

ОЦЕНКА ДОСТУПНОСТИ РАДИОИЗЛУЧЕНИЙ ТРОПОСФЕРНЫХ СТАНЦИЙ СРЕДСТВАМ МОНИТОРИНГА

В.К. Снежко, канд. техн. наук, доцент

С.А. Якушенко, д-р техн. наук, доцент, старший научный сотрудник НИЦ

В.Е. Егрушев, канд. техн. наук, доцент

С.С. Веркин, канд. техн. наук

В.В. Антонов, преподаватель

Е.В. Чеканова, преподаватель

Военная академия связи им. Маршала Советского Союза С.М. Буденного

(Россия, г. Санкт-Петербург)

DOI:10.24412/2500-1000-2024-1-2-207-212

Аннотация. Рассматриваются возможности доступности радиоизлучения тропосферной станции приемным средствам мониторинга для выделения демаскирующих параметров. Приведены методика оценки и результаты расчетов на основе вероятностного подхода. Результаты могут найти применение при построении тропосферных радиорелейных линий связи в условиях ведения электромагнитного радиомониторинга.

Ключевые слова: тропосферная станция, средства радиомониторинга, вероятность успешного мониторинга.

Тропосферная связь применяются достаточно широко в самых разных сетях связи. Это объясняется её главным достоинством: обеспечение прямой высокоскоростной радиосвязи между узлами связи на большие расстояния – до 200 км и более [1, 2]. Опыт локальных конфликтов убеждает, что в настоящее время тропосферные линии специального назначения будут функционировать в условиях активного деструктивного воздействия средств электромагнитной войны [3]. Для целенаправленного воздействия необходимо провести предварительный радиомониторинг радиолиний для выделения отличительных (демаскирующих) признаков каждой линии. Организация и планирование тропосферной связи в этих условиях требуют количественной оценки возможностей средств мониторинга по выявлению демаскирующих параметров тропосферных станций (ТРС) и на основе этого принятия

специальных мер в зависимости от поставленных задач (определения местоположения, радиоподавления, защиты и т.п.).

Данная работа направлена на решение этих вопросов. Для этого в работе предложена методика оценки доступности радиоизлучений средствам мониторинга и проведен ее расчет. Поэтому представленные материалы в работе носят актуальный характер. В основу методики и количественных оценок в работе положен расчёт надёжности приема сигнала ТРС приёмником мониторинга технической радиоразведки (ТР). Перейдём к их рассмотрению.

Методика расчёта успешного мониторинга электромагнитной доступности тропосферных станций

На рисунке 1 схематично представлен интервал (радиолиния) тропосферной связи и интервал (радиолиния) мониторинга радиоизлучений средствами ТР.

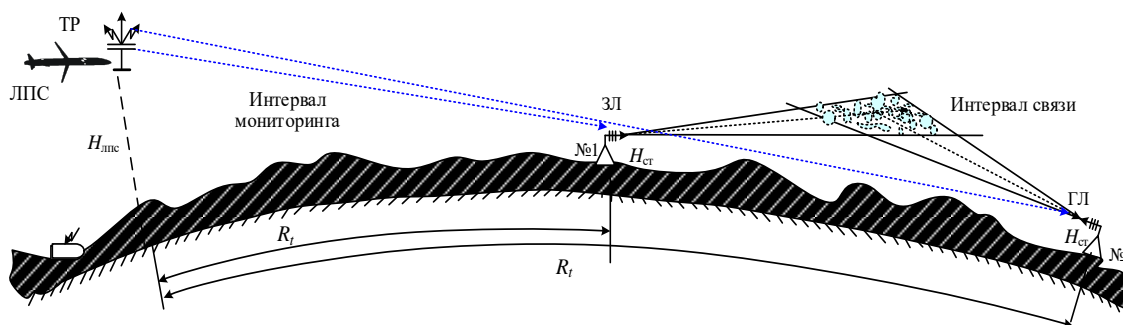


Рис. 1. Вариант искусственного радиоэлектронного подавления радиолинии тропосферной связи

Особенность мониторинга ТРС средствами ТР является то, что он ведется в основном с летно-подъемных средств (ЛПС). Одной из характеристик является надёжность мониторинга сигнала ТРС. Вычисляемым параметром надёжности яв-

ляется p_p – вероятность успешного мониторинга параметров ТРС, необходимой для принятия решения, которое определены средствами ТР.

При определении вероятности p_p воспользуемся выражением [4, 6]

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

где $P_c = P_{\text{пл}} + G_{\text{пл}}(\varphi)$ – мощность сигнала, излучаемого антенной ТРС в направлении φ ТР, дБ; $W_{\Sigma p}$ – суммарное затухание сигнала в направлении средств ТР, дБ; K_y – коэффициент уменьшения излучаемой мощности сигнала ТРС или ухудшения чувствительности приёмника ТР, дБ; $P_{\text{пр.р}}$ – требуемый для успешного мониторинга уровень сигнала на входе приемника ТР, дБ; $G_{\text{пл}}(\varphi)$ – коэффициент усиления антенны приемника по рассматриваемому азимуту, дБ.

Вероятностный характер уравнения (1) определяет $G_{\text{пл}}(\varphi)$, имеющая различные средние значения в зависимости от

направления на ТР. Как известно [5], значения коэффициента усиления параболических антенн распределены по логарифмически-нормальному закону с параметром $\sigma_a = 4$ дБ.

При сравнительной оценке мониторинга ТРС, использующих различные типы антенн, целесообразно считать направление в сторону средств ТР равновероятными событиями с любого направления в горизонтальной плоскости или в любом другом секторе этой плоскости. Тогда вероятность ведения мониторинга из сектора $\Delta\varphi^\circ$ будет равна $\Delta\varphi^\circ/360$. Отсюда полная вероятность мониторинга ТР будет равна:

$$p_p = p_{\text{гл}} p_{\text{р|гл}} + \sum_{i=1}^N p_{\Delta\varphi_i} p_{\text{р|\Delta\varphi}_i}, \quad (2)$$

где $p_{\text{гл}}$ – вероятность того, что главный лепесток антенны ТРС направлен в сторону приемника ТР; $p_{\Delta\varphi_i}$ – вероятность того, что антенна ТРС будет находиться под углом φ к приемнику ТР по отношению к главному лепестку диаграммы направленности антенны (ДНА), т. е. в секторе $\Delta\varphi_i$; $p_{\text{р|гл}}$, $p_{\text{р|\Delta\varphi}_i}$ – вероятности успешного мони-

торинга ТРС; N – количество оставшихся участков (секторов мониторинга) без сектора главного лепестка ДНА.

Поскольку единственная случайная величина в (1) $G_{\text{пл}}(\varphi)$ распределена по логарифмически – нормальному закону, вероятность успешного мониторинга ТРС в некотором секторе $\Delta\varphi_i$ будет равна:

$$P_{p|\Delta\varphi_i} = \begin{cases} 0,5 + \Phi_0(x), & \text{если } x \geq 0,5 \\ 0,5 - \Phi_0(x), & \text{если } x < 0,5 \end{cases} \quad (3)$$

$$\text{где } \Phi_0(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_0^x e^{-\frac{t^2}{2}} dt ; \quad (4)$$

$$x = \frac{-P_{\text{прр}} + [P_c(\Delta\varphi_i) - W_{\Sigma\text{пр}} - K_y]}{\sigma_a} ; \quad (5)$$

$P_c(\Delta\varphi_i)$ – средняя мощность сигнала, излучаемого ТРС в секторе $\Delta\varphi_i$; σ_a – дисперсия коэффициента усиления антенн ТРС в зоне вне главного лепестка.

Необходимо отметить, что P_c зависит только от $\Delta\varphi_i$ и не зависит от дисперсии σ_a . При определении p_r исходят из того, что в заданном диапазоне функционирует только одна рассматриваемая ТРС и приемник мониторинга. Такое предположение позволяет не только прогнозировать возможность мониторинга радиоизлучений средствами ТР, но и разработать ряд организационных и технических мероприятий по ее повышению и проверить их эффективность. Однако, такой подход дает лишь максимальную оценку значения p_r так как не учитывает маскирующего влияния других ТРС, работающих в этом же диапазоне.

Предложенная методика позволяет оценить возможности мониторинга ТРС специального назначения. Здесь необходимо определиться, что считать успешным мониторингом ТРС. По аналогии с помехозащищённостью будем считать, мониторинг успешный, если $p_r \geq 0,95$. Тогда неуспешный мониторинг ТРС или показатель ее защищенности от мониторинга можно записать

$$p_z = 1 - p_r. \quad (6)$$

По данной методике проведены расчёты вероятности мониторинга ТРС на примере гипотетической ТРС и средств мониторинга ТР.

Исходные данные для расчета

1. Энергетика линии (энергетический потенциал и его составляющие): мощность

передатчика $P_{\text{пд}} = 300$ Вт, что соответствует 24,77 дБВт; затухание фидера $W_{\text{ф пд}} = W_{\text{ф пр}} = 2$ дБ; коэффициент усиления антенны $G_{\text{пд}} = G_{\text{пр}} = 39$ дБ; пороговая чувствительность приёмника ТР $P_{\text{рч}} = -135$ дБВт; эксплуатационный запас $\Delta P_{\text{экспл}} = 2$ дБ. Тогда энергетический потенциал

$$\begin{aligned} M_{\text{эп}} &= P_{\text{пд}} + G_{\text{пд}} - W_{\text{ф пд}} - W_{\text{ф пр}} - G_{\text{пр}} - \\ &P_{\text{рч}} - \Delta P_{\text{экспл}} = \\ &= 24,77 + 39 - 2 - 2 + 39 - (-135 \text{ дБВт}) - \\ &2 = 231,77 \text{ дБ}. \end{aligned}$$

2. Рабочая частота 5000 МГц (длина волны 6 см).

3. Высота антенны ТРС 4 м.

4. Дальность связи определяется расчётом, выбираем условную стандартную дальность 150 км.

5. Высота полёта ЛПС технической разведки 10 км.

6. Средняя пороговая чувствительность приемника ТР $P_{\text{рчр}} = -145$ дБВт.

7. Коэффициент усиления антенны приемника ТР $G_{\text{прр}} = 15$ дБ.

Результаты расчётов успешного мониторинга ТРС

Расчёты выполнены при мониторинге ТРС по боковому лепестку, так как это наиболее вероятно, учитывая, что антенна ТРС имеет очень узкую ДНА, порядка 2 градуса. Случай мониторинга рассматривался в условиях свободного пространства, затухание за счет рельефа $W_r = 0$. Переменной является дальность мониторинга R_m , параметром – пороговая чувствительность приёмника ТР (-135, -140, -145, -150, -155 дБВт), который зависит, в основном, от скорости передачи информации в радиолинии (полосы пропускания приемника)

$$P_{\text{пор}} = h^2 n_{\text{ш}} k T \Delta f, \quad (8)$$

где h^2 – требуемое отношение сигнал шум на входе приёмника ТР; $n_{\text{ш}}$ – коэффициент шума приёмника ТР; k – постоянная Больцмана; T – абсолютная температура ($T = 290 \text{ К}$); Δf – полоса пропускания приёмника ТР.

Принимаем, что пороговая чувствительность приемника ТР не хуже, чем у приёмника ТРС ($n_{\text{ш}} = 2 \text{ дБ}$), тогда на скорости 480 кбит/с (57 дБ) она равна в дБ:

$$P_{\text{пор}} = 10 + 2 - 204 + 57 = -135 \text{ дБВт.}$$

Результаты расчетов представлены на графиках рисунках 2–3.

Анализ результатов расчёта

Из рисунка 2 более представлены возможности средств ТР по мониторингу ТРС в зависимости от дальности мониторинга и чувствительности приемника ТР. Из рисунка видно, что требуемая величина ве-

роятности мониторинга 0,95 по боковому лепестку ДНА ТРС достигается на дальностях от 10 до 98 км в зависимости от чувствительности приемника ТР (скорости передачи информации в радиолинии). Причем она определяется не энергетикой, а высотой полёта ЛПС, т.е. дальностью прямой видимости на интервале мониторинга.

Анализ результатов исследования на рисунке 3 показывает, что средства ТР имеют слабые возможности мониторинга ТРС по заднему лепестку ДНА, т.к. дальность составляет всего 10 км. По главному лепестку ДНА станции возможности средств ТР по успешному мониторингу простираются на дальность прямой видимости, которая для данного случая составляет 420 км. Однако, вероятность такого события очень низка $p_{\text{гл}} = 2/360 = 0,0056$, что практически невозможно.

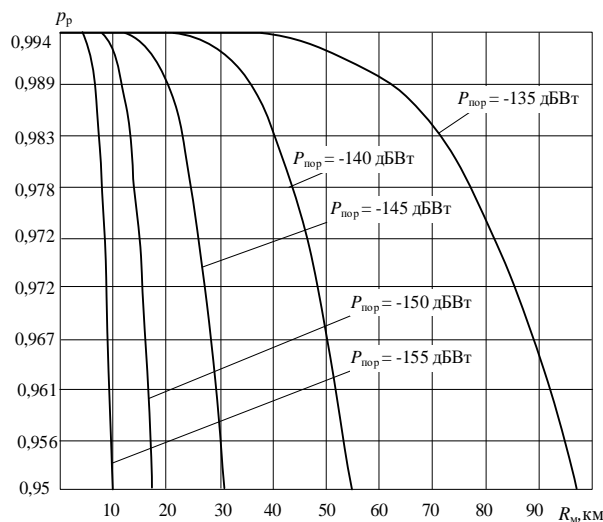


Рис. 2. Зависимость вероятности успешного мониторинга по боковому лепестку антенны ТРС от дальности полёта ЛПС и пороговой чувствительности приемника ТР

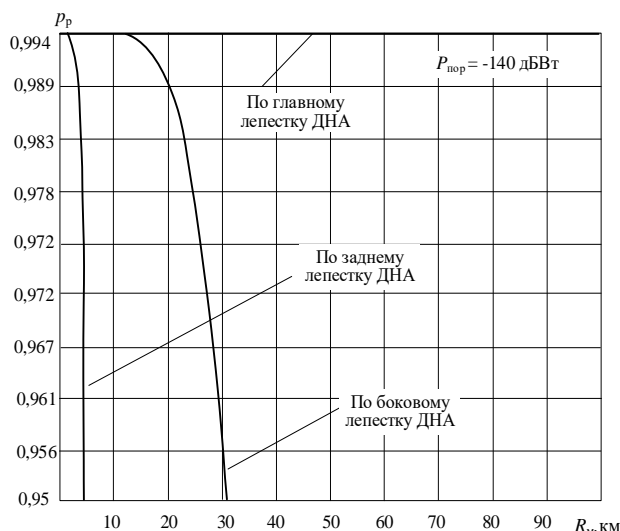


Рис. 3. Зависимость вероятности успешного мониторинга по заднему, боковому, главному лепестку антенны ТРС от дальности полёта самолёта при пороговой чувствительности приёмника ТР -145 дБВт.

Заключение

Главный вывод из проделанных расчетов заключается в том, что в отличие от аналогичных средств радиосети, ТРС энергетически доступны средствам ТР для мониторинга их параметров. Это определяется природой тропосферной связи, что связано с большими затуханиями сигнала на интервалах тропосферной связи, для компенсации которых требуются большая энергетика. Это объективная реальность и ее необходимо учитывать.

Для защиты радиоизлучений от перехвата необходимо принимать меры защиты, которые являются предметом дальнейших исследований.

Методика расчёта и полученные количественные результаты могут найти применение при организации и построении тропосферных радиорелейных линий связи в условиях ведения электромагнитного радиомониторинга.

Библиографический список

1. Военные системы радиорелейной и тропосферной связи / Е.А. Волков, В.В. Куликов, В.И. Булыч, В.В. Игнатов; Под ред. Е.А. Волкова. – Л.: ВАС, 1982. – 404 с.
2. Якушенко С.А., Бондаренко С.А., Бурлаков С.О. Цифровые радиорелейные станции: учеб. пособие для вузов связи. – СПб: ВАС, 2011. – 336 с.
3. Михайлов. Р.Л. Радиоэлектронная борьба в Вооружённых силах США: военно-теоретический труд. – СПб.: Научно-технологические, 2018. – 131 с.
4. Методика расчёта радиорелейных и тропосферных линий при планировании их развёртывания. Уч. пос. / Е.А. Волков, В.В. Куликов. – Ленинград. ВАС, 1987.
5. Отчет 391 МККР. Документы XI пленарной ассамблеи. Осло, 1966, том IV часть 2. – М.: Связь, 1969.
6. Волков Е.А., Куликов В.В., Бурьянов О.Н. Методика расчёта военных радиорелейных и тропосферных линий связи с аналоговыми и цифровыми сигналами при планировании их развёртывания. – Л.: ВАС, 1993.

ASSESSMENT OF AVAILABILITY OF RADIO EMISSIONS OF TROPOSPHERE STATIONS TO MONITORING MEANS

V.C. Snezhko, *Candidate of Technical Sciences, Associate Professor*

S.A. Yakushenko, *Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Senior Researcher*

V.E. Egrushev, *Candidate of Technical Sciences, Associate Professor*

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

V.V. Antonov, *Lecturer*

E.V. Chekanova, *Lecturer*

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

***Abstract.** The possibilities of the availability of radio emission from a tropospheric station to receiving monitoring tools for the identification of unmasking parameters are considered. The estimation methodology and calculation results based on the probabilistic approach are presented. The results can be used in the construction of tropospheric radio relay communication lines in the conditions of conducting electromagnetic radio monitoring.*

***Keywords:** tropospheric station, radio monitoring means, probability of successful monitoring.*