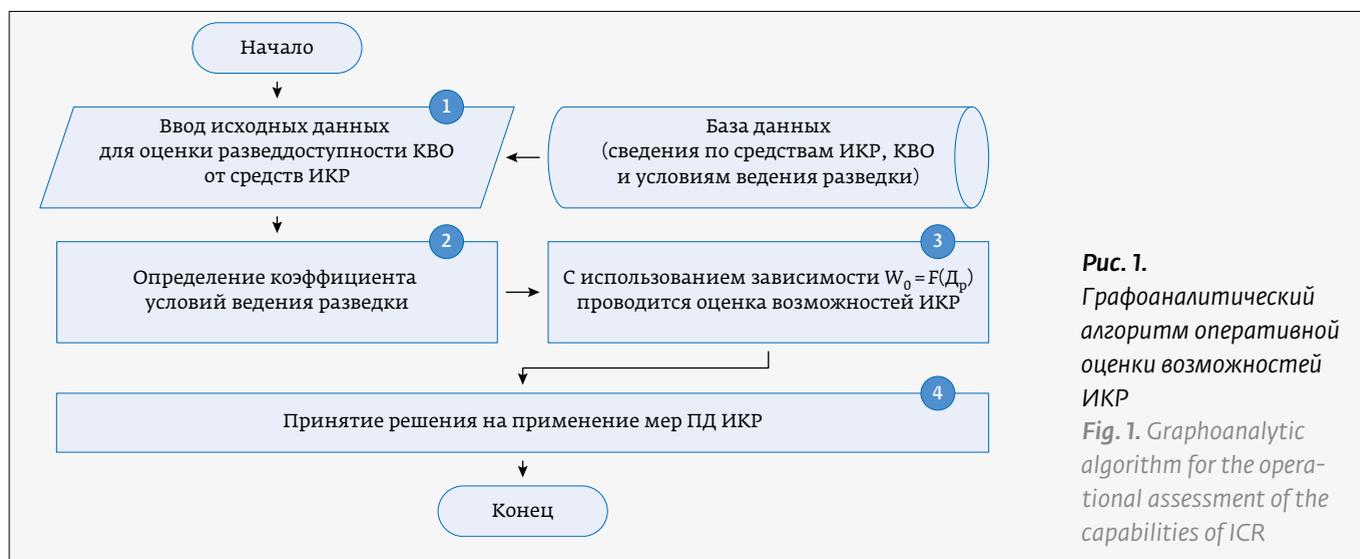


Рис. 1. Графоаналитический алгоритм оперативной оценки возможностей ИКР
 Fig. 1. Graphoanalytic algorithm for the operational assessment of the capabilities of ICR

- шаг 3. По графику $W_p = f(D_p)$ проводится оценка возможностей ИКР по рассчитанному значению U_p : а) при неизвестной дальности для вероятности, соответствующей нормативному значению, определяется дальность границы разведдоступности; б) при известной дальности разведки D_p определяется вероятность обнаружения по кривой для найденного на шаге 1 значения U_p ;
- шаг 4. Принимается решение на осуществление мер ПД. При решении на ПД и наличии табельных средств с известными параметрами в заданном диапазоне длин волн производится их реализация, приводящая к снижению коэффициента U_p за счет соответствующего изменения температуры объекта, коэффициента излучения или коэффициента пропускания атмосферы (например за счет применения аэрозолей). Проводится оценка эффективности принятых мер по шагам 1 и 2 алгоритма.

Таким образом, для реализации графоаналитического алгоритма необходима типизация данных по ТСР ИКР, КВО и условиям ведения разведки.

ОПЕРАТИВНАЯ ОЦЕНКА ВОЗМОЖНОСТЕЙ ИКР С ПОМОЩЬЮ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО АЛГОРИТМА

Автоматизированный алгоритм оперативной оценки возможностей ИКР целесообразно рассмотреть для двух случаев.

Случай 1: типизация объекта и средства ИК-разведки проведена

База данных для автоматизированного алгоритма (случай 1):

OPERATIONAL ASSESSMENT OF ICR CAPABILITIES USING AN AUTOMATED ALGORITHM

It is advisable to consider an automated algorithm for the operational assessment of the capabilities of ICR for two cases.

Case 1: The typification of the object and the means of IR reconnaissance has been carried out

Database for an automated algorithm (case 1):

1. By means of intelligence: file data with the values of the coefficients of the type of intelligence C_p , calculated in advance for the typed parameters of the means by types of intelligence (aerial reconnaissance, ground reconnaissance, etc.) for the upper boundary assessment; the height of conducting aerial reconnaissance (for various typed variants) - H_p , km;
2. By the object of intelligence: file data with the values of the radiated area S_{OB} ;
3. According to the conditions of exploration: file data on the values of the emission coefficients of ϵ_o objects and typical ϵ_ϕ backgrounds averaged in the range of IR, as well as on the average values of the parameters of PD means; the values of the temperatures of the T_o object and the T_ϕ background (in the absence of $T_o = T_\phi$); the background type; the value of the atmospheric transmittance averaged in the range of operating wavelengths τ_a (may be absent); reconnaissance range D_p (may be absent).

The automated algorithm for evaluating the capabilities of ICR for case 1 is illustrated in Figure 2 and assumes the following procedure:

1. По средству разведки: файловые данные со значениями коэффициентов вида разведки C_p , рассчитанные заранее для типизированных параметров средств по видам разведки (воздушная разведка, наземная разведка и др.) для верхней граничной оценки; высота ведения воздушной ИКР (для различных типизированных вариантов) – H_p , км.
2. По объекту разведки: файловые данные со значениями излучаемой площади $S_{об}$.
3. По условиям ведения разведки: файловые данные по усредненным в диапазоне ведения ИКР значениям коэффициентов излучения объектов ϵ_o и типовых фонов ϵ_ϕ , а также по усредненным значениям параметров средств ПД; значения температур объекта T_o и фона T_ϕ (в случае отсутствия $T_o = T_\phi$); тип фона; значение коэффициента пропускания атмосферы, усредненное в диапазоне рабочих длин волн τ_a (может отсутствовать); дальность разведки D_p (может отсутствовать).

- Step 1. Input of initial data;
 - Step 2. The value of the coefficient of exploration conditions U_p is calculated according to the formula (1);
- If the range of D_p exploration is set:
- Step 3. The generalized parameter x is determined by the formula

$$x \approx \frac{1,3 \cdot U_p \cdot \sqrt{S_{об}}}{C_p \cdot D_p} - 3,2; \quad (2)$$

- Step 4. The probability of W_0 detection is determined using the expression [9]

$$W_0(x) \approx 0,5 \left[1 + k_x \cdot \sqrt{1 - \exp(-0,625x^2)} \right]; \quad (3)$$

- Step 5. If the calculated probability value satisfies condition $W_0 > W_{0,доп}$, a conclusion is made about the need for measures of PD ICR;
- Step 6. When solving on the ICP and the availability of funds with known parameters, the measures of the ICP PD are implemented. Paragraphs 1-3 of the evaluation algorithm are carried out with corresponding changes in (1) due to the measures of the ICR PD.

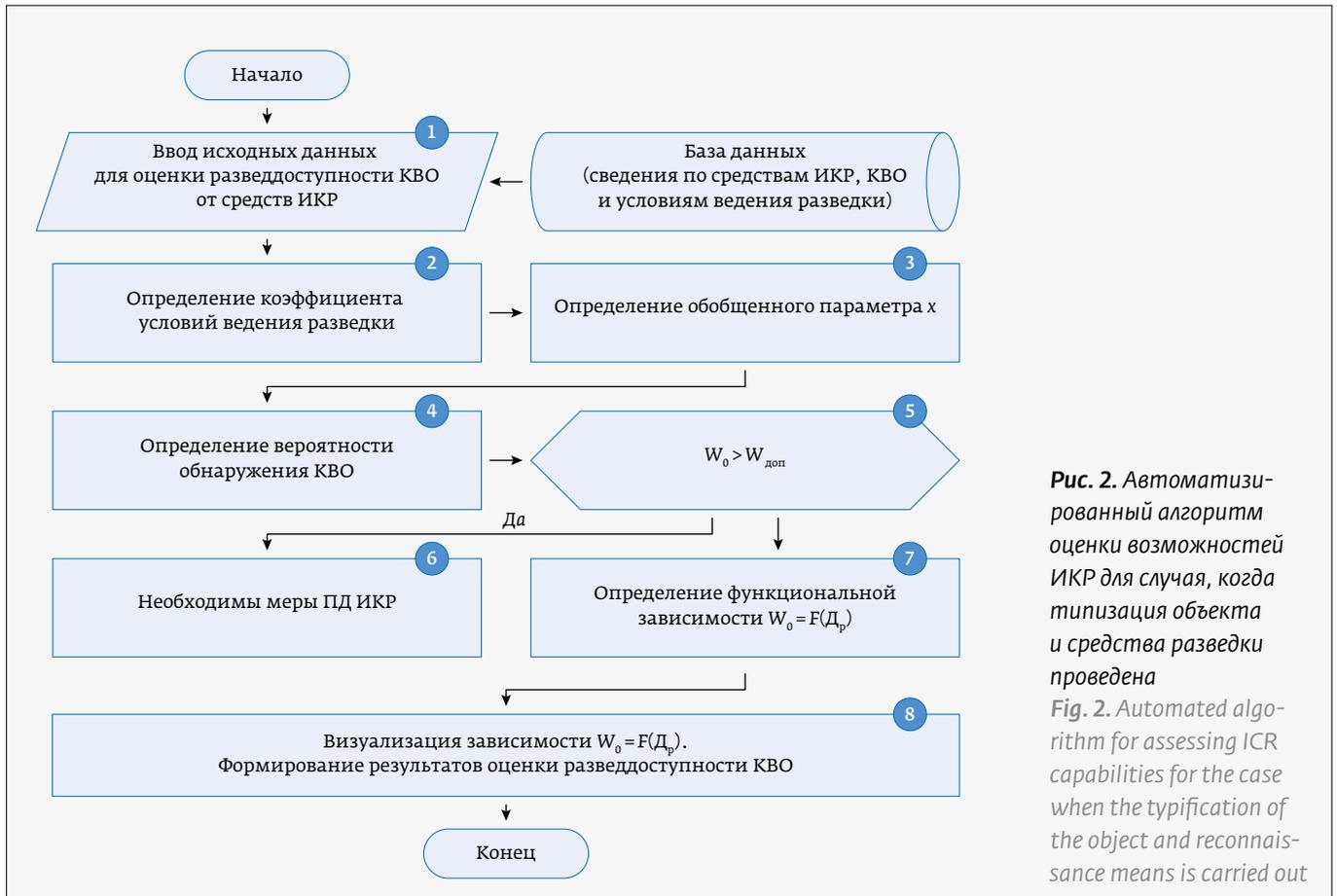


Рис. 2. Автоматизированный алгоритм оценки возможностей ИКР для случая, когда типизация объекта и средства разведки проведена
 Fig. 2. Automated algorithm for assessing ICR capabilities for the case when the typification of the object and reconnaissance means is carried out



Автоматизированный алгоритм оценки возможностей ИКР для случая 1 иллюстрируется рисунком 2 и предполагает следующий порядок действий:

- шаг 1. Ввод исходных данных;
- шаг 2. Рассчитывается значение коэффициента условий разведки U_p по формуле (1).

Если задана дальность разведки D_p :

- шаг 3. Определяется обобщенный параметр x по формуле

$$x \approx \frac{1,3 \cdot U_p \cdot \sqrt{S_{об}}}{C_p \cdot D_p} - 3,2; \quad (2)$$

- шаг 4. Определяется вероятность обнаружения W_0 с помощью выражения [9]

$$W_0(x) \approx 0,5 \left[1 + k_x \cdot \sqrt{1 - \exp(-0,625x^2)} \right]; \quad (3)$$

- шаг 5. Если рассчитанное значение вероятности удовлетворяет условию $W_0 > W_{0доп}$, делается вывод о необходимости мер ПД ИКР;
- шаг 6. При принятии решения на ПД ИКР и наличии средств с известными параметрами реализуются меры ПД ИКР. Выполняются пункты 1-3 алгоритма оценки при соответствующих изменениях в (1) за счет мер ПД ИКР.

Если дальность разведки D_p не задана:

- шаг 7. Рассчитывается функциональная зависимость $W_0 = f(D_p)$ вероятности от дальности разведки по формуле (3). При расчете W_0 значение дальности D_p меняется в интервале (100-10 000) км для космической разведки (КР), (0-70) км для воздушной разведки (ВР) в зависимости от варианта средств ВР и (0-20 км) для наземной разведки (НР) в зависимости от варианта размещения;
- шаг 8. Производится визуализация зависимости $W_0 = f(D_p)$, в качестве результата оценки выдается граничное значение зоны обнаружения объекта $D_{огр}(W_{0доп})$. Сопоставляются значения $D_{огр}$ с ориентировочной (ожидаемой) дальностью разведки $D_{ро}$ и дальностью оптического горизонта $D_{ог}$ (для воздушной и наземной разведок) и делается вывод о степени разведдоступности и необходимости мер ПД ИКР.

При принятии решения на применение средств ПД выполняются пункты 1-3 алгоритма оценки с учетом изменения за счет мер ПД ИКР. При этом в выражение (3) подставляется значение дальности разведки, полученное на

If the D_p reconnaissance range is not set:

- Step 7. The functional dependence of the $W_0 = f(D_p)$ probability on the reconnaissance range is calculated according to the formula (3). When calculating W_0 , the value of the D_p range changes in the interval (100-10 000) km for space reconnaissance (KR), (0-70) km for aerial reconnaissance (VR), depending on the variant of VR means, and (0-20 km) for ground reconnaissance (HP), depending on the placement option;
- Step 8. The $W_0 = f(D_p)$ dependence is visualized and the boundary value of the detection zone of the $D_{огр}(W_{0доп})$ object is given as the result of the evaluation. The values of the $D_{огр}$ are compared with the approximate (expected) range of the LL reconnaissance $D_{ро}$ and the range of the optical horizon of the $D_{ог}$ (for aerial and ground reconnaissance) and a conclusion is made about the degree of intelligence availability and the need for measures of the ICR PD.

When deciding on the use of PD tools, paragraphs 1-3 of the evaluation algorithm are carried out, taking into account changes due to the measures of the PD of the ICR. In this case, the value of the reconnaissance range obtained at step 6 of the algorithm is substituted into expression (3). The presented automated algorithm for assessing the capabilities of ICR (Figure 2) for the case when the typing of the object and the means of exploration is carried out meets the requirements of increasing efficiency and can be used to predict the intelligence availability of the CVO.

Case 2: The typification of the object and the means of exploration has not been carried out

Database for an automated algorithm (case 2):

1. By means of reconnaissance: reference data with the values of the parameters of the reconnaissance means: the elementary field of view of the thermal imager (angular resolution) $\gamma_{оэс}$, threshold sensitivity by temperature Δt ; the height of conducting aerial caviar - H_p , km;.
2. By the object of reconnaissance: data with the values of the geometric parameters of the object: $S_{об}$ - the radiated area of the object; L_{max} - the maximum linear size of the object;
3. According to the conditions of exploration: reference data on the values of the radiation coefficients of objects ϵ_o and typical backgrounds ϵ_ϕ averaged in the IR range, as well as on the average values of the parameters of the PD means; the values of the temperatures of the object T_o

шаге 6 алгоритма. Представленный автоматизированный алгоритм оценки возможностей ИКР (рис. 2) для случая, когда типизация объекта и средства разведки проведена, отвечает требованиям повышения оперативности и может использоваться для прогнозирования разведдо-ступности КВО.

Случай 2: типизация объекта и средства разведки не проведена

База данных для автоматизированного алгоритма (случай 2):

1. По средству разведки: справочные данные со значениями параметров средств разведки: элементарное поле зрения тепловизора (угловая разрешающая способность) $\gamma_{\text{ОЭС}}$, пороговая чувствительность по температуре Δt ; высота ведения воздушной ИКР – H_p , км.
2. По объекту разведки: данные со значениями геометрических параметров объекта: $S_{\text{ОБ}}$ – излучаемая площадь объекта; L_{max} – максимальный линейный размер объекта.
3. По условиям ведения разведки: справочные данные по усредненным в диапазоне ведения ИКР значениям коэффициентов излучения объектов ϵ_0 и типовых фонов ϵ_ϕ , а также по усредненным значениям параметров средств ПД ИКР; значения температур объекта T_0 и фона T_ϕ (в случае отсутствия $T_0 = T_\phi$); значение коэффициента пропускания атмосферы, усредненное в диапазоне рабочих длин волн τ_a (может отсутствовать); дальности разведки D_p .

Автоматизированный алгоритм оценки возможностей ИКР для случая 2 показан на рисунке 3.

Автоматизированный алгоритм оценки возможностей ИКР включает следующую последовательность действий:

- шаг 1. Ввод исходных данных;
 - шаг 2. С помощью выражения (1) рассчитывается коэффициент условий разведки U_p .
- Если задана дальность разведки D_p :

- шаг 3. Определяется линейная разрешающая способность тепловизора L_{PC}

$$L_{\text{PC}} = \gamma_{\text{ОЭС}} D_p; \quad (4)$$

- шаг 4. Рассчитывается условный минимальный размер L_{min} по формуле

$$L_{\text{min}} = S_{\text{ОБ}} / L_{\text{max}}; \quad (5)$$

and background T_ϕ (in the absence of $T_0 = T_\phi$); the value of the atmospheric transmittance averaged in the range of operating wavelengths τ_a (may be missing); D_p reconnaissance ranges.

An automated algorithm for evaluating the capabilities of ICR for case 2 is shown in Figure 3.

The automated algorithm for evaluating the capabilities of ICR includes the following sequence of actions:

- Step 1. Input of initial data;
- Step 2. Using the expression (1), the coefficient of exploration conditions U_p is calculated.

If the reconnaissance range D_p is set:

- Step 3. The linear resolution of the thermal imager L_{PC} is determined

$$L_{\text{PC}} = \gamma_{\text{ОЭС}} D_p; \quad (4)$$

- Step 4. The conditional minimum L_{min} size is calculated using the formula

$$L_{\text{min}} = S_{\text{ОБ}} / L_{\text{max}}; \quad (5)$$

- Step 5. The fulfillment of the conditions is checked:

$$\text{a) } \frac{L_{\text{min}}}{L_{\text{PC}}} < 1, \frac{L_{\text{max}}}{L_{\text{PC}}} < 1; \text{ b) } \frac{L_{\text{min}}}{L_{\text{PC}}} < 1, \frac{L_{\text{max}}}{L_{\text{PC}}} \geq 1;$$

$$\text{c) } \frac{L_{\text{min}}}{L_{\text{PC}}} \geq 1, \frac{L_{\text{max}}}{L_{\text{PC}}} < 1; \text{ d) } \frac{L_{\text{min}}}{L_{\text{PC}}} \geq 1, \frac{L_{\text{max}}}{L_{\text{PC}}} \geq 1.$$

The generalized parameter x is calculated:

$$\text{for the condition a) } x \approx \frac{U_p \cdot S_{\text{ОБ}}}{\Delta t \cdot \gamma_{\text{ОЭС}}^2 \cdot D_p^2} - 3, 2;$$

$$\text{for the condition b) } x \approx \frac{1, 17 \cdot U_p \cdot \sqrt{L_{\text{max}}}}{\Delta t \cdot \gamma_{\text{ОЭС}}^{3/2} \cdot D_p^{3/2}} - 3, 2;$$

$$\text{for the condition c) } x \approx \frac{1, 17 \cdot U_p \cdot \sqrt{S_{\text{ОБ}} \cdot L_{\text{max}}}}{\Delta t \cdot \gamma_{\text{ОЭС}}^{3/2} \cdot D_p^{3/2}} - 3, 2;$$

$$\text{for the condition d) } x \approx \frac{1, 17 \cdot U_p \cdot \sqrt{S_{\text{ОБ}}}}{\Delta t \cdot \gamma_{\text{ОЭС}}^{3/2} \cdot D_p^{3/2}} - 3, 2.$$

- Step 6. The probability of object detection is determined by expression (3);
- Step 7. If the calculated probability value satisfies the condition $W_0 > W_{0, \text{доп}}$, a conclusion is made about the need for measures of PD ICR. With the decision on the P and the availability of funds with known parameters, the measures of the PD of the ICR are implemented.

Otherwise, paragraphs 1, 4 and 5 of the evaluation algorithm are carried out with corresponding changes

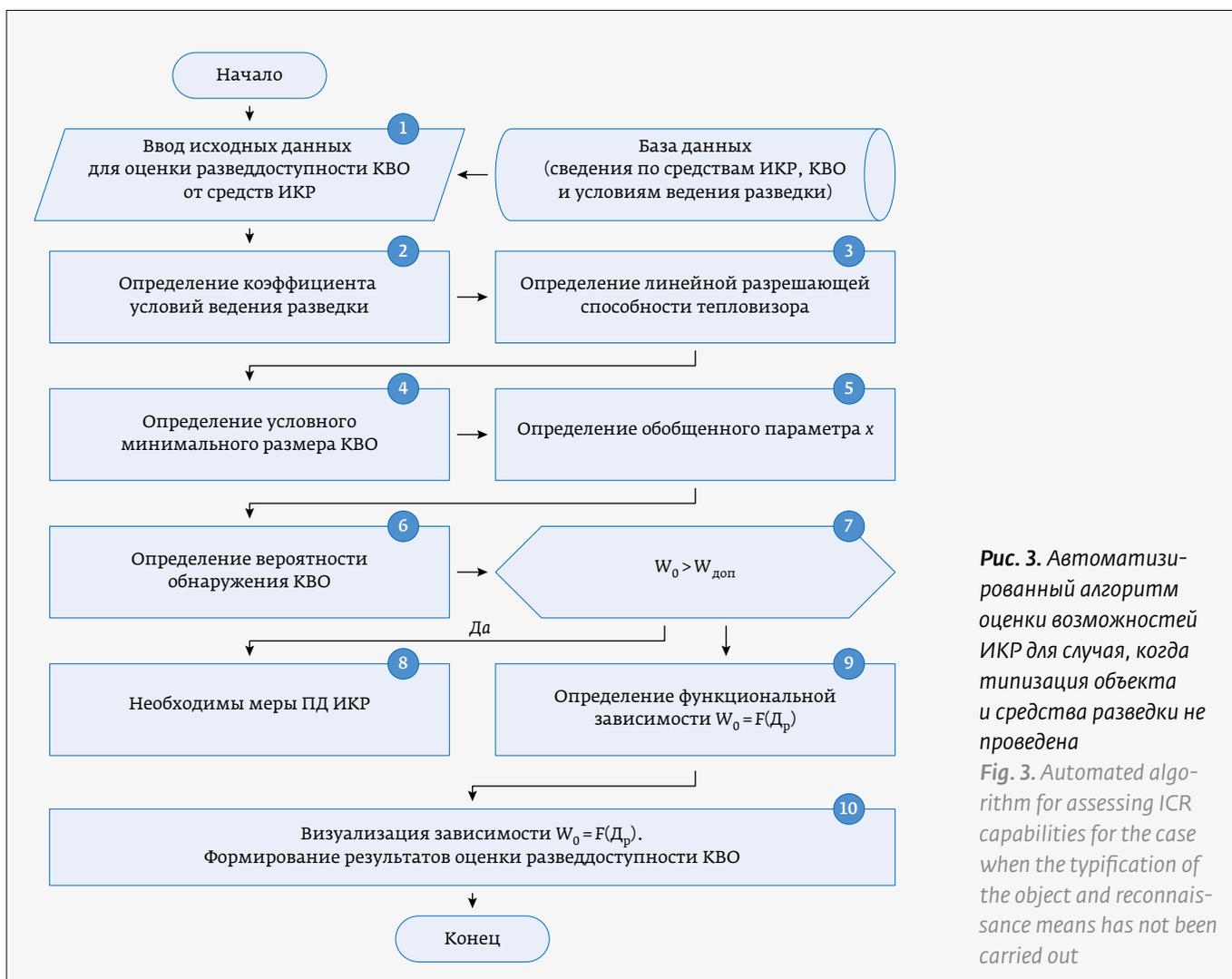


Рис. 3. Автоматизированный алгоритм оценки возможностей ИКР для случая, когда типизация объекта и средства разведки не проведена

Fig. 3. Automated algorithm for assessing ICR capabilities for the case when the typification of the object and reconnaissance means has not been carried out

- шаг 5. Проверяется выполнение условий:

$$а) \frac{L_{\min}}{L_{PC}} < 1, \frac{L_{\max}}{L_{PC}} < 1; б) \frac{L_{\min}}{L_{PC}} < 1, \frac{L_{\max}}{L_{PC}} \geq 1;$$

$$в) \frac{L_{\min}}{L_{PC}} \geq 1, \frac{L_{\max}}{L_{PC}} < 1; г) \frac{L_{\min}}{L_{PC}} \geq 1, \frac{L_{\max}}{L_{PC}} \geq 1.$$

Рассчитывается обобщенный параметр x :

$$\text{для условия а) } x \approx \frac{U_P \cdot S_{\text{Об}}}{\Delta t \cdot \gamma_{\text{ОЭС}}^2 \cdot D_P^2} - 3,2,$$

$$\text{для условия б) } x \approx \frac{1,17 \cdot U_P \cdot \sqrt{L_{\max}}}{\Delta t \cdot \gamma_{\text{ОЭС}}^{3/2} \cdot D_P^{3/2}} - 3,2,$$

$$\text{для условия в) } x \approx \frac{1,17 \cdot U_P \cdot \sqrt{S_{\text{Об}} \cdot L_{\max}}}{\Delta t \cdot \gamma_{\text{ОЭС}}^{3/2} \cdot D_P^{3/2}} - 3,2,$$

in the value of the coefficient of conditions (paragraph 1) due to the measures of the ICR PD.

If the reconnaissance range D_p is not set:

- Step 8. Using the expression (1), the coefficient of exploration conditions U_p is calculated;
- Step 9. The functional dependence of the $W_0 = f(D_p)$ probability on the reconnaissance range is calculated. When calculating W_0 , the D_p range value changes in the interval (100–10 000) km for KR, (0–70) km for BP, depending on the variant of BP means, and (0–20) km for HP, depending on the placement option. The calculation is performed for condition b) with the corresponding parameter x ;
- Step 10. The dependence $W_0 = f(D_p)$ is visualized and the boundary values of the detection zone of the object $D_{\text{РГР}} = W_{0\text{доп}}$ are given as the result of the evaluation. The values of $D_{\text{РГР}}$ are compared with the approximate (expected) range of exploration $D_{\text{РО}}$ and the range of the optical horizon

$$\text{для условия г) } x \approx \frac{1,17 \cdot U_p \cdot \sqrt{S_{\text{Об}}}}{\Delta t \cdot \gamma_{\text{ОЭС}}^{3/2} \cdot D_p^{3/2}} - 3,2;$$

- шаг 6. По выражению (3) определяется вероятность обнаружения объекта;
- шаг 7. Если рассчитанное значение вероятности удовлетворяет условию $W_0 > W_{0\text{ДОП}}$, делается вывод о необходимости мер ПД ИКР. При принятии решения на ПД и наличии средств с известными параметрами реализуются меры ПД ИКР.

Иначе выполняются пункты 1, 4 и 5 алгоритма оценки при соответствующих изменениях в значении коэффициента условий (п. 1) за счет мер ПД ИКР.

Если дальность разведки D_p не задана:

- шаг 8. С помощью выражения (1) рассчитывается коэффициент условий разведки U_p ;
- шаг 9. Рассчитывается функциональная зависимость $W_0 = f(D_p)$ вероятности от дальности разведки. При расчете W_0 значение дальности D_p меняется в интервале (100–10 000) км для КР, (0–70) км для ВР в зависимости от варианта средств ВР и (0–20 км) для НР в зависимости от варианта размещения. Расчет выполняется для условия в) с соответствующим параметром x ;
- шаг 10. Производится визуализация зависимости $W_0 = f(D_p)$ и в качестве результата оценки выдается граничное значения зоны обнаружения объекта $D_{\text{РГР}} = W_{0\text{ДОП}}$. Сопоставляются значения $D_{\text{РГР}}$ с ориентировочной (ожидаемой) дальностью разведки $D_{\text{РО}}$ и дальностью оптического горизонта $D_{\text{ОГ}}$ и делается вывод о степени разведдоступности и необходимости мер ПД ИКР.

При принятии решения на применение средств ПД выполняются пункты 1, 4 и 5 алгоритма оценки с учетом изменения за счет мер ПД. При этом в выражение для расчета параметра x подставляется значение дальности разведки. Автоматизированный алгоритм оценки возможностей ИКР разведки, показанный на рис. 3, характеризуется гибкостью и масштабируемостью, что позволяет использовать его в том числе при отсутствии типизированных данных по средствам разведки, КВО и условиям ведения ИКР. Результаты моделирования зависимости $W_0 = f(D_p)$ для различных условий разрешения приведены на рис. 4. Графики получены для средств ИКР космического базирования с параметрами средства разведки близкими к оптимальным.

$D_{\text{ОГ}}$, and a conclusion is made about the degree of intelligence availability and the need for measures of PD IR.

When deciding on the use of PD tools, paragraphs 1, 4 and 5 of the evaluation algorithm are carried out, taking into account changes due to PD measures. In this case, the value of the reconnaissance range is substituted into the expression for calculating the parameter x . The automated algorithm for assessing the capabilities of the exploration ICR, shown in Figure 3, is characterized by flexibility and scalability, which allows it to be used, including in the absence of typed data on the means of exploration, the status quo and the conditions for conducting ICR. The results of modeling the $W_0 = f(D_p)$ dependence for different resolution conditions are shown in Figure 4. The graphs are obtained for space-based ICR facilities with the parameters of the reconnaissance facility close to optimal.

An anti-aircraft guided missile (SAM) with averaged dimensions was chosen as the object of reconnaissance. The conditions for conducting IR reconnaissance in terms of temperature differences between the object and the background and differences in radiation coefficients are assumed to be close to minimal. Condition (a) can be attributed to the condition of the worst resolution, condition (d) – the best resolution. The other two conditions (b) and (c) occupy an intermediate position, closer, however, to condition (d). In Fig. 4, the number 1 indicates the

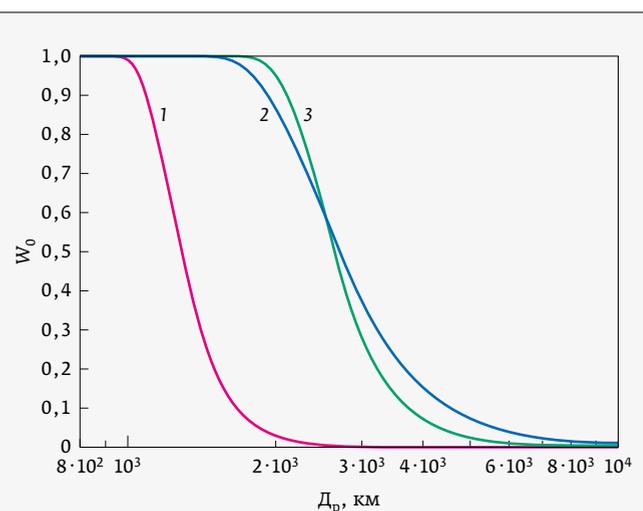


Рис. 4. Зависимость вероятности обнаружения от дальности

Fig. 4. Dependence of detection probability on range



В качестве объекта разведки выбрана зенитно-управляемая ракета (ЗУР) с усредненными габаритами. Условия ведения ИК-разведки в части температурных различий объекта и фона и различий в коэффициентах излучения приняты близкими к минимальным. Условие (а) можно отнести к условию наихудшего разрешения, условие (г) – наилучшего разрешения. Два других условия (б) и (в) занимают промежуточное положение, более близкое, однако, к условию (г). На рис. 4 цифрой 1 обозначена кривая для условия (а) $\frac{L_{\min}}{L_{PC}} < 1, \frac{L_{\max}}{L_{PC}} < 1$; цифрой 2 – для условия (г) $\frac{L_{\min}}{L_{PC}} \geq 1, \frac{L_{\max}}{L_{PC}} \geq 1$; цифрой 3 – для условия (б) $\frac{L_{\min}}{L_{PC}} < 1, \frac{L_{\max}}{L_{PC}} \geq 1$.

Анализ зависимостей на рис. 4 позволяет сделать вывод, что для условия (а) вероятность обнаружения W_0 изменяется от единицы до 0,02 практически во всем диапазоне дальностей ведения ИКР, для других двух условий (б), (г) диапазон дальностей гарантированного обнаружения определяется из условия $W_0 \geq 0,9$.

Условия (а) наихудшего и (г) наилучшего разрешения могут быть приняты в качестве граничных для методики оперативной оценки возможностей ИКР. Для повышения оперативности предполагается проведение типизации объектов разведки по излучаемой площади S_{OB} , средств разведки по вариантам размещения аппаратуры на носителях и значениям коэффициента вида разведки C_p . В качестве примера на рис. 5 приведены зависимости вероятности обнаружения от дальности при различных значениях коэффициента условий ведения разведки U_p , которые получены для космической ИКР.

Зависимости на рис. 5 получены для нижней граничной оценки $x \approx \frac{U_p \cdot S_{OB}}{\Delta t \cdot \gamma_{OЭС}^2 \cdot D_p^2} - 3,2$. Выбор соответствующей кривой (рис. 5) производится после расчета коэффициента условий ведения разведки U_p в соответствии с выражением (1) на основе измерения температур объекта и фона и определения по справочным данным коэффициентов излучения.

В качестве коэффициента пропускания атмосферы τ_a может быть принято среднее значение в рабочем диапазоне длин волн. При отсутствии справочных данных τ_a принимают равным единице. Проведение мер противодействия связано с изменением коэффициента условий ведения разведки U_p и их эффективность оценивается аналогично.

curve for condition (a) $\frac{L_{\min}}{L_{PC}} < 1, \frac{L_{\max}}{L_{PC}} < 1$; number 2 – for condition (d) $\frac{L_{\min}}{L_{PC}} \geq 1, \frac{L_{\max}}{L_{PC}} \geq 1$; number 3 – for condition (b) $\frac{L_{\min}}{L_{PC}} < 1, \frac{L_{\max}}{L_{PC}} \geq 1$.

The analysis of the dependencies in Figure 4 allows us to conclude that for condition (a), the probability of detecting W_0 varies from one to 0.02 in almost the entire range of IR ranges, for the other two conditions (b), (d), the range of guaranteed detection ranges is determined from condition $W_0 \geq 0,9$.

The conditions (a) of the worst and (d) of the best resolution can be taken as the boundary conditions for the methodology of operational assessment of the capabilities of ICR. In order to increase efficiency, it is planned to carry out the typing of intelligence objects by the radiated area S_{OB} , intelligence means by the options for placing equipment on carriers and the values of the coefficient of the type of intelligence C_p . As an example, Figure 5 shows the dependences of the probability of detection on the range at different values of the coefficient of exploration conditions U_p , which are obtained for space ICR.

The dependencies in Figure 5 are obtained for the lower boundary estimate of $x \approx \frac{U_p \cdot S_{OB}}{\Delta t \cdot \gamma_{OЭС}^2 \cdot D_p^2} - 3,2$. The

selection of the appropriate curve (Figure 5) is made after calculating the coefficient of exploration conditions U_p in accordance with expression (1) based on measuring the temperatures of the object and the background, as well as determining the radiation coefficients from reference data.

The average value in the operating wavelength range can be taken as the atmospheric transmission coefficient τ_a . In the absence of reference data, τ_a is assumed to be equal to one. The implementation of counteraction measures is associated with a change in the coefficient of exploration conditions U_p and their effectiveness is evaluated similarly.

CONCLUSION

The article proposes a methodological approach to improve the efficiency of assessing the capabilities of IR, based on the use of graphoanalytic and automated algorithms, the use of a minimum of initial data (the value of the radiated area of the object, the maximum size of the typed objects, averaged in the range of IR values of the radiation coefficients of objects and typical backgrounds, the type of background, the temperature values of the object and background, the

ВЫВОД

В статье предложен методический подход повышения оперативности оценки возможностей ИКР, базирующийся на применении графоаналитического и автоматизированного алгоритмов, использовании минимума исходных данных (значение излучаемой площади объекта, максимальные размеры типизированных объектов, усредненные в диапазоне ведения ИКР значения коэффициентов излучения объектов и типовых фонов, тип фона, значения температур объекта и фона, значения коэффициента пропускания атмосферы, усредненное в диапазоне рабочих длин волн) и реализующийся с помощью предварительно рассчитанных графиков зависимости вероятности обнаружения от дальности для нижней и верхней граничных значений оценки при различных фиксированных значениях коэффициента условий ведения разведки, рассчитанных заранее для типизированных параметров средств по видам разведки наземного, воздушного и космического базирования с приемлемой точностью. Использование автоматизированного алгоритма позволяет значительно повысить оперативность методики оценки возможностей средств ИКР. Совокупность выявленных факторов позволяет проводить оценки разведдоступности объектов защиты, выбирать наиболее эффективные меры по ПД ИКР и применять их заблаговременно, что значительно снижает информативность ведения оптико-электронной разведки противником в ИК-диапазоне.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Леньшин А. В.** *Бортовые комплексы радиоэлектронной борьбы*. – Воронеж: ИПЦ «Научная книга», 2023. 636 с. ISBN 978-5-4446-1796-0.
2. **Тарасов В. В., Якушенко Ю. Г.** *Инфракрасные системы «смотрящего» типа*. – М.: Логос, 2004. 444 с. ISBN 5-94010-372-8.
3. **Волф У.** *Справочник по инфракрасной технике* / Ред. У. Волф, Г. Цисис. В 4-х тт. Т. 3. Приборная база ИК-систем. – М.: Мир, 1999. 472 с. ISBN 5-03-002926-5.
4. **Меньшаков Ю. К.** *Основы защиты от технических разведок*. – М.: ИПЦ «Маска», 2017. 572 с. ISBN 978-5-9069-5518-0.
5. **Меньшаков Ю. К.** *Теоретические основы технических разведок* / Под ред. Ю. Н. Лаврухина. – М.: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2008. 536 с. ISBN 978-5-7038-3019-2.
6. **Меньшаков Ю. К.** *Основы защиты от технических разведок* / Под общ. ред. М. П. Сычева. – М.: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2011. 478 с. ISBN 978-5-7038-3382-7.
7. **Леньшин А. В., Кравцов Е. В., Рюмшин Р. И., Сидоренко И. А.** Повышение оперативности оценки возможностей средств телевизионной разведки.

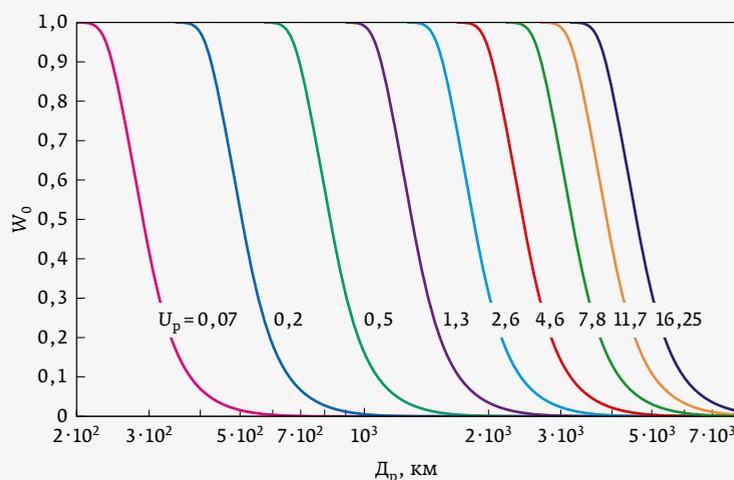


Рис. 5. Зависимость вероятности обнаружения от дальности при различных значениях коэффициента условий ведения разведки

Fig. 5. Dependence of the probability of detection on the range at different reconnaissance situation coefficient values

value of the atmospheric transmittance, averaged over the range of operating wavelengths) and implemented using pre-calculated graphs of the dependence of the probability of detection on the range for the lower and upper boundary values of the estimate at various fixed values of the coefficient of exploration conditions calculated in advance for the typed parameters of means by types of ground-based, air-based and space-based reconnaissance with acceptable accuracy. The use of an automated algorithm makes it possible to significantly increase the efficiency of the methodology for assessing the capabilities of ICR funds. The totality of the identified factors makes it possible to assess the intelligence availability of protection objects, choose the most effective measures for IR PD and apply them in advance, which significantly reduces the informativeness of enemy reconnaissance in the IR range.

REFERENCES

1. **Lenshin A. V.** *Airborne electronic warfare systems: textbook*. – Voronezh: CPI «Scientific Book», 2023. 636 p. ISBN 978-5-4446-1796-0. (in Russ.).
2. **Tarasov V. V., Yakushenkov Yu. G.** *Infrared systems of the «looking» type*. – M.: Logos, 2004. 444 p. ISBN 5-94010-372-8. (in Russ.).
3. **Wolf U.** *Handbook of infrared technology* / Ed. U. Wolf, G. Cisis. In 4 tt. t. 3. Instrument base of IR systems. – M.: Mir, 1999. 472 p. ISBN 5-03-002926-5. (in Russ.).
4. **Menshakov Yu. K.** *Fundamentals of protection from technical intelligence*. – M.: CPI «Mask», 2017. 572 p. ISBN 978-5-9069-5518-0. (in Russ.).
5. **Menshakov Yu. K.** *Theoretical foundations of technical intelligence* / Edited by Yu. N. Lavrukhin. – M.: Publishing House of Bauman Moscow State Technical University, 2008. 536 p. ISBN 978-5-7038-3019-2. (in Russ.).
6. **Menshakov Yu. K.** *Fundamentals of protection from technical intelligence* / Under the general editorship of M. P. Sychev. – M.: Publishing House of Bauman Moscow State Technical University, 2011. 478 p. ISBN 978-5-7038-3382-7. (in Russ.).
7. **Lenshin A. V., Kravtsov E. V., Ryumshin R. I., Sidorenko I. A.** Increasing the Assessment Efficiency of Television Reconnaissance Facilities. *Photonics Russia*. 2022; 16 (8):



Фотоника. 2022; 16 (8): 624–633. DOI: 10.22184/1993-7296.FRos.2022.16.8.624.633.

8. **Кравцов Е. В., Купин И. В., Татаринцев С. В., Рюмшин Р. И.** Свидетельство о гос. регистрации программы для ЭВМ. *Программа оперативной оценки возможностей оптико-электронной разведки* / № 2019614147 (РФ); зарег. 01.04.2019.
9. **Леньшин А. В., Кравцов Е. В.** Функциональный метод обобщенных параметров для оперативной оценки возможностей технических средств разведки. *Радиотехнические и телекоммуникационные системы*. 2021; 43(3): 23–32.

АВТОРЫ

- А. В. Леньшин**, д. т. н., профессор кафедры, Военный учебно-научный центр Военно-воздушных сил «Военно-воздушная академия имени профессора Н. Е. Жуковского и Ю. А. Гагарина» (ВУНЦ ВВС «ВВА»), e-mail: andrey-lenshin@yandex.ru; г. Воронеж, Россия. ORCID:0000-0001-7540-9351
- Е. В. Кравцов**, д. т. н., доцент, начальник кафедры, Военный учебно-научный центр Военно-воздушных сил «Военно-воздушная академия имени профессора Н. Е. Жуковского и Ю. А. Гагарина» (ВУНЦ ВВС «ВВА»), г. Воронеж, Россия. ORCID:0009-0009-5254-760X
- С. А. Ситников**, слушатель, Военный учебно-научный центр Военно-воздушных сил «Военно-воздушная академия имени профессора Н. Е. Жуковского и Ю. А. Гагарина» (ВУНЦ ВВС «ВВА»), г. Воронеж, Россия. ORCID:0009-0009-5990-8419

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы декларируют отсутствие конфликта интересов. Рукопись подготовлена в ходе совместной работы и согласована всеми авторами.

624–633. DOI: 10.22184/1993-7296.FRos.2022.16.8.624.633.

8. **Krvtsov E. V., Kupin I. V., Tatarintsev S. V., Ryumshin R. I.** Certificate of state registration of a computer program. *The program of operational assessment of optoelectronic intelligence capabilities* / No. 2019614147 (RF); dated 01.04.2019. (in Russ.).
9. **Lenshin A. V., Krvtsov E. V.** Functional method of generalized parameters for operational assessment of the capabilities of technical means of intelligence. *Radio engineering and telecommunication systems*. 2021; 43(3): 23–32. (in Russ.).

ABOUT AUTHORS

- A. V. Len'shin**, Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department, Military Educational and Scientific Center of the Air Force "Air Force Academy named after Professor N. E. Zhukovsky and Yu. A. Gagarin" (VUNC VVS "VVA"), e-mail: andrey-lenshin@yandex.ru; Voronezh, Russia. ORCID:0000-0001-7540-9351
- E. V. Krvtsov**, Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Head of Department, Military Educational and Scientific Center of the Air Force "Air Force Academy named after Professor N. E. Zhukovsky and Yu. A. Gagarin" (VUNC VVS "VVA"), Voronezh, Russia. ORCID:0009-0009-5254-760X
- S. A. Sitnikov**, student, Military Educational and Scientific Center of the Air Force "Air Force Academy named after Professor N. E. Zhukovsky and Yu. A. Gagarin" (VUNC VVS "VVA"), Voronezh, Russia. ORCID:0009-0009-5990-8419

CONFLICT OF INTEREST

The authors declare no conflict of interest. The manuscript was prepared in the course of joint work and agreed upon by all authors.



ТЕЛЕГРАММ КАНАЛ
НАУЧНОГО ИЗДАТЕЛЬСТВА
ТЕХНОСФЕРА:



- Онлайн репортажи с крупнейших выставок отрасли
- Анонсы мероприятий с участием технических экспертов отрасли
- Скидки на журналы издательства до 25%
- Конкурсы и розыгрыши от ведущих компаний
- Книжные новинки и презентации новых выпусков журналов

Подписывайтесь и оставайтесь в курсе главных событий научно-технической сферы



23-26.10.2023

ТЕХНОФОРУМ

МИНПРОМТОРГ
РОССИИ



www.technoforum-expo.ru

«Оборудование
и технологии
обработки
конструкционных
материалов»

Россия, Москва,
ЦВК «ЭКСПОЦЕНТР»

Реклама



12+

 ЭКСПОЦЕНТР