

ОСОБЕННОСТИ ПОСТРОЕНИЯ МАТЕМАТИЧЕСКОГО АППАРАТА ОЦЕНКИ ВОЗМОЖНОСТЕЙ РАДИОЛОКАЦИОННОЙ ВИДОВОЙ РАЗВЕДКИ

Сидоренко Иван Андреевич

адъюнкт 54 кафедры противодействия техническим средствам разведки Военного учебно-научного центра Военно-воздушных сил «Военно-воздушная академия имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина».

E-mail: Ivan.Sidorenko.95@yandex.ru

Леньшин Андрей Валентинович

доктор технических наук, профессор, профессор 101 кафедры авиационных радиоэлектронных комплексов Военного учебно-научного центра Военно-воздушных сил «Военно-воздушная академия имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина».

E-mail: andrey-lenshin@yandex.ru

Кравцов Евгений Владимирович

кандидат технических наук, доцент, начальник 54 кафедры противодействия техническим средствам разведки Военного учебно-научного центра Военно-воздушных сил «Военно-воздушная академия имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина».

E-mail: evgenijkravtsov@mail.ru

Адрес: 394064, Российская Федерация, г. Воронеж, ул. Старых Большевиков, д. 54 А.

Аннотация: Разработан и автоматизирован математический аппарат для оперативной оценки возможностей радиолокационной видовой разведки с учётом множителя ослабления зондирующего сигнала, который основан на использовании в качестве показателя функциональной зависимости вероятности обнаружения объекта от угла зондирования и дальности разведки.

Ключевые слова: радиолокационная видовая разведка, оперативная оценка, зондирующий сигнал, множитель ослабления, вероятность обнаружения.

В современных условиях достоверную информацию о местонахождении и составе войск противника, его экономическом потенциале получают за счёт активного использования воздушных и космических средств радиолокационной разведки. Среди перечисленных средств космические радиолокационные системы (РЛС) занимают особое место благодаря ряду принципиальных преимуществ [1–3]. В частности, использование принципа синтеза апертуры антенны (РСА) [4] и широкополосных зондирующих сигналов, новых алгоритмов их обработки [5–7] позволяют резко повысить детальность радиолокационного изображения и приблизить информационные возможности радиолокационных средств к оптическим. В большинстве случаев современные космические РСА являются системами двойного назначения: при повседневном

функционировании данные системы применяются для оценки состояния морской поверхности, лесных массивов, сельскохозяйственных угодий и др., однако при необходимости возможно их использование и для решения различных задач военного характера [2].

Для обобщённой оперативной оценки возможностей радиолокационной видовой разведки (РЛР-В) правомерно использовать в качестве нормативных показателей обоснованные значения вероятностей обнаружения (скрытия) объектов либо дальностей, соответствующих этим вероятностям [8]. Однако данный подход не учитывает ослабления и угол зондирования. Для повышения точности оперативной оценки возможностей РЛР-В возникает необходимость проведения анализа влияния множителя ослабления и угла зондирования на вероятности обнаружения и вскрытия объекта. Подоб-

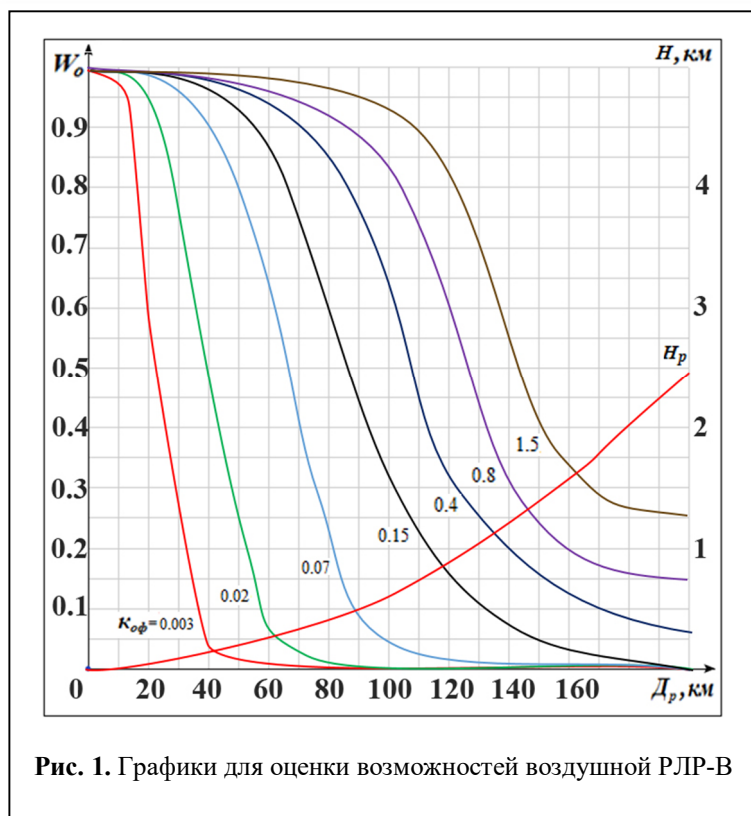


Рис. 1. Графики для оценки возможностей воздушной РЛР-В

ный анализ может заключаться в определении соответствия эшелона возможных высот носителя РСА H_p , диапазона возможных дальностей расположения объекта разведки D_p и соответствующих углов зондирования β .

Целью работы является повышение качества оперативной оценки возможностей средств РЛР-В, позволяющей связать вероятность обнаружения объекта W_0 , дальность ведения разведки D_p и соответствующие углы зондирования β .

Поскольку распознавание типа (класса) объекта связано с оценкой его формы, то пороговые значения вероятностей могут быть найдены из условия не превышения ошибки в оценке формы более, чем на 10 % (по аналогии с измерениями, когда допустимая ошибка не должна превышать 0,1 от абсолютного значения измеряемой величины). Данное условие соответствует вероятности обнаружения $W_0 \geq 0,8$. Тогда в первом приближении для задачи распознавания формы объекта в каче-

стве порогового значения можно принять условие $W_{РАСП} \approx W_0 \geq 0,8$, а для задачи скрытия формы – условие $W_{СКР} \approx W_0 \geq 0,8$. Дальности D_p , соответствующие указанным условиям, которые можно найти из рис. 1 для заданной ситуации, будут определять зону распознавания типа объекта и зону скрытия типа объекта.

Для нахождения указанных зон пороговые значения вероятностей $W_0 = 0,3$ и $W_0 = 0,8$ на рис. 1 выделены более наглядно линиями, параллельными оси дальностей.

Анализ зависимостей $W_0(D_p)$, приведенных на рис. 1, показывает, что весьма эффективным способом противодействия РЛР-В в сантиметровом диапазоне длин волн является расположение объектов в лесном массиве. Обнаружение объектов,

находящихся под пологом леса, определяется степенью поглощения электромагнитных волн в кронах деревьев на пути их распространения (до объекта и обратно), которое по аналогии с распространением в атмосфере может быть учтено с помощью множителя ослабления в лесу V_L . Поглощение в кронах деревьев леса существенно сказывается уже при небольших углах падения электромагнитной волны даже при относительно невысоких кронах ($h_{кр} \leq 7$ м).

С увеличением высоты крон потери значительно возрастают даже для больших углов падения волны. Поэтому при больших углах зондирования влиянием поглощения на обнаружение объекта в целом ряде случаев можно пренебречь. Следовательно, возникает задача на дополнение оперативной методики учёта угла зондирования для расчёта множителя ослабления.

Вероятность обнаружения объектов, находящихся в лесу, может быть оценена с помощью множителя ослабления в лесу V_L в виде

$$V_{\text{л}} = 10^{-0,1\alpha_{\text{л}} \cdot R_{\text{кр}}}, \quad (1)$$

где $\alpha_{\text{л}}$, [дБ/м], — коэффициент поглощения в листве; $R_{\text{кр}} = 2h_{\text{кр}}/\sin \beta$ — длина пути в кронах деревьев; $h_{\text{кр}}$ — высота крон; β — угол падения волны.

Выражение для расчёта множителя ослабления в лесу запишем в виде

$$V_{\text{л}} = 10^{-0,2\alpha_{\text{л}} \cdot h_{\text{кр}}/\sin \beta}.$$

Значение коэффициента поглощения в листве $\alpha_{\text{л}}$ зависит от породы деревьев и длины волны и определяется по справочным данным. В сантиметровом диапазоне коэффициент поглощения в листве составляет $\alpha_{\text{л}} \approx 1,2$ дБ/м [9].

Расчитанные в соответствии с (2) графики зависимости $V_{\text{л}}(\beta)$ множи-

теля ослабления в лесу для сантиметрового диапазона от угла падения волны при различных значениях высоты крон представлены на рис. 2.

Как следует из анализа зависимостей на рис. 2, поглощение в кронах деревьев леса существенно сказывается при небольших углах падения волны ($\beta < 25^\circ$) даже при относительно невысоких кронах ($h_{\text{кр}} \leq 7$ м). С увеличением высоты крон потери значительно возрастают даже для больших углов падения волны ($\beta \geq 50^\circ$).

Для высоты крон $h_{\text{кр}} \leq 7$ м и при больших углах ($\beta \geq 50^\circ$), характерных для космических РСА, воздушной самолетной разведки (СР) и РСА на БПЛА, дальность радиолокации сокращается незначительно, а поглощение обусловлено только краями крон при $\alpha_{\text{л}} < 0,6$ дБ/м. Поэтому при больших углах зондирования влиянием поглощения на обнаружение объекта в целом ряде случаев можно пренебречь. Однако при высоте крон $h_{\text{кр}} \geq 10$ м это влияние, как следует из анализа графиков

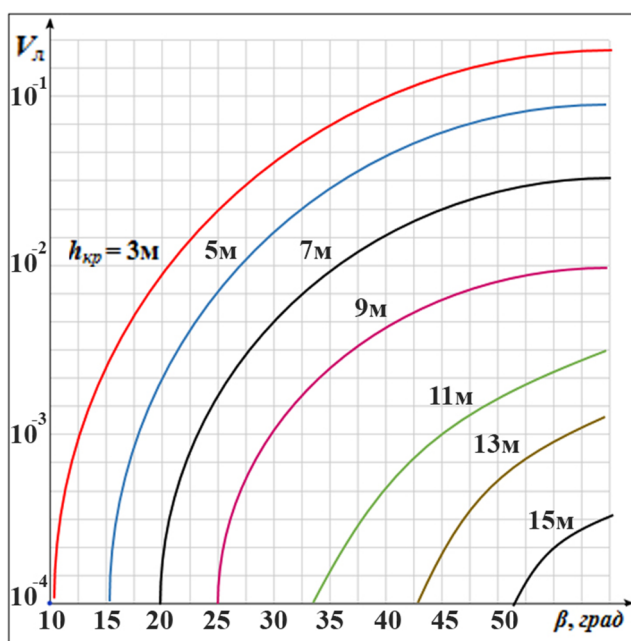


Рис. 2. Графики зависимости множителя ослабления в лесу

рис. 2, становится заметным даже для больших углов зондирования и в каждом случае необходим анализ конкретной ситуации относительно схемы и вида РЛР-В.

Подобный анализ заключается в определении соответствия эшелона возможных высот носителя РСА H_p , диапазона возможных дальностей расположения объекта разведки D_p и соответствующих углов зондирования β .

Это соответствие устанавливает следующее соотношение

$$\beta \approx \arctg \frac{H_p}{D_{\text{рз}}}, \quad (3)$$

где $D_{\text{рз}}$ — ориентировочная дальность разведки по Земле (горизонтальная дальность).

Построенные на основании (3) зависимости $\beta(H_p)$ угла зондирования от высоты разведки для различных фиксированных значений дальности расположения объекта представлены на рис. 3.

Для примерно известной высоты носителя РСА и дальности до объекта угол зондирования легко находится по соответствующей кри-

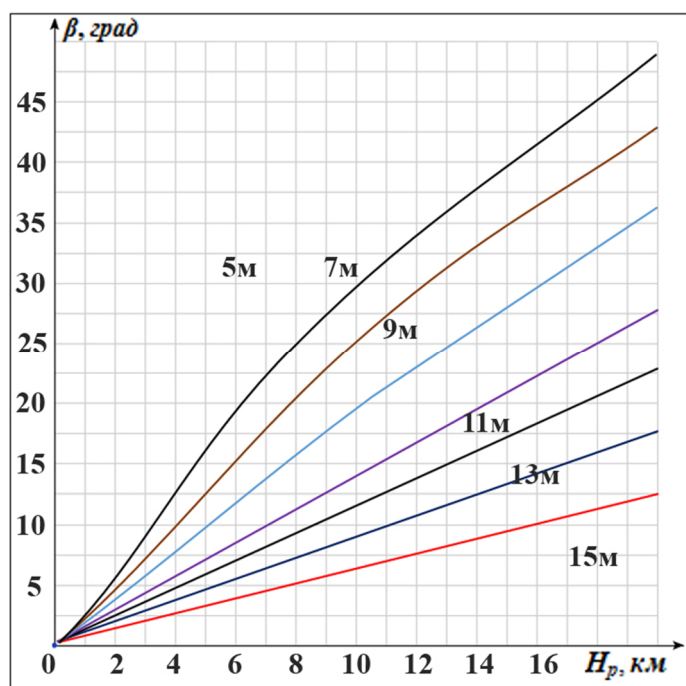


Рис. 3. Графики для оценки влияния угла зондирования

вой на рис. 3. Затем, для найденного угла зондирования из графиков на рис. 2 определяется, при известной (или принятой) высоте крон, значение множителя ослабления в лесу V_L и находится произведение $k_{оф} \cdot V_L$ для проведения дальнейшей оценки возможностей РЛР-В ($k_{оф}$ — коэффициент объект–фон). При неизвестной высоте носителя РСА следует исходить из возможного значения $k_{оф} \cdot V_L$ эшелона высот и определять либо среднее значение угла зондирования для соответствующего диапазона дальностей, либо близкого к максимальному.

Например, для эшелона высот 1...4 км диапазон дальностей ограничивается значением 50 км, а диапазон углов зондирования – в среднем $\beta \approx 3...10^\circ$. Но в соответствии с графиками на рис. 2 для полученного значения углов лес обеспечивает надежную маскировку объектов даже для высоты крон ~ 3 м и частично заглублённом объекте, поскольку значение множителя ослабления в листве

составляет $V_L \sim 10^{-3}$.

Для эшелона высот 4...8 км диапазон дальностей ограничивается значением 70 км, а диапазон углов зондирования, под которыми «видны» объекты в среднем составляет $\beta \approx 5...20^\circ$. В соответствии с графиками для V_L (рис. 2) надежная маскировка обеспечивается в указанном секторе углов зондирования для высоты крон $h_{кр} \geq 5$ м (при $V_L \leq 10^{-3}$). В то же время для $h_{кр} \approx 5$ м достигаемое значение V_L может не обеспечивать нужного ослабления зондирующего сигнала.

С эшелона высот 8...12 км перекрывается весь диапазон дальностей от 20 до 100 км, указанный на рис. 3, которому соответствует диапазон углов зондирования

$\beta \approx 7...28^\circ$. Надёжная маскировка в указанном секторе обеспечивается уже при высоте крон $h_{кр} \geq 7...8$ м. Наконец, для эшелона высот 12...16 км и диапазона «видимых» дальностей от 20 до 100 км диапазон углов зондирования составляет в среднем $\beta \approx 8...35^\circ$. Надёжная маскировка в указанном секторе реализуется при высоте крон $h_{кр} \geq 10...12$ м.

Анализ показывает, что при проведении общих оценок воздушной тактической РЛР-В минимальным предельным углом визирования следует считать $\beta \approx 10^\circ$, а максимальным – $\beta \approx 40^\circ$. В качестве среднего значения при отсутствии приближённых априорных сведений относительно взаимного положения объекта и средства РЛР-В может быть принято значение угла визирования $\beta \approx 25...30^\circ$. Учитывая, что для «малых» углов зондирования значение коэффициента поглощения в листве составляет $\alpha_n \approx 1,2$ дБ/м, а для «больших» — $\alpha_n \approx 0,6$ дБ/м, при оценке эффективности

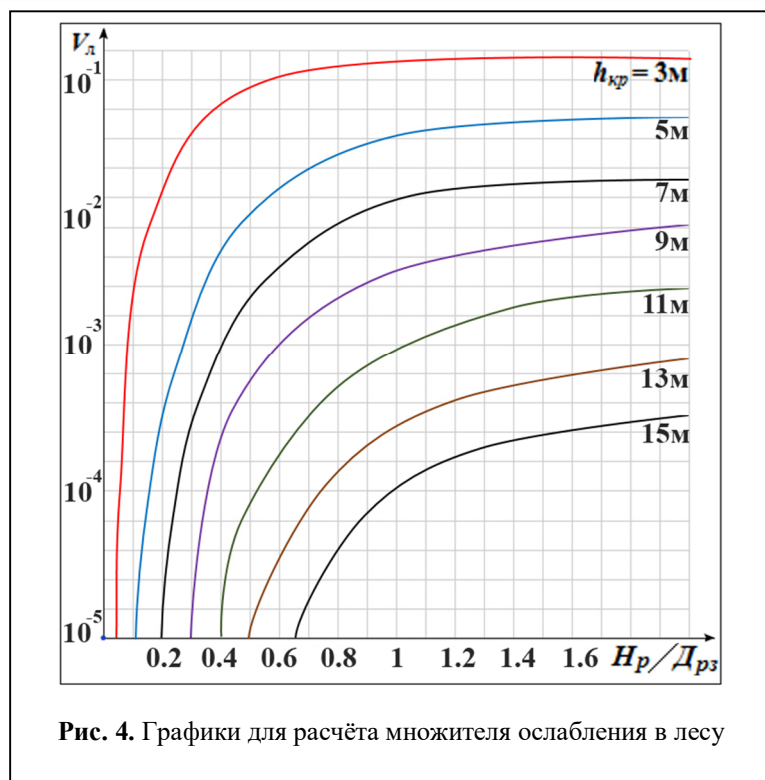


Рис. 4. Графики для расчёта множителя ослабления в лесу

РЛР-В на тактических носителях в качестве усреднённого варианта может быть принято значение $\alpha_n \approx 1,0$ дБ/м.

Соотношения (2), (3) и полученные на их основе графики на рис. 2, 3 позволяют проанализировать физическую картину и провести соответствующие расчёты ослабления мощности радиолокационного зондирующего сигнала кронами деревьев в лесу, однако данные расчёты достаточно громоздки в использовании. Для упрощения расчётов графоаналитическим методом получим общее соотношение для определения потерь в лесу в виде

$$V_L = 10^{-0,2\alpha_n \cdot h_{кр} / \sin[\arctg(H_P/D_{P3})]}. \quad (4)$$

Расчитанные в соответствии с (4) зависимости $V_L = V_L(H_P/D_{P3})$ представлены на рис. 4. Кривые на рис. 4 представляют собой зависимости множителя ослабления в кронах деревьев от отношения высоты носителя РСА к дальности разведки по Земле при различных фиксированных значениях высоты крон деревьев.

При этом область значений V_L для отно-

шений $H_P/D_{P3} \leq 0,6$ принадлежит, как показывает анализ, к относительно «малым» углам зондирования, а область значений V_L для отношений $H_P/D_{P3} \geq 0,9$ — к относительно «большим» углам зондирования.

В качестве мер противодействия РЛР-В находят применение маски-экраны в виде преград из металлической сетки – каркаса, на котором располагают радиотехническую ткань, растительность, маты из хвоста, камыша, устанавливаемых перед объектом под углом 50...60° относительно возможного направления на РЛС.

Экранирующее действие маски характеризуется коэффициентом снижения эффективной площади рассеяния (ЭПР) объекта [10], который определяется соотношением

$$\eta \approx \frac{\lambda}{10 \cdot H \cdot r}, \quad (5)$$

где $r \approx \lambda / 6$ — линейный размер ячейки точечного экрана; H — эмпирическая функция, определяемая формулой

$$H = u + z \cdot 6 \cdot d / \lambda + c \cdot 36 \cdot d / \lambda. \quad (6)$$

В выражении (6): $d_{пр}$ — диаметр проволоки каркаса; $u = 3,13[1 + 1,33 \cdot M(\lambda)]$; $z = -28[1 + 1,76 \cdot M(\lambda)]$; $c = 65,5[1 + 4,6 \cdot M(\lambda)]$; $M(\lambda) \approx (\lambda - 3) / 7$ для $\lambda \leq 10$ см.

Для учёта экранирующего действия маски соотношение при вычислении коэффициента объект – фон преобразуется к виду

$$k_{оф} = \left| \frac{\sigma_{об}}{S_{об} \cdot \eta} - \sigma_o \right|. \quad (7)$$

Расчёты показывают, что, например, для $\lambda \approx 3$ см значение коэффициента снижения ЭПР экранированного объекта составляет $\eta \approx 4$. Дальнейший учёт этого способа проти-

водействия средствам РЛС-В следует по разработанному методическому подходу.

В общем случае при наличии заранее вычисленных коэффициентов по указанным видам разведки и построенным семействам кривых вида $W_0 = f(D_p)$ (рис. 1) все необходимые для проведения оценки расчёты сводятся к определению коэффициента объект–фон $k_{оф}^*$, который удобно представить в виде общего для всех случаев соотношения

$$k_{оф}^* = \left| \frac{\sigma_{об}}{S_{об} \cdot \eta} \cdot k_{рпн} - \sigma_o \right| \cdot V \cdot V_L, \quad (8)$$

где $k_{рпн}$ — коэффициент ослабления мощности сигнала поглощающим покрытием; $V = 10^{-0,2\alpha \cdot D_p}$ — множитель ослабления [8]; α — коэффициент затухания [дБ/км], зависящий от частоты, состояния атмосферы, характера трассы.

При отсутствии мер противодействия средствам РЛС-В и учёта затухания в атмосфере соответствующие коэффициенты становятся единичными, а формула для расчёта $k_{оф}^*$ приобретает наиболее простой вид (7).

Полученная формула для оперативной оценки 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, 10]. Этот вариант предполагает наличие указанных графиков и проведение элементарных расчётов, для которых не обязательны вычислительные средства. Второй вариант — автоматизированный — основывается на файловых данных, в виде которых представляются полученные в [8] 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 ведётся 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 — усреднённый 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 $\sigma_{ф}$, [м²], в заданном диапазоне рабочих частот; значения коэффициентов ослабления мощности сигнала поглощающим покрытием $k_{рпн}$ 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 её выгрузке на фоне степи с зеленой травой без учёта и с

учётom ослабления в атмосфере и оценим необходимость маскировки радиопоглощающим покрытием.

На основании справочных данных по ЭПР типовых объектов необходимо найти значения ЭПР и площади объекта: $\sigma_{об} = 1 \text{ м}^2$, $S_{об} = 3 \times 0,8 = 2,4 \text{ м}^2$. На основании справочных данных по ЭПР типовых фонов находим удельную ЭПР фона $\sigma_{ф} = 0,01 \text{ м}^2$. Определяем отношение ЭПР объекта к площади объекта $\sigma_{об} / S_{об} = 1 / 2,4 = 0,42$ и коэффициент объект-фон $k_{оф} = |\sigma_{об} / (S_{об} - \sigma_{ф})| = 0,42 - 0,01 = 0,41$. 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

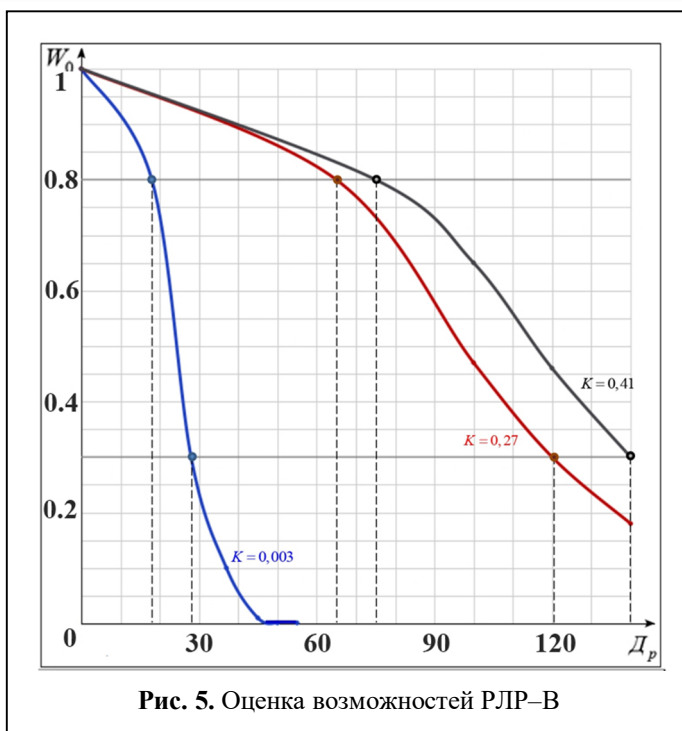


Рис. 5. Оценка возможностей РЛР-В

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 рис. 5. Для кривой $k_{оф} = 0,41$ на рис. 5 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.

Исходя из полученных значений, необходимо найти ослабление по графику $\alpha(f)$ (рис. 6). Для частоты сигнала радиолокационных средств с синтезированием апертуры (РСА) $f_c \approx 10$ ГГц значение коэффициента затухания $\alpha \approx 0,031$ 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 рис. 7, 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 уточнённому значению коэффициента $k_{оф} = 0,27$ (рис. 5) 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 учётом и без учёта ослабления свидетельствует об их близких значениях и о том, что для рассматриваемых дальностей учёт ослабления можно исключить, поскольку это предполагает более жёсткие требования к противодействию.

Вместе с тем, очевидно, что в обоих случаях необходимы меры по маскировке объекта с помощью радиопоглощающих материалов [1, 4]. Используем типовое покрытие с коэффициентом поглощения энергии волны в рассматриваемом диапазоне, равным $k_{pnn} = 15$ дБ (0,032).

Тогда значение $k_{оф}$ с учётом мер защиты находится как:

$$k_{оф} = |\sigma_{об} \cdot k_{рпн} / (S_{об} - \sigma_{ф})| = 0,42 \cdot 0,032 - 0,01 = 0,003.$$

Кривая, соответствующая найденному значению $k_{оф} = 0,003$ на рис. 5, и будет характеризовать принятые меры противодействия РЛР-В с точки зрения их эффективности:

а) граница зоны скрытия объекта $D_{р1} > 26$ км (выигрыш в 5,3 раза);

б) граница зоны скрытия формы объекта $D_{р2} > 16$ 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 которых 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 полётов по Земле $D_{рз}$, [км] (может отсутствовать);

- при отсутствии заранее сформированных файловых данных в виде $W_0 = f(D_p)$ необходимо наличие (подготовка) усреднённых по принятым видам разведки следующих параметров: $P_{л.}$, [Вт]; $G_{л.}$; $P_{пр.}$, [Вт]; λ , [м]; B , μ , [дБ]; V_H , [м/с]; $F_{л.}$, Гц; φ , град; Δl , [м]. При этом значение разрешающей способности РСА следует принимать близкой к наилучшей.

2. По объекту разведки:

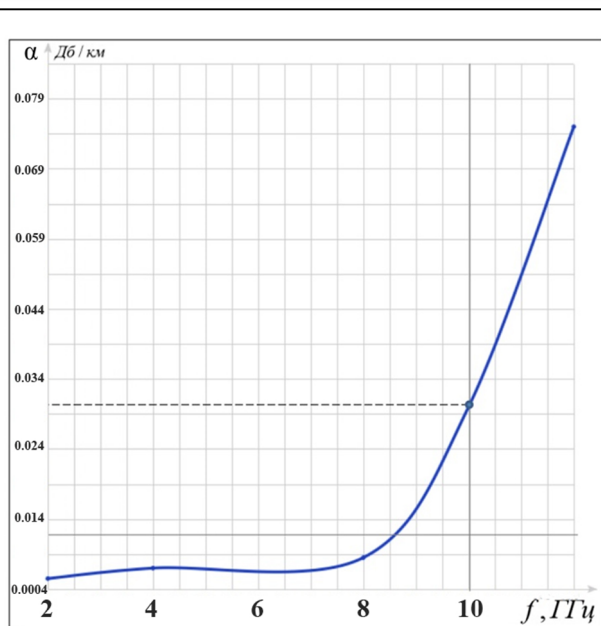


Рис. 6. График зависимости коэффициента затухания в атмосфере от частоты сигнала РСА

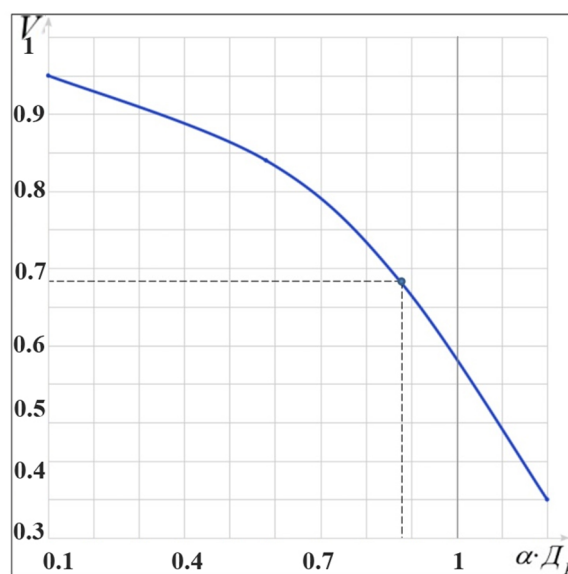


Рис. 7. Фрагмент графика зависимости множителя ослабления от потерь на трассе

- 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 α_l , [дБ/м];

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

– файловое представление зависимости множителя ослабления на трассе V ;

– файловое представление зависимости угла визирования объекта β , град, (при расположении объекта в лесу);

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

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

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

Таким образом, полученный математический аппарат для оперативной оценки возможностей видовой радиолокационной разведки основывается на функциональной зависимости вероятности обнаружения объекта от дальности, связан с использованием обобщённых данных по средству ведения радиолокационной разведки, объекту и условиям, учитывает все возможные способы организации противодействия и отличается простотой и наглядностью. А предлагаемый 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 обнару-

жения объектов защиты, тем самым значительно увеличив оперативность проведения оценки и автоматизировав процесс принятия решения о применяемых средствах противодействия РЛР-В.

Литература

1. Верба В.С., Неронский Л.Б., Осипов И.Г., Турук В.Э. Радиолокационные системы землеобзора космического базирования / Под ред. В.С. Вербы. М.: Радиотехника, 2010. 680 с.
2. Купряшкин И.Ф., Лихачев В.П. Космическая радиолокационная съемка земной поверхности в условиях помех: монография. Воронеж: Научная книга, 2014. 460 с.
3. S. Unnikrishna Pilai, Ke Yong Li, Braham Himed. Space Based Radar: Theory & Applications. McGraw Hill, 2008. 448 p.
4. Леньшин А.В., Тихомиров Н.М., Попов С.А. Бортовые радиоэлектронные системы. Основы построения: учебное пособие. Под ред. А.В. Леньшина. 2 изд., перераб. и доп. Воронеж: Научная книга, 2021. 486 с.
5. Chen V.C., Ling H. Time-Frequency Transforms for Radar Imaging and Signal Analysis. Boston: Artech House, 2002. 460 p.
6. Верба В.С., Неронский Л.Б., Турук В.Э. Перспективные технологии цифровой обработки радиолокационной информации космических РСА. М.: Радиотехника, 2019. 416 с.
7. Wang B.-C. Digital Signal Processing Techniques and Applications in Radar Image Processing. New Jersey: John Wiley & Sons, 2008. 367 p.
8. Кравцов Е.В. Методика оперативной оценки возможностей радиолокационной видовой разведки // Теория и техника радиосвязи. 2022. №1. С. 15–21.
9. 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.
10. Кравцов Е.В. Методический подход к комплексной оперативной оценке возможностей выявления сведений об объектах защиты // Телекоммуникации. 2020. №9. С. 33–41.

Поступила 29 августа 2022 г.

English

FEATURES OF CONSTRUCTING MATHEMATICAL TOOL TO ASSESS CAPABILITIES OF RADAR IMAGERY INTELLIGENCE

Ivan Andreevich Sidorenko — Postgraduate Student, Department No. 54, Air force Military Scientific Center “Air Force Academy named after Professor N.E. Zhukovskiy and Yu.A. Gagarin”.

E-mail: Ivan.Sidorenko.95@yandex.ru

Andrey Valentinovich Lenshin — Grand Dr. in Engineering, Professor of Department 101, Air force Military Scientific Center “Air Force Academy named after Professor N.E. Zhukovskiy and Yu.A. Gagarin”.

E-mail: andrey-lenshin@yandex.ru

Evgeniy Vladimirovich Kravtsov — PhD, Associate Professor, the Head of Department 54, Air force Military Scientific Center “Air Force Academy named after Professor N.E. Zhukovskiy and Yu.A. Gagarin”.

E-mail: evgenijkravtsov@mail.ru

Address: 394064, Russian Federation, Voronezh, Starykh Bolshevikov str., 54 a.

Abstract: Reliable information about the location and composition of enemy troops, its economic potential is obtained through the active use of aerospace systems of radar reconnaissance in today's situation. Space-based radar systems hold a special place among the above-named due to a number of fundamental benefits. For example, using the principle of antenna synthetic aperture and broadband probing signals as well as new algorithms for their processing enable to dramatically increase radar image granularity and bring the information capabilities of radar facilities closer to optical ones. Mostly, current space-based antenna synthesized apertures are dual-purpose systems: these systems are used in daily operation to assess status of sea surface, forests, agricultural areas, etc., however, when necessary, they can also be used to solve various military tasks. The paper is aimed at enhancing quality of operational assessment of capabilities for radar imagery intelligence, which enables to link target detection probability, reconnaissance range and corresponding sensing angles. The solution proposed in this article enables to perform generalized assessment of capabilities of radar imagery intelligence to detect objects of protection for averaged parameters of systems as per radar intelligence types based on functional approach to defining probabilistic detection characteristics. Practical testing of the proposed method has confirmed its validity in assessing radar intelligence capabilities of foreign countries.

Keywords: radar imagery intelligence, operational assessment, probing signal, attenuation factor, detection probability.

References

1. Verba V.S., Neronskiy L.B., Osipov I.G., Turuk E.G. Space-based ground survey radar systems. Ed. by S. Verba. Moscow: Radiotekhnika, 2010. 680 p.
2. Kupryashkin I. F., Likhachev V. P. Space radar survey of the Earth's surface under interference conditions. Voronezh: Nauchnaya kniga, 2014. 460 p.
3. S. Unnikrishna Pilai, Ke Yong Li, Braham Himed. Space Based Radar: Theory & Applications. McGraw Hill, 2008. 448 p.
4. Lenshin A. V., Tikhomirov N. M., Popov S. A. On-board electronic systems. Fundamentals of construction: textbook. Voronezh: Nauchnaya kniga, 2021. 486 p.
5. Chen V.C., Ling H. Time-Frequency Transforms for Radar Imaging and Signal Analysis. Boston: Artech House, 2002. 460 p.
6. Verba V. S., Neronskiy L. B., Turuk V. E. Promising technologies of digital processing of radar information of space RS. Moscow: Radiotekhnika, 2019. 416 p.
7. Wang B.-C. Digital Signal Processing Techniques and Applications in Radar Image Processing. New Jersey: John Wiley & Sons, 2008. 367 p.
8. Kravtsov E. V. Methodology of operational assessment of the capabilities of radar specific reconnaissance. *Teoriya i tehnika radiosvyazi*. 2022. No. 1. Pp. 38–46.
9. Lenshin A. V., Kravtsov E. V. Functional method of generalized parameters for operational evaluation of the capabilities of technical means of intelligence. *Radioengineering and telecommunication systems*. 2021. No. 3. Pp. 23–32.
10. Kravtsov E. V. Methodological approach to a comprehensive operational assessment of the possibilities of identifying information about objects of protection. *Telecommunications and Radio Engineering*. 2020. No. 9. Pp. 33–41.