



Повышение оперативности оценки возможностей средств телевизионной разведки

А. В. Леньшин, Е. В. Кравцов, Р. И. Рюмшин, И. А. Сидоренко
Военный учебно-научный центр Военно-воздушных сил «Военно-воздушная академия им. профессора Н. Е. Жуковского и Ю. А. Гагарина» (ВУНЦ ВВС «ВВА»), г. Воронеж, Россия

При телевизионной разведке уровень освещенности объектов и дальность проведения оценки оптоэлектронными приборами влияют на вероятности обнаружения и распознавания объектов. Предложен методический подход, позволяющий повысить оперативность оценки возможностей телевизионной разведки на различных носителях с использованием значений коэффициентов яркости объектов разведки, фонов и покрытий, минимального размера объекта. Доказана приемлемая достоверность использования методики применительно к конкретным условиям. Разработаны необходимые рекомендации по противодействию средствам телевизионной разведки в условиях неудовлетворительного показателя разведдоступности.

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

Статья получена: 29.08.2022
Статья принята: 05.10.2022

ВВЕДЕНИЕ

На современном этапе развития техники значительно увеличивается число объектов радиоэлектронной борьбы (РЭБ), вследствие чего резко возросли требования к противодействию (ПД) техническим средствам разведки (ТСР) иностранных государств и организации радиоэлектронной защиты своих объектов. Военные конфликты последних

Increasing the Assessment Efficiency of Television Reconnaissance Facilities

A. V. Lenshin, E. V. Kravtsov, R. I. Ryumshin, I. A. Sidorenko
Military Educational and Scientific Center of the Air Force «Zhukovskiy and Gagarin Air Force Academy», Voronezh, Russia

In the case of television reconnaissance, the illumination level and the range of evaluation by optoelectronic devices have an impact on the object detection and recognition probabilities. A methodological approach has been proposed to increase the assessment efficiency of television reconnaissance facilities on various carriers using the luminance factor values of the intelligence targets, backgrounds and coatings, and the minimum object size. The acceptable reliability of this method in relation to the specific conditions has been proved. The necessary recommendations have been developed to counter the television reconnaissance facilities in the conditions of an unsatisfactory intelligence availability.

Key words: television reconnaissance, intelligence target, detection probability, assessment efficiency

Received on: 29.08.2022
Accepted on: 05.10.2022

INTRODUCTION

At the present stage of technology development, the number of electromagnetic warfare (EMW) facilities is significantly increasing, due to which the requirements for countermeasures (CM) to the technical reconnaissance equipment (TRE) of foreign states and arrangement of electromagnetic protection of their facilities have sharply grown. The military conflicts of recent years are distinguished by the growing role of technical intelligence in the information support of combat activities of the troops and preparation for them [1, 2]. One of the most informative and efficient types of technical reconnaissance is electrooptical reconnaissance (EOR)



лет отличаются возрастающей ролью технической разведки в информационном обеспечении боевых действий войск и подготовке к ним [1, 2]. Одним из наиболее информативных и оперативных видов технической разведки является оптико-электронная разведка (ОЭР) и прежде всего телевизионная (ТВ) разведка (ТВР), аппаратура которой размещается на различных видах носителей.

Возрастающий динамизм оперативной обстановки, связанный с частыми перемещениями объектов ТВР, вынуждает к необходимости прогнозирования разведобстановки и мер противодействия в предполагаемых районах дислокации объектов для повышения их живучести. Это делает актуальной оценку возможностей указанного вида разведки. Методологической основой такой оценки могут являться утвержденные методики, использующие данные, сосредоточенные в нормативных документах. Они обеспечивают высокую достоверность оценки при наличии необходимой полноты исходных данных. Однако в условиях динамично изменяющейся радиоэлектронной обстановки использование указанных методик по целому ряду объективных причин зачастую не представляется возможным.

В значительной мере удовлетворяющие современным условиям методики оперативной оценки некоторых видов ТВР предложены в [3, 4]. Они базируются на функциональном методе обобщенных параметров, где в качестве показателя оценки используется вероятность обнаружения объекта W_o или вероятность распознавания W_p в виде функциональной зависимости от дальности ТВ разведки D_p :

$$W_{o(p)} = f(D_p). \quad (1)$$

Множество графических зависимостей (1) содержат в себе все возможные ситуации разведдоступности для ТВ-разведки и объекта, нормативные показатели в виде обоснованных значений вероятностей либо дальностей, отличаются наглядностью и простотой в использовании. Обобщение заключается в представлении параметров средства ТВ-разведки в виде единого коэффициента по выделенным типовым группам средств, что существенно облегчает проведение оценки в конкретных случаях.

Целью настоящего исследования является дальнейшее развитие оперативных методик оценки разведдоступности объектов ТВР и разработка рекомендаций по ПД ТВР, связанных с предъявлением требований к маскирующему объекту покрытию применительно к конкретным условиям, определяемым прогнозируемым или реальным фоном.

and, above all, television (TV) reconnaissance (TVR), the equipment of which is placed on various types of carriers.

The growing dynamism of the operational situation related to the frequent movements of TVR facilities, makes it necessary to predict the intelligence situation and countermeasures in the proposed areas of deployment in order to increase survivability. This makes it relevant to assess the capabilities of this type of intelligence. The methodological basis for such an assessment can be the approved methods using data contained in the regulatory documents. They provide high assessment reliability in the presence of the required comprehensive initial data. However, in a dynamically changing electronic environment, the use of these methods for a number of objective reasons is often impossible.

The methods for operational assessment of certain types of TVR that comply with the up-to-date conditions are proposed in [3, 4]. They are based on the functional method of generalized parameters, where an object detection probability W_o or recognition probability W_p is used as an assessment ratio in the form of a functional dependence on the range of TV reconnaissance D_p .

$$W_{o(p)} = f(D_p). \quad (1)$$

The set of graphic dependencies (1) contains all possible situations of intelligence availability for TV reconnaissance and a target, the statutory indicators in the form of reasonable values of probabilities or ranges have certain clarity and ease of use. The generalization consists in presenting the TV-reconnaissance parameters in the form of a single coefficient for the selected typical groups of facilities that greatly facilitates the assessment in specific cases.

The purpose of this study is to further develop operational methods for assessing the intelligence accessibility of TVR facilities and prepare recommendations in terms of the TVR countermeasures related to the requirements for a masking cover in relation to the specific conditions determined by the predicted or real background.

STATEMENT OF PROBLEM

TVR allows to get visible images of the targets, including at night with low illumination levels. TVR is based on the transformation of the visible target image, namely the spatial distribution of illumination at the observed facility to a temporal sequence of electrical signals (video signals) using a line-by-line scanning optical system and a photosensitive converter.

It is proposed to take the functional dependence of detection probability W_o and recognition probability W_p of facilities on the range D_p in the form of a graphi-

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

ТВР позволяет получать видимые изображения объектов, в том числе ночью при низком уровне освещенности. ТВР основана на преобразованиях видимого изображения объекта – пространственного распределения освещенности на наблюдаемом объекте во временную последовательность электрических сигналов (видеосигналов) – с помощью построчно сканирующей оптической системы и фоточувствительного преобразователя.

Предлагается в качестве обобщенной оценки возможностей ТВР принять функциональную зависимость вероятности обнаружения W_o и вероятности распознавания W_p объектов от дальности D_p в виде графической зависимости (1). Эти показатели должны быть в явном виде связаны с дальностью D_p или с зоной действия как противостоящей стороны, так и своих войск для обеспечения максимальной защиты своих объектов. Это также важно и для решения задачи ПД ТВР.

ОЦЕНКА ДОСТУПНОСТИ ГРАФОАНАЛИТИЧЕСКИМ МЕТОДОМ

Получим зависимость (1) в явном виде, пригодном как для расчетов в конкретных известных условиях, так и в обобщенном виде, используя типовой состав средства ТВР, представленный на рис. 1.

Параметрами средства ТВР являются: диаметр зрачка объектива d_o , фокусное расстояние $f_{об}$, коэффициент пропускания объектива τ_o , чувствительность приемника излучения $\Phi_{\text{пнmin}}$ (по потоку излучения), площадь пиксела S и его размер l_{min} , угловая разрешающая способность оптико-электронной системы $\gamma_{оэс}$. К параметрам среды относятся: коэффициент пропускания атмосферы τ_a и средний коэффициент яркости фона \bar{r}_ϕ , а также дальность разведки D_p . К параметрам объекта относятся его критический размер L_{min} , средний коэффициент яркости $\bar{r}_{об}$ или средний коэффициент яркости маскировочного покрытия \bar{r}_M (в случае его использования).

Для ТВР форма объекта – главный демаскирующий признак. При этом может решаться как задача обнаружения, заключающаяся в отнесении участка изображения к одной из двух категорий «объект + фон» или «фон», так и задача распознавания, связанная с формированием зрительных образов объектов, их сравнением со «словарем» и выбором наиболее похожего из них.

Параметры связаны уравнением ТВР, определяющим поток $\Phi_{\text{пн}}$ на входе приемника излучения. В качестве приемника чаще всего используют линейку или матрицу на основе приборов с зарядовой связью (ПЗС) с чувствительностью $\Phi_{\text{пнmin}}$ до 10^{-15} Вт

cal dependence (1) as a generalized assessment of the TVR capabilities. These indicators should be explicitly related to the range D_p or to the action zone of both the opposing side and own forces, in order to ensure maximum protection of the facilities. This is also important for solving the problem of TVR countermeasures.

GRAPHOANALYTICAL ACCESSIBILITY ASSESSMENT

We will obtain dependence (1) in an explicit form, suitable both for calculations under the specific well-known conditions, and in a generalized form, using the typical composition of the TVR facilities shown in Fig.1.

The parameters of the TVR facility are as follows: the lens diameter d_o ; focal length $f_{об}$; lens transmittance τ_o ; radiation receiver sensitivity $\Phi_{\text{пнmin}}$ (in relation to the radiation flux); pixel area S and its size l_{min} ; angular resolving power of the optical-electronic system $\gamma_{оэс}$. The environmental parameters include the following: the atmospheric transmissivity τ_a and the average background brightness coefficient \bar{r}_ϕ , as well as the reconnaissance range D_p . The object parameters include its critical size L_{min} , the average brightness factor $\bar{r}_{об}$ or the average brightness factor of the camouflage coating \bar{r}_M (if any).

For TVR, the object shape is the main unmasking feature. In this case, it is possible to solve both the detection problem that consists in assigning an image area to one of the two categories «object + background» or «background», and the recognition problem related to the formation of visual object images, their comparison with an «index» and selection of the most similar of them.

The parameters are united by the TVR equation that determines the $\Phi_{\text{пн}}$ flux at the input of the radiation

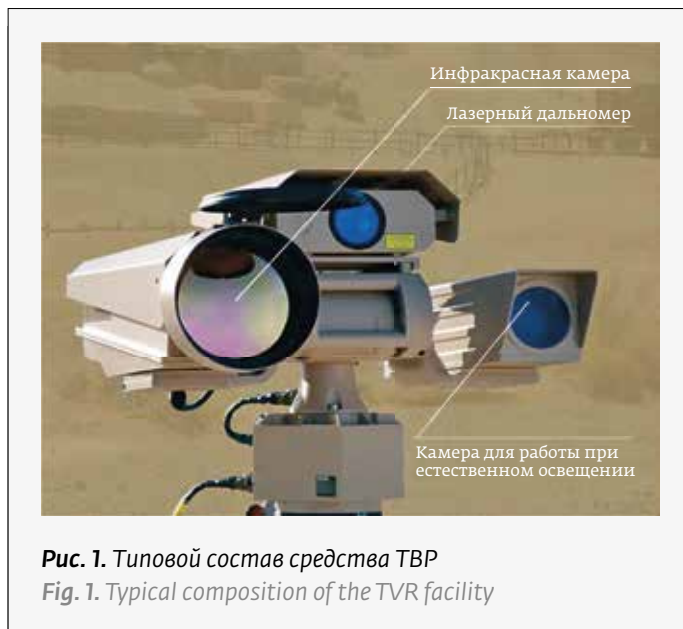


Рис. 1. Типовой состав средства ТВР
Fig. 1. Typical composition of the TVR facility



и размером пиксела l_{\min} , составляющем единицы микрометров. Качество обнаружения будет определяться отношением сигнал/шум: $q = \Phi_{\text{пн}} / \Phi_{\text{пнmin}}$.

Исходя из назначения ТВР, очевидно, что содержанием оперативной оценки, приемлемой для практики с выходом на рекомендации по ПД ТВР, должен быть этап собственно распознавания. Поэтому прием вероятности распознавания W_p за основной показатель оценки возможностей ТВР, а в качестве одного из трех уровней распознавания (обнаружение, различение, опознание) выберем уровень опознания, устанавливающий тип объекта. Выбор подобного критерия оценки связан с тем, что именно этот уровень наиболее детально позволяет установить форму объекта. При этом наиболее объективным параметром, характеризующим эту вероятность, является количество элементов разрешения N , укладываемых на минимальном (критическом для опознания) размере объекта $N = L_{\min} / L_{\text{рс}}$.

С учетом приведенных соображений в качестве исходного соотношения вероятности распознавания для построения упрощенной методики оценки возможностей может быть принято следующее приближенное соотношение:

$$W_p \approx \Phi \left[\frac{w \cdot Q \cdot N}{N_\phi} - Q \right]. \quad (2)$$

В выражении (2) $\Phi(x)$ – интеграл вероятности, а w – эмпирический коэффициент, зависящий от отношения сигнал/шум, значение которого лежит в пределах: $0,13 \leq w \leq 1$, причем, для $q \geq 5,4$ $w = 1$. Анализ технических характеристик современных средств ТВР, условий их применения и принятый уровень распознавания, а также требование оперативности оценки позволяют условие $w = 1$ принять в качестве основного. Коэффициент N_ϕ характеризует требуемый (по вероятности) уровень распознавания. Для выбранного уровня опознания это значение в соответствии с критерием Джонсона (см. табл.) можно принять равным: $N_\phi \approx 6,5$. Коэффициент Q , зависящий от квалификации оператора и объема априорной информации об объекте для выбранного уровня распознавания, можно принять равным [5]: $Q = 0,97$.

Требование оперативности позволяет ограничиться учетом только одного первого условия $q \geq 5,4$ ($w = 1$), полагая его типовым. Это подтверждается анализом технических характеристик современных средств ТВР и условий их применения. Тогда в соответствии с (2) вероятность становится функцией некоторого обобщенного параметра

$$x = (QN/N_\phi) - Q, \quad (3)$$

receiver. A ruler or matrix based on the charge-coupled devices (CCDs) with a sensitivity $\Phi_{\text{пнmin}}$ of up to 10^{-15} W and a pixel size l_{\min} of a few micrometers is most often used as a receiver. The detection quality will be determined by the signal-to-noise ratio: $q = \Phi_{\text{пн}} / \Phi_{\text{пнmin}}$.

Based on the TVR purpose, it is obvious that the operational assessment, acceptable for practice with the following recommendations in relation to the TVR countermeasures, should be the stage of recognition. Therefore, we will take the recognition probability W_p as the main indicator for assessing the TVR capabilities, and we will choose the recognition level that establishes the type of object as one of the three recognition levels (detection, discrimination, identification), since this level allows to determine the object shape in details. Moreover, the most objective parameter describing this probability is the number of resolution elements N that fit on the minimum (critical for identification) size of the object $N = L_{\min} / L_{\text{рс}}$.

With due regard to the above considerations, the following approximate ratio can be taken as the initial ratio of the recognition probability for developing a simplified capability assessment method:

$$W_p \approx \Phi \left[\frac{w \cdot Q \cdot N}{N_\phi} - Q \right]. \quad (2)$$

In expression (2) $\Phi(x)$ is the probability integral; w is an empirical coefficient depending on the signal-to-noise ratio, the value of which is within the following range: $0,13 \leq w \leq 1$, where for $q \geq 5,4$ $w = 1$. The specification analysis of the up-to-date TVR facilities, conditions for their use and accepted recognition level, as well as the requirement for the assessment efficiency, allow to accept the condition $w = 1$ as the main one. The coefficient N_ϕ characterizes the required (in terms of probability) recognition level. For the chosen identification level, this value can be taken equal to $N_\phi \approx 6,5$, in accordance with the Johnson's criterion (see table). The coefficient Q , depending on the operator's qualification and the amount of a priori information about the object for the selected recognition level, can be taken equal to [5]: $Q = 0,97$.

The efficiency requirement allows to consider only one first condition $q \geq 5,4$ ($w = 1$), assuming it to be typical. This is confirmed by an analysis of the technical specifications of the up-to-date TVR facilities and their usage conditions. Then, in accordance with (2), the probability becomes a function of some generalized parameter

$$x = (QN/N_\phi) - Q, \quad (3)$$

being an informative component of the recognition process. It is this parameter that must be modified to obtain the desired method.



имеющего смысл информативной составляющей процесса распознавания. Именно этот параметр предстоит видоизменить для получения искомой методики.

Значение N_Φ (используется критерий Джонсона) выбирается в соответствии с табличными данными (см. табл.). В данном случае примем уровень опознавания, тогда требуемое значение, гарантирующее $W_p \geq 0,5$, будет $N_\Phi = 6,5$. Исходя из опыта, значение Q можно принять: $Q = 0,97$. Основное преобразование касается видоизменения N , характеризующего реальный (оцениваемый) уровень опознавания и представляющего собой число элементов разрешения L_{pc} , укладываемых на минимальном размере объекта L_{min} , или

$$N = \frac{L_{min}}{L_{pc}} = \frac{L_{min}}{\gamma_{OES} \cdot D_p} \quad (4)$$

Значение линейной разрешающей способности (РС) находится как произведение угловой РС оптико-электронной системы (ОЭС) γ_{OES} на дальность разведки D_p . В свою очередь угловая РС ОЭС складывается из угловой РС приемника оптического излучения (ПОИ) $\gamma_{пои}$ и угловой РС оптической системы (ОС) γ_{OC} , т. е. $\gamma_{OES} = \gamma_{OC} + \gamma_{пои}$.

Для войсковой практики нет необходимости ориентироваться на конкретное средство высокоточного оружия (ВТО), использующее средства ОЭР (ТВР), тем более что многообразие используемых типов большое. Рациональнее решать задачу оценки относительно существующих видов разведки: воздушной или наземной, выбрав для этого параметры лучших средств или близких к таковым. В этом случае можно в выражение для параметра x ввести коэффициент вида разведки R , который объединяет постоянные коэффициенты и указанные параметры по видам разведки и рассчитывается заранее в виде:

$$R = \frac{Q \cdot f_{06}}{(1,22 \cdot \lambda A + S) \cdot N_\Phi} \quad (5)$$

В выражении для обобщенного параметра x , а значит, и для вероятности в явном виде представлен параметр, характеризующий вид разведки, главная характеристика объекта с точки зрения его распознавания – минимальный размер, дальность разведки:

$$x = \frac{L_{min} \cdot R}{D_p} - Q \quad (6)$$

Остается учесть реальные условия наблюдения объекта на некотором фоне. Для этого введем в параметр x некоторый коэффициент уменьшения разрешающей способности α . Он будет играть роль множителя, зависящего от видимого кон-

Таблица. Численные значения показателей критерия Джонсона

Table. Numerical values of the Johnson's criterion indicators

Качество видения Vision quality	Число разрешаемых штрихов для обеспечения $W \geq 0,5$ Number of strokes allowed to ensure $W \geq 0.5$
Обнаружение Detection	$1,0 \pm 0,25$
Различение Discrimination	$4,0 \pm 0,80$
Опознавание Identification	$6,4 \pm 1,50$

The value of N_Φ (the Johnson's criterion is used) is selected in accordance with the tabular data (see table). In this case, we will accept the recognition level, then the required value that provides for $W_p \geq 0,5$, will be $N_\Phi = 6,5$. Based on experience, the value Q can be taken as follows: $Q = 0,97$. The main transformation concerns the modification of N that characterizes the actual (estimated) recognition level and represents the number of resolution elements L_{pc} that fit on the minimum object size L_{min} , or

$$N = \frac{L_{min}}{L_{pc}} = \frac{L_{min}}{\gamma_{OES} \cdot D_p} \quad (4)$$

The linear resolution (LR) value is found as the product of the angular LR of the optical-electronic system (OES) γ_{OES} and the reconnaissance range D_p . In turn, the angular LR of the OES consists of the angular LR of the optical receiver (OR) $\gamma_{пои}$ and the angular LR of the optical system (OS) γ_{OC} , i. e. $\gamma_{OES} = \gamma_{OC} + \gamma_{пои}$.

For military practice, there is no need to focus on the specific high-precision weapons (HPW) using the EOR (TVR) facilities, especially since the variety of types used is rather large. It is more sustainable to solve the problem of assessing the existing reconnaissance types, such as air or ground one, while selecting the parameters of the best facilities or something close to them. In this case, it is possible to enter the reconnaissance type coefficient R into the expression for the parameter x that combines the constants and the specified parameters by the reconnaissance types and is calculated in advance as follows:

$$R = \frac{Q \cdot f_{06}}{(1,22 \cdot \lambda A + S) \cdot N_\Phi} \quad (5)$$

The expression for the generalized parameter x , and, therefore, for probability, explicitly provides a parameter specifying the type reconnaissance. The main

траста объекта и фона K . Аналогичный параметр используется в фоторазведке в виде эмпирического соотношения [6]:

$$\alpha \approx [K/(2 - K)]^{0,5}. \quad (7)$$

Правомерность такого подхода оправдана, если опираться на единство физического принципа получения изображения в рассматриваемом диапазоне длин волн ТВР. В свою очередь контраст выразим как относительную разность яркостей через средние коэффициенты яркости в рассматриваемом диапазоне ОЭР для объекта $\bar{\tau}_0$ и фона $\bar{\tau}_\Phi$ с помощью соотношения

$$K = \frac{|\bar{\tau}_0 - \bar{\tau}_\Phi|}{\max\{\bar{\tau}_0, \bar{\tau}_\Phi\}}. \quad (8)$$

Произведение минимального размера объекта на коэффициент уменьшения РС в выражении для обобщенного параметра x обозначим как некоторый эквивалентный размер объекта H с учетом ухудшения РС $H = L_{\min} \cdot \alpha$. Такое представление позволяет получить семейство кривых, отражающих зависимость эквивалентного размера от видимого контраста $H = f(K)$ для всех возможных фиксированных значений минимальных размеров объекта (рис. 2). При этом мы учитываем влияние видимого контраста на разрешающую способность при оценке возможностей ТВР и эффективности мер защиты стационарных объектов от ВТО.

На основании предлагаемого методического подхода обобщенный параметр x описывается выражением

$$x = \frac{HR}{D_p} - Q. \quad (9)$$

Выражение (9) включает в себя все данные, необходимые и достаточные для проведения оперативной оценки ТВР. Тогда мы получим семейство зависимостей вероятности распознавания объекта от дальности для заданного вида разведки и для возможных фиксированных значений эквивалентного размера объекта в виде $W_p = \varphi(D_p)$ при $H = \text{const}$ (рис. 3).

Зависимости, приведенные на рис. 3, получены для средств воздушной ТВР, которым соответствует значение коэффициента вида разведки R . Расчет указанных функциональных зависимостей производится по известной формуле [7], аппроксимирующей интеграл вероятности в виде

$$W_p(x) \approx 0,5 \cdot [1 + k_x \cdot \sqrt{1 - \exp(-0,625x^2)}], \quad (10)$$

где $k_x = -1$ при $x < 0$ и $k_x = 1$ при $x \geq 0$.

object specification in terms of its recognition is the minimum size, reconnaissance range:

$$x = \frac{L_{\min} \cdot R}{D_p} - Q. \quad (6)$$

It is necessary to consider the actual conditions of object observation against a certain background. To do this, we introduce a certain resolution reduction factor α into the parameter x . It will play the role of a factor depending on the apparent contrast of the object and the background K . The similar parameter is used in photo reconnaissance in the form of an empirical relation [6]:

$$\alpha \approx [K/(2 - K)]^{0,5}. \quad (7)$$

The legitimacy of this approach is justified if we rely on the united physical principle of obtaining an image in the considered wavelengths range of TVR. In turn, we obtain the contrast as a relative brightness difference using the average brightness coefficients in the EOR considered range for the object $\bar{\tau}_0$ and the background $\bar{\tau}_\Phi$ using the following relation:

$$K = \frac{|\bar{\tau}_0 - \bar{\tau}_\Phi|}{\max\{\bar{\tau}_0, \bar{\tau}_\Phi\}}. \quad (8)$$

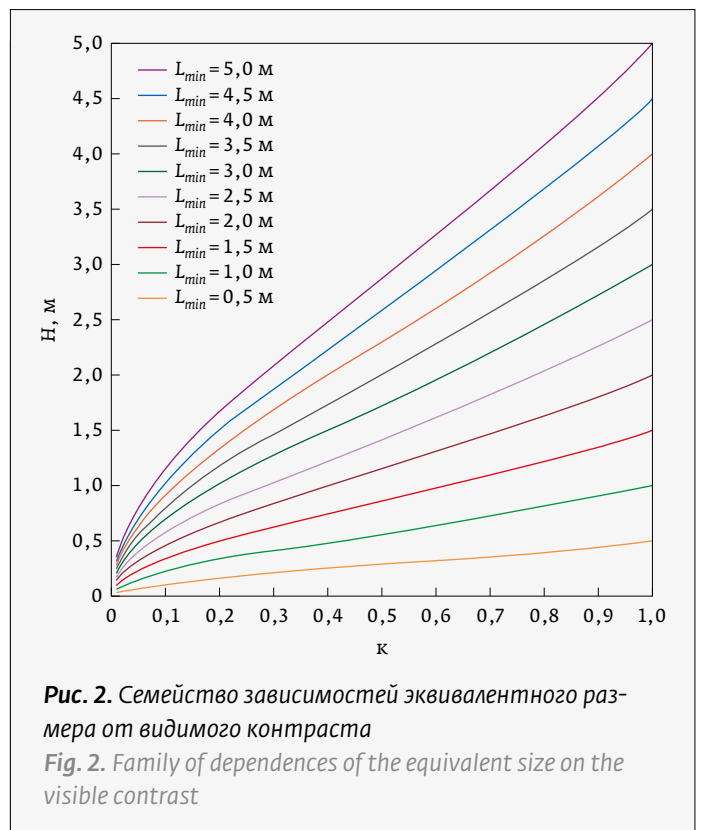
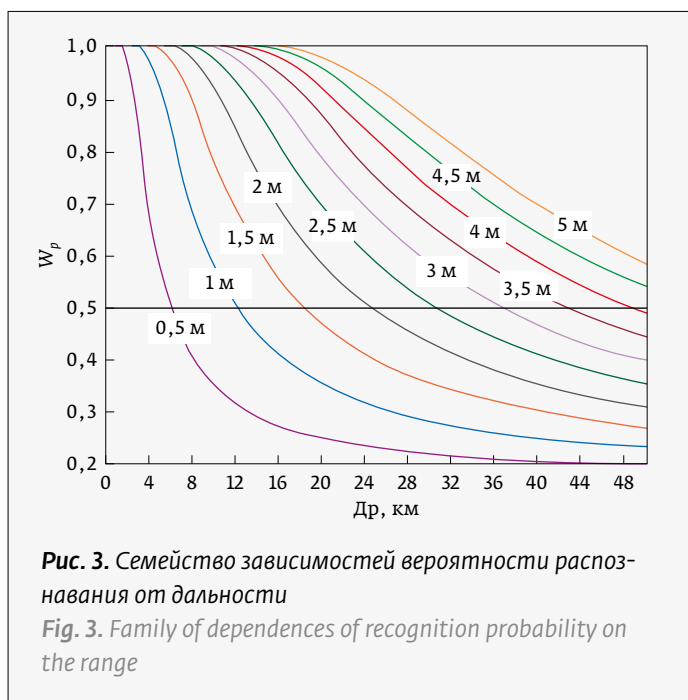


Рис. 2. Семейство зависимостей эквивалентного размера от видимого контраста

Fig. 2. Family of dependences of the equivalent size on the visible contrast



ОЦЕНКА ДОСТУПНОСТИ АЛГОРИТМИЧЕСКИМ МЕТОДОМ

Наряду с приведенным графоаналитическим методом оценки возможностей ТВР был создан алгоритм оперативной методики и выполнена его программная реализация в виде программного обеспечения (ПО) [8]. На рис. 4 представлено главное окно выбора одного из трех видов носителей средств ТВР: воздушных, космических и наземных.

Рассмотрим работу программы на примере воздушного носителя. Выбрав данный режим, оператору необходимо ввести исходные данные по объекту защиты и условиям ведения ТВР, аналогичные графоаналитическому методу: критиче-



The product of the minimum object size and the LR reduction factor in the expression for the generalized parameter x will be denoted as some equivalent size of the object H , with due regard to the LR deterioration $H=L_{\min} \cdot \alpha$. Such representation makes it possible to obtain a family of curves reflecting the dependence of the equivalent size on the apparent contrast $H=f(K)$ for all possible fixed values of the minimum object size (Fig. 2). Moreover, we consider the visible contrast effect on resolution when assessing the TVR capabilities efficiency of measures to protect the immovable objects against the HPW.

Based on the proposed methodological approach, the generalized parameter x is described by the following expression:

$$x = \frac{HR}{D_p} - Q. \quad (9)$$

The expression (9) includes all the data necessary and sufficient for an operational TVR assessment. Then we will get a family of dependences of the object recognition probability on the range for a given reconnaissance type and for possible fixed values of the equivalent object size in the form $W_p = \varphi(D_p)$ at $H = \text{const}$ (Fig. 3).

The dependencies shown in Fig. 3 are obtained for the airborne TVR facilities that correspond to the reconnaissance type coefficient value R . The calculation of these functional dependencies is performed according to the well-known formula [7] approximating the probability integral in the following form:

$$W_p(x) \approx 0,5 \cdot [1 + k_x \cdot \sqrt{1 - \exp(-0,625x^2)}], \quad (10)$$

where $k_x = -1$ at $x < 0$ and $k_x = 1$ at $x \geq 0$.

ACCESSIBILITY ASSESSMENT BY ALGORITHMIC METHOD

Along with the above graphic-analytical method for assessing the TVR capabilities, an operating algorithm was developed with its software implementation in the form of software (SW) [8]. Figure 4 shows the main selection window for one of the three types of TVR carriers: air, space and ground.

Let us consider the program on the example of an air carrier. Having selected this mode, the operator needs to enter the initial data related to the protected object and the TVR usage conditions, similar to the graphic-analytical method, such as the critical linear dimensions and the brightness factor of the object, the background brightness factor. The operator is also provided with an opportunity to select a reconnaissance assessment indicator (for example, discrimina-

ские линейные размеры и коэффициент яркости объекта, коэффициент яркости фона. Также оператору дана возможность выбора показателя оценки ведения разведки (например различение) (рис. 5). Программа рассчитывает функциональные зависимости вероятности обнаружения от дальности ведения ТВР.

Так как средства разведки обладают различными показателями разрешающей способности, влияющими на вычисление эквивалентного размера, то строится семейство кривых, представляющих функциональную зависимость выбранной вероятности от дальности ведения разведки. В качестве примера выберем для анализа эквивалентный размер объекта защиты, равный 0,11 м. Этому размеру на графике соответствует кривая под номером 1. Для того чтобы объект защиты был различен, вероятность различения должна быть не ниже 0,5. Этому показателю соответствует дальность ведения разведки, равная 1 км. Подведя указатель мыши на соответствующую кривую, оператор получает точное значение. Также в программе имеется блок, предназначенный для оценки необходимости ведения мер противодействия техническим разведкам. Для этого необходимо выбрать эквивалентный размер, ввести дальность ведения ТВР. Оператору будут даны рекомендации по мерам ПД ТВР.

Полученное значение дальности ведения разведки используется далее для построения зон разведкоступности объектов защиты от средств ТВР с учетом рельефа местности. Для этого в следующем модуле программы необходимо ввести исходные данные. В командной строке надо выбрать пункт меню «Параметры» и в открывшемся списке выбрать пункт «установить параметры средства разведки». В открывшемся окне оператор задает скорость и высоту полета воздушного носителя средств ТВР, а также полученную дальность ведения разведки. Выбирает вид самолета-разведчика – например самолет иностранной авиакомпании, совершающей рейс на территории Российской Федерации. Затем оператор выбирает режим построения зон разведкоступности: статический и динамический и наносит на электронную карту местоположение объектов защиты.

tion) (Fig. 5). The program calculates the functional dependencies of the detection probability on the TVR range.

Since the reconnaissance facilities have various resolution indicators affecting the equivalent size calculation, a family of curves is plotted that represents the functional dependence of the selected probability on the reconnaissance range. As an example, we will choose for analysis the equivalent size of the protected object, equal to 0.11 m. This size on the graph corresponds to the curve No.1. In order to distinguish the protected object, the discrimination probability must be at least 0.5. This indicator corresponds to a reconnaissance range of 1 km. By moving the mouse pointer to the relevant curve, the operator obtains the exact value. Moreover, the program includes a unit designed to assess the need for countermeasures against the technical intelligence facilities. For this purpose, it is necessary to select an equivalent size, and enter the TVR range. The operator will receive recommendations on the TVR countermeasures.

The obtained value of the reconnaissance range is used further to build the reconnaissance areas of the protected objects against the TVR, with due regard to the terrain. To do this, it is necessary to enter the input data in the next program module. In the command line, select the menu item «Options» and in the available list, select the item «Set the reconnaissance facility parameters». In the window that opens, the operator sets the flight speed and altitude of the air carrier of the TVR equipment, as well as the obtained

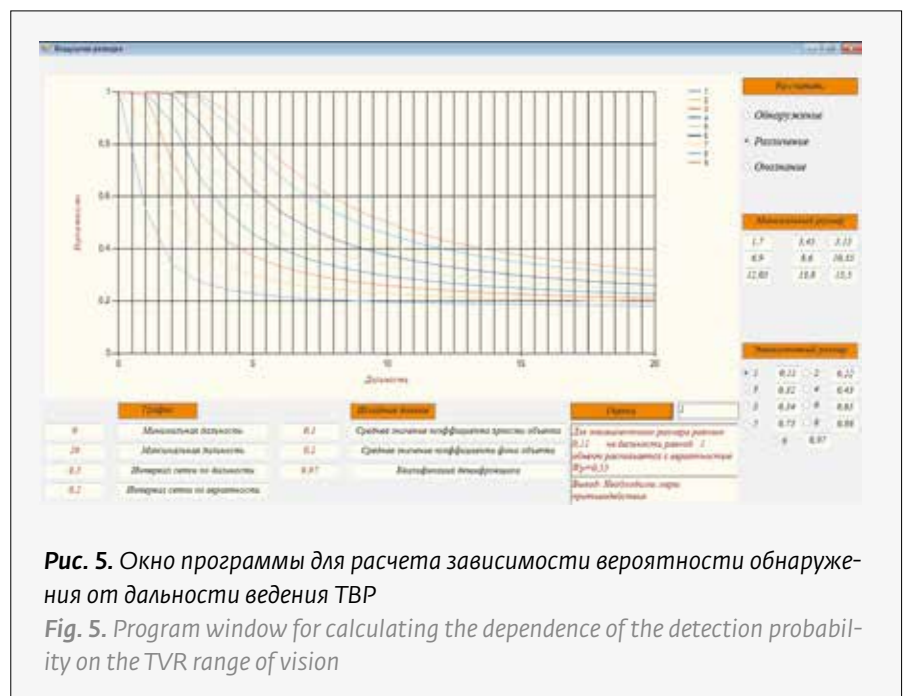


Рис. 5. Окно программы для расчета зависимости вероятности обнаружения от дальности ведения ТВР

Fig. 5. Program window for calculating the dependence of the detection probability on the TVR range of vision



На следующем этапе оператор задает траекторию полета носителя средства ТВР путем нанесения линии на электронной карте. Программа автоматически с учетом профиля рельефа местности и высоты полета самолета строит зону ведения ТВР и выделяет красным цветом объекты защиты, видо-вые демаскирующие признаки которых могут быть различены.

ВЫВОД

Разработанная методика оперативной оценки возможностей ТВР построена на использовании минимального набора исходных данных (средние значения коэффициентов яркости типовых объектов, фонов и покрытий). Минимальный (критический для распознавания) размер объекта реализуется с помощью предварительно рассчитанных графических зависимостей эквивалентного размера объекта от видимого контраста, вероятности распознавания для заданного вида средства разведки. Методика может быть использована в условиях конфликтного противодействия для оперативной оценки возможностей ТВР наземного и воздушного базирования с приемлемой точностью. Кроме того, применение программного обеспечения, основанного на алгоритмическом методе оценки разведдоступности, позволяет значительно повысить оперативность методики. Все это позволяет проводить оценку разведдоступности объектов защиты, выбирать наиболее эффективные меры по ПД ТВР и заблаговременно их применять, что в значительной степени снижает информативность ведения разведки противником.

Дальнейшее направление исследований связано с повышением достоверности оценки путем анализа результатов инструментального контроля средствами оптико-электронного контроля на различных носителях. Наиболее подходящей архитектурой построения алгоритма оценки является применение нейронных сетей для классификации изображений по типу объекта, семантической сегментации и обнаружении объектов. В настоящее время наиболее подходящим типом нейронных технологий для данных задач являются сверточные нейронные сети. Их архитектура предполагает чередование сверточных (convolution) и объединяющих (pooling) слоев.

Сверточные слои необходимы для объединения значений расположенных рядом пикселей из захваченного кадра от средств видовых разведок и выделения низкоуровневых признаков в первом слое и более обобщенных признаков в последую-

reconnaissance range. The operator selects the type of reconnaissance aircraft, for example, an aircraft of a foreign airline making a flight over the territory of the Russian Federation. Then the operator selects the reconnaissance zone development mode (static and dynamic) and indicates the location of protected objects on an electronic map.

At the next stage, the operator sets the flight trajectory of the TVR carrier by drawing a line on an electronic map. With due regard to the terrain profile and the flight altitude of the aircraft, the program automatically sets the TVR control area and highlights in red the protected objects which specific unmasking features can be distinguished.

CONCLUSION

The developed methodology for the operational assessment of the TVR capabilities is based on the use of a minimum set of initial data (average values of the brightness coefficients of typical objects, backgrounds and coatings). The minimum (critical for recognition) size of an object is implemented using the pre-calculated graphical dependences of the equivalent object size on the visible contrast, the recognition probability for a given type of reconnaissance tool. This method can be used in the conditions of conflict countermeasures for the operational assessment of the ground-based and air-based TVR capabilities with an acceptable accuracy. In addition, the use of software based on the algorithmic assessment method for intelligence availability can significantly increase the method efficiency. All these factors make it possible to assess the intelligence availability of the protected objects, to select the most efficient TVR counter measures and apply them in advance that greatly reduces the informational value of enemy reconnaissance.

The further research area is related to the increase in the assessment reliability by analyzing the instrumentation control results using the optoelectronic facilities on various media. The most suitable architecture for an assessment algorithm is the use of neural networks for image classification by object type, semantic segmentation, and object detection. At present, the most suitable type of neural network technologies are convolutional neural networks. Their architecture involves alternation of the convolutional and pooling layers.

The convolutional layers are required to combine the values of adjacent pixels from the captured frame provided by the imagery intelligence means and highlight the low-level features in the first layer and more generalized features in the subsequent ones. In



щих. Практически этими слоями применяется операция свертки ядром свертки – квадратными окнами небольшого размера. Свертка – математическая операция, которая плавно перемещает одну функцию по другой и измеряет интеграл их точечного перемножения. Для получения матрицы или «карты» признаков ядро свертки последовательно сдвигается по горизонтали и вертикали, выполняя данный набор действий. Весовые коэффициенты ядра свертки неизвестны и устанавливаются в процессе обучения нейронной сети. Назначение объединяющих слоев (pooling layers) – сжатие входного изображения или промежуточных карт признаков для сокращения вычислительной нагрузки, расхода памяти и количества параметров нейронной сети.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Леньшин А. В.** *Бортвые системы и комплексы радиоэлектронного подавления.* – Воронеж: ИПЦ «Научная книга», 2014. 590 с. ISBN 978-5-4446-0456-4.
2. **Новичков Н. Н.** *Российское оружие в Сирии: анализ, итоги, выводы.* – М.: ООО «Статус». 2018. 336 с. ISBN 978-5-9906553-2-4.
3. **Меньшаков Ю. К.** *Теоретические основы технических разведок: Учеб. пособие / Под ред. Ю. Н. Лаврухина.* – М.: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2008. 536 с. ISBN 978-5-7038-3019-2.
4. **Меньшаков Ю. К.** *Основы защиты от технических разведок.* – М.: ИПЦ «Маска», 2017. 572 с. ISBN 978-5-906955-18-0.
5. **Леньшин А. В., Кравцов Е. В.** Функциональный метод обобщенных параметров для оперативной оценки возможностей технических средств ТВ-разведки. *Радиотехнические и телекоммуникационные системы.* 2021; 43(3): 23–32.
6. **Леньшин А. В., Кравцов Е. В., Сеньюков Г. А., Рюмшин Р. И.** Оценка возможностей радиотехнической разведки по результатам контроля радиоэлектронных средств комплексом радиотехнического контроля. *Динамика сложных систем – XXI век.* 2016; 10(3): 29–35.
7. **Кравцов Е. В.** Методический подход к комплексной оперативной оценке возможностей выявления сведений об объектах защиты. *Телекоммуникации.* 2020; 9: 33–41.
8. **Васильев А. Н.** *Программирование на C# для начинающих. Особенности языка.* – М.: Эксмо, 2019. 528 с. ISBN 978-5-04-092520-9.

АВТОРЫ

- А. В. Леньшин, профессор ВУНЦ ВВС «ВВА», г. Воронеж, Россия, e-mail: andrey-lenshin@yandex.ru
ORCID: 0000-0001-7540-9351
- Е. В. Кравцов, начальник кафедры ВУНЦ ВВС «ВВА», г. Воронеж, Россия.
ORCID: 0000-0003-0963-0183
- Р. И. Рюмшин, доцент кафедры ВУНЦ ВВС «ВВА», г. Воронеж, Россия.
ORCID: 0000-0001-7470-6282
- И. А. Сидоренко, адъюнкт кафедры ВУНЦ ВВС «ВВА», г. Воронеж, Россия.
ORCID: 0000-0002-7914-0705

ВКЛАД АВТОРОВ

Леньшин А. В.: идея, план работы, предложения и замечания; Кравцов Е. В.: расчет эксперимента, организация работы; Рюмшин Р. И.: проведение эксперимента; Сидоренко И. А.: обработка результатов, предложения по дальнейшему развитию исследований.

ИНФОРМАЦИЯ О КОНФЛИКТЕ ИНТЕРЕСОВ

Авторы статьи заявляют об отсутствии конфликта интересов. Все авторы приняли участие в написании рукописи в рамках своего участия в эксперименте.

practice, these layers apply the convolution operation by the convolution kernel, namely the small square windows. Convolution is a mathematical operation that smoothly moves one function along another and measures the integral of their dot multiplication. In order to obtain a feature matrix or «map», the convolution kernel is sequentially shifted in horizontal and vertical directions, performing a given set of actions. The weight coefficients of the convolution kernel are unknown and are set during the neural network training process. The purpose of pooling layers is to compress the input image or intermediate feature maps to reduce the computational load, storage consumption, and the number of neural network parameters.

AUTHORS

- A. V. Lenshin, professor of Military Educational and Scientific Center of the Air Force «Zhukovskiy and Gagarin Air Force Academy», Voronezh, Russia, e-mail: andrey-lenshin@yandex.ru
ORCID: 0000-0001-7540-9351
- E. V. Kravtsov, head of the department of Military Educational and Scientific Center of the Air Force «Zhukovskiy and Gagarin Air Force Academy», Voronezh, Russia.
ORCID: 0000-0003-0963-0183
- R. I. Ryumshin, associate professor of the department of Military Educational and Scientific Center of the Air Force «Zhukovskiy and Gagarin Air Force Academy», Voronezh, Russia.
ORCID: 0000-0001-7470-6282
- I. A. Sidorenko, adjunct of the department of Military Educational and Scientific Center of the Air Force «Zhukovskiy and Gagarin Air Force Academy», Voronezh, Russia.
ORCID: 0000-0002-7914-0705
- Author contributions: Lenshin A. V.: concept, work plan, suggestions and comments; Kravtsov E. V.: experimental calculations, work arrangement; Ryumshin R. I.: experimental works; Sidorenko I. A.: processing of results, proposals for further research development.

CONFLICT OF INTEREST

The authors of the article declare no conflict of interest. All authors took part in the manuscript preparation as a part of their participation in the experiment.

REFERENCES

1. **Len'shin A. V.** *Bortvoye sistemy i komplekсы radioelektronnogo podavleniya.* – Voronezh: IPC «Nauchnaya kniga», 2014. 590 s. ISBN 978-5-4446-0456-4.
2. **Novichkov N. N.** *Rossiyskoe oruzhie v Sirii: analiz, itogi, vyvody.* – М.: ООО «Status». 2018. 336 s. ISBN 978-5-9906553-2-4.
3. **Men'shakov YU. K.** *Teoreticheskie osnovy tekhnicheskikh razvedok: Ucheb. posobie / Pod red. YU. N. Lavruhina.* – М.: Izd-vo MG TU im. N. E. Bauman, 2008. 536 s. ISBN 978-5-7038-3019-2.
4. **Men'shakov YU. K.** *Osnovy zashchity ot tekhnicheskikh razvedok.* – М.: IPC «Maska», 2017. 572 s. ISBN 978-5-906955-18-0.
5. **Len'shin A. V., Kravcov E. V.** Funktsional'nyy metod obobshchennykh parametrov dlya operativnoy ocenki vozmozhnostey tekhnicheskikh sredstv TV-razvedki. *Radiotekhnicheskie i telekommunikatsionnye sistemy.* 2021; 43(3): 23–32.
6. **Len'shin A. V., Kravcov E. V., Senyukov G. A., Ryumshin R. I.** Ocenka vozmozhnostey radiotekhnicheskoy razvedki po rezul'tatam kontrolya radioelektronnnykh sredstv kompleksom radiotekhnicheskogo kontrolya. *Dinamika slozhnykh sistem – XXI vek.* 2016; 10(3): 29–35.
7. **Kravcov E. V.** Metodicheskij podhod k kompleksnoy operativnoy ocenke vozmozhnostey vyyavleniya svedeniy ob objektah zashchity. *Telekommunikatsii.* 2020; 9: 33–41.
8. **Vasil'ev A. N.** *Programirovanie na C++ dlya nachinayushchih. Osobennosti yazyka.* – М.: Eksmo, 2019. 528 s. ISBN 978-5-04-092520-9.