

Автоматизация системы оперативной оценки обнаружения объектов комплексного технического контроля средствами радиолокационной видовой разведки

И.А. Сидоренко¹, А.В. Леншин¹, Е.В. Кравцов¹

¹ 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: andrey-lenshin@yandex.ru

Разработаны алгоритмы автоматизации оперативной оценки возможностей радиолокационной видовой разведки, которые основаны на применении в качестве показателя оценки зависимости вероятности обнаружения объекта от дальности разведки при типизации исходных данных по средству ведения разведки, обнаруживаемому объекту защиты и условиям ведения разведки.

Automation of the system of operational assessment of detection of objects of complex technical control by means of radar specific reconnaissance

I.A. Sidorenko¹, A.V. Lenshin¹, E.V. Kravtsov¹

¹ Military Training and Research Center of the Air Force «Air Force Academy named after Professor N.E. Zhukovsky and Yu.A. Gagarin» (Voronezh)

Algorithms for automating the operational assessment of the capabilities of radar specific reconnaissance have been developed, which are based on the use as an indicator of the dependence of the probability of detecting an object on the range of reconnaissance when typing initial data on the means of conducting reconnaissance, the detected object of protection and the conditions of conducting reconnaissance.

Введение

Современные активные и полуактивные средства радиолокации воздушного и космического базирования являются эффективным инструментом обнаружения наземных и морских объектов [1–5]. Анализ возможностей радиолокационной видовой разведки (РЛР-В) иностранных государств по добывания и вскрытия охраняемых сведений о Вооруженных Сил Российской Федерации показывает, что ведущие страны мира активно наращивают возможности и количество носителей средств радиолокационной разведки. В настоящее время для оценки эффективности противодействия (ПД) данным разведкам используется методический аппарат, разработанный ФСТЭК России. Опыт его практического применения показывает сложность проводимых вычислительных процедур в полевых условиях, а также требования достаточно большого резерва времени, который на практике отсутствует. В связи с этим, возникает необходимость автоматизации оценки возможностей радиолокационной видовой разведки и разработки специализированного программного обеспечения, решающего данные задачи. В результате проведенного анализа возможностей технических средств и применяемого методического аппарата разработаны два алгоритма для оперативной оценки возможностей радиолокационной разведки противника, отвечающие основным требованиям войсковой практики [6, 7]: простота реализации, минимальное количество исходных данных, минимальное время

на проведение, наглядность, приемлемая достоверность, возможность автоматизации расчетов с применением ЭВМ.

Постановка задачи

Оперативная оценка возможностей РЛР-В может быть реализована в двух вариантах. Первый вариант – графоаналитический – основывается на обобщении данных по средствам разведки, объекту разведки, условиям разведки и представлении их в виде графических зависимостей, которые используются для получения численных значений оценки возможностей РЛР-В [8, 9]. Этот вариант предполагает наличие указанных графиков и проведение элементарных расчетов, для которых не обязательны вычислительные средства. Второй вариант – автоматизированный – основывается на файловых данных, в виде которых представляются полученные в [9] зависимости и использовании аналитических соотношений, которые оформляются в виде программно-алгоритмической реализации. Этот вариант предполагает наличие вычислительных средств с заранее установленной программой оценки.

Графоаналитический вариант методики оперативной оценки возможностей РЛВ-В строится на базах данных:

1. По средству разведки (вид разведки) – зависимости вероятности распознавания от дальности $W_p = f(D_p)$ для различных фиксированных значений коэффициента объект–фон, рассчитанные заранее для видов разведки в заданном диапазоне длин волн; диапазон длин волн, в котором ведется РЛР-В; высота (эшелон высот) ведения воздушной РЛР-В H_p , [км].

2. По объекту разведки – данные по средним значениям ЭПР объекта $\sigma_{об}$, [м²], в заданном диапазоне длин волн; данные по значениям геометрических размеров объекта, [м], или площади объекта $S_{об}$, [м²].

3. По условиям ведения разведки – усредненный график зависимости коэффициента затухания от частоты $\alpha(f_c)$, [дБ/км]; график множителя ослабления сигнала в атмосфере $V(\alpha \cdot D_p)$; тип фона и его удельная ЭПР σ_ϕ , [м²], в заданном диапазоне рабочих частот; значения коэффициентов ослабления мощности сигнала поглощающим покрытием k_{pnn} при использовании радиопоглощающего покрытия (РПП); данные по типу и параметрам радиолокационных масок-экранов в случае их использования; данные по типу и параметрам лесного массива при соответствующем расположении объекта относительно средства РЛВ-В; графики для оценки угла зондирования объекта; графики зависимости множителя ослабления в лесу.

Алгоритм графоаналитического варианта методики оперативной оценки возможностей РЛР-В и эффективности мер противодействия (ПД) техническим средствам разведки (ТСР) с применением графиков рассмотрим на примере оценки возможностей воздушной РЛР-В по обнаружению крылатой ракеты при ее выгрузке на фоне степи с зеленой травой без учета и с учетом ослабления в атмосфере и оценим необходимость маскировки радиопоглощающим покрытием.

На основании справочных данных по ЭПР типовых объектов необходимо найти значения ЭПР и площади объекта: $\sigma_{об} = 1$ м², $S_{об} = 3 \times 0,8 = 2,4$ м². На основании справочных данных по ЭПР типовых фонов находим удельную ЭПР фона $\sigma_\phi = 0,01$ м². Определяем отношение ЭПР объекта к площади объекта $\sigma_{об} / S_{об} = 1 / 2,4 = 0,42$ и коэффициент объект–фон $k_{оф} = |\sigma_{об} / (S_{об} - \sigma_\phi)| = 0,42 - 0,01 = 0,41$. По семейству кривых для выбранного вида разведки $W_p = f(D_p)$ находим график, соответствующий

$k_{оф} = 0,41$, и определяем границы зон для пороговых вероятностей обнаружения $W_0 = 0,3$ и $W_0 = 0,8$, а также дальность обнаружения для вероятности $W_0 = 0,5$.

Используем для большей наглядности только необходимые кривые, представленные на рисунке 1. Для кривой $k_{оф} = 0,41$ на рис. 1 получаем: а) дальность разведки для $W_0 = 0,5$ составляет $D_p \approx 110$ км; б) граница зоны скрытия объекта $D_{p1} > 138$ км; в) граница зоны скрытия формы объекта $D_{p2} > 73$ км.

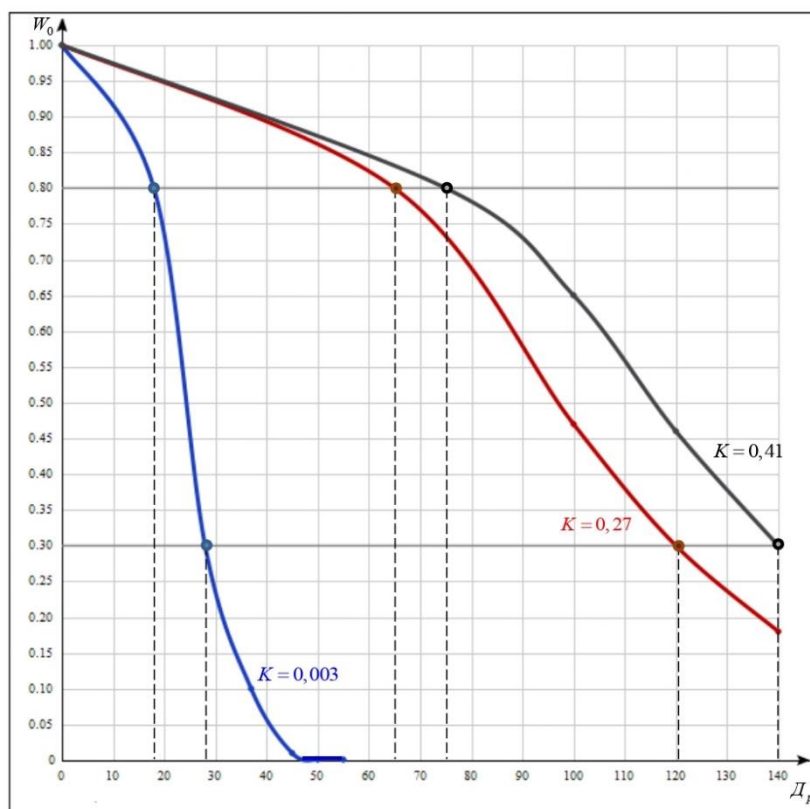


Рис. 1. Оценка возможностей РЛР-В

Исходя из полученных значений, необходимо найти ослабление по графику $\alpha(f)$ (рисунок 2), для частоты сигнала радиолокационных средств с синтезированием апертуры (РСА) $f_c \approx 10$ ГГц значение коэффициента затухания $\alpha \approx 0,008$ дБ/км.

Зная множитель ослабления, определяем потери на трассе: $z = \alpha \cdot D_p = 0,008 \cdot 110 = 0,88$ дБ и по графику, представленному на рисунке 3, находим значение множителя ослабления, которое составило $V \approx 0,67$.

Уточняем значение коэффициента объект-фон: $k_{оф} \cdot V = 0,41 \cdot 0,67 \approx 0,27$ и на графиках $W_0 = f(D_p)$ находим кривую, соответствующую уточненному значению коэффициента $k_{оф} = 0,27$ (рис. 1) и определяем границы зоны скрытия:

- а) граница зоны скрытия объекта $D_{p1} > 120$ км;
- б) граница зоны скрытия формы объекта $D_{p2} > 66$ км.

Сравнение границ с учетом и без учета ослабления свидетельствует об их близких значениях и о том, что для рассматриваемых дальностей учет ослабления можно исключить, поскольку это предполагает более жесткие требования к противодействию.

Вместе с тем, очевидно, что в обоих случаях необходимы меры по маскировке объекта с помощью радиопоглощающих материалов [10, 11]. Используем типовое покрытие с коэффициентом поглощения энергии волны в рассматриваемом диапазоне, равным $k_{pnn} = 15$ дБ (0,032).

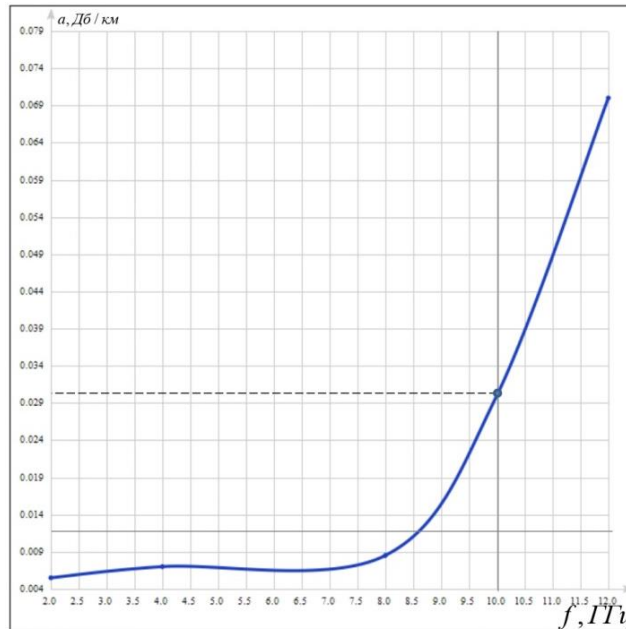


Рис. 2. График зависимости коэффициента затухания в атмосфере от частоты сигнала РСА

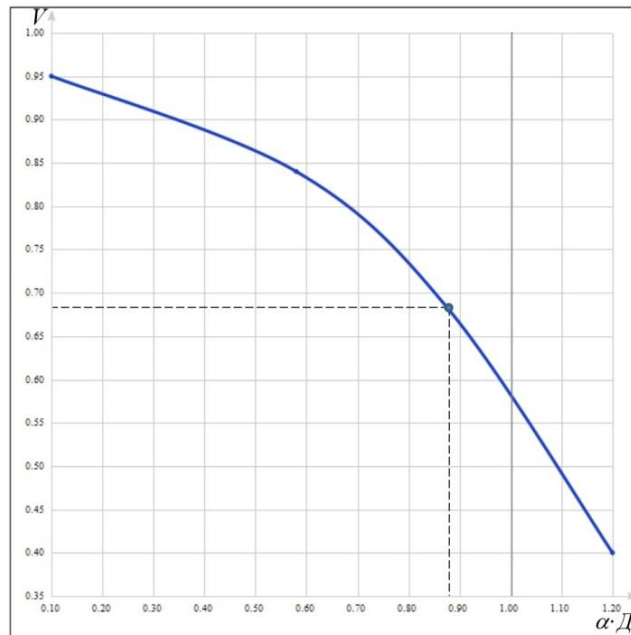


Рис. 3. Фрагмент графика зависимости множителя ослабления от потерь на трассе

Тогда значение $k_{оф}$ с учетом мер защиты находится как:
 $k_{оф} = |\sigma_{об} \cdot k_{pnn} / (S_{об} - \sigma_{ф})| = 0,42 \cdot 0,032 - 0,01 = 0,003$.

Кривая, соответствующая найденному значению $k_{оф} = 0,003$ на рис. 1, и будет характеризовать принятые меры противодействия РЛР-В с точки зрения их эффективности:

- а) граница зоны скрытия объекта $D_{P1} > 26$ км (выигрыш в 5,3 раза);
- б) граница зоны скрытия формы объекта $D_{P2} > 16$ км (выигрыш в 4,7 раза).

Следовательно, принятые меры противодействия средствам РЛР-В эффективны.

Альтернативный способ решения данной задачи – автоматизированная методика оперативной оценки возможностей РЛР-В. Для его реализации требуется следующая база данных:

1. По средству разведки представляется:

– в виде соответствующих файлов, в которые переведены графики зависимости вероятности обнаружения от дальности $W_0 = f(D_P)$;

– рабочий диапазон длин волн РСА, [м];

– высота (эшелон высот) носителей РСА H_P [км] (может отсутствовать);

– ориентировочная дальность до района полетов по Земле D_{P3} , [км] (может отсутствовать);

– при отсутствии заранее сформированных файловых данных в виде $W_0 = f(D_P)$ необходимо наличие (подготовка) усредненных по принятым видам разведки следующих параметров: $P_{Л.},$ [Вт]; $G_{Л.}$; $P_{ПР.},$ [Вт]; $\lambda,$ [м]; $B, \mu,$ [дБ]; $V_H,$ [м/с]; $F_{П.},$ Гц; $\varphi,$ град; $\Delta l,$ [м]. При этом значение разрешающей способности РСА следует принимать близкой к наилучшей.

2. По объекту разведки:

– данные по средним значениям ЭПР объекта $\sigma_{об},$ [м²], в заданном диапазоне длин волн;

– данные по средним значениям геометрических размеров объекта, $m \times m,$ или площади объекта $S_{об},$ [м²].

3. По условиям ведения разведки:

– данные по коэффициентам поглощения электромагнитных волн в листве $\alpha_{л.},$ [дБ/м];

– файловое представление усредненного графика зависимости коэффициента затухания от частоты $\alpha(f_C),$ [дБ/км];

– файловое представление графика зависимости множителя ослабления на трассе $V;$

– файловое представление графика зависимости угла визирования объекта $\beta,$ град, (при расположении объекта в лесу);

– файловое представление графиков зависимости множителя ослабления в кронах деревьев $V_{л.}$ (при расположении объекта в лесу);

– значения коэффициентов ослабления мощности сигнала поглощающим покрытием $k_{рпн}$ при использовании РПП;

– данные по типу и параметрам радиолокационных масок-экранов в случае их использования.

Алгоритм автоматизированного варианта оперативной оценки для заданной в соответствии с исходными данными ситуацией начинается с определения по справочным данным ЭПР типовых объектов и фонов ($\sigma_{об}, S_{об}, \sigma_{ф}$) определяется значение коэффициента объект-фон в общем случае по формуле

$$k_{оф} = \left| \frac{\sigma_{об}}{S_{об} \cdot \eta} \cdot k_{рnn} - \sigma_{ф} \right| \cdot V \cdot V_{Л}. \quad (1)$$

При этом на начальном этапе можно принять: $\eta = 1$; $k_{рnn} = 1$; $V = 1$; $V_{Л} = 1$ (меры ПД РЛР-В не приняты, ослабление на трассе распространения ЭМВ и в лесу отсутствуют). При наличии файловых данных с зависимостями $W_0 = f(D_p)$ по видам разведки визуализируется кривая, соответствующая найденному раннее значению $k_{оф}$.

При отсутствии таковых производится расчет коэффициента вида разведки по усредненным параметрам для принятого вида разведки в соответствии с соотношением

$$k_{ер} = \frac{P_{Л} \cdot G_{Л}^2 \cdot \lambda^3 \cdot B \cdot F_{П} \cdot \mu \cdot N_{Н} \cdot \Delta l}{2 \cdot (4\pi)^3 \cdot P_{Ш} \cdot V_{Н} \cdot \sin \varphi}, \quad (2)$$

где $P_{Л}$ – импульсная мощность передатчика РЛС; $G_{Л}$ – коэффициент усиления антенны РЛС; λ – длина волны; B – база сигнала; $F_{П}$ – частота повторения импульсов; μ – коэффициент потерь в ВЧ тракте (4...7 дБ); $N_{Н}$ – количество некогерентных суммирований изображений одного и того же участка для уменьшения спекл-шумов (обычно $N_{Н} \approx 2...5$); Δl – разрешающая способность по азимуту; $P_{Ш}$ – мощность шума; $V_{Н}$ – скорость носителя; φ – угол наблюдения относительно вектора путевой скорости.

Затем рассчитывается и визуализируется $W_0 = f(D_p)$ для найденных $k_{оф}$ и $k_{ер}$ в соответствии с формулой

$$W_0 = (W_{ЛТ})^{\frac{1}{1+k_{ер} \cdot k_{оф} \cdot D_p^3}}. \quad (3)$$

Значение вероятности ложной тревоги принимается «в пользу разведки» верхним граничным $W_{ЛТ} = 10^{-4}$, далее находятся граничные значения зоны обнаружения (скрытия) объекта D_{p1} и зоны распознавания (скрытия) формы объекта D_{p2} для пороговых вероятностей $W_0 = 0,3$ и $W_0 = 0,8$ соответственно. При известной (или принятой) дальности разведки D_p определяется вероятность обнаружения объекта W_0 , соответствующая этой дальности.

По полученным граничным значениям или вероятности обнаружения объекта возможно принятие следующих решений:

1. О необходимости учета поглощения в атмосфере (для $D_p \leq 100$ км этим учетом можно пренебречь «в пользу разведки»).

При принятии такого решения по файловым данным с помощью соответствующей программной реализации для заданных λ и D_p находятся значения $\alpha(f_c)$, [дБ/км]; $z = \alpha \cdot D_p$, [дБ]; множитель ослабления $V = 10^{-0,2\alpha \cdot D_p}$. Затем в соответствии с (1) уточняется значение коэффициента объект–фон $k_{оф}$ и определяется и визуализируется в соответствии с (3) зависимость $W_0 = f(D_p)$, по которой уточняются границы зон и вероятность обнаружения объекта.

2. О необходимости принятия мер противодействия средствам РЛР-В.

В случае применения РПП используются справочные данные по $k_{рnn}$ и находится по (1) новое значение $k_{оф}$. Далее повторяются действия п. 1 и делается вывод об эффективности принятой меры ПД средствам РЛР-В.

В случае применения маски–экрана используются справочные данные по параметрам масок и находится коэффициент снижения ЭПР объекта η

$$\eta \approx \frac{\lambda}{10 \cdot H(\lambda) \cdot r}, \quad (4)$$

где $r \approx \lambda/6$ – линейный размер ячейки сеточного экрана; $H(\lambda)$ – эмпирическая функция.

Далее повторяются действия, как и для случая применения РПП.

3. О необходимости учета экранирующего действия крон деревьев при расположении объекта разведки в лесу (учитывается в сантиметровом диапазоне длин волн).

При принятии такого решения используются справочные данные по виду леса, коэффициентам поглощения электромагнитных волн в листве α_l , [дБ/м]; высоте крон деревьев $h_{кр}$, [м], примерной высоте носителя РЛР-В H_p , [км]; примерной дальности разведки по Земле $D_{pз}$, [км]. На основании этих данных производится расчет множителя ослабления в лесу $V_{л}$ в соответствии с соотношением

$$V_{л} = 10^{-0,2\alpha_l \cdot \frac{h_{кр}}{\sin[\arctg(H_p/D_{pз})]}}. \quad (5)$$

Далее определяется значение $k_{оф}$ и повторяются указанные ранее операции по оценке возможностей РЛР-В.

Вывод

Представленный методический подход позволяет оперативно оценивать возможности радиолокационной видовой разведки при недостатке исходных данных. Кроме того, предложенные решения могут быть автоматизированы в виде комплекса специальных программных средств оценки возможности обнаружения объектов защиты, тем самым значительно увеличить оперативность проведения оценки, а также автоматизировать процесс принятия решения о применяемых средствах противодействия РЛР-В.

Литература

1. Skolnik M.I. Radar Handbook. Third Edition. The McGraw-Hill Companies, 2008. 1351 p.
2. Barton D.K. Radar System Analysis and Modeling. Boston-London: Art. House, 2005. 545 p.
3. Lacomme Ph., Hardange J.-Ph., Marchais J.-C., Normant E. Air and Spaceborn Radar System: An Introduction. Norwich: William Andrey Publishing, LLC, 2001. 504 p.
4. Авиационные системы радиовидения: монография / Под ред. Г.С. Кондратенкова. М.: Радиотехника, 2015. 648 с.
5. Купряшкин И.Ф., Лихачев В.П. Космическая радиолокационная съемка земной поверхности в условиях помех: монография. Воронеж: ИПЦ «Научная книга», 2014. 460 с.
6. Леньшин А.В., Кравцов Е.В. Функциональный метод обобщенных параметров для оперативной оценки возможностей технических средств разведки // Радиотехнические и телекоммуникационные системы. 2021. № 3. С. 23–32.
7. 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. № 3. С. 29–35.

8. Кравцов Е.В. Методический подход к комплексной оперативной оценке возможностей выявления сведений об объектах защиты // Телекоммуникации. 2020. №9. С. 33–41.
9. Кравцов Е.В. Методика оперативной оценки возможностей радиолокационной видовой разведки // Теория и техника радиосвязи. 2022. № 1. С. 38–46.
10. Леньшин А.В. Бортовые системы и комплексы радиоэлектронного подавления. Воронеж: ИПЦ «Научная книга», 2014. 590 с.
11. Верба В.С., Неронский Л.Б., Осипов И.Г., Турук В.Э. Радиолокационные системы землеобзора космического базирования. М.: Радиотехника, 2010. 675 с.