

# Радиолокационные и радионавигационные системы

УДК 621.396.962.38: 621.396.969.32

## АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ ПАРАМЕТРОВ ВЗАИМНОГО РАСПОЛОЖЕНИЯ НОСИТЕЛЕЙ ДВУХПОЗИЦИОННОЙ РЛС НА МОЩНОСТЬ МЕШАЮЩИХ ОТРАЖЕНИЙ ОТ ЗЕМЛИ

**Воронцова Светлана Анатольевна**

ассистент кафедры радиотехники ФГАОУ ВО «Самарский национальный исследовательский университет имени академика С. П. Королёва» (Самарский университет)».

*E-mail:* cbeta116@mail.ru.

*Адрес:* 443086, Самара, Московское шоссе, 34.

*Аннотация:* Исследование посвящено анализу влияния взаимного расположения носителей двухпозиционной радиолокационной станции (передатчика и приёмника) и участка земной поверхности на мощность мешающих отражений. Для проведения исследования был разработан алгоритм расчёта мощности мешающих отражений от поверхности Земли. Алгоритм основан на уравнениях линий равных дальностей и линий равных доплеровских частот, параметрами которых являются: база, высота системы и направление движения носителей радиолокационной станции. По алгоритму построены графики зависимостей мощности мешающих отражений в полосе пропускания доплеровских фильтров от частоты Доплера для параллельного движения носителей радиолокационной станции и движения носителей друг за другом. Графики показывают, как влияет изменение параметров взаимного расположения передатчика, приёмника и поверхности Земли на величину мощности мешающих отражений. Результаты исследования позволяют уменьшить мощность мешающих отражений, что приведёт к улучшению характеристик обнаружения и повышению точности определения координат цели.

*Ключевые слова:* мощность мешающих отражений, площадь участка мешающих отражений, поверхность Земли, двухпозиционная радиолокационная станция, низкоскоростные наземные цели, база, высота, линия равных дальностей, линия равных доплеровских частот, высокая частота повторения импульсов.

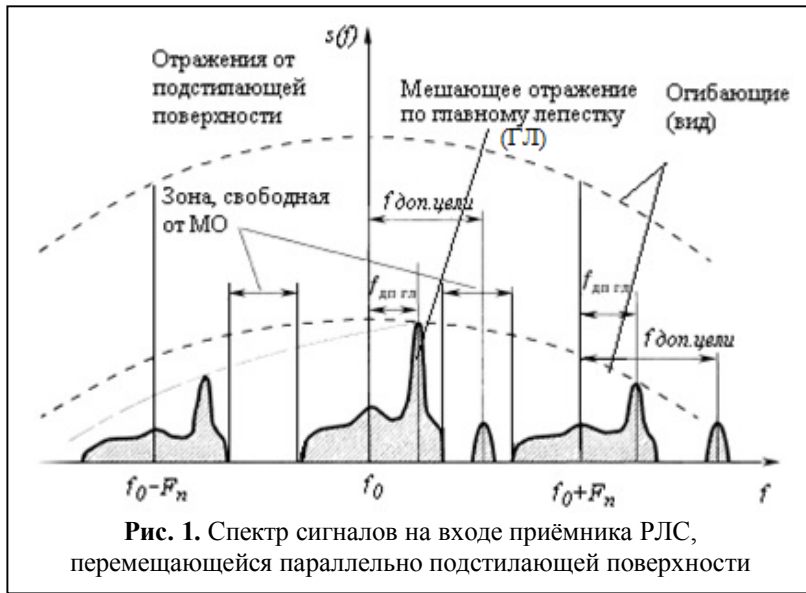
### Введение

Обнаружение низкоскоростных наземных целей бортовым радиолокатором сопровождается поступлением на вход приёмника мешающих отражений от подстилающей поверхности, мощность которых зачастую превышает мощность полезного сигнала, отражённого от цели. Это делает невозможным обнаружение целей в случаях, когда спектры мешающих отражений (МО) и сигналов от цели пересекаются. На рис. 1 изображён спектр сигналов на входе приёмника радиолокационной станции (РЛС), перемещающейся параллельно подстилающей поверхности [1]. Применение высокой частоты повторения импульсов  $F_n$  оказывается наиболее целесообразным в такой ситуации.

Преимущества импульсно-доплеровских РЛС заключаются в большом частотном интервале доплеровских приращений, свободном

от мешающих отражений, и отсутствии зон «слепых» скоростей в отличие от РЛС с низкой частотой повторения. Важным преимуществом РЛС с высокой частотой повторения импульсов (ВЧПИ) является однозначность при определении скорости целей.

Основными недостатками таких РЛС являются необходимость создания антенн с очень низким уровнем боковых лепестков, так как по ним принимается значительная мощность МО. Кроме того, возникают определённые трудности при решении задачи устранения неоднозначности измерения дальности до цели, и значительно увеличивается количество отражающих площадок в пределах дальности действия бортовой радиолокационной станции. Ясно, что с понижением частоты повторения импульсов, обеспечивающим однозначное измерение дальности, сократится интервал, свободный от ме-



шающих отражений, поскольку сближаются линии спектра излучаемого сигнала (рис. 1).

В предыдущих публикациях было выявлено влияние взаимного расположения носителей двухпозиционной РЛС на ширину спектра мешающих отражений от Земли [2] и на величину элементов разрешения [3], которые при задаче обнаружения наземной цели, а не зондирования поверхности Земли, являются участками мешающих отражений. Соответственно выводы о влиянии взаимного расположения носителей передатчика (ПРД), приёмника (ПРМ) и цели на величину элемента разрешения в [3] справедливы и для величины участков МО.

Мощность МО определяется не только количеством и величиной участков МО, площа-

дью перекрытия следов лепестков диаграммы направленности (ДН) и участков МО, но и количеством наложений максимумов лепестков ДН антенн ПРМ и ПРД в следе. Уменьшение количества этих наложений, количества участков МО и их величины возможно за счёт разнесения в пространстве ПРМ и ПРД РЛС.

Целью работы является получение алгоритма расчёта мощности МО и анализ влияния параметров взаимного расположения носителей двухпозиционной РЛС на мощность МО от Земли.

### Формирование участков МО

Элементы разрешения на поверхности Земли представляют собой участки поверхности, ограниченные линиями равных доплеровских частот (изодопами) и линиями равных дальностей (изодалами) [1].

При ВЧПИ имеется много участков дальности (полосок эллиптической формы) вследствие неоднозначности измерения дальности из-за возможности преобладания времени прихода отражённого сигнала над периодом излучения зондирующего импульса (рис. 2, рис. 3).

Ширина этих полосок определяется разрешающей способностью РЛС по дальности

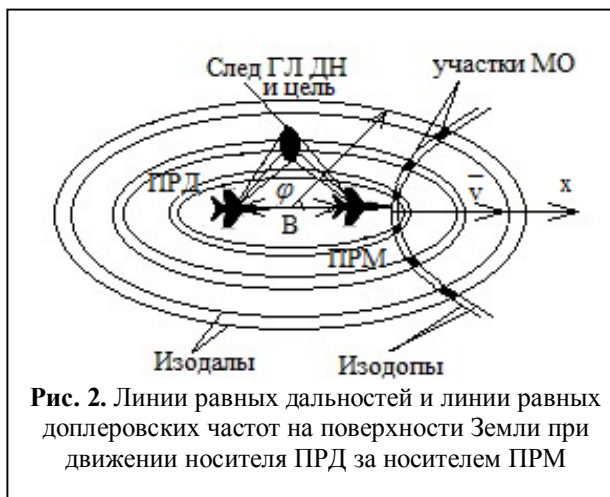


Рис. 2. Линии равных дальностей и линии равных доплеровских частот на поверхности Земли при движении носителя ПРД за носителем ПРМ

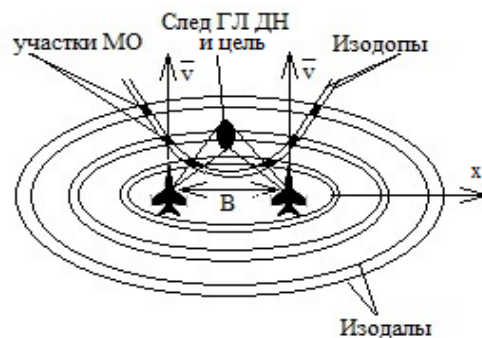


Рис. 3. Линии равных дальностей и линии равных доплеровских частот на поверхности Земли при параллельном движении носителей ПРД и ПРМ

[3–9]. Суммарное время распространения сигнала от ПРД до этих полосок и назад до ПРМ кратно периоду повторения зондирующих импульсов.

За счёт доплеровской селекции на поверхности Земли выделяется сигнал только от тех участков, частота Доплера которого соответствует частоте настройки фильтра обнаружения цели. В результате в систему обработки РЛС попадает сигнал, отражённый только от участков пересечения полосок дальностей и полоски доплеровских частот [10–11], по форме напоминающей гиперболу, то есть от участков МО, выделенных на рис. 2 чёрным цветом.

Рассмотрим два случая: случай движения носителя ПРМ за носителем ПРД по прямолинейной траектории при некотором расстоянии ( $B$ ) между ними (рис. 2) и случай движения носителей ПРМ и ПРД по параллельным траекториям (рис. 3) с одинаковыми скоростями. В обоих случаях носители РЛС перемещаются в направлении, параллельном картинной плоскости, и параллельно плоскости просматриваемого участка земной поверхности.

### Алгоритм расчёта мощности МО

Предлагается следующий алгоритм вычисления суммарной мощности МО в полосе пропускания доплеровского фильтра от всех полосок дальности для настроек фильтра, покрывающих весь диапазон доплеровских частот отражённого от поверхности Земли сигнала в пределах дальности действия РЛС.

1. Задать значения параметров «геометрии» системы (базы ( $B$ ); высоты полёта носителей ПРМ и ПРД ( $H$ ); угла ( $\varphi_{азв}$ ) между направлением вектора скорости носителей и нулевым положением радиус-вектора); периода повторения зондирующих импульсов ( $T_n$ ); длительности импульса ( $\tau_n$ ); длины волны ( $\lambda$ ); максимальной дальности действия ПРМ и ПРД РЛС ( $R_{max}$ ); мощности ПРД ( $P_T$ ); радиуса антенны ПРМ ( $a$ ); полосы пропускания доплеровских

фильтров ( $\Delta f$ ); скорости полёта носителей ПРД и ПРМ ( $v$ ).

Здесь предполагается, что радиус-вектор направлен из центра эллипсов, ограничивающих полосу дальности, к участку МО [12]. Нулевым положением ( $\varphi=0$ ) радиус-вектора следует считать положение, когда направление радиус-вектора совпадает с направлением оси  $x$ , проведённой вдоль большой оси эллипса [12]. Угол  $\varphi$  – угол, отсчитываемый от направления оси  $x$ , с положительным направлением отсчёта против часовой стрелки [12].

2. Находим количество ( $N$ ) полосок дальности, соответствующее дальности действия РЛС:

$$N = \frac{(R_{max} - \sqrt{(B/2)^2 + H^2} - \frac{c \cdot \tau_n}{2})}{c \cdot T_n / 2},$$

где  $c$  – скорость света, м/с.

3. Вычисляем суммарную дальность от ПРД и от ПРМ до полоски дальности с номером  $n$ :

$$R_S(n) = 2 \cdot R_{max} - (N - n) \cdot c \cdot T_n.$$

4. Разбиваем полосу дальности с номером  $n$  на 360 участков. Ширина каждого участка соответствует изменению угла  $\varphi$  положения радиус-вектора, направленного на этот участок, на один градус. Тогда длину этих участков [12] можно найти как произведение числа  $\pi$  и суммы большой и малой полуоси полоски дальности эллиптической формы с номером  $n$ , отнесённое к 360 градусам:

$$l(n) = \frac{\pi \cdot \sqrt{\left(\frac{R_S(n)}{2}\right)^2 - H^2}}{360} + \frac{\pi \cdot \sqrt{\left(\frac{R_S(n)}{2}\right)^2 - H^2 - \left(\frac{B}{2}\right)^2}}{360}.$$

5. Определим площади этих участков полоски дальности с номером  $n$ . При этом примем допущение, что ширина полоски дальности, образуемой эллипсами, имеет одинаковую величину по всей длине и равна её ширине при  $\varphi=0$ . Тогда формула для вычисления площади участков МО будет иметь вид:

$$S_{M0}(n) = l(n) \cdot \sqrt{\left(\frac{R_S(n)}{2}\right)^2 - H^2} - l(n) \cdot \sqrt{\left(\frac{R_S(n) - c \cdot \tau_n}{2}\right)^2 - H^2}.$$

6. Вычисляем длину радиус-вектора ( $\rho$ ), направленного на участок  $n$ -й полосы дальности с угловой координатой  $\varphi$ :

$$\rho(\varphi, n) = \sqrt{\frac{(R_S(n)/2)^2 - (B/2)^2 - H^2}{1 - \frac{(B/2)^2}{(R_S(n)/2)^2 - H^2} \cdot \cos^2(\varphi)}}.$$

7. Определяем величину проекции на поверхность Земли наклонной дальности от ПРД до участка  $n$ -й полосы дальности, направление радиус-вектора на который соответствует угловой координате  $\varphi$ :

$$R_{Tn}(\varphi, n) = \sqrt{\rho^2(\varphi, n) + \frac{B^2}{4} + \rho(\varphi, n) \cdot B \cos \varphi}.$$

8. Определяем величину проекции на поверхность Земли наклонной дальности от ПРМ до участка  $n$ -й полосы дальности, направление радиус-вектора на который соответствует угловой координате  $\varphi$ :

$$R_{Rn}(\varphi, n) = \sqrt{\rho^2(\varphi, n) + \frac{B^2}{4} - \rho(\varphi, n) \cdot B \cos \varphi}.$$

9. Определяем величину наклонной дальности от ПРД до участка  $n$ -й полосы дальности, направление радиус-вектора на который соответствует угловой координате  $\varphi$ :

$$R_T(\varphi, n) = \sqrt{R_{Tn}^2(\varphi, n) + H^2}.$$

10. Определяем величину наклонной дальности от ПРМ до участка  $n$ -й полосы дальности, направление радиус-вектора на который соответствует угловой координате  $\varphi$ :

$$R_R(\varphi, n) = \sqrt{R_{Rn}^2(\varphi, n) + H^2}.$$

11. Находим величину угла места ( $\varphi_{yMT}$ ) по отношению к положению ПРД участка  $n$ -й полосы дальности, направление радиус-вектора на который соответствует угловой координате  $\varphi$ :

$$\varphi_{yMT}(\varphi, n) = \arctg(H/R_{Tn}(\varphi, n)).$$

12. Находим величину угла места ( $\varphi_{yMR}$ ) по отношению к положению ПРМ участка  $n$ -й полосы дальности, направление радиус-вектора на который соответствует угловой координате  $\varphi$ :

$$\varphi_{yMR}(\varphi, n) = \arctg(H/R_{Rn}(\varphi, n)).$$

13. Определяем величину азимутального угла ( $\varphi_{азT}$ ) между осью  $x$  и проекцией на поверхность Земли наклонной дальности от ПРД до участка  $n$ -й полосы дальности, направление радиус-вектора на который соответствует угловой координате  $\varphi$ :

$$\begin{aligned} \varphi_{азT}(\varphi, n) &= \arccos\left(\frac{\rho(\varphi, n) \cdot \cos(\varphi) + \frac{B}{2}}{R_{Tn}(\varphi, n)}\right) = \\ &= \arccos\left(\frac{\rho^2 - R_{Tn}^2(\varphi, n) - \left(\frac{B}{2}\right)^2}{-B \cdot R_{Tn}(\varphi, n)}\right). \end{aligned}$$

Перед выражениями в правой части следует поставить знак «минус» для диапазона углов  $\varphi$  от 180 до 360 градусов.

14. Определяем величину азимутального угла ( $\varphi_{азR}$ ) между осью  $x$  и проекцией на поверхность Земли наклонной дальности от ПРМ до участка  $n$ -й полосы дальности, направление радиус-вектора на который соответствует угловой координате  $\varphi$ :

$$\begin{aligned} \varphi_{азR}(\varphi, n) &= \arccos\left(\frac{\rho(\varphi, n) \cdot \cos(\varphi) - \frac{B}{2}}{R_{Rn}(\varphi, n)}\right) = \\ &= \arccos\left(\frac{\rho^2 - R_{Rn}^2(\varphi, n) - \left(\frac{B}{2}\right)^2}{B \cdot R_{Rn}(\varphi, n)}\right). \end{aligned}$$

Перед выражениями в правой части следует поставить знак «минус» для диапазона углов  $\varphi$  от 181 по 359 градусов.

15. Задаём угол места направления ДН ПРМ ( $\varphi_{RyMDH}$ ) и ПРД ( $\varphi_{TyMDH}$ ), задаём азимутальный угол направления ДН ПРМ ( $\varphi_{RazDH}$ ) и ПРД ( $\varphi_{TazDH}$ ).

16. Определяем величину пространственного угла между направлением ГЛ ДН ПРД и направлением радиус-вектора на участок

-й полосы дальности, соответствующим угловой координате  $\varphi$ :

$$\theta_T(\varphi, n) = \arccos [\cos(\varphi_{азТ}(\varphi, n) - \varphi_{ТазДН}) \times \cos(\varphi_{умТ}(\varphi, n) - \varphi_{ТумДН})].$$

17. Определяем величину пространственного угла между направлением ГЛ ДН ПРМ и направлением радиус-вектора на участок -й полосы дальности, соответствующим угловой координате  $\varphi$ :

$$\theta_R(\varphi, n) = \arccos [\cos(\varphi_{азR}(\varphi, n) - \varphi_{RазДН}) \times \cos(\varphi_{умR}(\varphi, n) - \varphi_{RумДН})].$$

18. Вычисляем мощность МО [7–9, 13–16], поступающих на вход ПРМ, от участка -й полосы дальности, соответствующего угловой координате  $\varphi$ :

$$P_{МО}(\varphi, n) = \frac{P_T \cdot G_a \cdot S_a \cdot F(\theta_T(\varphi, n))}{(4\pi)^2 \cdot (R_T(\varphi, n))^2 \cdot (R_R(\varphi, n))^2} \times F(\theta_R(\varphi, n)) \cdot S_{МО}(n) \cdot \sin \varphi_{умТ}(\varphi, n),$$

где  $S_a = \pi \cdot a^2$  – площадь антенны ПРМ;  $G_a = 4 \cdot \pi \cdot S_a / \lambda^2$  – коэффициент усиления антенны ПРД;  $F(\theta)$  – коэффициент направленного действия (КНД) антенн ПРД и ПРМ.

Для проведения расчёта необходимо воспользоваться выражением КНД конкретного типа антенн, например, круговой:

$$F(\theta) = \frac{J_1\left(\frac{2\pi}{\lambda} \cdot a \cdot \sin(\theta)\right) \cdot (1 + \cos(\theta))}{\frac{2\pi}{\lambda} \cdot a \cdot \sin(\theta)},$$

где  $J_1$  – функция Бесселя первого порядка.

19. Вычисляем значение частоты Доплера сигнала, поступающего на вход ПРМ от участка -й полосы дальности с угловой координатой  $\varphi$ :

$$f_{доп.}(\varphi) = \frac{v}{\lambda} \cdot \cos(\varphi_{азR}(\varphi, n) - \varphi_{азв}) \times \cos(\varphi_{умR}(\varphi, n)) + \frac{v}{\lambda} \cdot \cos(\varphi_{азТ}(\varphi, n) - \varphi_{азв}) \cdot \cos(\varphi_{умТ}(\varphi, n)).$$

20. Находим значения угловых координат  $\varphi_{гр}$ , соответствующих верхним границам полосы пропускания доплеровских фильтров. Для этого последовательно перебираем значения частот Доплера сигнала от участков -й полосы дальности с разными значениями угловой координаты  $\varphi$ , увеличивая значение пере-

менной  $\varphi$  с шагом в один градус, пока частота Доплера не станет меньше верхней граничной частоты доплеровского фильтра  $f_{гр1}$ . Затем продолжить увеличивать значение переменной  $\varphi$  с шагом в один градус, пока соответствующее ему значение частоты Доплера не станет меньше верхней граничной частоты фильтра  $f_{гр2} = f_{гр1} - \Delta f$  с частотой настройки, меньшей частоты настройки предыдущего фильтра на величину полосы пропускания ( $\Delta f$ ). После снова увеличивать значение  $\varphi$ , пока соответствующее значение частоты Доплера не станет меньше  $f_{гр3} = f_{гр2} - \Delta f$ . И так далее для всех доплеровских фильтров.

Во избежание закливания для случая с рис. 2, то есть при  $\varphi_{азв} = 0$ , требуется проводить перебор значений доплеровских частот для первого поддиапазона углов  $\varphi \in (0^\circ; 179^\circ)$ , а для случая с рис. 3, то есть при  $\varphi_{азв} = 90$  градусов, требуется проводить перебор значений доплеровских частот для первого поддиапазона углов  $\varphi \in (90^\circ; 269^\circ)$ . То есть в общем случае – для поддиапазона  $\varphi \in (\varphi_{азв}; \varphi_{азв} + 179^\circ)$ .

21. Получим граничные значения угловых координат  $\varphi_{гр2}$ , соответствующих верхним границам полосы пропускания доплеровских фильтров, для второго поддиапазона углов  $\varphi \in (\varphi_{азв} + 181^\circ; \varphi_{азв} + 360^\circ)$  из граничных значений ( $\varphi_{гр1}$ ) угловых координат первого поддиапазона:

$$\begin{aligned} \varphi_{гр2} &= 360^\circ - \varphi_{гр1} \text{ при } \varphi_{азв} = 0^\circ; \\ \varphi_{гр2} &= 180^\circ - \varphi_{гр1} \text{ при } \varphi_{азв} = 90^\circ. \end{aligned}$$

Эти выражения следуют из того, что  $f_{доп.}(360^\circ - \varphi) = f_{доп.}(\varphi)$  при  $\varphi_{азв} = 0^\circ$  и  $f_{доп.}(180^\circ - \varphi) = f_{доп.}(\varphi)$  при  $\varphi_{азв} = 90^\circ$ .

22. Находим мощность МО, попадающих в полосу пропускания доплеровского фильтра с верхней границей полосы пропускания, равной  $f_{доп.}$ , от участков -й полосы дальности со значениями угловых координат, лежащими в диапазоне от  $\varphi_{гр1}(f_{доп.})$  до  $\varphi_{гр1}(f_{доп.} - \Delta f) - 1$  и диапазоне от  $\varphi_{гр2}(f_{доп.})$  до  $\varphi_{гр2}(f_{доп.} - \Delta f) + 1$

$$P_{MO}(f_{доп.}, n) = \sum_{\varphi=[\varphi_{гр1}(f_{доп.})]}^{\varphi_{гр1}(f_{доп.}, -\Delta f)-1} P_{MO}(\varphi, n) + \sum_{\varphi=[\varphi_{гр2}(f_{доп.})]}^{\varphi_{гр2}(f_{доп.}, -\Delta f)+1} P_{MO}(\varphi, n),$$

где  $\Delta f$  – ширина полосы пропускания доплеровских фильтров.

23. Вычисляем мощность МО, попадающих в полосу пропускания доплеровского фильтра с верхней границей полосы пропускания, равной  $f_{доп.}$ , от участков  $N$  полосок дальности.

$$P_{MO}(f_{доп.}) = \sum_{n=1}^N P_{MO}(f_{доп.}, n).$$

#### Исследование влияния «геометрии» системы на мощность МО

Для наглядности по разработанному алгоритму построены графики (рис. 4–7) зависимости мощности МО в полосе пропускания 19 доплеровских фильтров от частоты Доплера для

двух вариантов направления вектора скорости носителей РЛС (варианта движения носителей друг за другом (рис. 2) и варианта параллельного движения носителей (рис. 3)) с различными значениями параметров «геометрии» системы.

При построении графиков были использованы следующие значения параметров: полоса пропускания доплеровских фильтров  $\Delta f = 1$  кГц, длительность импульса  $\tau_{и} = 1$  мкс, период повторения импульсов  $T_{п} = 7$  мкс, максимальная дальность действия ПРД и ПРМ  $R_{max} = 100$  км, длина волны  $\lambda = 0,03$  м, скорость полёта носителей РЛС  $v=300$  м/с, мощности ПРД  $P_T = 90$  кВт.

Графики на рис. 4–7 построены при равных энергетических параметрах: дальности до цели от ПРМ и от ПРД, мощности ПРД, диаграммах направленности антенн, что позволяет проводить сравнение графиков по уровню мощности МО.

Рис. 4–5 иллюстрируют, что увеличение

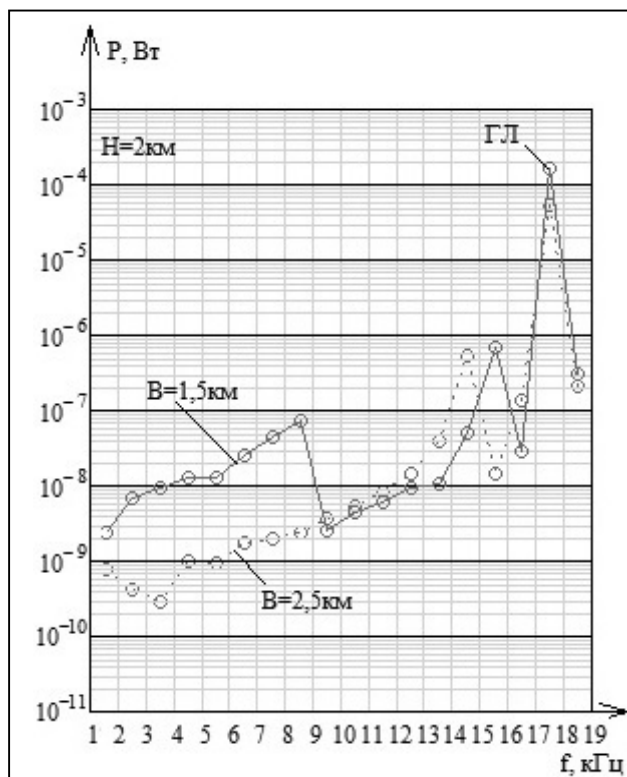


Рис. 4. Графики зависимостей мощности МО от частоты Доплера с параметром база ( $B$ ) для параллельного движения носителей РЛС

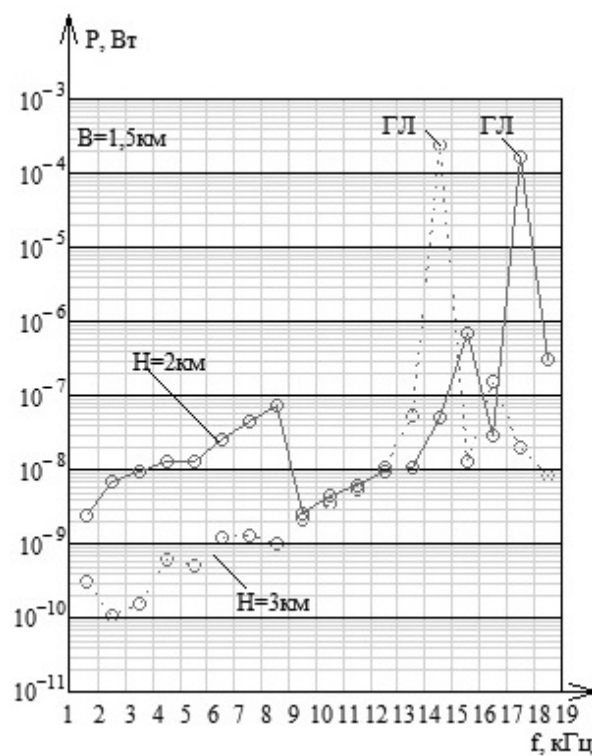


Рис. 5. Графики зависимостей мощности МО от частоты Доплера с параметром высота ( $H$ ) для параллельного движения носителей РЛС

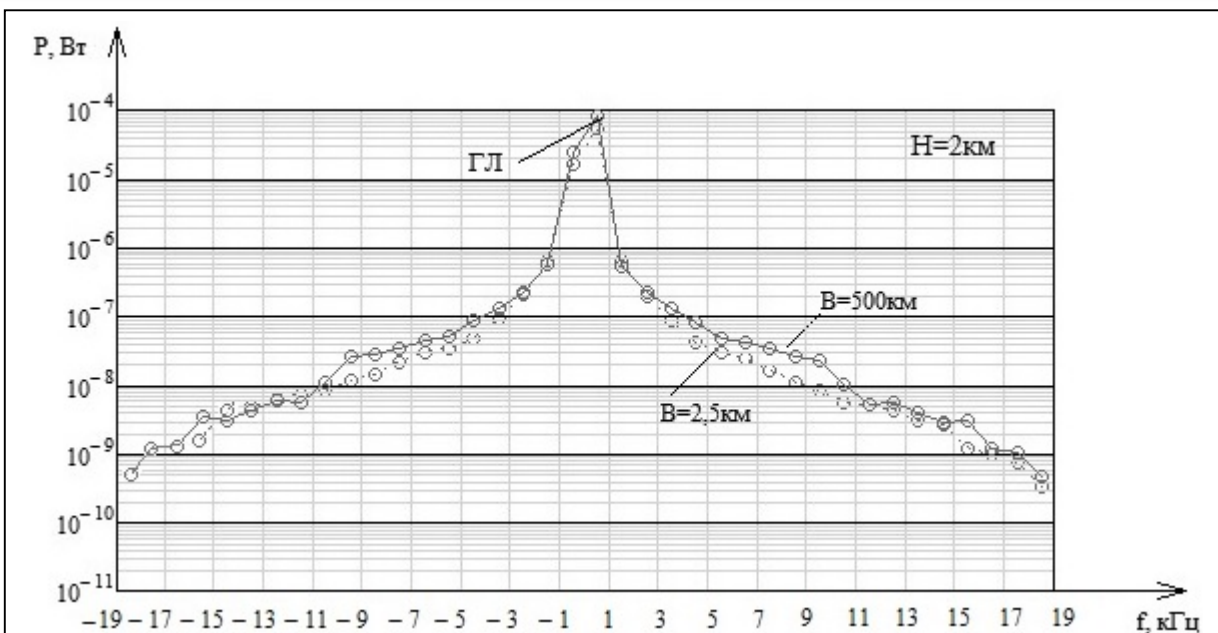


Рис. 6. Графики зависимостей мощности МО в полосе доплеровских фильтров 1 кГц от частоты Доплера с параметром база ( $B$ ) для движения носителей РЛС друг за другом

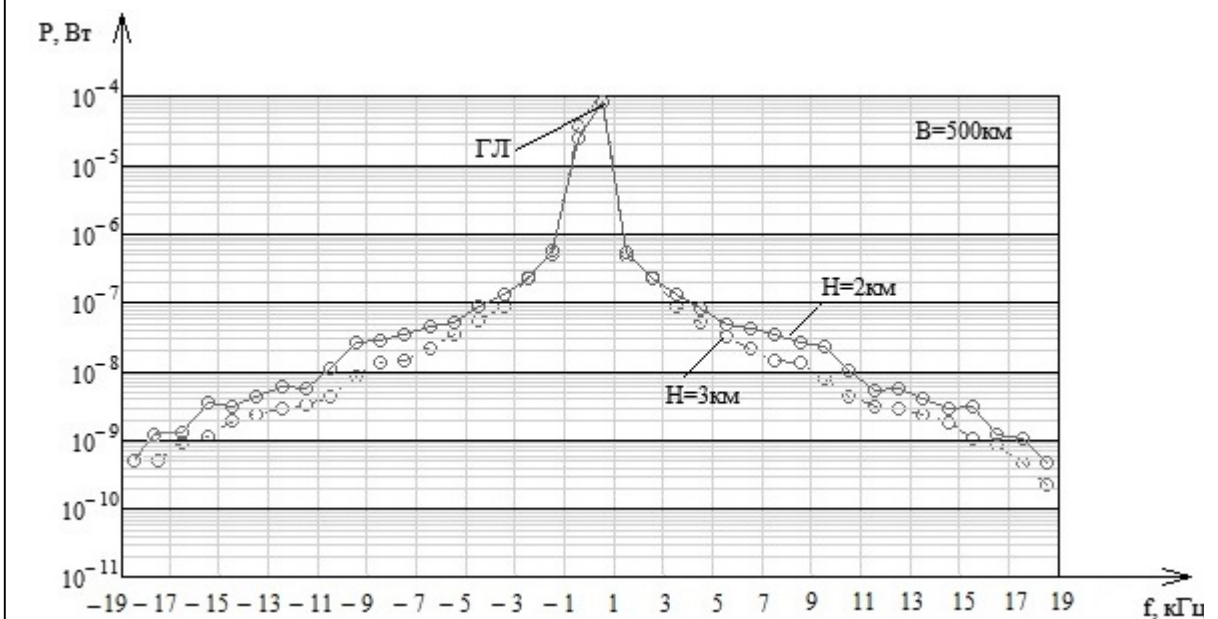


Рис. 7. Графики зависимостей мощности МО в полосе доплеровских фильтров 1 кГц от частоты Доплера с параметром высота ( $H$ ) для движения носителей РЛС друг за другом

расстояния между ПРД и ПРМ, то есть величины параметров «база» ( $B$ ) и «высота системы» ( $H$ ) при параллельном движении носителей РЛС, приводит к уменьшению более чем на один порядок мощности МО, попадающих в полосу пропускания доплеровских фильтров, начиная с 9 кГц и далее для более низких частот.

Рис. 6–7 иллюстрируют уменьшение мощности МО более чем в 2 раза вне зоны главного лепестка (ГЛ) с увеличением значений параметров «база» и «высота системы» при движении носителей РЛС друг за другом.

При сравнении рис. 4–5 с рис. 6–7 видно, что в случае движения носителей друг за другом (рис. 6–7) мощность МО вне зоны ГЛ из-

меняется плавно при изменении частоты. В случае параллельного движения носителей РЛС (рис. 4–5) отчётливо прослеживаются выступы, соответствующие максимумам боковых лепестков, что в большей степени препятствует обнаружению цели на фоне МО.

### Заключение

Разработан алгоритм расчёта мощности мешающих отражений для двух вариантов направления движения носителей приёмника и передатчика радиолокационной станции: а) движения носителей друг за другом и б) параллельного движения носителей при произвольном положении низкоскоростной наземной цели. Алгоритм позволяет провести анализ влияния на мощность мешающих отражений следующих параметров «геометрии» системы: а) базы (расстояния между носителями передатчика и приёмника радиолокационной станции); б) высоты системы. В результате анализа выявлено, что к уменьшению мощности мешающих отражений на входе приёмника и, соответственно, к улучшению характеристик обнаружения низкоскоростных наземных целей приводит: а) увеличение базы; б) увеличение высоты системы. Анализ результатов позволит для решения каждой конкретной задачи обнаружения оптимизировать траектории взаимного перемещения носителей передатчика и приёмника двухпозиционной радиолокационной станции.

### Литература

1. Дудник П.И., Ильчук А.Р., Татарский Б.Г. Многофункциональные радиолокационные системы. М.: Дрофа, 2007. 283 с.
2. Воронцова С.А. Улучшение характеристик РСА землеобзора за счёт применения двухпозици-

онного режима их работы // Радиотехнические и телекоммуникационные системы. 2017. № 1. С. 24–30.

3. Воронцова С.А., Жуков С.В. Возможность управления спектром отражений от Земли при движении носителей БРЛС по круговым траекториям работы // Радиотехнические и телекоммуникационные системы. 2018. № 1. С. 5–13.

4. Радиолокационные системы землеобзора космического базирования / В.С. Верба [и др.]. М.: Радиотехника, 2010. 675 с.

5. Кондратенков Г.С., Фролов А.Ю. Радиовидение (Радиолокационные системы дистанционного зондирования Земли). М.: Радиотехника, 2005. 368 с.

6. Радиолокационные станции обзора Земли. / Г.С. Кондратенков [и др.]. М.: Радио и связь, 1983. 272 с.

7. Гарбук С.В., Гершензон В.Е. Космические системы дистанционного зондирования Земли. М.: «А и Б», 1997. 296 с.

8. Сосулин Ю.Г. Теоретические основы радиолокации и радионавигации. М.: Радио и связь, 1992. 304 с.

9. Скольник М.И. Справочник по радиолокации. М.: Техносфера, 2014. Т. 2. 680 с.

10. Корн Г.А., Корн Т.М. Справочник по математике для научных работников и инженеров. Определения, теоремы, формулы. М.: Наука, 1978. 832 с.

11. Лёзин Ю.С. Введение в теорию и технику радиотехнических систем. М.: Радио и связь, 1986. 280 с.

12. Меркулов В.И. Улучшение разрешающей способности двухпозиционной РЛС по углу путём траекторного управления наблюдением // Радиотехника. 2009. № 6. С. 141.

13. Радиолокационные устройства (теория и принципы построения) / В.В. Григорин-Рябов [и др.]. М.: Советское радио, 1970. 680 с.

14. Бакулев П.А. Радиолокационные системы. М.: Радиотехника, 2004. 320 с.

15. Радиолокационные станции с цифровым синтезированием апертуры антенны / В.Н. Антипов [и др.]. М.: Радио и связь, 1988. 304 с.

16. Черняк В.С. Многопозиционная радиолокация. М.: Радио и связь, 1993. 416 с.

Поступила 1 октября 2018 г.

English

## PERFORMANCE EFFECT ANALYSIS OF THE TWO-POSITION RADAR CARRIERS' RELATIVE POSITION IN REGARD TO THE POWER OF THE EARTH CLUTTER REFLECTIONS

Svetlana Anatolyevna Vorontsova – Assistant Lecturer, Radio Engineering Department, Federal State Autonomous Educational Institution for Higher Education "Samara National Research University named after S.P. Korolyov" (Samara University).



E-mail: cbeta116@mail.ru.

Address: 443086, Samara, Moscow Highway, 34.

**Abstract:** The detection of low-speed ground targets by the onboard radar is accompanied by the income of the underlying surface clutter reflections into the receiver input, the power of which often exceeds the power of the wanted signal reflected from the target. This makes it impossible to detect targets when the spectra of the clutter reflections and signals from the target intersect. The reduction of the Earth clutter reflections' power as a result of reducing the number of the side-lobe peaks' overlays of the receiver and transmitter antenna patterns and reducing the number and size of clutter reflections' areas can be achieved by spacing the radar receiver and transmitter, that is, using two-position operation mode. The research covers impact analysis of the relative position of the bistatic radar carriers (transmitter and receiver) and the ground area on the clutter reflections' power. To carry out the research, the dependence formulas of the number and size of clutter reflections' areas on the parameters of the carriers' relative position were obtained, as well as this dependence effect on the clutter reflections' power was considered, and the calculation algorithm for the clutter reflections' power that fall within the Doppler passband was developed. The algorithm is based on the dependence aspects of the Doppler frequency and the clutter reflections' power on the angular coordinate and the distance coordinates of the clutter reflections' area, the parameters of which are: the base, the height of the system and the travelling direction of the radar carriers. The dependence diagrams of the clutter reflections' power in the Doppler passband in the Doppler frequency for the parallel movement of the radar carriers, and the movement of the carriers one by one were created by the algorithm. The diagrams indicate how the change in the parameters of the relative position of the transmitter, receiver and the Earth's surface affects the clutter reflections' power in the Doppler passband. The research results enable to reduce the clutter reflections' power, which will improve the detection performance and improve the accuracy of the target coordinates.

**Keywords:** clutter reflections' power, clutter reflections' area, the Earth surface, bistatic radar station, low-speed ground targets, base, height, equal distances' line, equal Doppler frequency line, high pulse recurrence frequency.

#### References

1. *Dudnik P.I., Ilchuk A.P., Tatarsky B.G.* Multifunctional radar systems. Moscow : Drofa, 2007. 283 p.
2. *Vorontsova S.A.* Performance enhancement of Radar Earth viewing due to application of two position mode operation. Radiotekhnicheskiye i telekommunikatsionnye sistemy. 2017. No. 1. Pp. 24–30.
3. *Vorontsova S.A., Zhukov S.V.* Earth reflection spectrum control possibility with onboard radar system carriers moving in circular paths. Radiotekhnicheskiye i telekommunikatsionnye sistemy. 2018. No. 1. Pp. 5–13.
4. Space-based radar systems for Earth viewing. *V.S. Verba* [and other colleagues.]. Moscow: Radiotekhnika, 2010. 675 p.
5. *Kondratenkov G.S., Frolov A.Yu.* Radio vision (Radar systems of Earth remote probing). Moscow: Radiotekhnika, 2005. 368 p.
6. Earth viewing radars. *G.S. Kondratenkov* [and other colleagues]. Moscow: Radio i svyaz, 1983. 272 p.
7. *Garbuk S.V., Gershenson V.E.* Space systems of Earth remote sensing. Moscow: "A i B", 1997. 296 p.
8. *Sosulin Yu.G.* Basic theory of radar-location and radio navigation. Moscow: Radio i svyaz, 1992. 304 p.
9. *Skolnik M.I.* Radar Handbook. Moscow: Tekhnosfera, 2014. Vol. 2. 680 p.
10. *Korn G.A., Korn T.M.* The reference book on mathematics for scientists and engineers. Definitions, theorems, formulas. Moscow: Nauka, 1978. 832 p.
11. *Lyozin Yu.S.* Introduction to the theory and equipment of radio engineering systems. Moscow: Radio i svyaz, 1986. 280 p.
12. *Merkulov V.I.* Improvement of angular resolution capacity of two-position radar via supervision trajectory management. Radiotekhnika. 2009. No. 6. P. 141.
13. Radar devices (theory and development principles). *V.V. Grigorin-Ryabov* [and other colleagues]. Moscow: Sovetskoye radio, 1970. 680 p.
14. *Bakulev P.A.* Radar systems. Moscow: Radiotekhnika, 2004. 320 p.
15. Radars with digital synthesizing antenna aperture. *V. N. Antipov* [and other colleagues]. Moscow: Radio i svyaz, 1988. 304 p.
16. *Chernyak V.S.* Multiposition radar-surveillance. Moscow: Radio i svyaz, 1993. 416 p.