

## УЧЕТ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ПОТЕРЬ СРЕДСТВ РАДИОЛОКАЦИИ ПРИ РАСЧЁТЕ ПАРАМЕТРОВ РАДИОЛОКАЦИОННОГО ПОЛЯ

к.т.н. М.Р. Арасланов, к.т.н. В.Г. Гартованов, к.т.н. А.Н. Колесник  
(представил д.т.н., проф. О.И. Сухаревский)

*Предлагается метод учёта энергетических потерь средств радиолокации за счёт нормировки расчётной энергетической насыщенности пространства при определении параметров радиолокационного поля группировки радиотехнических войск. Метод учитывает паспортные тактико-технические характеристики РЛС, параметры рельефа местности, а также потери электромагнитной энергии в среде распространения.*

Совершенствование количественных и качественных характеристик средств воздушного нападения приводит к усложнению воздушно-помеховой обстановки в современных военных конфликтах. Поэтому требуется адекватное повышение эффективности системы ПВО. В немалой степени эффективность применения войск ПВО определяется качеством информационного обеспечения огневых средств и средств радиоэлектронной борьбы. В такой сложной воздушно-помеховой обстановке требуемые информационные возможности могут быть обеспечены путём формирования средствами радиолокации группировки РТВ адаптивного многодиапазонного радиолокационного поля (РЛП) [1].

Необходимым условием для создания такого РЛП и его восстановления в процессе боевых действий является прогнозирование его параметров в реальном масштабе времени, что предполагает наличие адекватной модели РЛП. Вопросам создания такой модели посвящена работа [2], в которой предложена методика автоматизированного расчёта параметров РЛП группировки. В основу методики положен известный принцип определения энергетической насыщенности пространства, создаваемой и используемой средствами радиолокации. Отличительной особенностью такого подхода является возможность определения не только дальней границы, но и участков внутренних разрывов РЛП, оценки параметров поля в условиях воздействия не только активных, но и пассивных помех, расчёта качественных показателей обнаружения целей в любой точке пространства.

Поскольку РЛП является определённой совокупностью зон обнаружения (ЗО) РЛС группировки, то расчёт энергетической насыщенности проводится с использованием известной формулы радиолокации [3] для каждой из этих зон. Найденные ожидаемые значения энергии  $W$  в точках пространства не учитывают различные потери энергии сигнала в трактах РЛС и среде распространения электромагнитных волн, которые характеризуются коэффици-

ентом потерь  $\eta$ . Поэтому для определения реального превышения сигналом уровня шума на входе обнаружителя РЛС необходимо проводить соответствующую нормировку величины  $W$ . Значение  $\eta$  определяется конкретным типом РЛС, а также параметрами среды распространения радиоволн.

В статье предлагается оригинальный метод нормировки энергетической насыщенности пространства, учитывающий потери энергии сигналов в трактах РЛС и среде распространения радиоволн. Оригинальность метода состоит в автоматическом определении нормирующего коэффициента за счёт использования паспортных характеристик РЛС и цифровых карт местности.

Нормирующий коэффициент предложено определять с использованием того факта, что в косвенном виде коэффициент потерь  $\eta$  "заложен" в таких характеристиках РЛС, как паспортная дальность обнаружения цели  $D_{обн}$  с эффективной поверхностью рассеивания (ЭПР)  $\sigma_{ц}$  на высоте  $H_{ц}$  и коэффициенте использования радиогоризонта  $K_{рг}$ . Последний необходим для случаев, когда потенциальная дальность обнаружения ограничена дальностью прямой радиовидимости. Эти данные, как правило, получают экспериментальным путем в условиях полигона.

Смысл нормировки состоит в следующем. Если скоро паспортная дальность обнаружения цели со "стандартной" ЭПР, равной обычно  $1 \text{ м}^2$ , и высотой полета  $H_{ц}$  известна, то для "полигонного" варианта рельефа (ровная поверхность) в качестве нормировочного уровня  $W'_{пор}$  для рассчитанного массива энергетической насыщенности пространства  $W[i]$  можно выбрать значение нормированной к порогу обнаружения энергии, соответствующее этой опорной дальности, рассчитываемой по формуле

$$W'_{пор} [\text{дБ}] = W_{i_{\max}} [\text{дБ}] - 40 \lg \frac{r_{i_{ор}}}{r_{i_{\max}}} - 20 \lg \frac{F_{\Pi}(\theta_{i_{ор}})}{F_{\Pi}(\theta_{i_{\max}})}, \quad (1)$$

где  $W_{i_{\max}} [\text{дБ}]$  - ожидаемое значение рассчитанной энергетической насыщенности пространства в точке, соответствующей максимальной дальности, где еще нормированное отношение сигнал/шум больше единицы;  $r_{i_{\max}}$  - дальность до последней точки, где рассчитанное нормированное отношение сигнал/шум больше единицы;  $r_{i_{ор}}$  - опорная (паспортная) дальность обнаружения;  $F_{\Pi}(\theta_{i_{ор}})$  и  $F_{\Pi}(\theta_{i_{\max}})$  - паспортные значения угломестной диаграммы направленности антенны (ДНА) РЛС в направлении на точки  $i_{ор}$  и  $i_{\max}$ .

В случаях, когда точка  $i_{\max}$  лежит в пределах углов места, соответствующих нижней кромке ДНА РЛС, где энергетическая насыщенность отражённого сигнала имеет зависимость от дальности  $\mathcal{E}_c \sim r^8$ ,  $W'_{пор}$  определяется по формуле

$$W'_{пор} [\text{дБ}] = W_{i_{\max}} [\text{дБ}] - 80 \lg \frac{r_{i_{ор}}}{r_{i_{\max}}} - 20 \lg \frac{F_{\Pi}(\theta_{i_{ор}})}{F_{\Pi}(\theta_{i_{\max}})}. \quad (2)$$

Таким образом, нормирование расчетных значений энергии в точках пространства ЗО РЛС осуществляется по формуле

$$W_{Ni} [\text{дБ}] = W_i [\text{дБ}] - W'_{пор} [\text{дБ}]. \quad (3)$$

При этом наиболее удаленная от РЛС точка пространства, где значение нормированной энергии  $W_{Ni}$  [дБ] еще будет больше нуля, и является дальней границей требуемого сечения зоны обнаружения РЛС на данном азимутальном направлении.

В реальных условиях, когда рельеф отличается от полигонного (наличие неровностей местности, уклонов позиции и т.д.), под малыми углами места визирования целей опорная дальность определяется с использованием дальности прямой радиовидимости и коэффициента использования радиогоризонта [3], характеризующего параметры нижней кромки ДНА РЛС. Следует отметить, что на этом участке ДНА  $K_{рг}$  постоянен.

С увеличением угла места визирования цели при отсутствии затенений, начиная с некоторого угла  $\phi_{гр}$ , определяющим фактором в нахождении опорной дальности является энергетический потенциал РЛС. При этом значение коэффициента использования радиогоризонта с изменением угла места будет изменяться, и его применение в расчётах приведёт к существенным ошибкам. В этом случае для определения опорной дальности целесообразно использовать паспортные значения дальности обнаружения РЛС.

При полигонном рельефе этот граничный угол  $\phi_{гр}$  для каждой конкретной РЛС известен. В случае неровной местности, особенно, если РЛС находится на господствующей высоте, величина  $\phi_{гр}$  может значительно изменяться. Поэтому при таком способе определения опорных дальностей на отдельных азимутальных направлениях возможны значительные разбросы этих значений, из-за чего границы горизонтальных сечений ЗО РЛС могут быть неестественно изрезанными.

В предложенном методе не фиксируется конкретный граничный угол места  $\phi_{гр}$ , при котором необходимо переходить от расчетов с использованием дальности прямой радиовидимости и паспортного коэффициента использования радиогоризонта к расчетам по паспортным дальностям обнаружения. Используется факт, что для  $\phi_{гр}$  при полигонном рельефе оба указанных способа определения опорной дальности цели дают одинаковый результат. Предлагается находить переходный участок, который охватывает возможный диапазон значений  $\phi_{гр}$  в зависимости от рельефа местности в районе дислокации и высоты точки привязки РЛС. На нём предусмотрено плавное изменение коэффициента использования радиогоризонта от паспортного значения (в начале участка) до величины (в конце участка), при которой рассчитанная дальность обнаружения будет соответствовать паспортной. На этом участке значение коэффициента использования радиогоризонта ( $K_{рг}$ ) плавно изменяется путём его интерполяции от паспортного до конечного значения для данного переходного участка. Таким образом, последовательность действий при реализации предложенного метода нормировки энергетической насыщенности пространства при расчёте параметров ЗО РЛС включает:

а) определение с использованием цифровых карт местности высоты рельефа в точке стояния РЛС  $H_{ргс}$  и высоты рельефа местности  $H_{рi}$  на

дальности  $r_{i\max}$ ;

б) расчет дальности радиогоризонта при высоте сечения ЗО РЛС  $H_c$  и стандартной рефракции

$$R_{pri} = 4.12 \times \left( \sqrt{|H_a + H_{prc} - H_{pi}|} + \sqrt{H_c} \right), \quad (4)$$

где  $H_a$  – высота электрического центра антенны относительно точки стояния РЛС.

Для изовысотного сечения зоны обнаружения значение  $R_{pri}$  рассчитывается без учёта высоты рельефа под целью. Для изорельефного сечения производится последовательное уточнение значения  $R_{pri}$  на протяжении нескольких итераций с использованием выражения (4), поскольку каждому полученному значению  $R_{pri}$  соответствует свое значение  $H_{pi}$ . Данная операция производится до тех пор, пока разность рассчитанных значений  $R_{pri}$  на двух последних шагах итерации не будет меньше одного километра (в зависимости от параметров автокорреляционной функции рельефа для данной местности);

в) определение размера и положения переходного участка в зависимости от высоты точки стояния РЛС;

г) расчет значения  $r_{iор}$  для заданной высоты сечения ЗО. Если высота сечения ЗО  $H_c$  находится ниже переходного участка, то  $r_{iор}$  рассчитывается с использованием паспортного значения  $K_{pr}$ . В случае, когда значение  $H_c$  находится в пределах переходного участка, для определения  $r_{iор}$  рассчитывается с использованием интерполяции значение  $K_{pri}$ , соответствующее данной высоте сечения. Если значение  $H_c$  превышает переходный участок, то расчет  $r_{iор}$  осуществляется с использованием паспортных дальностей обнаружения РЛС;

д) нахождение энергетического порога в соответствии с выражением (1) или (2) для  $i$ -го азимутального направления;

е) определение границы зоны обнаружения РЛС для заданной высоты сечения  $H_c$  на  $i$ -м азимутальном направлении.

На рис. 1, 2 приведены примеры использования метода учёта энергетических потерь за счёт нормировки расчётной энергетической насыщенности пространства при определении сечения зоны обнаружения на высоте 6000 м для РЛС метрового диапазона волн, расположенной в предгорном районе (высота точки стояния РЛС над уровнем моря 300 м). При этом на рис. 1 отображено сечение ЗО, рассчитанное с использованием фиксированного угла  $\phi_{гр}$ , а на рис. 2 приведено сечение ЗО РЛС, полученное с использованием предложенного переходного участка. На азимутальном участке от  $280^\circ$  до  $160^\circ$  отсутствуют затенения рельефом, поэтому граница сечения ЗО РЛС на высоте 6000 м должна в данном секторе иметь форму окружности, что и получено на рис. 2. На рис. 1 указанный участок имеет неестественную изрезанность границы ЗО РЛС, что связано с отличием реальной величины  $\phi_{гр}$  для данной местности от принятого значения, соответствующего полигонному рельефу, из-за чего

опорная дальность ошибочно определяется с учетом радиогоризонта.

Таким образом, при использовании предложенного метода учёта энер-

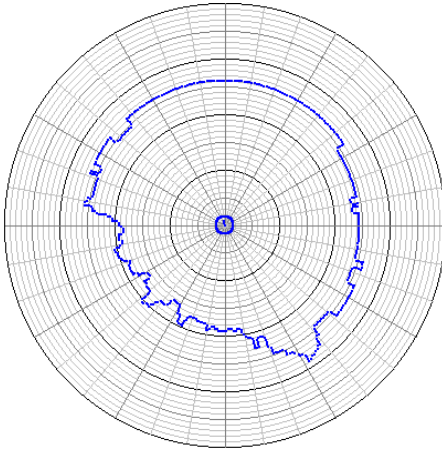


Рис. 1. Сечение зоны обнаружения РЛС, рассчитанное с использованием фиксированного угла  $\varphi_{гр}$

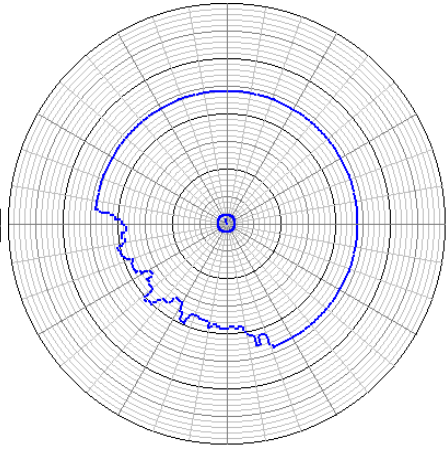


Рис. 2. Сечение ЗО РЛС, рассчитанное с использованием предложенного переходного участка углов места

гетических потерь средств радиолокации обеспечена универсальность расчётных соотношений для различных рельефов местности и типов РЛС, и исключаются грубые ошибки при прогнозировании параметров радиолокационного поля.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Стеценко О.О., Коротков В.Ю. Створення єдиної системи радіолокаційної розвідки повітряного простору: Проблеми та шляхи їх розв'язання // Наука і оборона. – 1999. – № 4. – С. 18 - 22.
2. Арасланов М.Р., Бекетов И.Ю., Гартованов В.Г. Модель радиолокационного поля группировки РТВ с учётом затеняющих свойств местности в условиях радиоэлектронного противодействия воздушного противника // Збірник наукових праць ХВУ. – Х.: ХВУ, 1998. – Вип. 21. – С. 14 - 25.
3. Ширман Я.Д. Теоретические основы радиолокации. – Х.: ВИРТА, 1984. – 432 с.

Поступила 19.07.2002

**АРАСЛАНОВ Михаил Рымович**, канд. техн. наук, нач. лаборатории – зам. нач. НИО научного центра при ХВУ. В 1985 г. окончил Киевское ВИРТУ ПВО. Область научных интересов – радиолокация, вооружение радиотехнических войск.

**ГАРТОВАНОВ Владимир Григорьевич**, канд. техн. наук, ст. научный сотрудник, ведущий научный сотрудник научного центра при ХВУ. В 1963 г. окончил ВИРТА ПВО. Область научных интересов – радиолокация, вооружение радиотехнических войск.

**КОЛЕСНИК Александр Николаевич**, канд. техн. наук, нач. лаборатории – зам. нач. НИО научного центра при ХВУ. В 1993 г. окончил Воронежское ВВИУРЭ. Область научных интересов – радиолокация, вооружение радиотехнических войск.

---