

# Радиолокационные и радионавигационные системы

УДК 621.396.962.38

## Возможность управления спектром отражений от Земли при движении носителей БРЛС по круговым траекториям

**Воронцова Светлана Анатольевна**

инженер кафедры радиотехники ФГАОУ ВО «Самарский национальный исследовательский университет имени академика С. П. Королёва» (Самарский университет).  
E-mail: cbeta116@mail.ru.

**Жуков Семён Викторович**

специалист по защите информации отдела по защите государственной тайны и информации ФГАОУ ВО «Самарский национальный исследовательский университет имени академика С. П. Королёва» (Самарский университет).  
E-mail: zhukovsv91@inbox.ru.  
Адрес: 443086, г. Самара, Московское шоссе, 34.

**Аннотация:** Исследование посвящено анализу влияния отношения скоростей движения носителей двухпозиционной радиолокационной станции (передатчика и приёмника) и взаимного расположения носителей и низкоскоростной малоразмерной наземной цели на ширину спектра доплеровских частот мешающих отражений от Земли при круговом движении носителей в противоположных направлениях. Для проведения исследования на основе формулы расчёта частоты Доплера в однопозиционной системе получена формула для двухпозиционной системы, учитывающая параметры: отношение скоростей движения носителей станции, радиусы траекторий носителей, разность высот передатчика и приёмника, высоту системы, расстояние между осью траекторий носителей станции и облучаемым участком земной поверхности. С использованием формулы построены графики зависимостей частоты Доплера от углового положения носителей станции на траекториях. Графики показывают, как влияет изменение отношения скоростей движения носителей и изменение параметров взаимного расположения передатчика, приёмника и низкоскоростной малоразмерной наземной цели на ширину спектра доплеровских частот мешающих отражений от земной поверхности. Результаты исследования позволяют уменьшить ширину спектра, что приведёт к повышению отношения сигнала к шуму, улучшению характеристик обнаружения и повышению точности определения координат цели.

**Ключевые слова:** сужение спектра частот Доплера, мешающие отражения от поверхности Земли, малоразмерная наземная цель, двухпозиционная радиолокационная станция, круговые траектории, взаимное расположение передатчика и приёмника.

### Введение

Существенным фактором, затрудняющим обнаружение малоразмерных наземных целей, перемещающихся с малой скоростью, является наличие на входе приёмника (ПРМ) бортовой радиолокационной станции (БРЛС) мощного сигнала, отражённого от подстилающей поверхности. Как показано в [1], уменьшение ширины спектра мешающих отражений (МО) позволяет повысить отношение сигнала к шуму в полосе системы обработки сигнала, что

приводит к улучшению характеристик обнаружения. Если учесть особенности «геометрии» двухпозиционных радиолокационных станций (РЛС) [1-9], можно сделать вывод о возможности управления шириной спектра частот Доплера МО, а также положением этого спектра на оси частот за счёт варьирования параметров системы. Поэтому целью работы является поиск путей уменьшения ширины спектра МО, основанный на анализе влияния изменения отношения скоростей движения но-

сителей двухпозиционной РЛС и изменения параметров взаимного расположения ПРМ, передатчика (ПРД) и низкоскоростной малоразмерной наземной цели на ширину спектра доплеровских частот МО от земной поверхности.

Применение двухпозиционной топологии с движением носителей ПРД и ПРМ РЛС в противоположных направлениях позволяет обеспечить равной нулю доплеровскую частоту сигнала, отражённого от расположенной вблизи цели точки земной поверхности. Это объясняется тем, что результирующая частота Доплера сигнала [10], отражённого от точки земной поверхности, на входе ПРМ двухпозиционной РЛС складывается из частоты Доплера, возникающей в результате движения ПРД по отношению к этой точке, и частоты Доплера, появляющейся вследствие движения ПРМ относительно этой точки, а знак каждого слагаемого определяется направлением движения:

$$F_{\text{доп.}} = -\frac{1}{\lambda} \cdot \left( \frac{dD_T}{dt} + \frac{dD_R}{dt} \right), \quad (1)$$

где  $dD_T/dt$  – производная по времени наклонной дальности ( $D_T$ ) от ПРД до отражающей точки земной поверхности (взятая с отрицательным знаком скорость приближения ПРД к этой точке или скорость отдаления от точки, взятая с положительным знаком);  $dD_R/dt$  – производная по времени наклонной дальности ( $D_R$ ) от ПРМ до отражающей точки земной поверхности (взятая с отрицательным знаком скорость приближения ПРМ к этой точке или скорость отдаления от точки, взятая с положительным знаком);  $\lambda$  – длина волны излучаемого ПРД сигнала.

Перемещение по фиксированным круговым траекториям (рис.1) является наиболее простым вариантом двухпозиционной топологии с движением носителей ПРД и ПРМ РЛС в противоположных направлениях относительно наблюдаемой малоразмерной низкоскоростной цели. На рис. 1 цель располагается на участке земной поверхности в зоне перекрытия следов

диаграмм направленности (ДН) антенн ПРД и ПРМ с центром в точке S.

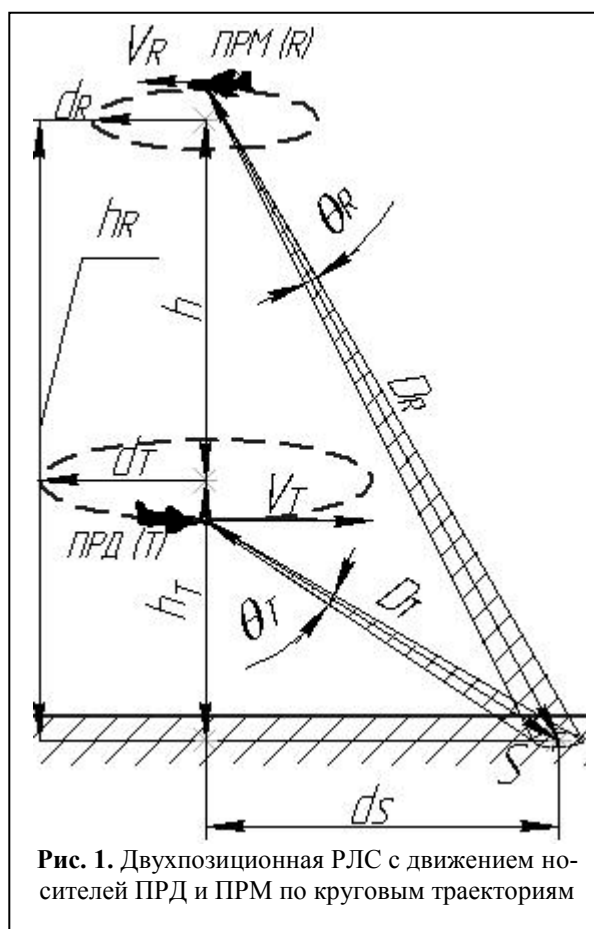


Рис. 1. Двухпозиционная РЛС с движением носителей ПРД и ПРМ по круговым траекториям

Необходимым условием сохранения топологии, представленной на рис. 1, является равенство угловых скоростей носителей [2]:

$$\omega = \frac{V_T}{d_T} = \frac{V_R}{d_R}, \quad (2)$$

где  $V_T$ ,  $V_R$  – скорости полёта ПРД и ПРМ, соответственно, м/с;  $d_T$ ,  $d_R$  – величины радиусов траекторий ПРД и ПРМ, соответственно, м.

Из формулы (2) следует, что радиусы траекторий ПРД и ПРМ относятся так же, как и их скорости. Примем это отношение в качестве параметра взаимного расположения ПРМ и ПРД системы и обозначим переменной  $\nu$ :

$$\nu = \frac{d_T}{d_R} = \frac{V_T}{V_R} \text{ или } d_T = \nu \cdot d_R. \quad (3)$$

Для проведения анализа влияния параметров двухпозиционной «геометрии» системы с круговым движением носителей в противо-

ложных направлениях на ширину спектра частот Доплера МО выразим частоту Доплера (1) через параметры:  $v, d_R, d_T, h_R, h$  и  $d_S$ , где  $h_R$  – высота полёта носителя ПРМ;  $h_T$  – высота полёта носителя ПРД;  $h=h_R-h_T$  – разность высот ПРМ и ПРД;  $d_S$  – расстояние от оси траекторий носителей РЛС до точки  $S$ .

С этой целью определим: наклонную дальность от ПРД до точки  $S$ :

$$D_T = \sqrt{d_S^2 + d_T^2 + 2 \cdot d_S \cdot d_T \cdot \cos(\omega t) + h_T^2},$$

где  $t$  – время;

наклонную дальность от ПРМ до точки  $S$ :

$$D_R = \sqrt{d_S^2 + d_R^2 - 2 \cdot d_S \cdot d_R \cdot \cos(\omega t) + h_R^2};$$

производные  $D_T$  и  $D_R$  по времени [11]:

$$\left\{ \begin{aligned} \frac{dD_T}{dt} &= \frac{-d_S \cdot d_T \cdot \sin(\omega t) \cdot \omega}{\sqrt{d_S^2 + d_T^2 + 2d_S d_T \cos(\omega t) + h_T^2}}; \\ \frac{dD_R}{dt} &= \frac{d_S \cdot d_R \cdot \sin(\omega t) \cdot \omega}{\sqrt{d_S^2 + d_R^2 - 2d_S d_R \cos(\omega t) + h_R^2}}. \end{aligned} \right. \quad (4)$$

С учетом выражений (2–4) формула частоты Доплера (1), выраженная через параметры системы, имеет вид:

$$F_{\text{доп.}} = \frac{-V_R \cdot d_S \cdot \sin(\omega t) / \lambda}{\sqrt{d_S^2 + d_R^2 - 2d_S d_R \cos(\omega t) + h_R^2}} + \frac{v \cdot V_R \cdot d_S \cdot \sin(\omega t) / \lambda}{\sqrt{d_S^2 + d_T^2 + 2d_S d_T \cos(\omega t) + (h_R - h)^2}}.$$

Для определения ширины спектра частот Доплера МО, попадающих в зону перекрытия ДН антенн ПРМ и ПРД, произведём равносильную замену аргумента функции (5). То есть вместо углового положения ПРМ относительно положения проекции неподвижной точки земной поверхности ( $S$ ) на плоскость траектории ПРМ примем в качестве аргумента угловое положение проекции отражающей точки земной поверхности относительно фиксированного положения ПРМ. Это означает, что результирующая частота Доплера отражённого от точки  $S$  сигнала при некотором угловом положении  $\omega t$  ПРМ относительно положения проекции точки

$S$  равна результирующей частоте Доплера сигнала, отражённого от точки, отстоящей от  $S$  на угол  $-\omega t$ , при угловом положении ПРМ, равном угловому положению проекции точки  $S$ . Тогда диапазон значений функции (5), соответствующих значениям нового аргумента, по модулю не превышающим значение половины ширины перекрытия ДН антенн ПРМ и ПРД, является искомой шириной спектра частот Доплера МО, попадающих в зону перекрытия ДН.

### Исследование влияния отношения скорости ПРД к скорости ПРМ на ширину спектра частот Доплера МО

Проведём анализ влияния на ширину спектра частот Доплера МО от Земли параметра «отношение скорости ПРД к скорости ПРМ». Для наглядности по аналитически выведенной формуле (5) построены графики зависимостей частоты Доплера ( $F_{\text{доп.}}$ ) МО на входе ПРМ двухпозиционной РЛС от углового положения ( $\omega t$ ) проекции отражающей точки земной поверхности на плоскость траектории ПРМ относительно фиксированного положения ПРМ (рис. 2).

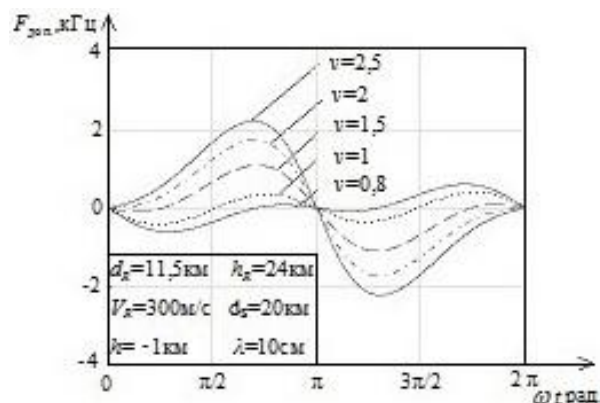


Рис. 2. Графики зависимостей частоты Доплера от углового положения отражающей точки земной поверхности с параметром «отношение скорости ПРД к скорости ПРМ» ( $v$ )

На рис. 2 график, соответствующий значению параметра  $v=1,5$ , при значениях аргумента от  $-\pi/4$  до  $+\pi/4$  имеет близкую к нулю ширину спектра частот Доплера. Это означает, что зна-

чение параметра  $\nu=1,5$  является предпочтительным с точки зрения минимизации ширины спектра МО для случая, когда ширина перекрытия ДН антенн ПРД и ПРМ не превышает  $\pi/2$ , если прочие параметры принимают указанные на рис. 2 значения. Предпочтительное значение параметра «отношение скорости ПРД к скорости ПРМ» ( $\nu$ ) для произвольного значения ширины ( $\theta$ ) участка перекрытия ДН ПРД и ПРМ, не превышающей  $\pi/2$ , определяется формулой:

$$\nu = \frac{d_S \cdot d_R \cdot \cos(\theta)}{d_S^2 + h_R^2 - 2 \cdot d_S \cdot d_R \cdot \cos(\theta)} \pm \left( \frac{d_S \cdot d_R \cdot \cos(\theta)}{d_S^2 + h_R^2 - 2 \cdot d_S \cdot d_R \cdot \cos(\theta)} + \left( \frac{d_S^2/d_R^2 + h_T^2 + 1}{d_S^2 + h_R^2 - 2 \cdot d_S \cdot d_R \cdot \cos(\theta)} \right)^2 \right)^{0,5}$$

Из рис. 2 также видно, что при уменьшении параметра «отношение скорости ПРД к скорости ПРМ» ( $\nu$ ) диапазон частот Доплера МО, соответствующий полному диапазону значений аргумента, уменьшается. Это связано с уменьшением отношения частоты Доплера  $F_{\text{доп.}} = -(dD_T/dt) \cdot \lambda^{-1}$  (график *T* на рис. 3), возникающей в результате движения ПРД относительно отражающей точки земной поверхности, к частоте Доплера  $F_{\text{доп.}} = -(dD_R/dt) \cdot \lambda^{-1}$  (график *R* на рис. 3), появляющейся из-за движения ПРМ относительно этой точки.

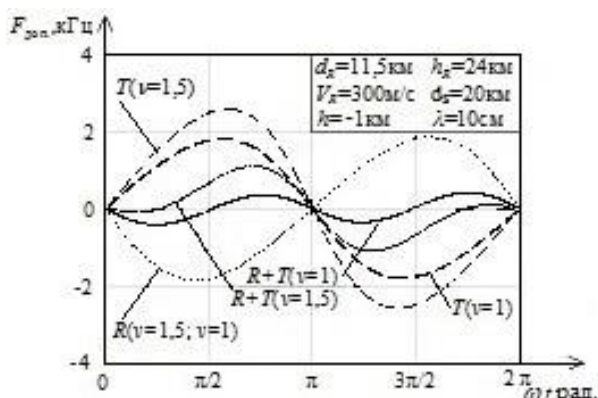


Рис. 3. Графики зависимостей частот Доплера, возникающих в результате движения ПРД (*T*) и ПРМ (*R*), суммарной частоты Доплера (*R+T*) от углового положения отражающей точки Земли

Рис. 3 иллюстрирует, что уменьшение отношения значений  $F_{\text{доп.}}$  для одинаковых значений аргумента ( $\omega t$ ) графиков *T* и *R* приводит к увеличению их взаимной компенсации (при значениях аргумента от  $3\pi/8$  до  $13\pi/8$ ) и к уменьшению диапазона (ширины спектра) результирующих доплеровских частот  $F_{\text{доп}}$  графика *R+T*.

### Исследование влияния радиусов траекторий ПРД и ПРМ на ширину спектра частот Доплера МО

Проанализируем влияние параметров «радиусы траекторий ПРД и ПРМ» ( $d_T=d_R$ ) на ширину спектра частот Доплера МО. Для наглядности для разных значений параметра построены графики зависимостей результирующей частоты Доплера от углового положения проекции отражающей точки Земли на плоскость траектории ПРМ относительно фиксированного положения ПРМ (рис. 4).

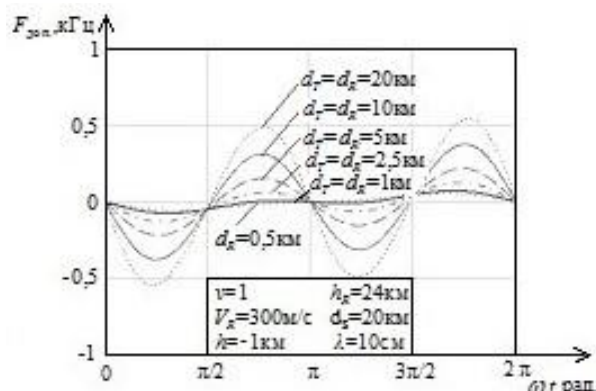


Рис. 4. Графики зависимостей частоты Доплера от углового положения отражающей точки земной поверхности с параметрами «радиусы траекторий ПРД и ПРМ» ( $d_T=d_R$ )

Графики показывают, что с уменьшением параметров  $d_T$  и  $d_R$  диапазон частот Доплера МО сужается и становится наименьшим и практически одинаковым при  $d_T=d_R \leq 1$  км в случае, когда остальные параметры принимают значения, заданные на рис. 4.

Причину такой зависимости ширины спектра частот Доплера МО от величины параметра  $d_T = d_R$  помогает пояснить рис. 5.



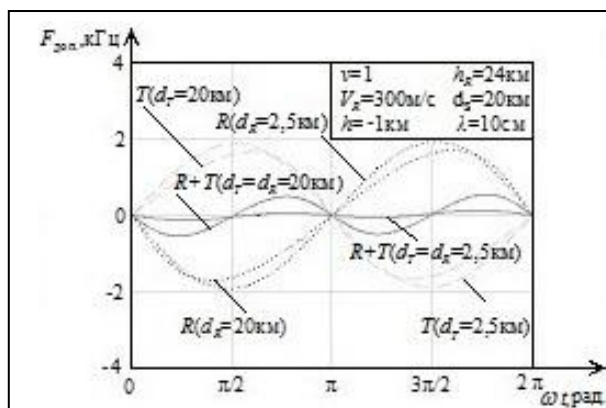


Рис. 5. Графики зависимостей частот Доплера, возникающих в результате движения ПРД ( $T$ ) и ПРМ ( $R$ ), суммарной частоты Доплера ( $R+T$ ) от углового положения отражающей точки Земли

Рис. 5 иллюстрирует формирование графиков результирующей (суммарной) частоты Доплера МО для двух значений параметров  $d_T=d_R$ . При меньших значениях радиусов траекторий ПРМ ( $d_R$ ) и ПРД ( $d_T$ ) наблюдается меньшее различие между значениями аргументов ( $\omega t$ ), соответствующих наибольшему по модулю значениям функций (частоты Доплера ( $F_{\text{допн}}$ )), графиков  $T$  и  $R$ . Это приводит к большей компенсации противоположных по знаку частот Доплера графиков  $T$  и  $R$  при одинаковых значениях аргумента ( $\omega t$ ). В результате ширина спектра результирующих (суммарных) частот Доплера МО становится меньше при уменьшении радиусов ПРМ и ПРД.

### Исследование влияния разности высот ПРМ и ПРД на ширину спектра частот Доплера МО

Проанализируем, как изменяется ширина спектра частот Доплера МО в зависимости от величины параметра «разность высот ПРМ и ПРД» ( $h$ ). Для наглядности по аналитически выведенной формуле (5) построены графики зависимостей частоты Доплера ( $F_{\text{допн}}$ ) МО на входе ПРМ двухпозиционной РЛС от углового положения ( $\omega t$ ) проекции отражающей точки земной поверхности на плоскость траектории ПРМ относительно фиксированного положения ПРМ (рис. 6).

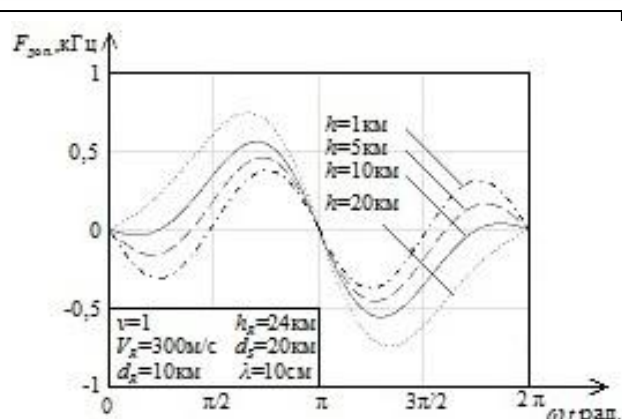


Рис. 6. Графики зависимостей частоты Доплера от углового положения отражающей точки Земли с параметром «разность высот ПРМ и ПРД» ( $h$ )

На рис. 6 при значении параметра  $h=10$  у графика наблюдается участок, соответствующий диапазону значений аргумента от  $-\pi/4$  до  $+\pi/4$ , с близким к нулю значением ширины спектра частот Доплера. Это означает, что для случая, когда значение ширины перекрытия ДН антенн ПРД и ПРМ не превышает  $\pi/2$ , значение параметра  $h=10$  является предпочтительным с точки зрения минимизации ширины спектра частот Доплера МО, если прочие параметры принимают значения, указанные на рис. 6.

Рис. 6 демонстрирует также уменьшение диапазона частот Доплера МО, соответствующего всему диапазону значений аргумента, при уменьшении параметра  $h$ . Это объясняется тем, что с уменьшением параметра  $h$  уменьшается высота ПРМ, возрастает пространственный угол между направлением скорости полёта ПРМ и отрезком, соединяющим отражающую точку земной поверхности и точку расположения носителя ПРМ, а это приводит к увеличению по модулю значений функции  $F_{\text{допн}}$  графика  $R$  (рис. 7).

В итоге значения  $F_{\text{допн}}$ , соответствующие одним и тем же аргументам ( $\omega t$ ), графиков  $T$  и  $R$  в большей степени взаимно уничтожают друг друга, и диапазон результирующих (суммарных) частот Доплера МО уменьшается.

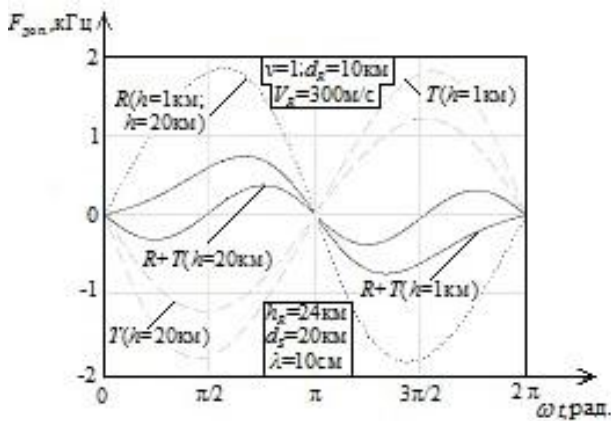


Рис. 7. Графики зависимостей частот Доплера, возникающих в результате движения ПРД ( $T$ ) и ПРМ ( $R$ ), суммарной частоты Доплера ( $R+T$ ) от углового положения отражающей точки Земли

**Исследование влияния высоты системы на ширину спектра частот Доплера МО**

Проведём анализ влияния высоты полёта носителя ПРМ ( $h_R$ ) при фиксированной разности высот ПРМ и ПРД ( $h$ ), то есть влияние высоты системы на ширину спектра частот Доплера МО.

Из графиков зависимостей результирующей частоты Доплера от углового положения отражающей точки земной поверхности на рис. 8 видно, что с увеличением параметра «высота системы» ( $h_R$  при  $h=const.$ ) диапазон частот Доплера МО сужается. Причину указанной зависимости помогает пояснить рис. 9.

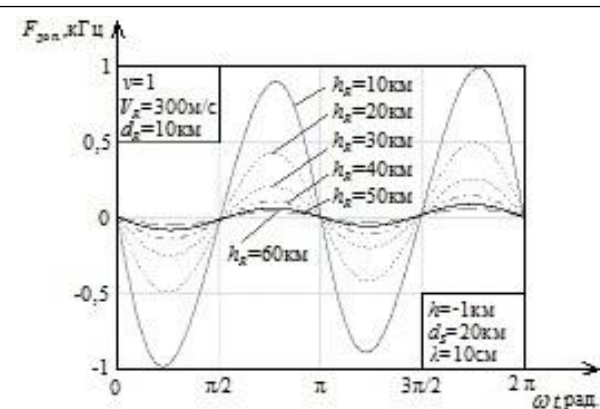


Рис. 8. Графики зависимостей частоты Доплера от углового положения отражающей точки Земли с параметром «высота системы» ( $h_R$  при  $h=const.$ )

На рис. 9 при увеличении высот ПРД и ПРМ на одну и ту же величину, то есть при увеличении высоты системы, наблюдается уменьшение по модулю значений функций графиков  $T$  и  $R$  и уменьшение различия между значениями аргументов ( $\omega t$ ), соответствующих наибольшим по модулю значениям функций графиков  $T$  и  $R$ . Эти два обстоятельства приводят к уменьшению различия между значениями функций графиков  $T$  и  $R$  при одинаковых значениях аргумента ( $\omega t$ ). В результате противоположные по знаку значения частот Доплера графиков  $T$  и  $R$  при одинаковых значениях аргумента ( $\omega t$ ) в большей степени взаимно компенсируются, и ширина спектра результирующих (суммарных) частот Доплера МО становится меньше при увеличении высоты системы.

**Исследование влияния расстояния между осью траекторий носителей РЛС и отражающей точкой земной поверхности на ширину спектра частот Доплера МО**

Из графиков зависимостей результирующей частоты Доплера от углового положения отражающей точки земной поверхности на рис. 10 видно, что с увеличением параметра «расстояние от оси траекторий носителей РЛС до отражающей точки Земли» ( $d_S$ ) диапазон частот Доплера МО сужается.

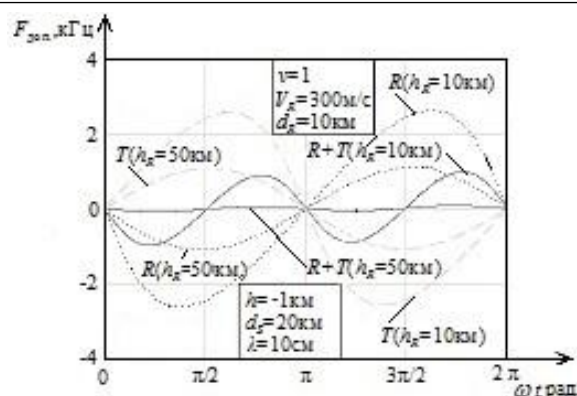


Рис. 9. Графики зависимостей частот Доплера, возникающих в результате движения ПРД ( $T$ ) и ПРМ ( $R$ ), суммарной частоты Доплера ( $R+T$ ) от углового положения отражающей точки Земли

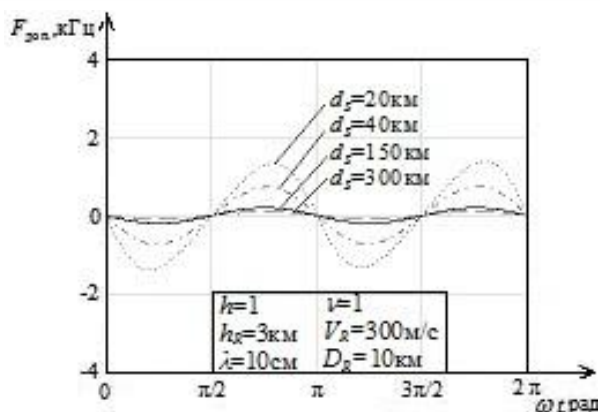


Рис. 10. Графики зависимостей частоты Доплера от углового положения отражающей точки Земли с параметром «расстояние от оси траекторий РЛС до отражающей точки Земли» ( $d_s$ )

Причины установленной зависимости поясняются рис. 11.

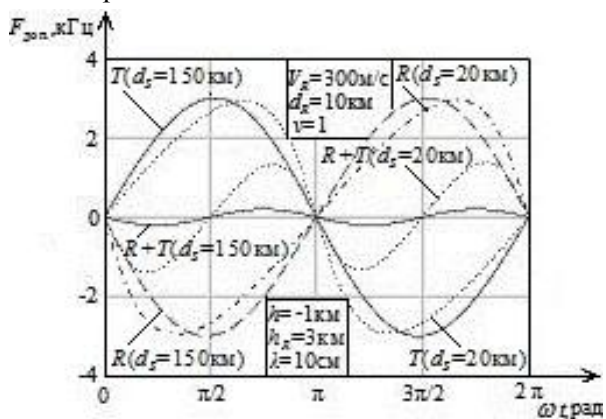


Рис. 11. Графики зависимостей частот Доплера, возникающих в результате движения ПРД ( $T$ ) и ПРМ ( $R$ ), суммарной частоты Доплера ( $R+T$ ) от углового положения отражающей точки Земли

Рис. 11 иллюстрирует, что при увеличении расстояния ( $d_s$ ) от оси круговых траекторий полёта носителей ПРД и ПРМ до отражающей точки земной поверхности уменьшается различие между значениями аргументов ( $\omega t$ ), соответствующих наибольшим по модулю значениям функций графиков  $T$  и  $R$ . Это приводит к большей взаимной компенсации  $F_{\text{доп}}$  при одинаковых значениях аргумента ( $\omega t$ ) для графиков  $T$  и  $R$  и уменьшению ширины спектра частот Доплера МО.

Формула расчёта дальности до точки земной поверхности, для которой результирующая доплеровская частота отражённого сигнала на входе ПРМ двухпозиционной РЛС обращается в нуль, имеет вид:

$$d_s = \frac{d_T \cdot d_R}{d_T - d_R} \cdot \cos(\omega t) \pm \left( \left( \frac{d_T \cdot d_R}{d_T - d_R} \cdot \cos(\omega t) \right)^2 - \frac{d_T^2 \cdot h_R^2 - d_R^2 \cdot (h_R - h)^2}{d_T^2 - d_R^2} \right)^{0,5}$$

Также при  $d_s = 0$  результирующая доплеровская частота обращается в нуль.

### Заключение

На основе формулы для расчёта частоты Доплера в однопозиционной системе была получена формула для двухпозиционной топологии с движением носителей ПРД и ПРМ РЛС в противоположных направлениях по круговым траекториям. В формуле учтены следующие параметры: а) отношение скорости носителя ПРД к скорости носителя ПРМ РЛС; б) радиусы траекторий носителей ПРД и ПРМ РЛС; в) разность высот полёта носителей ПРМ и ПРД РЛС; г) высота системы (высота полёта носителя ПРМ при фиксированной разности высот ПРД и ПРМ); д) расстояние между осью траекторий носителей РЛС и отражающей точкой земной поверхности. Также получена формула для расчёта дальности до точки земной поверхности, доплеровская частота отражений от которой обращается в нуль

Результаты исследования позволяют уменьшить ширину спектра, что приведёт к повышению отношения сигнала к шуму, улучшению характеристик обнаружения и повышению точности определения координат цели, что представляет особую сложность для случая низкоскоростных малоразмерных наземных целей.

Выявленная зависимость ширины спектра частот Доплера МО от земной поверхности на входе ПРМ РЛС от параметров траекторий носителей системы и их скоростей доказывает,

что возможна оптимизация характеристик РЛС путем траекторного управления полётом носителей ПРД и ПРМ.

### Литература

1. Кондратенков Г.С. Радиолокационные станции обзора Земли / Г. С. Кондратенков [и др.]. – М.: Радио и связь, 1983. – 272 с.
2. Дудник П.И., Ильчук А.Р., Татарский Б.Г. Многофункциональные радиолокационные системы. – М.: Дрофа, 2007. – 283 с.
3. Бакулев П.А. Радиолокационные системы. – М.: Радиотехника, 2004. – 320 с.
4. Григорин-Рябов В.В., Васин В.В., Власов О.В., Дудник П.И., Степнов Б.М. Радиолокационные устройства (теория и принципы построения). – М.: Советское радио, 1970. – 680 с.
5. Кондратенков Г.С., Фролов А.Ю. Радиовидение. Радиолокационные системы дистанци-

онного зондирования Земли. – М.: Радиотехника, 2005. – 368 с.

6. Лёзин Ю.С. Введение в теорию и технику радиотехнических систем. – М.: Радио и связь, 1986. – 280 с.
7. Меркулов В. И. Улучшение разрешающей способности двухпозиционной РЛС по углу путём траекторного управления наблюдением // Радиотехника, 2009. № 6. – С. 129–132.
8. Верба В.С. Радиолокационные системы землеобзора космического базирования. / В.С. Верба [и др.]. – М.: Радиотехника, 2010. – 675 с.
9. Антипов В.Н. Радиолокационные станции с цифровым синтезированием апертуры антенны / В.Н. Антипов [и др.]. – М.: Радио и связь, 1988. – 304 с.
10. Скольник М.И. Справочник по радиолокации. М.: Техносфера, 2014. Т. 2. – 680 с.
11. Корн Г.А., Корн Т.М. Справочник по математике для научных работников и инженеров. Определения, теоремы, формулы. – М.: Наука, 1978. – 832 с.

Поступила 6 июня 2017 г.

English

## Earth reflection spectrum control possibility with onboard radar system carriers moving in circular paths

**Svetlana Anatolyevna Vorontsova** – Engineer, 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.

**Semyon Viktorovich Zhukov** – Information Security Specialist, Department of Information and Official Secrets Protection, Federal State Autonomous Educational Institution for Higher Education "Samara National Research University named after S.P. Korolyov" (Samara University).

*E-mail:* zhukovsv91@inbox.ru.

*Address:* 443086, Samara, Moscow Highway, 34.

**Abstract:** The essential factor complicating detection of low-speed moving small-size ground targets is having powerful interfering signal in the onboard radar input which was reflected from the underlying surface. To improve the detection performance signal-to-noise ration needs to be increased. One of solutions of this problem is Doppler frequency bandwidth reduction of clutter reflections. It is offered in the article to reduce bandwidth through applying two-position configuration of onboard radar with its carriers moving in circular paths in opposite directions. The research is related to the analysis of mutual arrangement and speed ratio effect of the radar carrier's movement (the transmitter and the receiver) with such configuration for Doppler frequency bandwidth width of Earth clutter reflections with radar carriers moving in opposite directions. To carry out a research the Doppler frequency calculation formula in two-position system was derived taking into account as follows: radar carrier's movement speed ratio, their mutual arrangement parameters (carriers' path radiuses, the distance between the paths planes, the receiver and the transmitter height), the distance between radar carriers path axle and irradiated ground surface area. Using derived analytical expression dependence diagrams of Doppler frequency vs radar carriers angular position in paths for speed ration different values and for different parameters of their mutual arrangement were constructed. The diagrams show how the parameters variation of the transmitter and receiver mutual arrangement affects Doppler frequency bandwidth of the ground surface clutter reflections. The research results enable to narrow the bandwidth that will lead to the increase of the signal-to-noise ratio, to detection performance improvement and to the target positioning accuracy improvement.

**Keywords:** Doppler frequency bandwidth narrowing, Earth's surface clutter reflections, small-size ground target, two-position radar, circular paths, transmitter and receiver mutual arrangement.



**References**

1. Kondratenkov G.S. Radar systems of Earth probing / G.S. Kondratenkov [and other colleagues]. M.: Radio i svyaz, 1983. 272 p.
2. Dudnik P.I., Ilchuk A.P., Tatarskiy B. G. Multifunction radar systems. M.: Drofa, 2007. 283 p.
3. Bakulev P.A. Radar systems. M.: Radiotekhnika, 2004. 320 p.
4. Grigorin-Ryabov V.V., Vasin V.V., Vlasov O.V., Dudnik P.I., Stepnov B.M. Radar devices. (Theory and principles of construction). M.: Sovetskoye radio, 1970. 680 p.
5. Kondratenkov G.S., Frolov A.Yu. Radio vision. Radar systems of Earth remote probing. M.: Radiotekhnika, 2005. 368 p.
6. Lyozin Yu. S. Introduction to the theory and equipment of radio engineering systems. M.: Radio i svyaz, 1986. 280 p.
7. Merkulov V. I. Improvement of angular resolution capacity of two-position radar via supervision trajectory management // Radiotekhnika. 2009. No. 6. Pp. 129-132.
8. Verba V. S. Space-based radar systems for Earth viewing. / V. S. Verba [and other colleagues]. M Radiotekhnika, 2010. 680 p.
9. Antipov V.N. Digital synthetic aperture radars. / V.N. Antipov [and other colleagues]. M.: Radio i svyaz, 1988. 304 p.
10. Skolnik M.I. Reference book on radar-location. M.: Tekhnosfera, 2014. T. 2. 680 p.
11. Korn G.A., Korn T. M. The reference book on mathematics for scientists and engineers. Definitions, theorems, formulas. M.: Nauka, 1978. 832 p.