

## Анализ эхо-сигналов, отраженных от объектов, движущихся с ускорением

В.И. Кошелев, Д.Н. Козлов

*Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Рязанский государственный радиотехнический университет», г. Рязань, ул. Гагарина 59/1. kozlovdmn@gmail.com*

*При обработке эхо-сигналов, отраженных от объектов, движущихся с ускорением, могут возникать проблемы, связанные с расширением спектра. Проводится анализ необходимости использования средств компенсации данного эффекта и возможности его использования для обнаружения малоподвижных целей.*

*There is an effect concerned with processing of signals reflected by acceleration targets. Therefore one analyses if it's necessary to compensate spectrum spreading and if it's possible to use this effect to detect low Doppler targets.*

Известно, что сигналы, отражаемые объектами, меняют свои характеристики в различной степени. Частотные свойства эхо-сигналов от подвижных объектов могут изменяться в значительной степени в зависимости от характеристик движения. Так при равномерном движении вдоль оси, соединяющей источник излучения и лоцируемый объект, наблюдается эффект Доплера, заключающийся в изменении частоты принимаемого сигнала, в зависимости от скорости. Однако при движении с ускорением, либо при изменении ракурса объекта относительно источника излучения, частота эхо-сигнала изменяется в течение времени наблюдения. Объектами, представляющих интерес для анализа, то есть имеющих возможность создавать заметные изменения доплеровской частоты за время наблюдения, являются летательные аппараты, автомобили, начинающие движение (процесс разгона) и даже движущийся человек (движение рук и ног происходит с ускорением). В этих условиях сигнал приобретает дополнительную частотную модуляцию, что приводит к расширению его спектра.

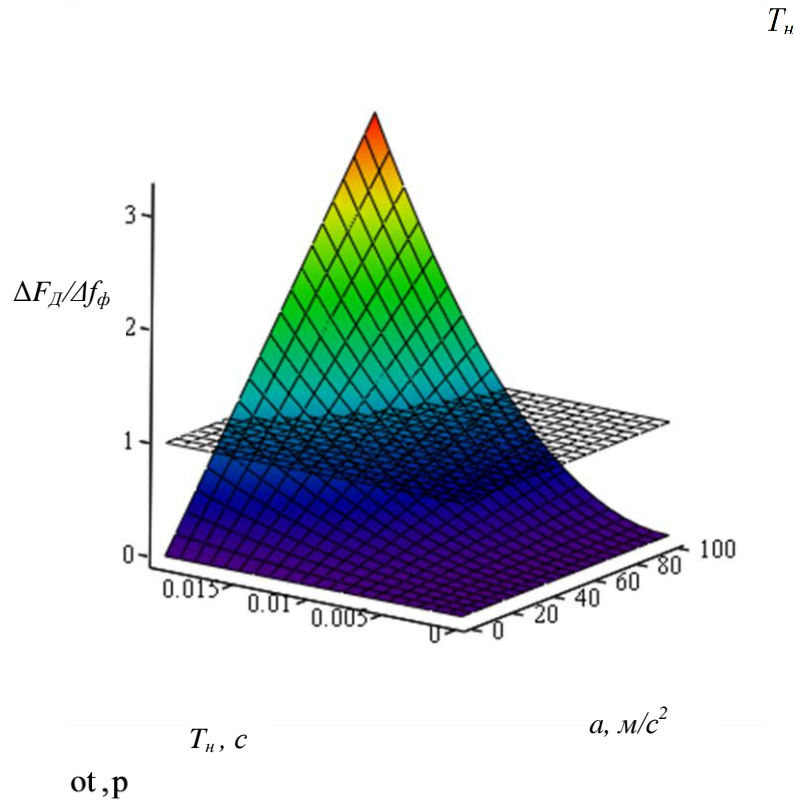
При отражении радиоимпульса от движущегося по линии визирования с постоянным ускорением объекта, на входе приемника наблюдается сигнал с линейной частотной модуляцией. Таким образом, даже при использовании узкополосного зондирующего сигнала его обработка должна выполняться как обработка широкополосного сигнала. Рассмотрим при каких условиях, данный эффект будет оказывать заметное влияние на систему обработки.

В качестве критерия оценки будем использовать отношение изменения доплеровской частоты сигнала  $\Delta F_D$  за время наблюдения к полосе пропускания доплеровского фильтра  $\Delta f_\phi$  (рис. 1). Если полосу пропускания выбирать равной ширине спектральной составляющей зондирующего сигнала [1], то изменение за время наблюдения доплеровской частоты сигнала на величину равную или большую  $\Delta f_\phi$  можно считать значительным, т.к. в зависимости от энергетических соотношений такое изменение может привести как к пропуску цели, так и ложному обнаружению в соседнем скоростном канале.

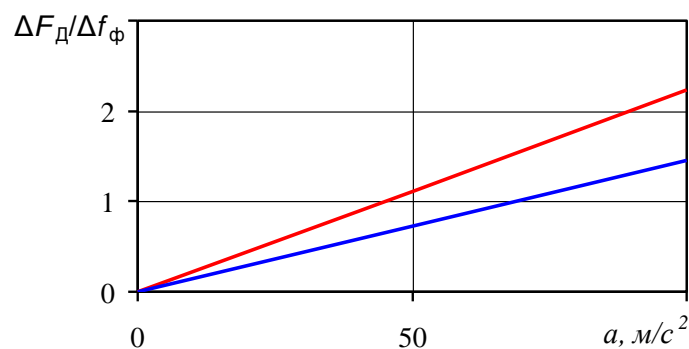
На рис. 2 представлены зависимости относительного изменения доплеровской частоты  $\Delta F_D / \Delta f_\phi$  от величины  $a$  ускорения цели для бортовых радиолокационных станций (БРЛС) APG-65/APG-73 и APQ-126 [2].

В случае медленно движущихся наземных объектов такое преобразование сигнала при отражении напротив может способствовать обнаружению цели. Так, используя в схеме обнаружителя многоканальность по ускорению, можно повысить коэффициент

улучшения отношения сигнал-(помеха+шум) (с-(п+ш)) при обнаружении объектов на фоне подстилающей поверхности [3]. Для указанных выше БРЛС при нормированной к периоду повторения ширине спектра флуктуаций помехи 0.1..0.3, и изменении ускорения цели от 0.5 до 5 м/с<sup>2</sup> коэффициент улучшения отношения с-(п+ш) при введении трех каналов по ускорению увеличивается на 2..20 дБ.



**Рис. 1.** Отношение изменения доплеровской частоты сигнала  $\Delta F_D$  за время наблюдения к полосе пропускания доплеровского фильтра  $\Delta f_\phi$  в зависимости от ускорения  $a$  и времени наблюдения  $T_n$



**Рис. 2.** Отношение изменения доплеровской частоты сигнала  $\Delta F_D$  за время наблюдения к полосе пропускания доплеровского фильтра  $\Delta f_\phi$  в зависимости от ускорения  $a$  для БРЛС APG-65/APG-73 (красный) и APQ-126 (синий).

Представленные результаты позволяют сделать вывод, что введение

многоканальности по ускорению необходимо для компенсации эффекта размытия сигнала по каналам скорости и способствует увеличению отношения с-(п+ш). При этом решение о введении дополнительной многоканальности должно приниматься на основании априорных данных о соотношении возможного ускорения и времени наблюдения. Кроме того данную особенность маневренных целей необходимо учитывать и при определении дальности в импульсно-доплеровской РЛС методом поимпульсной частотной модуляции, иначе в оценку дальности будет внесена существенная ошибка.

### **Литература**

1. Бакулев П.А. Радиолокационные системы. Учебник для вузов. Изд. 2-е, перераб. и доп. – М.: Радиотехника, 2007, 376с., ил.
2. Norman Friedman. The Naval Institute Guide to World Naval Weapons Systems. – Naval Institute Press, 1997. – P. 808.
3. Козлов Д.Н. Обнаружение малоподвижных целей на фоне подстилающей поверхности с использованием ускорения в качестве информационного признака// Методы и устройства формирования и обработки сигналов в информационных системах: межвуз. сб. научн. тр. / под ред. Ю. Н. Паршина – Рязань: РГРТУ, 2013. – С.121–124.