

УДК 621.396.96

## **ФОРМИРОВАНИЕ ДОПЛЕРОВСКИХ ПОРТРЕТОВ ВОЗДУШНЫХ ОБЪЕКТОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТОДА СВЕРХРАЗРЕШЕНИЯ**

**А. В. Романенко**

**Военная академия войсковой противовоздушной обороны Вооруженных Сил  
Российской Федерации имени Маршала Советского Союза А.М. Василевского**

Статья получена 10 марта 2015 г.

**Аннотация.** Приведены результаты натурных экспериментов по формированию доплеровских портретов воздушных объектов разных типов по данным от радиолокационной станции сантиметрового диапазона. Показаны доплеровские портреты, сформированные с применением метода сверхразрешения и без него.

**Ключевые слова:** сигнальные признаки, инверсное синтезирование апертуры; доплеровский портрет, метод сверхразрешения.

**Abstract.** Results of natural experiments on formation of Doppler portraits of air objects of different types by data from radar station of centimetric range are given. The Doppler portraits created with application of a method of superpermission and without it are shown.

**Key words:** alarm signs, inverse synthesizing of an aperture; Doppler portrait, superpermission method.

### **1. Введение**

В настоящее время широко применяются и развиваются методы распознавания воздушных объектов (ВО) по их сигнальным признакам [1]. Наибольшее распространение получили методы распознавания ВО по дальностным портретам, которые могут формироваться за счет использования широкой полосы частот в импульсе или применения сверхкоротких импульсов. В серийных отечественных радиолокационных станциях (РЛС) такие сигналы

не применяются. Поэтому в качестве векторного признака распознавания, отражающего структуру объекта, в настоящее время может быть использован только доплеровский портрет (ДП), сформированный методом инверсного синтеза апертуры.

Ранее проведенные эксперименты [2, 3] показали, что по векторам ДП удается распознавать объекты разных размеров (до класса) вследствие ограниченного числа составляющих в портрете и их непрерывной эволюции из-за рысканий ВО в турбулентности. Повышение поперечного разрешения методом увеличения времени накопления отраженных от ВО сигналов ограничено интервалом полупериода рыскания планера. Данный метод является неприемлемым по причине возможного изменения направления угловой скорости поворота ВО и непредсказуемости параметров рыскания его планера, что приводит к искажению ДП. Поэтому для повышения поперечной разрешающей способности в портрете целесообразно использовать методы сверхразрешения.

В данной статье приводится анализ структур сформированных ДП ВО различного типа на основе обработки отраженных от них сигналов с использованием метода сверхразрешения.

## **2. Проведение натуральных экспериментов**

Одним из высокоинформативных признаков распознавания ВО является его радиолокационное изображение (РЛИ). Способы его формирования теоретически обоснованы и неоднократно проверены методами физического масштабного моделирования [4–11]. Однако для их реализации в РЛС необходима более тщательная проверка алгоритмов формирования РЛИ методом натурального эксперимента с реальными ВО и извлечения из его структуры признаков классификации. Это обусловлено тем, что лабораторные эксперименты не учитывают дестабилизирующих факторов, возникающих при движении реального ВО и за счет работы его двигательных установок [12, 13], а также не обеспечивают полного электродинамического подобия [4–6].

В связи с тем, что серийные локаторы сопровождения с поимпульсной перестройкой частоты или с широкой полосой частот внутри импульса в парке отечественной техники отсутствуют, для исследования закономерностей изменения высокоинформативных признаков распознавания методом натурального эксперимента на начальном этапе предлагается ограничиться изучением структуры ДП как поперечного среза двумерного РЛИ.

Задачами натуральных экспериментов, проводимых в рамках гранта РФФИ № 13-07-97505, являлись: формирование ДП ВО различных типов по сигналам от РЛС сантиметрового диапазона; проверка работоспособности метода сверхразрешения при формировании ДП, а также сравнение ДП, полученных с применением сверхразрешения и без него. В ходе экспериментов импульсно-доплеровская РЛС сопровождала воздушные объекты и проводилась запись отраженных объектами сигналов в течение 20-40 секунд. В настоящей статье представлен анализ последовательных записей полученных сигналов, отраженных от трех ВО. Первый объект – крупноразмерный самолет Airbus A-319 был взят на автосопровождение на дальности 29 км и высоте 10973 м при курсовом угле наблюдения близком к  $90^\circ$ . В момент его сопровождения он двигался с линейной скоростью 704 км/ч (196 м/с). Второй ВО – среднеразмерный самолет МиГ-25 был взят на сопровождение на дальности 33 км и высоте 19566 м при курсовом угле наблюдения также близком к  $90^\circ$ . В момент его сопровождения он двигался с линейной скоростью 792 км/ч (220 м/с). Третий ВО – малоразмерный самолет Як-52 был взят на сопровождение на дальности 22 км и высоте 750 м при курсовом угле наблюдения также близком к  $90^\circ$ . В момент его сопровождения он двигался с линейной скоростью 216 км/ч (60 м/с).

### **3. Обработка принятых (отраженных от ВО) сигналов**

В ходе согласованной обработки принятых сигналов были сформированы отражательные характеристики (ОХ) этих ВО. Цифровая фильтрация осуществлялась путем проведения свертки принятых сигналов определенного

периода зондирования с оцифрованным комплексно-сопряженным зондирующим сигналом этого же периода зондирования для выделения амплитуды и фазы отраженного сигнала в пике отклика цифрового фильтра. Амплитуды и фазы пиков (максимумов) откликов, отраженных одним и тем же ВО сигналов, объединялись в массивы отражений, выражающие собой комплексные отражательные характеристики ВО. В качестве примера на рис. 1 приведена ОХ самолета Airbus A-319, на рис. 2 – ОХ самолета МиГ-25, а на рис. 3 – ОХ самолета Як-52. Отражательные характеристики были сформированы за время синтезирования 0,256 с.

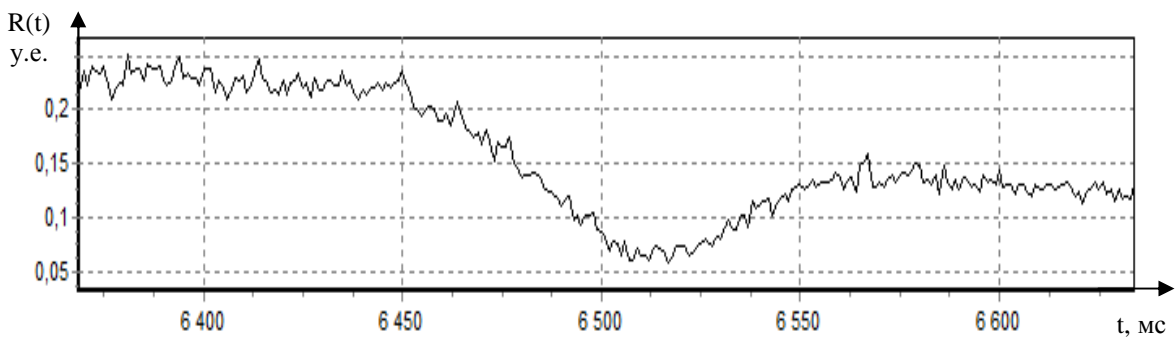


Рис. 1. ОХ крупноразмерного самолета Airbus A-319

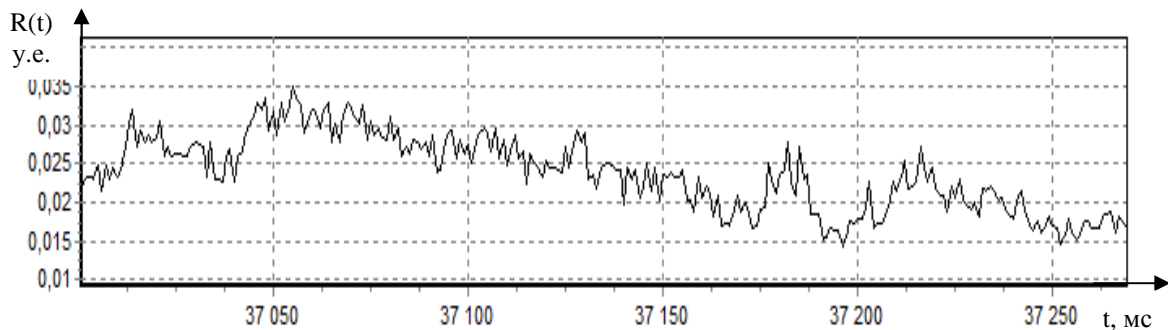


Рис. 2. ОХ среднеразмерного самолета МиГ-25

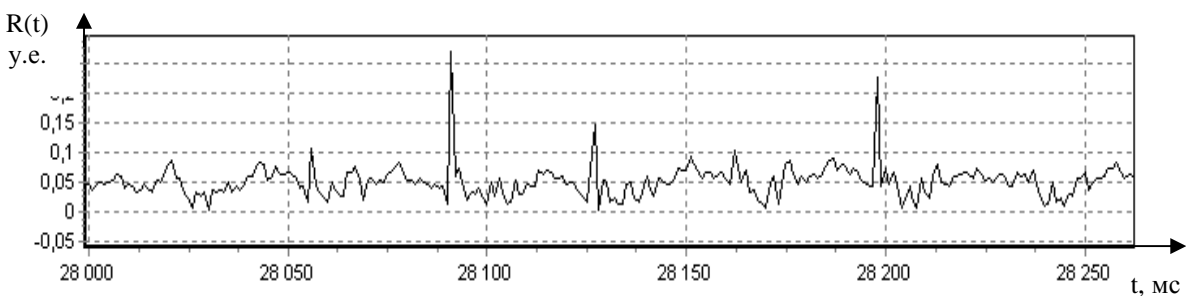


Рис. 3. ОХ малоразмерного самолета Як-52

Используемые временные интервалы назначались с учетом поведения ВО в турбулентной атмосфере и определялись по корреляционной характеристике (КХ) последовательности отраженных сигналов от ВО. А именно, выбирались те участки в КХ, где величина коэффициентов корреляции принимала среднее значение [12–15]. Анализ результатов построения показал, что ОХ всех самолетов имеют значительные расхождения по продолжительности участков увеличения или снижения амплитуды принимаемых сигналов.

Различия в амплитудах ОХ объясняются неидентичностью параметров сопровождения ВО. Отличия в длительности участков увеличения или снижения амплитуд обусловлены изменением угловой скорости сопровождаемых самолетов, определяемой их размерами.

#### 4. Формирование ДП ВО

Из полученных массивов отражений извлекали синхронизированные по времени частные выборки параметров отраженных сигналов, соответствующих длительности выбранных интервалов инверсного синтезирования, проводили с векторами комплексных данных дискретное преобразование Фурье, в результате чего формировали ДП ВО. На рис. 4 – 6 показаны ДП самолетов Airbus A-319, МиГ-25 и Як-52 соответственно, сформированные на вышеуказанных временных интервалах.

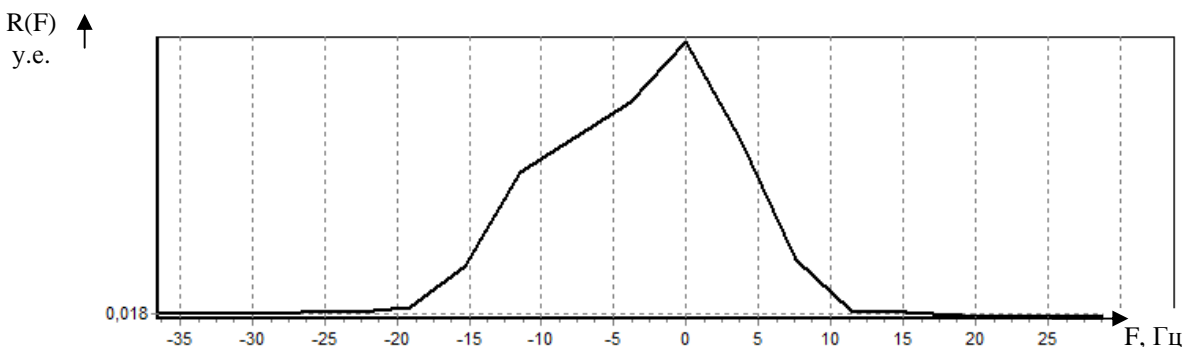


Рис. 4. Доплеровский портрет самолета А319, сформированный из отраженных сигналов в момент времени  $t = 6,372$  с

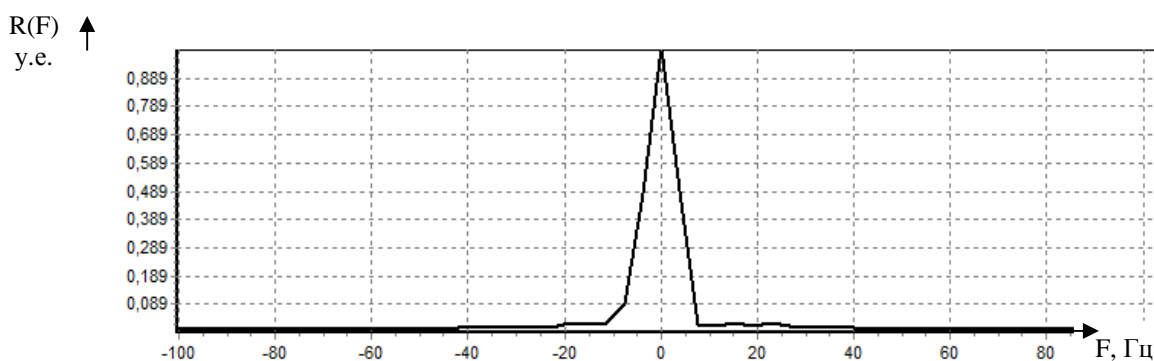


Рис. 5. Доплеровский портрет самолета МиГ-25, сформированный из отраженных сигналов в момент времени  $t = 37$  с

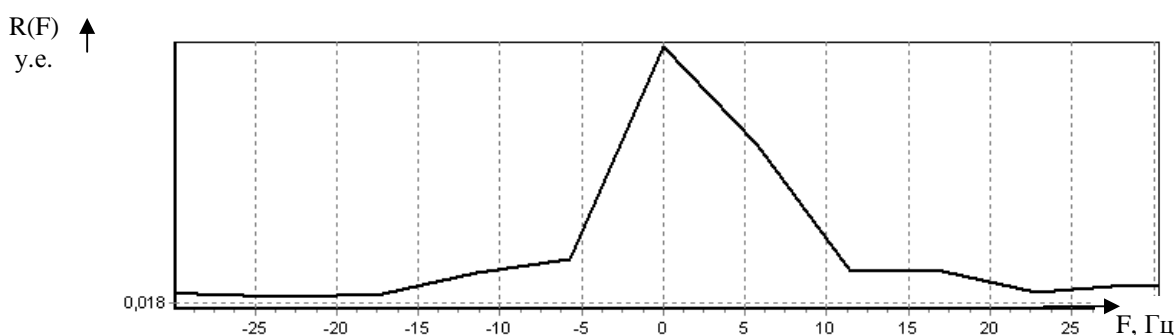


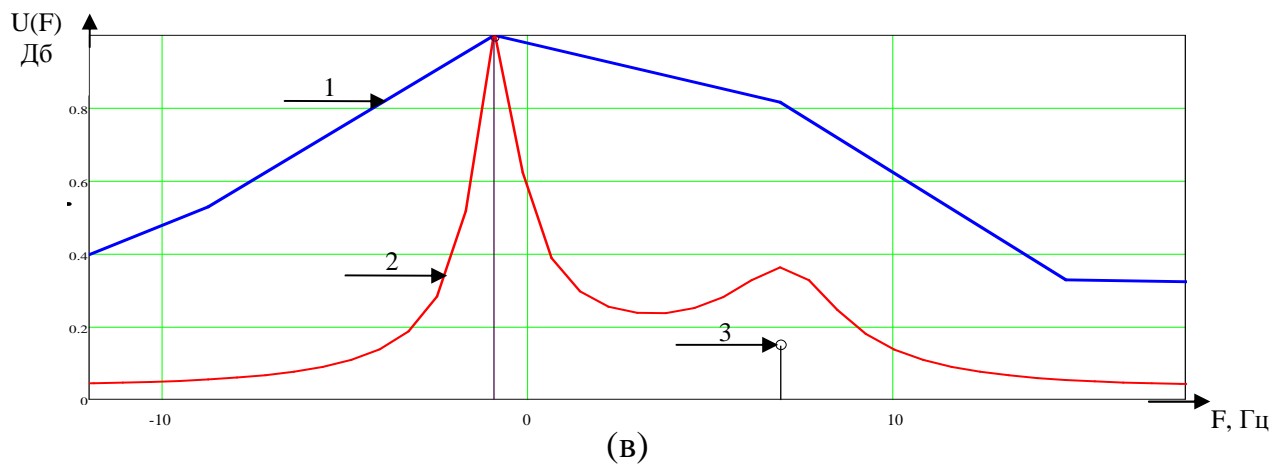
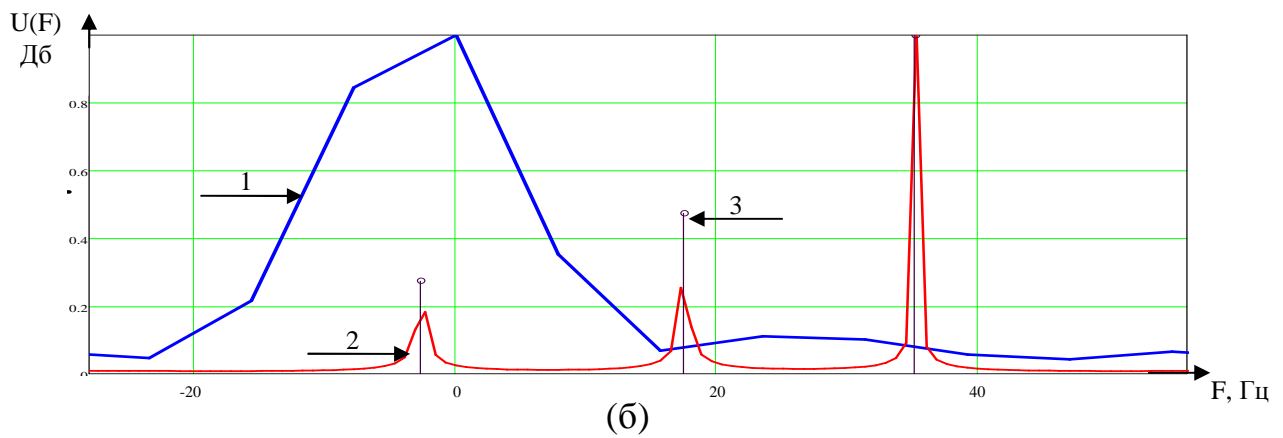
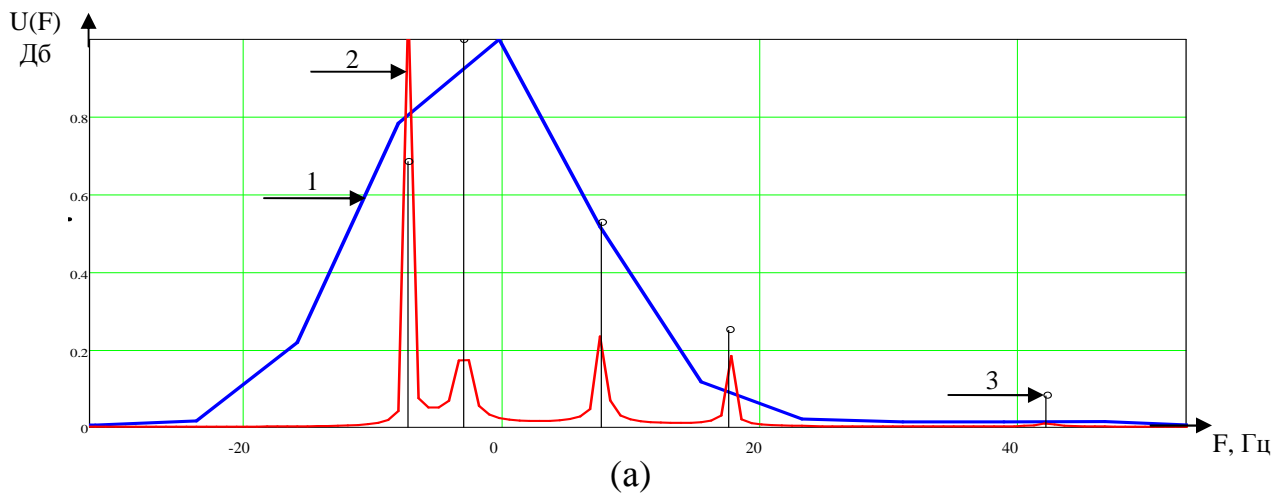
Рис. 6. Доплеровский портрет самолета Як-52, сформированный из отраженных сигналов в момент времени  $t = 28$  с

При формировании портретов были применены алгоритмы компенсации влияния радиальной скорости, радиального ускорения и турбовинтового эффекта [12, 13]. Для удобства проведения анализа амплитуды ДП были нормированы.

Анализ результатов построения показал, что ДП всех типов самолетов имеют один спектральный отклик. Такие портреты являются малоинформативными и не содержатся в себе информацию о размере ВО.

## 5. Формирование ДП ВО с использованием метода сверхразрешения

В целях повышения информативности ДП ВО при их формировании на втором этапе обработки был применен метод сверхразрешения, описанный в [16]. На рис. 7 показаны ДП самолетов Airbus A-319, МиГ-25 и Як-52, сформированные с применением метода сверхразрешения и без него.



а) ДП самолета Airbus А-319 на 6,372 с;

б) ДП самолета МиГ-25 на 37 с;

в) ДП самолета Як-52 на 28 с;

1 – обработка без применения метода сверхразрешения;

2 – обработка с применением метода сверхразрешения;

3 – истинные амплитуды.

Рис. 7. Доплеровские портреты ВО

Из рис. 7 следует, что при применении метода сверхразрешения на месте одного спектрального отклика, характеризующего планерную составляющую, возникают от двух до пяти откликов, то есть число откликов в частотном диапазоне планера ВО вырастает на 1–4 единицы.

Анализ показал, что ДП крупноразмерного самолета Airbus A-319 имеет в своей структуре 5 спектральных откликов, его частотная протяженность составляет порядка 50 Гц, среднеразмерный самолет МиГ-25 имеет 3 спектральных отклика, его частотная протяженность составляет порядка 36 Гц, а малоразмерный самолет Як-52 имеет 2 спектральных отклика, его частотная протяженность составляет порядка 8 Гц. Таким образом, можно сделать вывод о зависимости структуры ДП от размера ВО, а именно, с ростом размера ВО увеличивается число спектральных откликов в структуре ДП и растет его частотная протяженность, что говорит об увеличении числа рассеивающих центров ВО.

## **6. Выводы**

Проведенные экспериментальные исследования показали, что доплеровские портреты, сформированные без применения метода сверхразрешения, обладают не достаточной информативностью, а вероятность распознавания ВО по их структурным признакам не может быть высокой. Применение метода сверхразрешения при формировании ДП ВО позволило повысить поперечное разрешение в портретах, увеличивая в их структуре количество спектральных откликов. Это делает ДП объектов более информативными, что, в свою очередь, позволяет по их частотной протяженности и количеству спектральных откликов в их структуре определять размеры ВО, а, следовательно, классифицировать его до типа.

Для распознавания в РЛС типа ВО с использованием алгоритмов формирования ДП повышенной информативности за счет применения метода сверхразрешения, необходимо создать эталонные портреты для ВО каждого типа, для чего целесообразно провести их статистическое накопление.



## Литература

1. Ширман Я.Д., Горшков С.А. и др. Методы радиолокационного распознавания и их моделирование // Радиолокация и радиометрия. 2000. № 2. С. 5–65.
2. Экспериментальная проверка принципов построения аппаратуры регистрации квадратур радиолокационных сигналов в интересах радиолокационного распознавания: Отчет о НИР (заключ.) / ВА ВПВО ВС РФ; руководитель работы Д.Г. Митрофанов. Инв. № 10.0/2005–16. Смоленск, 2005. 282 с.
3. Проведение экспериментальных работ по получению сигнатур радиолокационных целей: Отчет о НИР (заключ.) / ВА ВПВО ВС РФ; руководитель работы Д.Г. Митрофанов. Инв. № 12.0/2007–18. Смоленск, 2007. 184 с.
4. Тучков Л.Т. Радиолокационные характеристики летательных аппаратов. М.: Радио и связь, 1985. 236 с.
5. Горелик А.Л. Селекция и распознавание на основе локационной информации. М.: Радио и связь, 1990. 240 с.
6. Митрофанов Д.Г. Комплексный адаптивный метод построения радиолокационных изображений в системах управления двойного назначения // Теория и системы управления. Известия РАН. 2006. № 1. С. 101–118.
7. Митрофанов Д.Г. Методика экспериментального синтеза двумерных радиолокационных изображений. Киев: Радиоэлектроника. Известия вузов, 1996. Т. 39. № 1. С. 71–75.
8. Митрофанов Д. Г. Влияние амплитудного и фазового шума на качество формирования радиолокационного изображения // Радиотехника и электроника. 1995. Т. 40. № 4. С. 586–590.
9. Ягольников С.В. Методы исследования радиолокационных характеристик объектов. М.: Радиотехника. Монография. Главы 7–8, 2012. 296 с.

10. Семина А.И., Трофимов В.Н. Масштабное физическое гидроакустическое моделирование радиолокационных систем получения и обработки радиолокационных изображений высокого разрешения // Известия РАН. Теория и системы управления. 2005. № 4. С. 143–157.
11. Митрофанов Д.Г. Метод построения радиолокационных изображений аэродинамических летательных аппаратов // Полет. 2006. № 11. С. 52–60.
12. Митрофанов Д.Г. Изучение характера изменения доплеровского портрета летательного аппарата экспериментальным методом // XX международная научно-техническая конференция. Радиолокация, навигация, связь. RLNC-2014. Воронеж: НПФ «САКВОЕЕ», 2014. Том 3. С. 1785–1798.
13. Митрофанов Д.Г. Формирование радиолокационных изображений при негативном влиянии турбовинтовой модуляции // Измерительная техника. 2005. № 7. С. 60–64.
14. Митрофанов Д.Г., Прохоркин А.Г., Нефедов С.И. Измерение поперечных размеров летательных аппаратов по частотной протяженности доплеровского портрета // Радиотехника. 2008. № 1. С. 84–90.
15. Митрофанов Д.Г., Прохоркин А.Г., Нефедов С.И. Измерение габаритов летательных аппаратов в условиях турбулентности на основе инверсного синтеза апертуры // Измерительная техника. 2008. № 8. С. 24–28.
16. Григорян Д.С., Климов С.А., Митрофанов Д.Г., Прохоркин А.Г. Результаты обработки сигналов радиолокатора сопровождения методами цифрового спектрального анализа со сверхразрешением групповой цели по дальности и скорости // Радиотехника. 2013. № 9. С. 5–11.