

ЗАЩИТА РАДИОРЕЛЕЙНЫХ СТАНЦИЙ СПЕЦИАЛЬНОГО НАЗНАЧЕНИЯ ОТ СРЕДСТВ РАЗВЕДКИ

С.С. Веркин, канд. техн. наук

Военная академия связи им. Маршала Советского Союза С.М. Буденного
(Россия, г. Санкт-Петербург)

DOI:10.24412/2500-1000-2025-3-1-200-206

Аннотация. В статье представлен подход к оценке уровня защиты от разведки радиорелейной станции с антенной. Ключевым аспектом является обоснование показателя, который учитывает как технические меры противодействия радиоподавлению, так и природные особенности местности, обеспечивающие дополнительную защиту. Результаты исследования могут быть полезны для выбора мест размещения станций в структуре сети связи общего пользования.

Ключевые слова: радиорелейная линия, радиоподавление, надежность радиоподавления, разведзащищенности, коэффициент разведзащищенности.

Одним из наиболее экономичных и быстрых способов организации радиопередачи информационно-транспортных потоков на большие расстояния остается радиорелейная связь (PPC). Для полевых транспортных сетей (ТС) связи специального назначения альтернативы радиорелейным системам передачи (PP СП) в настоящее время, да и в обозримом будущем, нет.

PPC наземная многоканальная радиосвязь, основанная на ретрансляции радиосигналов в диапазоне метровых и более коротких радиоволн, широко используется в различных сетях связи благодаря своим многочисленным достоинствам, которые подробно описаны в литературе [1, 3, 6].

Опыт локальных конфликтов показывает, что в настоящее время радиорелейные линии будут работать в условиях активного радиоподавления (РП) и огневого поражения [2, 4, 5].

Для эффективного РП необходима предварительная радиоразведка (РР) этих линий. Организация PPC в таких условиях требует количественной оценки разведданных о радиорелейных станциях (PPCст) и принятия специальных мер защиты.

Данная работа посвящена решению этих вопросов. В статье предложена методика оценки разведзащищенности (РЗ) станций и проведены исследования по защите от РП. Актуальность работы обусловлена, с одной стороны, важной ролью PPC, а с другой – значимостью РР во всех современных конфликтах.

В основе методики и количественных оценок лежит расчет надежности приема сигнала PPCст приемником радиоразведки (ПР).

Методика расчёта разведзащищенности радиорелейных станций

На рисунке 1 схематично представлен интервал PPC и линия РР.

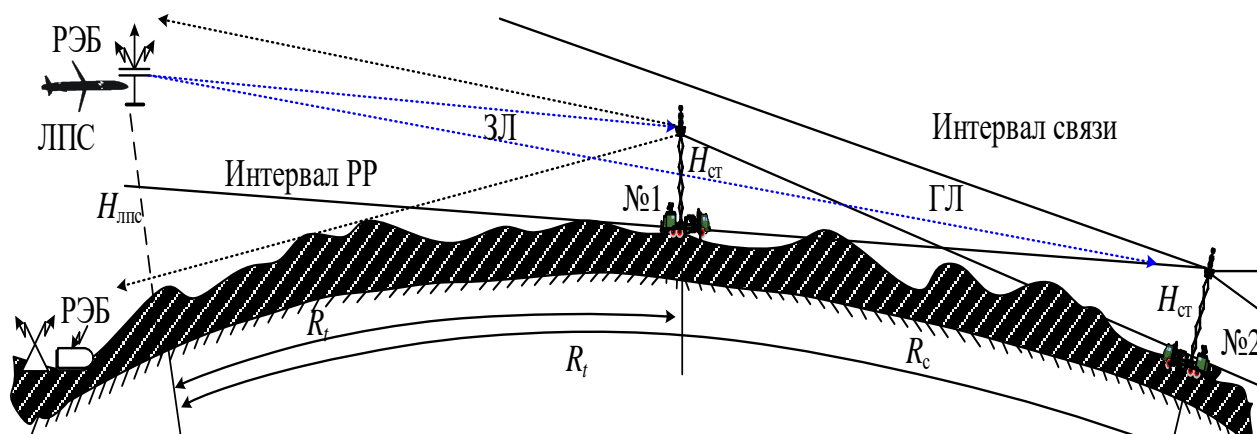


Рис. 1. Вариант радиоразведки станции (интервала) PPC

Одной из характеристик качества радиосигнала является надежность РР сигнала станции. Вычисляемым параметром надежности является вероятность того, что параметры станции, необходимые для создания радиопомех (огне-

вого поражения) и принятии решения, разведаны противником.

В работе принято, что РР ведется, в основном, с лентоподъемного средства (ЛПС). При определении вероятности p_p воспользуемся выражением

$$p_p = p(P_c - W_{\Sigma, \text{PP}} - K_y \geq P_{\text{пр.р}}), \quad (1)$$

где

$P_c = P_{\text{пер}} + G_{\text{А.пер}}(\varphi)$ – мощность сигнала, излучаемого антенной РРСТ в направлении ПР

$W_{\Sigma, \text{PP}}$ – суммарное затухание сигнала в направлении ПР

K_y – коэффициент уменьшения излучаемой мощности сигнала станции или ухудшения чувствительности приёмника РР

$P_{\text{пр.р}}$ – требуемый для ведения разведки уровень сигнала на входе ПР

$G_{\text{А.пер}}(\varphi)$ – коэффициент усиления антенны РРСТ по рассматриваемому азимуту φ .

Величиной, определяющей вероятностный характер уравнения (1), является $G_{\text{А.пер}}(\varphi)$,

имеющий различные средние значения в зависимости от направления на ПР. Как известно [1], значения коэффициента усиления параболических антенн распределены по логарифмически-нормальному закону с параметром, $\sigma_a = 4$ дБ. При сравнительной оценке РЗ станций, использующих различные типы антенн, целесообразно считать направление разведки равновероятными событиями с любого направления в горизонтальной плоскости или в любом другом секторе этой плоскости. Тогда вероятность ведения разведки из сектора $\Delta\varphi^\circ$ будет равна $\Delta\varphi^\circ/360$. Отсюда полная вероятность РР будет равна:

$$p_p = p_{\text{гл}} p_{\text{р|гл}} + \sum_{i=1}^N p_{\Delta\varphi_i} p_{\text{р}|\Delta\varphi_i}. \quad (6)$$

Здесь $p_{\text{гл}}$ – вероятность того, что главный лепесток антенны станции направлен в сторону ПР; $p_{\Delta\varphi_i}$ – вероятность того, что антенна РРСТ будет находиться под углом φ к ПР по отношению к главному лепестку (ГЛ) диаграммы направленности антенны (ДНА), т.е. в секторе $\Delta\varphi_i$; $p_{\text{р|гл}}$ и $p_{\text{р}|\Delta\varphi_i}$ – вероятности разведки РРСТ с соответствующих направлений; N – ко-

личество оставшихся рассматриваемых участков (секторов РР) без сектора ГЛ ДНА.

Поскольку единственная случайная величина в (1) $G_{\text{А.пер}}(\varphi)$ распределена по логарифмически-нормальному закону, вероятность разведки станции в некотором секторе $\Delta\varphi_i$ будет равна [3]:

$$p_{\text{р}|\Delta\varphi_i} = \begin{cases} 0,5 + \Phi_0(x), & \text{если } x \geq 0,5 \\ 0,5 - \Phi_0(x), & \text{если } x < 0,5 \end{cases}. \quad (7)$$

Здесь:

$$\Phi_0(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_0^x e^{-\frac{t^2}{2}} dt; \quad (8)$$

$$x = \frac{-P_{\text{пр.р}} + [P_c(\Delta\varphi_i) - W_{\Sigma, \text{PP}} - K_y]}{\sigma_a} \quad (9)$$

$P_c(\Delta\varphi_i)$ – среднее значение мощности сигнала, излучаемой РРСТ в секторе $\Delta\varphi_i$, σ_a – дисперсия коэффициента усиления антенн РРС в

зоне вне ГЛ. Необходимо отметить, что P_c зависит только от $\Delta\varphi_i$ и не зависит от σ_a .

При определении p_p исходим из того, что в заданном диапазоне функционирует только одна рассматриваемая РРСт и ПР. Такое предположение позволяет прогнозировать слагаемые РЗ, разработать ряд организационных и технических мероприятий по ее повышению и проверить их эффективность, однако дает лишь максимальную оценку значения p_p так как не учитывает маскирующего влияния других РРСт, работающих в этом же диапазоне.

Рассмотренная методика позволяет оценить РЗ станций. Следует определиться, что считать РРСт разведана или не разведана. По аналогии с помехозащищённостью примем, что станция разведана, если $p_p = 0,95$. Тогда станция не разведана, если $p_{np} = 1 - p_p = 1 - 0,95 = 0,05$.

По данной методике были проведены расчёты надёжности РР станций. Результаты расчётов представлены на графиках рисунков 2-5.

Исходные данные для расчётов

Энергетика радиолинии: энергетический потенциал или его составляющие (гипотетические). Мощность передатчика $P_{пер} = 22$ Вт (14,4дБВт), затухание фидера $W_{ф.пер} = W_{ф.пр} = 2$ дБ, коэффициент усиления антенны $G_{пер} = G_{пр} = 14...18$ дБ, реальная чувствительность приемника $P_{рч} = 13 - 24$ дБ мкВ, эксплуатационный запас $P_{экспл} = 2$ дБ.

Диапазон 390...645 МГц. Высота антенны РРС 16 м, дальность связи определяется расчётом, выбираем условную стандартную 30 км.

Высота полета самолета разведки 10 км, средняя пороговая мощность – 120 дБВт, $G_{гг} = 15$ дБ.

Результаты расчётов надёжности радиоразведки РРСт

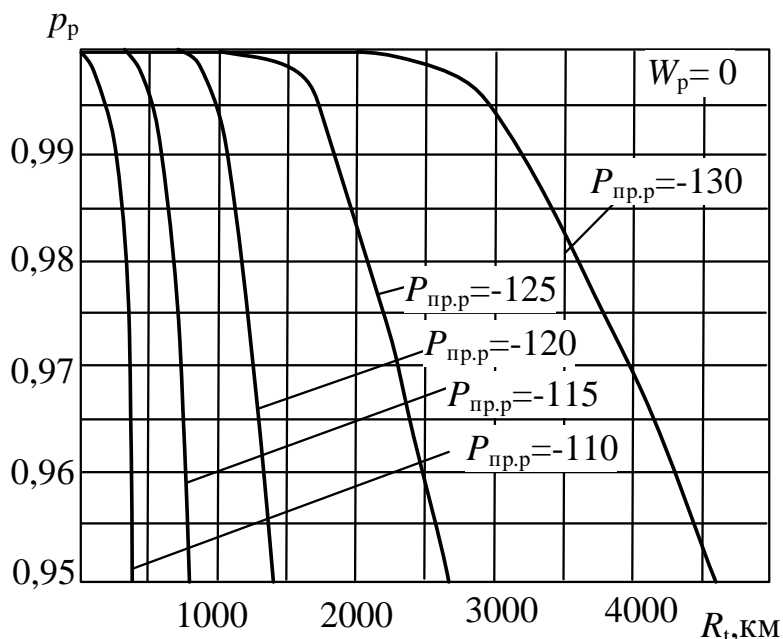


Рис. 2. Зависимость надёжности РР по боковому лепестку антенны РРСт от дальности разведки и пороговой чувствительности ПР ($P_{пр,р}$)

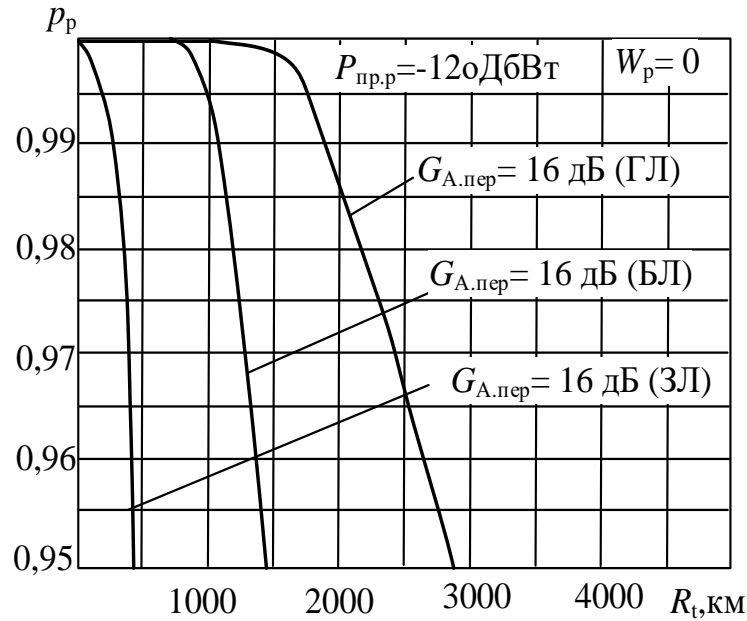


Рис. 3. Зависимость надежности РР по заднему, боковому, главному лепестку антенны РРСТ от дальности и $G_{A,p}$ антенны РР при $P_{пр,р} = -120$ дБВт

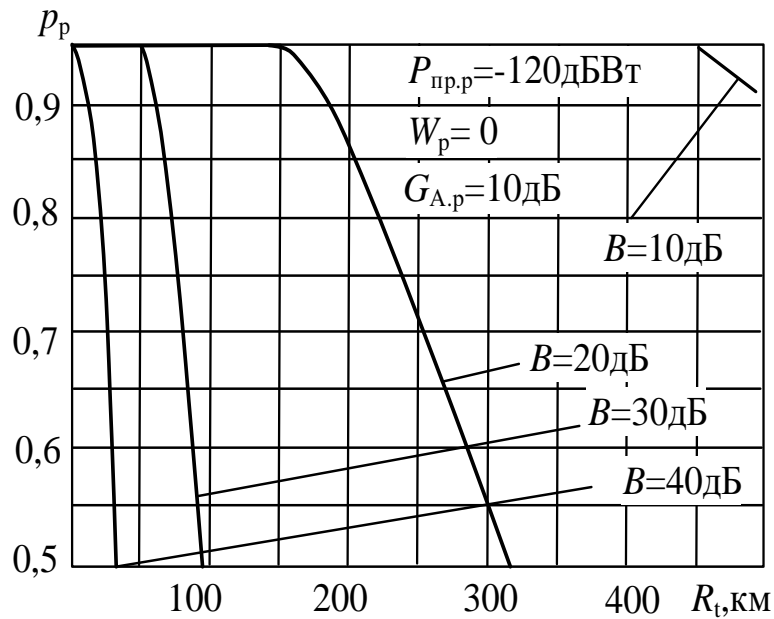


Рис. 4. Зависимость надежности РР по боковому лепестку антенны РРСТ от дальности РР, суммарного коэффициента РЗ $B = 0, 10, 20, 30, 40$ дБ при $P_{пр,р} = -120$ дБВт и $G_{A,p} = 10$ дБ

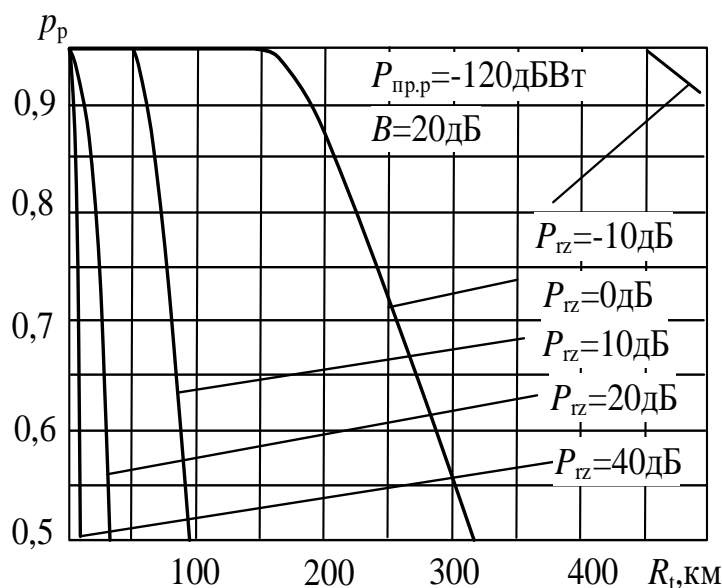


Рис. 5. Зависимость надежности РР по боковому лепестку антенны РРСт от дальности РР, коэффициента РЗ 20 дБ при $P_{\text{пр.р}} = -120$ дБВт и выигрыш от радиозавесы $P_{\text{гз}}$, равного 40,20,10,0,-10 дБ

Основные расчеты выполнены при условии РР станции по боковому лепестку (рис. 2), так как это наиболее вероятно. Рассматривался случай РР в условиях свободного пространства, затухание за счет рельефа $W_{\text{рт}} = 0$. Пере-

менной является дальность радиоразведки R_t , параметром – пороговая мощность приемника радиоразведки $P_{\text{пр.рз}} = -110, -115, 120, -125, -130$ дБ.

$$P_{\text{пр.р}} = h^2 n_{\text{ш}} kT \Delta f$$

Здесь h^2 – требуемое отношение сигнал шум на входе РР; $n_{\text{ш}}$ – коэффициент шума РР; k – постоянная Больцмана, T – абсолютная температура РР; Δf – полоса пропускания приёмника РР или $P_{\text{пр.рз}} = U^2/R$, где U – чувствительность приемника в мкВ, R – входное сопротивление РР, Ом.

Для заданной высоты полета ЛПС с РР 10 км протяжённость полуоткрытого интервала 428 км. В условиях прямой видимости даже при чувствительности РР -110 дБВт станция разведывается с расстояний 450 км.

На рисунке 3 приведены графики надежности РР по заднему, боковому и главному лепесткам ДНА станции РРС в зависимости от дальности РР R_r .

На рисунке 4 приведены графики надежности РР в зависимости от дальности РР. Параметр B по аналогии с коэффициентом помехозащищенности назовем коэффициентом разведзащищенности $K_{\text{рз}}$. Под этим коэффициентом будем понимать произведение всех мер защиты, повышающих РЗ. Например, увеличе-

ние базы сигнала, затухание сигнала на интервале РР за счёт рельефа местности, направленные свойства антенны, снижение мощности передатчика РРСт и др. В логарифмических единицах это будет сумма составляющих. В и есть суммарное значение всех принятых мер защиты.

Под параметром $P_{\text{гз}}$ понимаем суммарное энергетическое превышение сигнала на интервале радиозавесы по отношению к интервалу радиоразведки РРС. Сюда входит разность затуханий за счет разности протяжённости интервалов, мощностей, коэффициентов усиления антенн, затуханий за счёт рельефа местности и др.

Анализ результатов расчёта

1. Для нормального функционирования РРСт важно обеспечить требуемую надежность не разведки станции, т.е. величину $p_{\text{пр}}$. Из рисунков 2 и 3 видим, что требуемая надежность не разведки 0,95 обеспечивается если величина p_p равна 0,05. Расчеты показы-

вают, что требуемая не разведка РРСт в условиях прямой видимости по боковому лепестку антенны обеспечивается при пороговой чувствительности ПР -110 дБВт на расстояниях не менее 2000 км. Следовательно, она определяется не энергетикой линий, а высотой полета ЛПС РР, т.е. дальностью прямой видимости на интервале РР.

2. Графики на рисунке 4 позволяют проанализировать влияние коэффициента разведзащищённости V . Расчеты показывают, что требуемая не разведка обеспечивается только при коэффициенте разведзащищённости 40 дБ с расстояния 60 км, а при 30 дБ с расстояния 210 км. Следовательно, принятых в расчетах коэффициентов РЗ недостаточно. Надо их увеличивать.

3. Оценка влияния радиозавесы представлена на рисунке 5. Расчеты показывают, что требуемая надежность не разведки обеспечивается при суммарном выигрыше от радиозавесы 10 дБ с расстояний 200 км. При выигрыше 0 дБ обеспечивается с расстояний более 500 км. На дальность РР одинаково влияют дополнительное затухание за счёт рельефа на интервалах связи и РР, энергетика линии связи. Важно не абсолютное значение затухания за счёт релье-

фа, а соотношение этих значений на линии связи и РР. Защитные свойства антенн так же влияют на соотношение энергетик линий связи и РР.

Заключение

Главный вывод из всех расчётов заключается в том, что РРСт достаточно легко разведывается, если в ней отсутствуют меры защиты от РР. Низкая РЗС определяется достаточно большой мощностью передатчика станции и широкой ДНА. Это объективная реальность, её необходимо учитывать.

Суммарный коэффициент разведзащиты должен составлять не менее 40 дБ. Обеспечить его можно. Например, созданием радиозавесы по ГЛ, что дает выигрыш 10 дБ, использование широкополосных сигналов – 20 дБ, рельеф местности – 20 дБ, снижение скорости передачи с 480 до 48 кбит/с и соответственно мощности передатчика – 20 дБ. Для создания радиозавесы по ГЛ потребуется сканирование антенны передатчика радиозавесы.

Методика расчёта и полученные количественные результаты могут найти применение при организации и обеспечении радиорелейной связи в условиях радиопротиводействия.

Библиографический список

1. Якушенко С.А., Сазонов М.А., Бибарсов М.Р. Радиорелейные и спутниковые системы передачи специального назначения / Под ред. С.А. Якушенко – СПб.: ВАС, 2016 – 486 с.
2. Михайлов Р.Л. Радиоэлектронная борьба в Вооружённых силах США: военно-теоретический труд. – СПб.: Научноёмкие технологии, 2018. – 131 с.
3. Методика расчёта радиорелейных и тропосферных линий при планировании их развёртывания. Учеб. пособие / Е.А. Волков, В.В. Куликов. – Ленинград. ВАС, 1987.
4. Якушенко С.А., Забело А.Н., Нгуен Х.Б., Фролов А.Н. Алгоритм управления устойчивостью сети многоканальной радиосвязи в условиях воздействия деструктивных факторов // Успехи современной радиоэлектроники. – 2019. – №12. – С. 240-245.
5. Нгуен Х.Б. Модель оценки устойчивости сети многоканальной радиосвязи // Известия Тульского государственного университета. – 2019. – № 6. – С. 93-97.
6. Коцыняк М.А., Якушенко С.А., Веркин С.С., Дворовой М.О. Теория и практика защиты многоканальных сетей радиосвязи от системы комплексного воздействия. Часть 1. Модель противоборства систем воздействия и связи. – СПб.: ВАС, 2007. – 76 с.
7. Методология создания перспективных средств многоканальной радиосвязи на новых технических принципах // С.А. Якушенко, М.А. Сазонов / Успехи современной радиоэлектроники. – 2016. – № 11. – С.18-24.
8. Боговик А.В., Игнатов В.В. Эффективность систем военной связи и методы ее оценки. – СПб.: ВАС, 2006. – 121 с.
9. Снежко В.К. Методика оценки устойчивости сетей многоканальной радиосвязи. – СПб.: ВАС, 1987. – 127 с.

PROTECTION OF SPECIAL-PURPOSE RADIO RELAY STATIONS FROM INTELLIGENCE MEANS

S.S. Verkin, *Candidate of Technical Sciences*

Military Academy of Communications. Marshal of the Soviet Union S.M. Budyonny
(Russia, St. Petersburg)

Abstract. *The article presents an approach to assessing the level of protection against reconnaissance of a radio relay station with an antenna. The key aspect is the justification of the indicator, which takes into account both technical measures to counter radio suppression and natural features of the terrain that provide additional protection. The results of the study can be useful for choosing locations for stations in the structure of a public communications network.*

Keywords: *radio relay line, radio suppression, reliability of radio suppression, intelligence protection, intelligence protection coefficient.*