

Оперативная оценка возможностей средств дистанционного зондирования наземных объектов

А.В. Леньшин, Е.В. Кравцов

*Военный учебно-научный центр Военно-воздушных сил «Военно-воздушная академия имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина» (г. Воронеж)
394064, г. Воронеж, ул. Старых Большевиков, 54а
E-mail: evgenijkravtsov@mail.ru*

*Рассмотрен методический подход для повышения оперативности дистанционного зондирования земных покровов для поиска объектов космическими и воздушными средствами видовой разведки. Предложен алгоритм оперативной оценки возможностей средств дистанционного зондирования и приведен пример его использования при поиске объекта противовоздушной обороны средствами видовой разведки для типовых характеристик объекта поиска, средств и условий ведения видовой разведки.
Ключевые слова: дистанционное зондирование, космические и воздушные средствами разведки, оперативная оценка*

Operational assessment of the capabilities of remote sensing of ground objects

A.V. Lenshin, E.V. Kravtsov

Military Training and Research Center of the Air Force «Air Force Academy named after Professor N. E. Zhukovsky and Yu. A. Gagarin» (Voronezh)

*A methodological approach is considered to improve the efficiency of remote sensing of the Earth's surface to search for objects by space and air means of specific reconnaissance. An algorithm for operational assessment of the capabilities of remote sensing tools is proposed and an example of its use in the search for an air defense object by means of specific intelligence for the typical characteristics of the search object, means and conditions for conducting specific intelligence is given.
Keywords: remote sensing, space and air reconnaissance, operational assessment*

Введение

Дистанционное зондирование земных покровов ведется наземными, авиационными и космическими средствами видовой разведки [1–6]. В настоящее время данные средства видовой разведки обладают мультиспектральными режимами обнаружения объектов поиска, то есть имеют возможность одновременно функционировать в нескольких диапазонах рабочих частот [7]: 0,4...0,7 мкм – с использованием оптических приборов на вертикальных и горизонтальных трассах с учетом оптической неоднородности объектов и фонов; 0,4...0,9 мкм и 0,3... 1,3 мкм – с использованием аппаратуры фото- и телевизионной разведки соответственно; 1,3...3,0 мкм, 3,2...5,2 мкм, 8...14мкм – с использованием аппаратуры инфракрасной видовой разведки; 0,4...1,8 мкм – с использованием пассивного и активного (с непрерывным и импульсным подсветом) режимов, при ведении разведки средствами визуально-оптической разведки.

Для оценки возможностей технических средств видовой разведки необходимо задаться определенными показателями, под которыми обычно понимают некоторые функции, в количественной мере выражающие степень соответствия достигнутых результатов поставленным целям [8–11]. Так как в процессе ведения разведки выделяют несколько этапов (обнаружение объекта разведки, выявление его признаков и распознавание объекта), то в качестве показателей оценки возможностей видовых разведок используют вероятность обнаружения $W_{\text{обн}}(t)$, вероятность выделения

признаков $W_B(t)$ и вероятность распознавания $W_p(t)$ объекта. В силу того, что для видовых разведок форма объекта является главным признаком, при распознавании типа объекта важную роль играют не только контур, но и наличие и расположение характерных внутренних деталей (элементов) объекта. Это определяет наибольшую важность такого показателя, как вероятность распознавания $W_p(t)$ объекта.

Из-за геометрических, яркостных и других искажений реальные объекты на изображениях, полученных средствами дистанционного зондирования наземных объектов, будут представлены с той или иной степенью подобия. Кроме того, отдельные признаки объектов могут проявляться только при определенных условиях, а при перемещении объекта еще и изменяться в течение времени. В этих условиях возникает практическая необходимость повышения оперативности оценок возможностей средств дистанционного зондирования наземных объектов.

Целью данной работы является разработка оперативной методики оценки возможностей средств дистанционного зондирования наземных объектов (видовых разведок).

Методика оперативной оценки возможностей средств дистанционного зондирования наземных объектов

Для решения данной задачи предлагает по аналогии с подходом, изложенным в работе [10], в качестве обобщенной оценки принять функциональную зависимость вероятности распознавания объекта W_p от дальности D_p ведения разведки в виде

$$W_p = f(D_p). \quad (1)$$

Рассмотрим решение данной задачи на следующем примере. Объект ПВО развертывается на площадке, представляющей собой супесчаное вспаханное поле. Необходимо оценить возможности космической телевизионной разведки по распознаванию объекта днем. Объект окрашен зеленой эмалью типа ЭП-140. Его критический размер составляет $L_{\min} = 1,5$ м.

Алгоритм оценки возможностей видовой разведки предполагает выполнение следующих процедур.

1. Определение по справочным данным средних значений коэффициентов яркости объекта и фона в видимом диапазоне. Для рассматриваемого случая $\bar{r}_O \approx 0,1$; $\bar{r}_\Phi \approx 0,42$.

2. Определение значения видимого контраста K «объект–фон»

$$K = \left| \bar{r}_O - \bar{r}_\Phi \right| / \max \left\{ \bar{r}_O, \bar{r}_\Phi \right\}. \quad (2)$$

В нашем случае $K = |0,1 - 0,42| / 0,42 \approx 0,8$.

3. С использованием семейства зависимостей $H = f(K)$ эквивалентного размера объекта от видимого контраста (рисунок 1) для $L_{\min} = 1,5$ м, $K \approx 0,8$ находим эквивалентный размер H .

Этот размер с учетом коэффициента снижения разрешающей способности для найденного видимого контраста «объект–фон» составляет $H \approx 1,25$ м.

4. По графику $W_p = f(D_p)$ на рисунке 2, где представлен фрагмент зависимостей вероятности распознавания от дальности для космической разведки, по кривой для эквивалентного размера $H \approx 1,25$ м оцениваем возможности телевизионной разведки. Таким образом, объект распознается с вероятностью $W_p \geq 0,5$ на дальностях $D_p \leq 370$ км. В виду того, что высота перигея космических аппаратов оптико-электронной разведки составляет ~ 270 км, необходимы меры по снижению заметности объекта разведки [12].

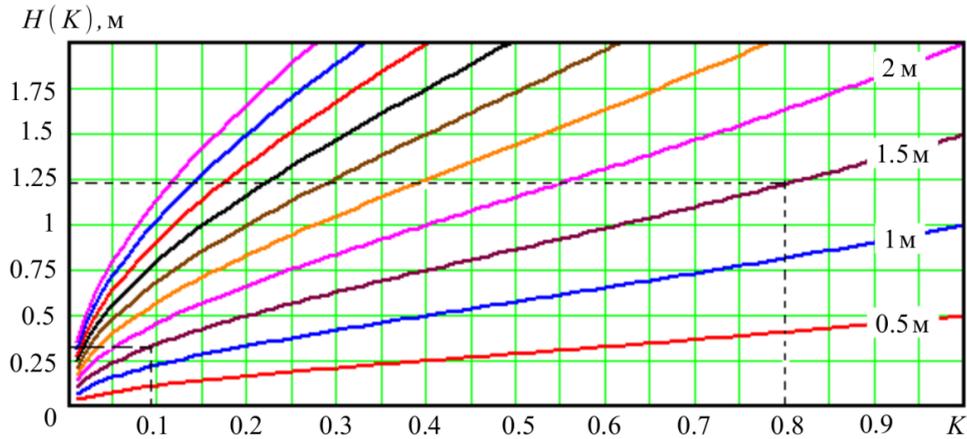


Рис.1. Зависимости эквивалентного размера объекта от видимого контраста

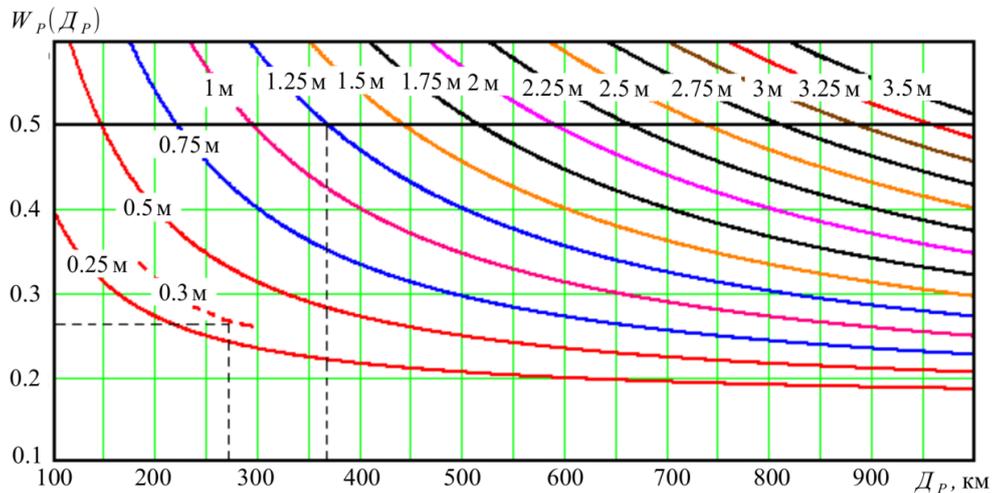


Рис.2. Фрагмент зависимости вероятности распознавания от дальности для космической разведки

5. В качестве таких мер рассмотрим использование маскировочного комплекта со средним коэффициентом яркости $\bar{r}_k \approx 0,46$.

6. Выполним оценку принятых мер снижения заметности, для этого:

а) Рассчитаем значение видимого контраста $K_{\text{пд}}$ «маскировочный комплект–фон»:

$$K_{\text{пд}} = \frac{|\bar{r}_k - \bar{r}_\Phi|}{\max\{\bar{r}_k, \bar{r}_\Phi\}} = \frac{|0,46 - 0,42|}{0,46} \approx 0,09.$$

б) По графику $H = f(K)$ (рис. 1) для $L_{\text{мин}} = 1,5$ м, $K_{\text{пд}} \approx 0,09$ найдем эквивалентный размер для видимого контраста «маскировочный комплект–фон»: $H_{\text{пд}} \approx 0,3$ м.

в) По графику $W_p = f(D_p)$ (рис. 2) для $H_{\text{пд}} \approx 0,3$ м и дальности перигея космического аппарата 270 км находим вероятность распознавания $W_p \leq 0,3$.

Следовательно, меры по снижению заметности эффективны.

Аналогичную задачу рассмотрим применительно к оценке возможностей воздушной видовой разведки. Для этого, используя результаты шагов алгоритма 1–3, 6, найдем соответствующие оценки по графикам $W_p = f(D_p)$ для воздушной разведки (рис. 3), где

представлен фрагмент зависимостей вероятности распознавания от дальности для воздушной видовой разведки.

Результаты оценки: объект распознается с вероятностью $W_p \geq 0,5$ на дальностях:

а) $D_{p \max} \leq 17,5$ км в предельном случае, то есть при абсолютном значении контраста $K = 1$ ($H \approx 1,5$ м);

б) $D_p \leq 14,5$ км при видимом контрасте $K \approx 0,8$ ($H \approx 1,25$ м) в отсутствие мер снижения заметности;

в) $D_{p \text{ ПД}} \leq 3,5$ км при принятии мер снижения заметности для видимого контраста $K_{\text{ПД}} \approx 0,09$ ($H_{\text{ПД}} \approx 0,3$ м).

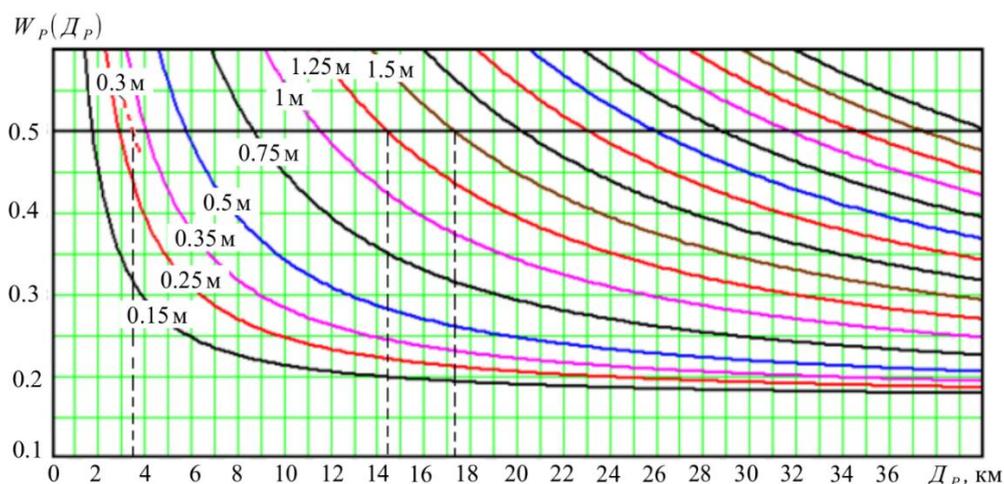


Рис. 3. Фрагмент зависимостей вероятности распознавания от дальности для воздушной разведки

Таким образом, за счет мер снижения заметности дальность воздушной телевизионной разведки сокращается примерно в четыре раза (при принятом за норму значении $W_p < 0,5$).

Представляет интерес использование предлагаемого подхода для сопоставительного сравнения уровней распознавания по критерию Джонсона [13]. Результаты такого сравнения для космической разведки в дневное время иллюстрируются рисунком 4, на котором приведены графики сравнения уровней распознавания для космической разведки.

Сравнение проведено для распознавания объектов с критическими размерами $L_{\min} = 0,5$ м и $L_{\min} = 1$ м при идеальных условиях (для единичного контраста).

Выводы

По результатам проведенного исследования можно сделать следующие выводы.

Относительно средств дистанционного зондирования космического базирования (космической видовой разведки):

1. Оpoznание (определение типа объекта) объектов с минимальным размером $L_{\min} = 0,5$ м при идеальных условиях с высоты перигея (270 км) реализуется с вероятностью не более 0,35 днем и не более 0,25 ночью. Надежное опознание в указанных условиях с $W_p \geq 0,5$ реализуется для объектов с $L_{\min} \geq 1$ м днем и с $L_{\min} \geq 1,8$ м ночью.

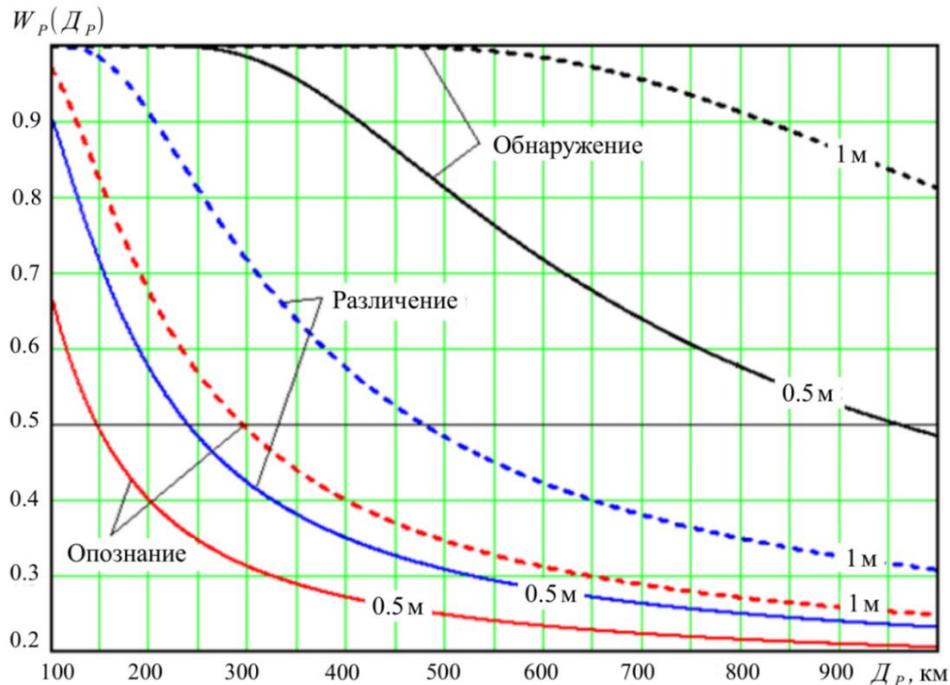


Рис. 4. Графики сравнения уровней распознавания для космической разведки

2. Различение (определение подкласса) объектов с $L_{\min} = 0,5$ м реализуется в указанных условиях с $W_p \approx 0,5$ днем и с $W_p \approx 0,32$ ночью.

3. Обнаружение объектов с $L_{\min} = 0,5$ м реализуется с вероятностью не менее 0,5 днем с высоты до 1000 км и ночью с высоты до 700 км.

Относительно средств дистанционного зондирования воздушного базирования (воздушной видовой разведки):

1. Надежное опознание объектов с $L_{\min} = 0,5$ м реализуется днем с высоты до 6 км и ночью с высоты до 1 км при плановом наблюдении.

2. Надежное опознание объектов с $L_{\min} \leq 2$ м днем ограничивается высотами до 20 км, ночью – до 3 км.

Литература

1. Радиолокационные системы воздушной разведки, дешифрирование радиолокационных изображений / Под ред. Л.А. Школьного. М.: ВВИА им. проф. Н.Е. Жуковского, 2008. 531 с.
2. Кондратенков Г.С., Фролов А.Ю. Теоретические основы построения радиолокационных систем дистанционного зондирования Земли: учебник для слушателей и курсантов инженерных вузов ВВС. М.: Изд. ВВИА им. проф. Н.Е. Жуковского, 2009. 360 с.
3. Верба В.С., Неронский Л.Б., Турук В.Э. Перспективные технологии цифровой обработки радиолокационной информации космических РСА. М.: Радиотехника, 2019. 416 с.
4. Купряшкин И.Ф., Лихачев В.П. Космическая радиолокационная съемка земной поверхности в условиях помех: монография. Воронеж: ИПЦ «Научная книга», 2014. 460 с.
5. Мельников Ю.П. Воздушная активно-пассивная разведка надводных кораблей. Методы оценки эффективности. М.: Радиотехника, 2017. 500 с.

6. Шовенгердт Р.А. Дистанционное зондирование. Модели и методы обработки изображений. М.: Техносфера, 2010. 560 с.
7. Кравцов Е.В., Волков А.В., Куцев С.С., Рюмшин Р.И. Теоретические основы технических разведок: учебное пособие. Воронеж: ВУНЦ ВВС «ВВА», 2017. 307 с.
8. Свидетельство о гос. регистрации программы для ЭВМ. Программа оперативной оценки возможностей оптико-электронной разведки / Е.В. Кравцов, И.В. Купин, С.В. Татаринцев, Р.И. Рюмшин. № 2019614147 (РФ); зарег. 01.04.2019.
9. Леньшин А.В., Кравцов Е.В. Методика адаптивного распределения сил и средств комплексного технического контроля по объектам защиты в различных физических полях разнесенного приема // Радиотехнические и телекоммуникационные системы. 2020. № 4. С. 15–22.
10. Леньшин А.В., Кравцов Е.В. Оптимизация распределения разнородного ресурса комплексов и средств комплексного технического контроля по объектам защиты в различных физических полях // Телекоммуникации. 2021. № 2. С. 17–20.
11. Кравцов Е.В. Методический подход к комплексной оперативной оценке возможностей выявления сведений об объектах защиты // Телекоммуникации. 2020. №9. С. 42–47.
12. Обнаружение и координатометрия оптико-электронных средств, оценка параметров их сигналов: Монография / Под ред. Ю.Л. Козирацкого. М.: Радиотехника, 2015. 456 с.
13. Тарасов В.В., Якушенков Ю.Г. Инфракрасные системы «смотрящего» типа. М.: Логос, 2004. 452 с.