

Экспериментальные исследования радиолокационных портретов различных типов целей в миллиметровом диапазоне длин волн

77-30569/253065

01, январь 2012

Нефедов С. И., Скосырев В. Н., Растворов С. А., Восторгов А. Б.,
Нониашвили М. И., Шумов А. В.

УДК 621.396

НИИ РЭТ МГТУ им. Н.Э. Баумана

nefedov@bmstu.ru

rastvorov@yandex.ru

vostorgoff@mail.ru

min-st-1986@mail.ru

[shum ov@mail.ru](mailto:shum_ov@mail.ru)

Одним из ключевых направлений в современной радиолокации является радиовидение [1 - 4], в рамках которого ведется разработка радиолокационных систем нового поколения, предусматривающих автоматическое распознавание различных типов целей по их радиолокационным портретам. Для разработки и отладки перспективных алгоритмов распознавания объектов техники и других техногенных образований, а также формулировки требований к параметрам таких радиолокационных станций потребовалось получение банков данных по сигнатурам объектов в перспективных диапазонах электромагнитного спектра. Рассматриваемые банки данных можно использовать для построения алгоритмов, основанных на корреляционных или текстурных методах распознавания образов. Кроме того, содержащиеся в них результаты портретирования радиолокационных целей являются необходимым исходным материалом для исследования сигнатур с целью получения базовых инвариантных признаков для дальнейшего распознавания и классификации.

С 2006-го года в Научно-исследовательском институте радиоэлектронной техники МГТУ им. Н.Э. Баумана ведутся работы по созданию передвижной широкополосной радиолокационной установки миллиметрового диапазона рабочих длин волн и созданию банка данных радиолокационных сигнатур неподвижных и движущихся объектов [5 - 7]. Созданная радиолокационная установка представляет собой полностью когерентный твердотельный радиолокатор, позволяющий одновременно работать в 8 и 3 мм диапазонах

длин волн с использованием табличного формирователя сигнала с векторной модуляцией в полосе до 200 МГц. Тем самым обеспечивается локация в этой полосе с применением всех известных на сегодняшний день типов зондирующих сигналов.

С помощью созданной передвижной радиолокационной установки была проведена серия экспериментальных работ по получению сигнатур различного класса радиолокационных целей техногенного происхождения. Целью проводимых работ было получение банка данных радиолокационных целей в диапазонах рабочих длин волн 8 мм и 3 мм при применении перспективных, с точки зрения радиовидения, широкополосных сигналов. Важной частью работ являлись регистрация, документирование и исследование данных, полученных с учетом когерентного накопления зондирующего сигнала.

Аппаратура позволила впервые корректно получить необходимые для сравнительного анализа портреты объектов техники на фоне подстилающей поверхности при применении сверхкороткоимпульсного и линейно-частотно манипулированного сигналов в полосе до 100 МГц, а также собрать обширный материал по портретам различных объектов техники в рассматриваемых диапазонах. Работы выполнялись на территории Дмитровского филиала МГТУ им. Н.Э. Баумана и на территории в/ч 21374.

На рис. 1 показана схема расположения объектов при проведении портретирования неподвижных и движущихся объектов на территории в/ч 21374. Методика портретирования предполагала применение различного рода реперных целей с известной эффективной поверхностью рассеяния для получения корректных откалиброванных данных. Для размещения объектов техники использовалась горизонтальная ровная площадка (см. рис. 1) без высокой растительности как внутри, так и на трассе от площадки до радиолокатора. Для размещения портретируемых объектов военной техники внутри площадки 1 выделялась специальная площадка 2 меньших размеров. Радиолокационная установка размещалась на площадке 3 с твердым покрытием, позволяющим вывешивать ее на домкратах, что позволило обеспечить жесткую фиксацию ее положения в пространстве и практически полное отсутствие вибраций в процессе работы. Портретируемые объекты размещались в удалении от мешающих дополнительных отражающих поверхностей, таких как строения, заборы, лесные массивы и т.п.. Для получения линейного разрешения порядка 1,5х1,5 м расстояние от радиолокационной установки 3 и 8 мм диапазона длин волн до центра площадки 2, где располагалась исследуемая техника, не превышало 80 – 100 м.

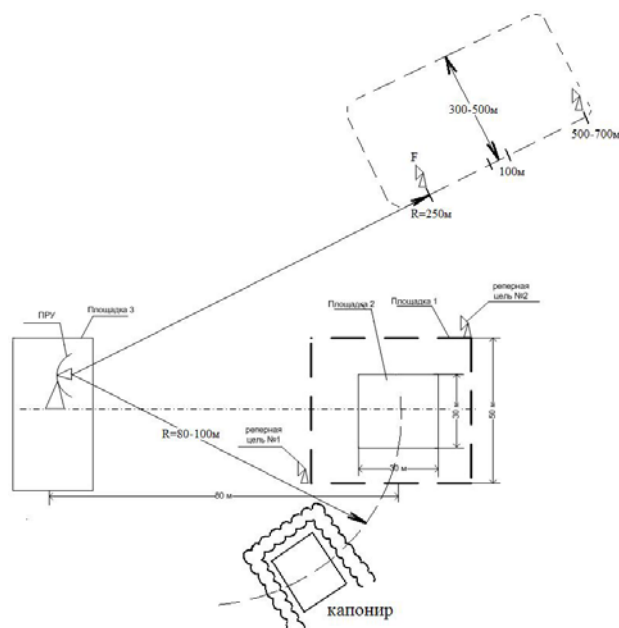


Рис.1. Схема расположения объектов при проведении портретирования

Азимутально-дальностное портретирование объектов техники с использованием сверхкороткоимпульсных и линейно-частотно манипулированных сигналов проводилось в следующей последовательности. После выполнения подготовительных работ и настройки аппаратуры на заданный тип сигнала на площадке выставлялся объект техники, с фиксированием начального ракурса посредством теодолита. Далее проводилось предварительное сканирование цели для выставления значений аттенуаторов приемного тракта, затем записывался азимутально-дальностный портрет цели, технология получения которого приведена в [5-7]. После чего цели поворачивалась на 45 ± 10 градусов с фиксацией угла поворота. Далее проводилась запись азимутально-дальностного портрета для нового ракурса объекта в сочетании со сменой вида поляризации или типа сигнала.

На рис. 2 приведен пример изображения бронетранспортера при локации сверхкороткоимпульсным сигналом на длине волны 8 мм (а) и 3 мм (б), и линейно-частотно манипулированным сигналом на длине волны 8 мм (в) и 3 мм (г).

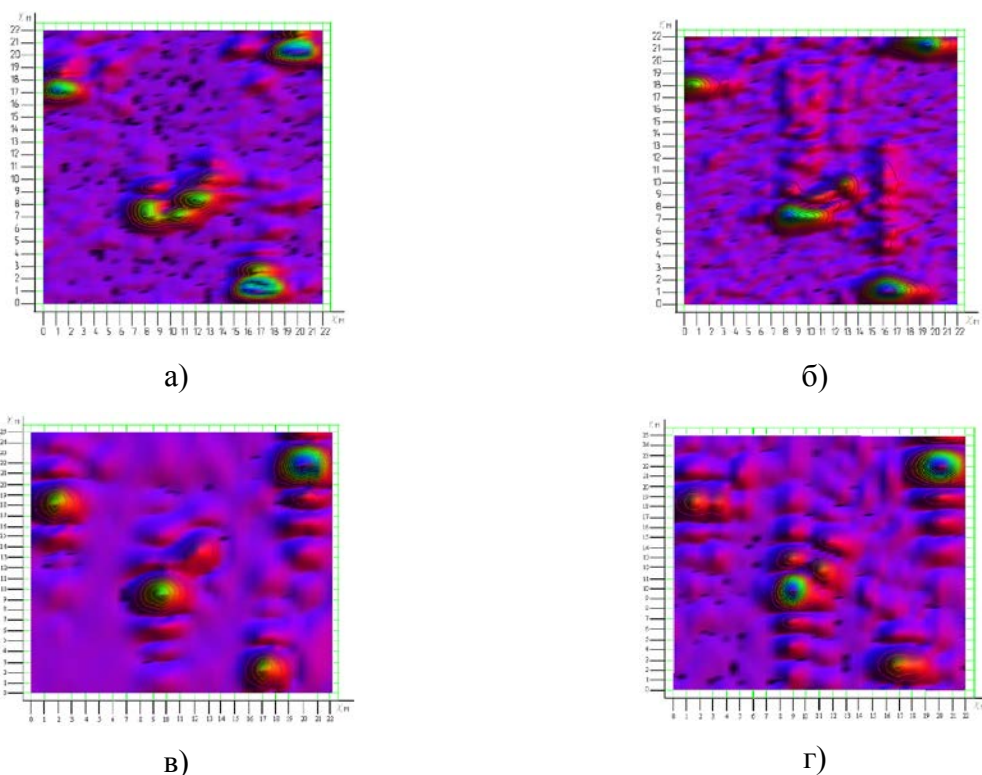


Рис. 2. Изображение бронетранспортера при локации сверхкороткоимпульсным сигналом на длине волны 8 мм (а) и 3 мм (б), и линейно-частотно манипулированным сигналом на длине волны 8 мм (в) и 3 мм (г)

При работе в сверхкороткоимпульсном режиме изображение оказывается в целом более контрастным. Это достигается за счет эффекта отсутствия боковых лепестков сигнала и просачивания по ним энергии, отраженной подстилающей поверхностью. Следует отметить, что общепринятая идеология формирования изображения на основе контрастных блестящих точек в данном случае оказывается неработоспособной. Как видно на приведенном рисунке явно формируются яркие зоны рассеяния, привязанные не к абстрактным областям изображений на поверхности, а к неоднородным областям непосредственно на объекте.

Анализ полученных в ходе экспериментальных работ изображений с точки зрения особенностей рассматриваемых диапазонов показывает, что для рассматриваемых образцов техники не следует исключать влияния специализированных покрытий, направленных на снижение интенсивности рассеяния в диапазонах, активно используемых в радиолокационных системах поля боя и управления оружием.

При анализе изображений, полученных при применении широкополосного линейно-частотно манипулированного зондирующего сигнала (см. рис. 2 в и г) обнаружена закономерность, связанная с особенностями данного сигнала. Она заключается в появлении дополнительного числа зон рассеяния в изображении, которые

никак не связаны с областями портрета, собственно рассеивающими сигнал. Связано это с наличием интенсивных боковых лепестков изображения, приводящих к появлению ложных зон и областей рассеяния. При применении линейно-частотно манипулированного сигнала наблюдается эффект смещения зон рассеяния от их истинного положения, что в некоторой степени искажает полученное радиолокационное изображение относительно соответствующего ему оптическому.

Важным аспектом, связанным с распознаванием объектов на основе их радиолокационных изображений, а соответственно и необходимым условием при формировании их банков данных является влияние углового положения (ракурса) цели. Шаг ракурсной зависимости, для которой начинают наблюдаться изменения в портрете, связан с шириной диаграммы направленности антенны или с угловым разрешением. При проведенных экспериментах он был определен как 3...5 градусов. Однако замеры, проведенные с несколько большим шагом, показали, что искажений портретов, связанных с затенением объектов, в общем случае не наблюдается, и на основании этого шаг углового портретирования может быть пересмотрен в большую сторону.

Еще одним важным аспектом портретирования целей в интересах выявления признаков обнаружения и распознавания является получение их доплеровских портретов. При локации объектов техники доплеровские портреты позволяют оценить вибрационные шумы, связанные с работой двигателя и иными акустическими и механическими факторами, связанными с лоцируемым объектом. До недавнего времени получить акустические портреты целей удавалось только для аэродинамических объектов [8], тогда как для наземных целей эта задача являлась нерешенной. Ключом к решению оказалось совмещение технологий сверхкороткоимпульсной радиолокации и длительного когерентного накопления. В этом случае, за счет исключения подстилающей поверхности, удалось выявить в отраженном сигнале малые по интенсивности гармоники, соответствующие модуляции за счет вибрации корпуса объекта. Эти гармоники обладают низкой интенсивностью и подавляются отражениями от подстилающей поверхности.

На рис. 3 показаны доплеровские спектры радиоакустики, соответствующие сигналам, отраженным от неподвижного автомобиля с выключенным двигателем (рис. 3а), с включенным двигателем (рис. 3б), движущегося танка (рис. 3в), а также аэродинамической цели. Доплеровские портреты, представленные на рис. 3а – 3в получены в миллиметровом диапазоне рабочих длин волн, а представленные на рис. 3г получены в сантиметровом диапазоне рабочих длин волн с использованием оснащенной аппаратурой длительного когерентного накопления станцией обзора и управления оружием зенитного ракетного комплекса Бук-М1 [8].

Как видно из рис. 3, при длительном когерентном накоплении в спектре сигнала, отраженного от неподвижного автомобиля с включенным двигателем, наблюдается значительное расширение основного пика и появление дополнительных гармоник по сравнению со спектром сигнала, отраженного от автомобиля с выключенным двигателем. Данное расширение и появление новых гармоник связано именно с работой двигателя, а не с потерей когерентности на трассе распространения или в аппаратуре макета. При движении наземного объекта при длительном когерентном накоплении и сверхкороткоимпульсном режиме работы в спектре отраженного сигнала появляется характерная радиоакустическая подставка, аналогичная аэродинамической цели в сантиметровом диапазоне длин волн. Сходство полученных спектров позволяет говорить о наличии эффекта модуляции при движении объекта или работе двигателя, который проявляется при длительном когерентном накоплении. Причем для наземных целей это достигается при применении сверхкороткоимпульсной радиолокации.

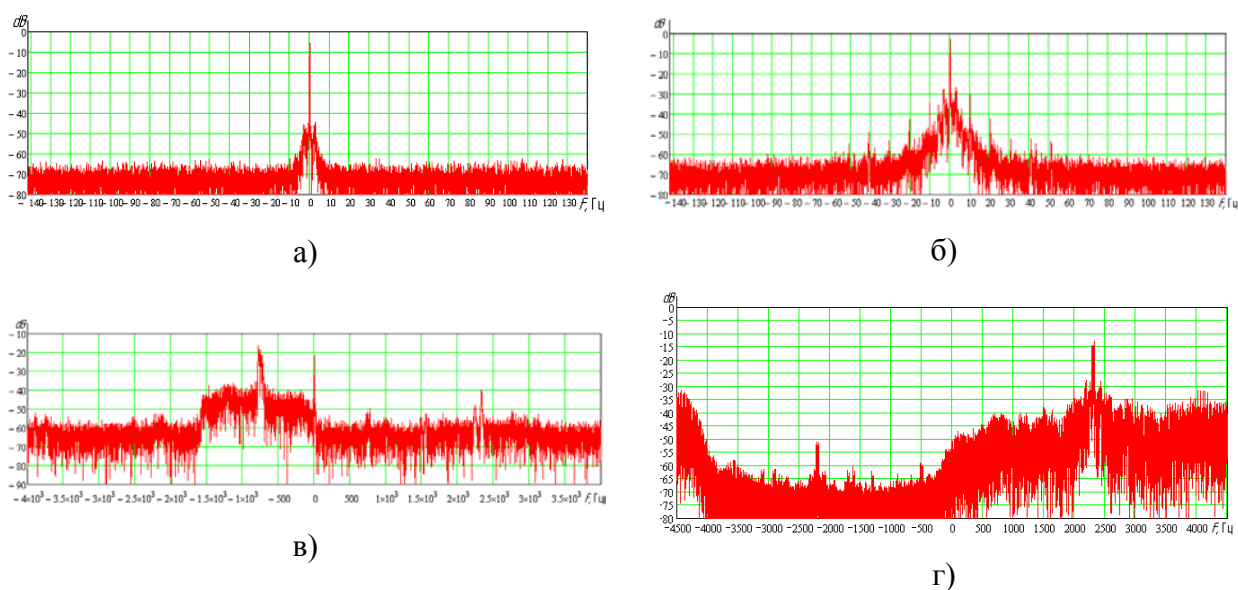


Рис. 3. Доплеровские радиоакустические спектры сигнала, отраженного от
а) неподвижного грузового автомобиля с выключенным, б) неподвижного грузового
автомобиля с включенным двигателем, в) движущегося танка, г) движущегося самолета

В результате проведенных экспериментальных работ был сформирован банк данных наземных целей, включающий в себя портреты 12 типов наземных целей, полученные в диапазонах 8 мм и 3 мм при использовании сверхкороткоимпульсного и линейно-частотно манипулированного сигналов в полосе 100 МГц. При этом в банке данных находятся ракурсные зависимости для каждого из типов целей, снятые с шагом 10...12 градусов, а также сигналы, зарегистрированные в режиме длительного

когерентного накопления, рассеянные неподвижными целями и доплеровские портреты, полученные с их использованием. Полученные результаты говорят о перспективности применения миллиметрового диапазона длин волн и сверхкороткоимпульсных сигналов как в когерентном, так и в некогерентном режимах работы для решения задач обнаружения и распознавания объектов. Накопленный объем данных сигнатур объектов также позволяет определить пространство признаков для дальнейшей разработки алгоритмов распознавания и их верификации.

Список использованных источников:

1. Кондратенков Г.С., Фролов А.Ю. Радиовидение. Радиолокационные системы дистанционного зондирования Земли. М.: Радиотехника, 2005. 368 с.
2. Jacobs S.P., O'Sullivan J.A. Automatic Target Recognition Using Sequences of High Resolution Radar Range-Profiles // IEEE Trans. Aerospace and Electronic Systems. 2000. Vol. 36, №2. P 364-381.
3. Федоров И.Б., Слукин Г.П., Нефедов С.И. Перспективы применения технологии длительного когерентного накопления в обзорных радиолокационных станциях // Вестник МГТУ. Сер. Приборостроение. 2005. Спец. выпуск. С.112-132.
4. Скосырев В.Н., Осипов М.Л. Особенности и свойства сверхкороткоимпульсной радиолокации // Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Сер. Приборостроение. 1999. №4. С. 21 - 30.
5. Широкополосная радиолокационная установка и проведение комплекса экспериментальных работ / Нефедов С.И. [и др.] // Труды XV международной научно-технической конф. Воронеж. 2009. Т. 3. С. 1305 - 1312.
6. Двухдиапазонная широкополосная радиолокационная установка с применением сверхкоротких импульсов / С.И. Нефедов [и др.] // Труды Российского научно-технического общества радиотехники, электроники и связи имени А.С. Попова. 2009. Вып. 3. С. 223-226.
7. Многодиапазонная широкополосная радиолокационная установка и проведение на ней комплекса экспериментальных работ / Нефедов С.И. [и др.] // Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Сер. Приборостроение. 2009. Спец. выпуск. С. 70-75.
8. Нониашвили М.И., Нефедов С.И., Крючков И.В. Получение радиоакустических сигналов в РЛС с квазинепрерывным излучением // Труды XV международной научно-технической конф. Воронеж. 2009. Т. 3. С. 1464 - 1467.

Experimental research of different target types radar pictures in milieter wave range

77-30569/253065

01, January 2012

**Nefedov S.I., Skosyrev V.N., Rastvorov S.A., Vostorgov A.B., Noniashvili M.I.,
Shumov A.V.**

Bauman Moscow State Technical University

nefedov@bmstu.ru

rastvorov@yandex.ru

vostorgoff@mail.ru

min-st-1986@mail.ru

shum_ov@mail.ru

In this article the results of experimental research works of composing data bank of radar pictures for different target types in millimeter wave range. The comparative analysis of produced radar pictures depending on angle of the object and wavelength range is included. To solve the detecting and recognizing problems, the possibility of using the oscillating components from Doppler's images of targets was considered.

Publications with keywords: [radar](#), [radar portrait](#), [Doppler portrait](#)

Publications with words: [radar](#), [radar portrait](#), [Doppler portrait](#)

Reference

1. Kondratenkov G.S., Frolov A.Iu., Radio-wave imaging. Radiolocation systems of remote sensing of the Earth, Moscow, Radiotekhnika, 2005, 368 p.
2. Jacobs S.P., O'Sullivan J.A., Automatic Target Recognition Using Sequences of High Resolution Radar Range-Profiles, IEEE Trans. Aerospace and Electronic Systems 36 (2) (2000) 364-381.
3. Fedorov I.B., Slukin G.P., Nefedov S.I., Prospects of the use of technology of the long-term coherent accumulation in the radiolocation survey stations, Vestnik MGTU. Ser. Priborostroenie - Bulletin of BMSTU. Ser. Instrument making Special issue (2005) 112-132.

4. Skosyrev V.N., Osipov M.L., Features and properties of ultrashort pulsed radiolocation, Vestnik MGTU im. N.E. Bauman. Ser. Priborostroenie - Bulletin of BMSTU. Ser. Instrument making 4 (1999) 21 - 30.
5. Nefedov S.I., et al., Broadband radiolocation set and realization of a complex of experimental works, in: Proceedings of the XV international scientific and technical conference, Voronezh, Vol.3, 2009, pp. 1305 - 1312.
6. S.I. Nefedov, et al., Double-range wideband radiolocation installation with the use of ultrashort pulses of, in: Proceedings of the Russian scientific and technical society of radio engineering, electronics and communication named after A.S.Popov, Iss. 3, 2009, pp. 223-226.
7. Nefedov S.I., et al., Multirange wideband radiolocation installation and holding on it the complex of experimental works, Vestnik MGTU im. N.E. Bauman. Ser. Priborostroenie - Bulletin of BMSTU. Ser. Instrument making Special issue (2009) 70-75.
8. Noniashvili M.I., Nefedov S.I., Kriuchkov I.V., Getting the radio acoustic signals in RLS with the quasi-continuous radiation of, in: Proceedings of the XV international scientific and technical, Voronezh, Vol.3, 2009, pp. 1464 - 1467.