

На правах рукописи



ТРУШИН АЛЕКСЕЙ ВЛАДИСЛАВОВИЧ

**МЕТОДЫ И АЛГОРИТМЫ ДИСТАНЦИОННОГО ОБНАРУЖЕНИЯ
МЕСТ АВИАЦИОННЫХ ПРОИСШЕСТВИЙ И ИДЕНТИФИКАЦИИ
ОБЪЕКТОВ ИХ ПОСЛЕДСТВИЙ**

Специальность 05.22.14 – Эксплуатация воздушного транспорта

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Москва - 2021

Работа выполнена на кафедре «Технической эксплуатации радиоэлектронного оборудования воздушного транспорта» Московского государственного технического университета гражданской авиации (Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего профессионального образования)

Научный руководитель	Заслуженный деятель науки и техники РФ, профессор, доктор физико-математических наук, профессор кафедры «Технической эксплуатации радиоэлектронного оборудования воздушного транспорта» ФГБОУ ВО МГТУ ГА, Козлов Анатолий Иванович
Официальные оппоненты	Доктор технических наук, доцент, профессор кафедры СМ5 «Автономные, информационные и управляющие системы» МГТУ им Н.Э. Баумана, Сидоркина Юлия Анатольевна Кандидат технических наук, Генеральный директор – генеральный конструктор ООО «НППФ Спектр», Завалишин Олег Иванович
Ведущая организация	Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский государственный университет гражданской авиации» (ФГБОУ ВО СПбГУ ГА)

Защита состоится 13 апреля 2022 г. в 14.00 часов на заседании диссертационного совета Д223.011.01 на базе Московского государственного технического университета гражданской авиации (МГТУ ГА) по адресу: 125993, г. Москва, Кронштадтский бульвар, д. 20.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке университета и на сайте www.mstuca.ru

Автореферат разослан «27» января 2022 г.

Учёный секретарь
диссертационного совета Д 223.011.01,
доктор технических наук, профессор

Самойленко В.М.

Общая характеристика работы

Актуальность темы исследований. Проблема обеспечения безопасности полетов была, есть и всегда будет основной задачей гражданской авиации, одним из элементов которой является задача расследования авиационных происшествий – неизбежного, к сожалению, атрибута эксплуатации авиационной техники.

Об исключительной важности и серьезности этой задачи свидетельствуют международные регламентирующие документы и изданные на их основе соответствующие государственные нормативные положения. В настоящее время в РФ действуют «Правила расследования авиационных происшествий и инцидентов с гражданскими воздушными судами в Российской Федерации», утвержденные Постановлением Правительства РФ от 18.06.98 №609 с изменениями от 29.12.20.

Одними из обязательных направлений деятельности по расследованию авиационных происшествий, как это регламентируется в названных Правилах, являются задачи «поиска обломков воздушного судна на прилегающей к месту происшествия территории», составления «Акта осмотра места происшествия» с обязательным отражением «положения обломков воздушного судна», а также «зоны разброса элементов конструкции, их маркировку и привязку к расположению на местности».

Успехи в решении задач по расследованию авиационных происшествий, в конечном счете, – залог недопущения повторения их в будущем, поэтому так важно уметь быстро и эффективно решать задачи по обнаружению объектов последствия авиационного происшествия, которые, как правило, оказываются разбросанными по большой площади и, как правило, на труднодоступных участках.

Объектами последствия авиационного происшествия (ОПАП) являются все специфические объекты на месте авиационного происшествия, образовавшиеся вследствие этого происшествия. Такими объектами могут выступать элементы конструкции и обломки воздушного судна, следы соприкосновения воздушного судна с различными препятствиями, разрушенные в связи с происшествием наземные объекты, груз, пассажирский багаж и т.п.

Требования к максимизации скорости обнаружения, в первую очередь, обусловлены исключительно важностью задачи найти выживших людей, а также спецификой работ по организации и осмотру места авиационного происшествия. Как правило, место авиационного происшествия начинает изменяться еще до его осмотра. Причинами этого может быть возникновение пожара, работы по его тушению, по спасению раненных и другие специфические работы.

В ходе решения задач по расследованию авиационных происшествий возникают следующие специфические проблемы:

- поиск места происшествия (важно максимально быстро найти место происшествия, т.к. есть шанс спасти людей);
- обнаружение обломков (детализация места авиационного происшествия);
- идентификация обломков, определение потенциально опасных участков в зоне происшествия;
- построение схем разброса обломков (кроков).

Проработка данных вопросов позволит:

- уменьшить «блуждания» наземных поисковых групп, улучшить их координацию;
- производить предварительную идентификацию объектов на месте происшествия;
- существенно улучшить поиск мест и объектов на месте происшествия в труднодоступных районах;
- улучшить процесс решения задач по осмотру места происшествия.

Использование методов дистанционного зондирования земной поверхности дает возможность оперативно решать задачи поиска. Для этих целей могут использоваться активные методы радиолокации.

В рамках диссертационной работы разрабатываются методы, позволяющие улучшить процесс решения следующих задач:

- первоначальные действия на месте происшествия;
- первоначальный осмотр места происшествия;
- построение схем (кроков) разброса обломков;
- задач по идентификации объектов последствия авиационного происшествия.

Сказанное определяет актуальность работы, посвященной расширению возможностей расследования авиационных происшествий путем дистанционного обнаружения, оконтуривания и идентификации объектов последствия этих происшествий.

Степень разработанности темы исследования

Проблемам и различным частным вопросам, посвященным решению задач, связанных с расследованием авиационных происшествий, посвящено достаточно много различных регламентирующих нормативных документов. Что касается научных изданий, то здесь перечень изданий значительно меньше. Проблеме процедуре расследования авиационных происшествий посвящена, можно сказать, в чем-то базовая узловая статья Б.П. Елисеева, В.А. Санникова, А.Д. Филина, А.Ю. Шатракова «Процедуры расследования авиационных происшествий».

Вопросы, связанные с организационно-тактическими особенностями проведения осмотра места авиационного происшествия, отражены в работах М.В. Головина и Н.М. Шпак.

Тактические особенности осмотра места авиационного происшествия, достаточно детально изложены в работах А.А. Митрофановой.

В работах Г.Е. Глухова, И.Г. Кирпичева, П.Е. Черникова достаточно детально излагаются вопросы, связанные с нормативным обеспечением системы информационного мониторинга безопасности авиационной деятельности.

Задачи, связанные с вопросами применения Приложения 19 «Управление безопасностью полетов», нашли свое отражение в работе В.Д. Бордунова и Б.П. Елисеева.

Сложности, возникающие при первоначальных действиях в ходе расследования авиационного происшествия, обусловлены, как правило, отдаленностью места последствия авиационного происшествия; труднодоступностью местности (густой лес, непроходимая тайга, болотистая местность, горная местность); плохой видимостью в зоне авиационного происшествия (густой туман, задымление от пожара); коротким световым днем; низкой температурой воздуха. В рамках диссертационного исследования решение обозначенных сложностей опирается на применение радиолокационных методов наблюдения земной поверхности.

Радиолокационные методы не зависят от времени суток и состояния атмосферы. Они дают возможность обнаруживать «спрятанные» объекты (например, скрытые за кронами деревьев, находящиеся в густой траве и т.п.). Их основной недостаток – низкая разрешающая способность и слабая различимость слабоконтрастных целей. Применительно к задачам, рассматриваемым в диссертации, – это проявляется в том, что ОПАП, чаще всего, представляют собой слабоконтрастные цели. Кроме того, достаточно большое «пятно разрешения» на земной поверхности не позволяет различать «небольшие» объекты. Сказанное определяет одно из основных направлений исследований, проводимых в диссертации, – различение слабоконтрастных радиолокационных целей типа ОПАП, их идентификация и повышение разрешающей способности РЛС.

Основной теоретической и методологической базой являются работы советских и российских ученых Богородского В.В., Канарейкина Д.Б., Козлова А.И., Логвина А.И., Потехина В.А., Сарычева В.А., Татарина В.Н, а также зарубежных ученых Voerner W.M., Ligthart L.P., Huynen J.R. и др.

Цели и задачи исследования

Целью диссертационного исследования является расширение возможностей расследования авиационных происшествий путем разработки новых инженерно-авиационных

методов и алгоритмов дистанционного обнаружения объектов последствия этих происшествий с их последующей детализацией, оконтуриванием и идентификацией.

Для достижения поставленной цели в диссертационной работе решены следующие основные задачи:

1. Разработка рекомендаций, методов и алгоритмов:

- по обнаружению с борта ЛА на земной поверхности мест и объектов последствия авиационного происшествия;

- по увеличению контраста обнаруженных объектов на фоне земной поверхности;

- по детализации структуры обнаруженных объектов;

- по идентификации обнаруженных объектов.

В качестве инструмента решения перечисленного круга задач выступают методы радиополяриметрии.

2. Экспериментальная проверка поляризационной чувствительности объектов наблюдения и возможности их различения в пределах элемента разрешения РЛС.

Объект исследования: последствия авиационного происшествия.

Предмет исследования: методы и алгоритмы решения задачи дистанционного обнаружения объектов последствия авиационного происшествия и определение их геометрических и физических характеристик.

Методология и методы исследования:

С целью решения вышеперечисленных задач использовались физические и математические методы радиополяриметрии, системный анализ, теория вероятностей и математическое моделирование.

Научная новизна работы состоит в том, что в ней впервые:

1. Предложен метод различения нескольких объектов, находящихся в пределах элемента разрешения, путем управления положением фазового центра отраженной от земной поверхности зондирующей электромагнитной волны при изменении ее поляризационных характеристик.

2. Предложены алгоритмы «оконтуривания» объекта, находящегося в пределах элемента разрешения.

4. Решена задача и предложены алгоритмы по управлению контрастностью наблюдаемых на фоне земной поверхности объектов.

5. Разработан метод обнаружения объектов наблюдения на земной поверхности, находящихся в пределах элемента разрешения.

6. Разработан метод идентификации объектов наблюдения путем сравнения радиополяризационного изображения сложного неровного участка, типа земной поверхности со стандартными радиолокационными изображениями аналогичных участков.

7. Экспериментально подтверждена возможность различения нескольких объектов, находящихся на земной поверхности в пределах элемента разрешения, путем управления поляризацией электромагнитной волны.

Практическая значимость работы состоит в том, что ее результаты позволяют:

1. Расширить возможности расследования авиационных происшествий с борта ЛА, в том числе, в труднодоступных районах путем дистанционного обнаружения мест их последствий.

2. Проводить идентификацию дистанционно обнаруженных объектов последствия авиационного происшествия.

3. Различать близкорасположенные объекты последствия авиационного происшествия, находящиеся на поверхности земли в пределах элемента разрешения радиолокационной станции.

4. Осуществлять мониторинг предполагаемого места авиационного происшествия, в том числе в труднодоступных районах, и формулировать предварительное заключение о территориальном разбросе объектов последствия авиационного происшествия.

Положения, выносимые на защиту

1. Методы и алгоритмы дистанционного обнаружения, различения и оконтуривания объектов последствия авиационного происшествия путем изменения положения фазового центра отраженной электромагнитной волны в режиме управляемого поляризационного сканирования.

2. Методы и алгоритмы дистанционного обнаружения и детализации объектов последствия авиационного происшествия путем специальной пространственно-временной обработки отраженной электромагнитной волны.

3. Методы и алгоритмы детализации и идентификации обнаруженных на фоне земной поверхности объектов последствия авиационного происшествия путем управления радиолокационным контрастом в режиме полного поляризационного сканирования.

Достоверность научных результатов основана на:

- детальном анализе состояния проблемы дистанционного сбора и регистрации данных о месте авиационного происшествия, ее взаимосвязи с проблемами безопасности полетов и ее роли при расследовании авиационных происшествий;

- корректном использовании известных теоретических методов радиополяриметрии, теории вероятностей и математической статистики, современных методов математического и компьютерного моделирования;

- полученных результатах имитационного моделирования и лабораторных исследованиях возможности различения объектов, находящихся в пределах элемента разрешения радиолокационной станции.

Апробация результатов исследования

Основные результаты работы докладывались и обсуждались на заседаниях кафедры «Технической эксплуатации радиоэлектронного оборудования воздушного транспорта», а также на следующих научно-технических конференциях:

1. Всероссийская научная конференция ведущих научных школ в области радиолокации, радионавигации и радиоэлектронных систем передачи информации, посвященная памяти профессора ТУСУРа, академика Г.С. Шарыгина: «Шарыгинские чтения» (2019), г. Томск.

2. VII Всероссийские Армандовские чтения. Современные проблемы дистанционного зондирования, радиолокации, распространения и дифракции волн (2017), г. Муром.

3. I Международная заочная научно-практическая конференция "Авиация: история, современность, перспективы развития" (2016), г. Минск.

Результаты работы были внедрены:

- В НИР (2019, МГТУ ГА) «*Обнаружение, детализация и идентификация слабоконтрастных малоподвижных радиолокационных целей методами радиополяриметрии*».

- При разработке (2018, НТБ МГТУ ГА) «*Системы дистанционного мониторинга лесов и торфяников*». Разработка, позволяющая эффективно проводить работу по дистанционному зондированию пожароопасных участков в лесных массивах, была представлена на международном салоне-выставке средств обеспечения безопасности «Комплексная безопасность-2018».

- В НИР (2018, МГТУ ГА) «*Повышение детализации радиолокационного изображения наблюдаемой цели методами радиополяриметрии*».

- В НИР (2017, МГТУ ГА) «*Обоснование и экспериментальное доказательство возможности улучшения наблюдения и повышения точности местоопределения близко расположенных слабоконтрастных малоподвижных объектов, используемых в качестве навигационных ориентиров в условиях отсутствия единого навигационного поля, методами радиополяриметрии*».

- В НИР (2016, МГТУ ГА) «*Обоснование возможности разрешения (по углу места) нескольких радиолокационных целей, находящихся внутри элемента разрешения, методами радиополяриметрии, и разработка соответствующих методов математического моделирования этого процесса*».

- В НИР (2019, НПО «СПАРК», №01424) «*Разработка инновационных методов дистанционного зондирования земной поверхности и природных объектов при проведении нестандартных видов авиационных работ*».

Отдельные результаты работы отмечены присуждением автору диссертации **специальной премии Министерства обороны РФ (2019)**, в рамках конкурса по тематике: «Системы технического зрения для вооружения, военной и специальной техники», а также

премии Пирогова Г.Н. в номинации за «Лучшую научную студенческую работу в области аэронавигации – 2016 год».

Публикации результатов исследования

По материалам диссертации опубликовано 10 печатных работ, в том числе 3 из них в журналах из перечня изданий, рекомендованных ВАК при Минобрнауки России; 7 публикаций в трудах международных и всероссийских конференций.

Структура и объем диссертационной работы

Диссертация общим объемом 246 страниц состоит из введения, четырех глав, заключения. Она включает в себя 174 страницы основного текста, перечень используемой научно-технической литературы из 60 наименований, 6 приложений на 63 с., 127 рисунков и 32 таблицы.

Основное содержание работы

Во введении приведены общие сведения о диссертации, дается обоснование актуальности темы диссертации, степень ее разработанности, обозначены цели и задачи, сформулирована научная новизна, определены практическая и теоретическая значимость полученных результатов.

В первой главе произведен обзор современных методов дистанционного обнаружения объектов последствия авиационного происшествия (ОПАП) и отмечены основные ограничения их возможностей. Формулируются основные проблемы и наиболее «узкие» места, возникающие в процессе расследования авиационного происшествия, в части задач по осмотру места происшествия.

Сложности, возникающие при первоначальных действиях в ходе расследования авиационного происшествия, обусловлены, как правило, отдаленностью места последствия авиационного происшествия; труднодоступностью местности (густой лес, непроходимая тайга, болотистая местность, горная местность); плохой видимостью в зоне авиационного происшествия (густой туман, задымление от пожара); коротким световым днем; низкой температурой воздуха.



Рис. 1 Фотография ОПАП, «спрятанного» за кронами деревьев

Существующие методы поиска и детализации мест авиационных происшествий можно разделить на оптические, инфракрасные, радиоинформационные и радиолокационные.

Оптические методы практически бесполезны в темное время суток, при густом тумане, сильном задымлении. Они не дают возможности обнаруживать «спрятанные» объекты (например, скрытые за кронами деревьев, находящиеся в густой траве и т.п.).

Инфракрасные методы позволяют обнаруживать объекты в любое время суток. Однако их эффективность заметно снижается по мере «остывания» места и объектов последствия авиационного происшествия. Такие методы эффективны только в первые часы после крушения.

Радиоинформационные методы используют специальные устройства для определения и передачи координат по радиоканалу или опираются на излучение аварийного радиосигнала. Как правило, эти устройства, чаще всего, оказываются уничтоженными в результате авиационного происшествия. Этими методами можно определить практически только координаты места происшествия.

Радиолокационные методы не зависят от времени суток и состояния атмосферы. Они дают возможность обнаруживать «спрятанные» объекты. Их основной недостаток – низкая разрешающая способность и слабая различимость слабоконтрастных целей. Применительно к задачам, рассматриваемым в диссертации, – это проявляется в том, что ОПАП, чаще всего, представляют собой слабоконтрастные цели. Кроме того, достаточно большое «пятно разрешения» радиолокационной станции на земной поверхности не позволяет различать небольшие объекты. Сказанное определяет одно из направлений исследований, проводимых в диссертации.

Как известно, любой объект или группа объектов, попавшие в пределы элемента разрешения, будут трактоваться как один объект (точечная цель). Следствием этого является то, что отдельные небольшие элементы обломков самолета методами классической радиолокации не могут быть обнаружены с борта летательного аппарата, и, тем более, нельзя дать заключение о том, что это за объект, выяснить один он или их несколько.

Оценку размера элемента разрешения на поверхности Земли в зависимости от высоты полета и ширины диаграммы направленности антенны дает рис.2.

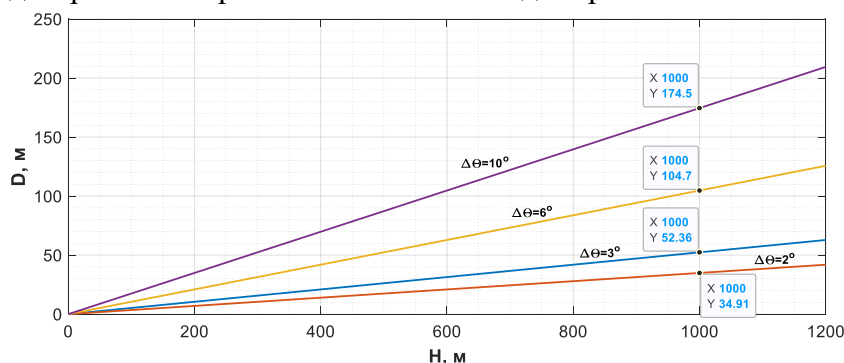


Рис. 2. Зависимость диаметра D элемента разрешения на поверхности Земли от высоты H зондирования при различной ширине диаграммы направленности антенны $\Delta\theta_0$

Как видно, при высотах полета даже на уровне 1000 метров, при использовании небольшой антенны (аэродинамика накладывает жесткие ограничения на размеры и месторасположение антенн), диаметр «разрешаемого» пятна составляет величину порядка 30-50 метров. Естественно, что различить на такой площадке, как правило, заполненной растительностью, небольшие элементы – объекты последствия авиационного происшествия далеко непростая задача.

Более того, радиолокационный приемник суммирует мощность сигналов, формируемых при отражении от каждого элемента «разрешаемой» площадки, а вклад в эту сумму от объекта авиационного происшествия, как правило, весьма незначителен.

Пути решения задач, связанных с различением сигналов, отраженных от неподвижных объектов, находящихся в пределах элемента разрешения радиолокационной станции, лежат в различии их «поляризационной чувствительности». Применительно к рассматриваемым ниже задачам названный подход опирается на слабую зависимость мощности отраженного фонового сигнала, формируемого подстилающим покровом, от вида поляризации облучающей волны, и достаточно сильную зависимость от объектов искусственного происхождения, хотя величина

такого сигнала может сильно уступать фоновому сигналу. Дело в том, что наличие металлических граней у искусственных объектов даже при небольшом изменении вида поляризации, как правило, существенно изменяет мощность отраженного сигнала, тем самым, искусственно осуществляя поляризационную модуляцию отраженного сигнала, что открывает путь к обнаружению искусственных объектов, которыми и являются объекты последствия авиационных происшествий.

Одним из следствий такой зависимости является изменение положения фазового центра отражения, управление которым путем изменения вила поляризации открывает широкие возможности для обнаружения, различения, детализации и т.п. объектов, находящихся в элементе разрешения.

Осуществление частичного или полного поляризационного сканирования дают возможность путем разработки и применения специальных алгоритмов обработки существенно повысить различение слабоконтрастных объектов, даже находящихся в пределах элемента разрешения.

Более того, поляризационная модуляция, представляющая собой по своей сути сложную амплитудно-фазовую модуляцию, открывает большие дополнительные возможности для решения большого класса прикладных радиолокационных задач, некоторые из которых применительно к проблемам исследования последствий авиационных происшествий, излагаются в последующих главах диссертации.

Вторая глава диссертации посвящена разработке методик дистанционного обнаружения и оконтуривания объектов последствия авиационного происшествия путем управления положением фазового центра (ФЦ) отражения.

Рассматриваемая методология различения ОПАП, находящихся в пределах элемента разрешения, опирается на зависимость положения фазового центра (X, Y) отражения облучаемых объектов от вида поляризации (γ, φ). Отражение радиоволн от цели в основном формируется «блестящими точками» (БТ), элементы матрицы рассеяния s_{mn} ($m, n=1,2$) которых в сильной степени зависят от вида поляризации облучающей волны, изменение которой приводит к зависимости интенсивности отраженной волны от вида поляризации.

С учетом изменения поляризации зондирующего сигнала пространственные координаты фазового центра (X, Y) для случая, например, трех целей, координаты j -ой из которых (x_j, y_j), определяются следующими соотношениями:

$$X = \sum_{j=1}^3 x_j A_j / \sum_{j=1}^3 A_j; \quad Y = \sum_{j=1}^3 y_j A_j / \sum_{j=1}^3 A_j; \quad (1)$$

$$\text{где } A_j = \left| \begin{array}{l} s_{11_i} \cos^2(\gamma) + s_{12_i} \sin(2\gamma) \cdot \cos(\varphi) + i \cdot s_{12_i} \sin(2\gamma) \cdot \\ \sin(\varphi) + s_{22_i} \sin(\gamma) \cdot \cos(2\varphi) + i \cdot s_{22_i} \sin(\gamma) \sin(2\varphi) \end{array} \right|^2$$

где $0 \leq \gamma \leq \pi$ и $0 \leq \varphi \leq \pi$ – параметры, определяющие вид поляризации, на которой производится наблюдение.

Для иллюстрации полученных соотношений решается задача по определению положения фазового центра некоторых произвольно выбранных целей в режиме поляризационного сканирования для двух случаев:

– при фиксированном параметре поляризации φ ($\varphi = 0$) и варьировании параметра γ в пределах $0 \leq \gamma < \pi$ – режим частичного поляризационного сканирования (ЧПС) (рис. 4, б);

– при обоих варьируемых параметрах $0 \leq \varphi < \pi$, $0 \leq \gamma < \pi$ – режим полного поляризационного сканирования (ППС) (рис. 4, а).

Пусть матрица рассеяния I -ой цели, расположенной в точке (x_j, y_j), имеет вид:

$$S_I = \begin{pmatrix} a_{Ij} & b_{Ij} \\ b_{Ij} & c_{Ij} \end{pmatrix}; \quad I = j = 1, 2, 3.$$

Положение объектов на рис. 4 обозначены точками S_1, S_2 и S_3 . Цвет графиков характеризует интенсивность принимаемой радиоволны.

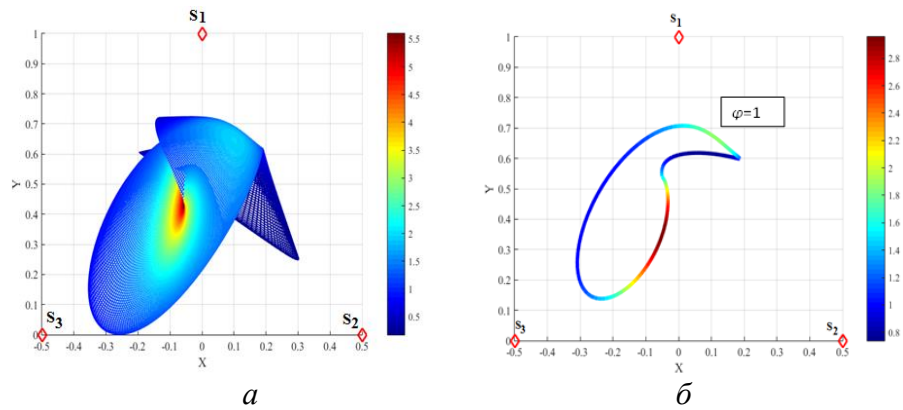


Рис. 4 – ППК трех целей

Представленные пространственно-поляризационные контуры (ППК) на рис. 5 (а), соответствующему режиму ППС, являются более информативными и ценными с точки зрения аналитического подхода, но, в свою очередь, ППК на рис. 5 (б), соответствующему режиму ЧПС, более применимы для практической реализации предлагаемого метода. Стоит отметить, что «центры тяжести» фигур, определяемые максимальными значениями интенсивности принимаемого сигнала, в основном сосредоточены в пределах определенного участка на поверхности фигуры, совпадающего с окрестностями точек S_1 , S_2 и S_3 .

Рассматривается эволюцию ППК при изменении матриц рассеяния одной из БТ. Цели представлены набором трех БТ со следующими матрицами рассеяния:

$$S_1 = \begin{pmatrix} 0.92 & 0.66 \\ 0.66 & 0.85 \end{pmatrix}; S_2 = \begin{pmatrix} 0.53 & 0.73 \\ 0.73 & 0.24 \end{pmatrix}; S_3 = \begin{pmatrix} 0.66 & 0.62 \\ 0.62 & 0.59 \end{pmatrix}.$$

Пример эволюции ППК при уменьшении «веса» БТ № 3 приведен на рис. 5.

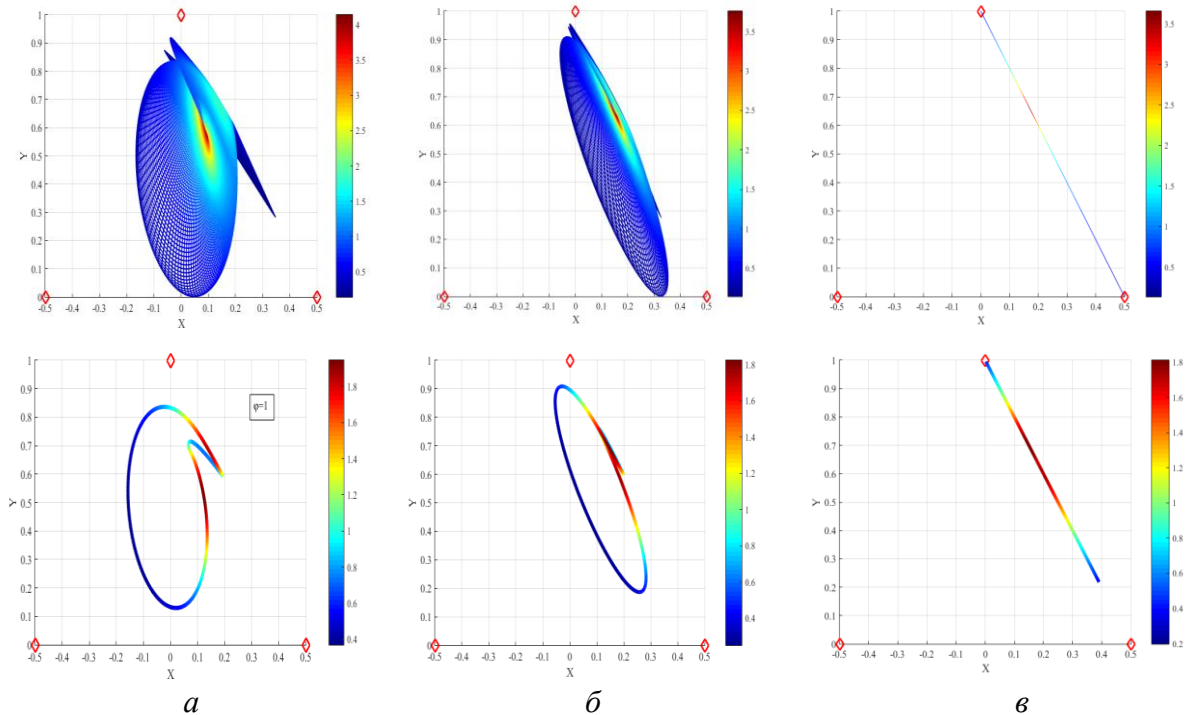


Рис. 5 – Эволюция ППК при уменьшении «веса» БТ №3

$$a) S_2 = \begin{pmatrix} 0.23 & 0.33 \\ 0.33 & 0.14 \end{pmatrix}; б) S_2 = \begin{pmatrix} 0.13 & 0.15 \\ 0.15 & 0.06 \end{pmatrix}; в) S_2 = \begin{pmatrix} 0 & 0 \\ 0 & 0 \end{pmatrix}$$

Полученные результаты показывают принципиальную зависимость геометрии ППК от матриц рассеяния, что позволяет говорить о возможности их определения, опираясь на знание ППК группы БТ, что, в свою очередь, открывает возможность для различения и идентификации объектов последствия авиационного происшествия, находящихся в пределах элемента разрешения РЛС.

Решение задачи по определению координат и матриц рассеяния для трех целей сводится к решению системы из 120 нелинейных уравнений:

$$\left\{ \begin{array}{l} X_1 = \frac{\sum_{i=1}^3 x_i \left((s_{11_i} k_1^2 + s_{12_i} z_1 k_1 b (b^2 - a^2) + s_{22_i} z_1 (b^2 - a^2))^2 + (s_{12_i} z_1 k_1 a + s_{22_i} z_1 \cdot 2 \cdot a \cdot b)^2 \right)}{\sum_{i=1}^3 \left((s_{11_i} k_1^2 + s_{12_i} z_1 k_1 b (b^2 - a^2) + s_{22_i} z_1 (b^2 - a^2))^2 + (s_{12_i} z_1 k_1 a + s_{22_i} z_1 \cdot 2 \cdot a \cdot b)^2 \right)} \\ Y_1 = \frac{\sum_{i=1}^3 y_i \left((s_{11_i} k_1^2 + s_{12_i} z_1 k_1 b (b^2 - a^2) + s_{22_i} z_1 (b^2 - a^2))^2 + (s_{12_i} z_1 k_1 a + s_{22_i} z_1 \cdot 2 \cdot a \cdot b)^2 \right)}{\sum_{i=1}^3 \left((s_{11_i} k_1^2 + s_{12_i} z_1 k_1 b (b^2 - a^2) + s_{22_i} z_1 (b^2 - a^2))^2 + (s_{12_i} z_1 k_1 a + s_{22_i} z_1 \cdot 2 \cdot a \cdot b)^2 \right)} \\ \dots \\ \dots \\ X_{51} = \frac{\sum_{i=1}^3 x_i \left((s_{11_i} k_{51}^2 + s_{12_i} z_{51} k_{51} b (b^2 - a^2) + s_{22_i} z_{51} (b^2 - a^2))^2 + (s_{12_i} z_{51} k_{51} a + s_{22_i} z_{51} \cdot 2 \cdot a \cdot b)^2 \right)}{\sum_{i=1}^3 \left((s_{11_i} k_{51}^2 + s_{12_i} z_{51} k_{51} b (b^2 - a^2) + s_{22_i} z_{51} (b^2 - a^2))^2 + (s_{12_i} z_{51} k_{51} a + s_{22_i} z_{51} \cdot 2 \cdot a \cdot b)^2 \right)} \\ Y_{51} = \frac{\sum_{i=1}^3 y_i \left((s_{11_i} k_{51}^2 + s_{12_i} z_{51} k_{51} b (b^2 - a^2) + s_{22_i} z_{51} (b^2 - a^2))^2 + (s_{12_i} z_{51} k_{51} a + s_{22_i} z_{51} \cdot 2 \cdot a \cdot b)^2 \right)}{\sum_{i=1}^3 \left((s_{11_i} k_{51}^2 + s_{12_i} z_{51} k_{51} b (b^2 - a^2) + s_{22_i} z_{51} (b^2 - a^2))^2 + (s_{12_i} z_{51} k_{51} a + s_{22_i} z_{51} \cdot 2 \cdot a \cdot b)^2 \right)} \end{array} \right. \quad (2)$$

где $z = \sin(\gamma)$; $k = \cos(\gamma)$; $a = \sin(\varphi)$; $b = \cos(\varphi)$; $x_1, y_1; y_2 x_2; y_3 x_3$ – координаты БТ1, БТ2, БТ3; $s_{11_1}, s_{12_1}, s_{22_1}; s_{11_2}, s_{12_2}, s_{22_2}; s_{11_3}, s_{12_3}, s_{22_3}$ – элементы матриц рассеяния БТ1, БТ2, БТ3.

В результате машинного эксперимента по различению трех случайных объектов, находящихся в пределах элемента разрешения, была решена система из 120 нелинейных уравнений и определены координаты всех трех объектов и их матрицы рассеяния с относительной ошибкой 4%.

Математически положение фазового центра при когерентном отражении можно определить, построив нормаль к поверхности одинаковой фазы ($\Psi(x, y, z) = const$) цели.

Проиллюстрируем случай, когда цель представлена тремя блестящими точками. Фаза суммарного колебания для такой цели запишется следующим образом:

$$\Psi = \arctg \left(\frac{\sum_{j=1}^3 a_j \sin \left(k \sqrt{(x - x_1)^2 + (y - y_1)^2 + (z - z_1)^2} - \varphi_j \right)}{\sum_{j=1}^3 a_j \cos \left(k \sqrt{(x - x_1)^2 + (y - y_1)^2 + (z - z_1)^2} - \varphi_j \right)} \right) \quad (3)$$

где x_i, y_i, z_i – координаты i -й БТ; φ_i – начальная фаза i -й БТ; k – волновое число; a_i – интенсивность отражения от i -й БТ.

На рис. 6 проиллюстрирована эквифазная поверхность $\Psi(x, y, z) = const$ для случая, когда интенсивность отраженной волны от всех БТ одинакова (a) и для случая, когда интенсивность отраженной волны от точки №2 больше в 10 раз (b).

Точка пересечения нормали с плоскостью $Z = 0$ определит координаты фазового центра. Уравнение нормали к эквифазной поверхности запишется следующим образом:

$$\frac{X - x_0}{\Psi'_x} = \frac{Y - y_0}{\Psi'_y} = \frac{Z - z_0}{\Psi'_z}, \quad (4)$$

где x_0, y_0, z_0 – координаты точки наблюдения;

$$\Psi'_x = \frac{\partial \Psi}{\partial x}; \Psi'_y = \frac{\partial \Psi}{\partial y}; \Psi'_z = \frac{\partial \Psi}{\partial z} \quad (5)$$

Координаты фазового центра:

$$X = x_0 - z_0 \frac{\Psi'_x}{\Psi'_z}; Y = y_0 - z_0 \frac{\Psi'_y}{\Psi'_z} \quad (6)$$

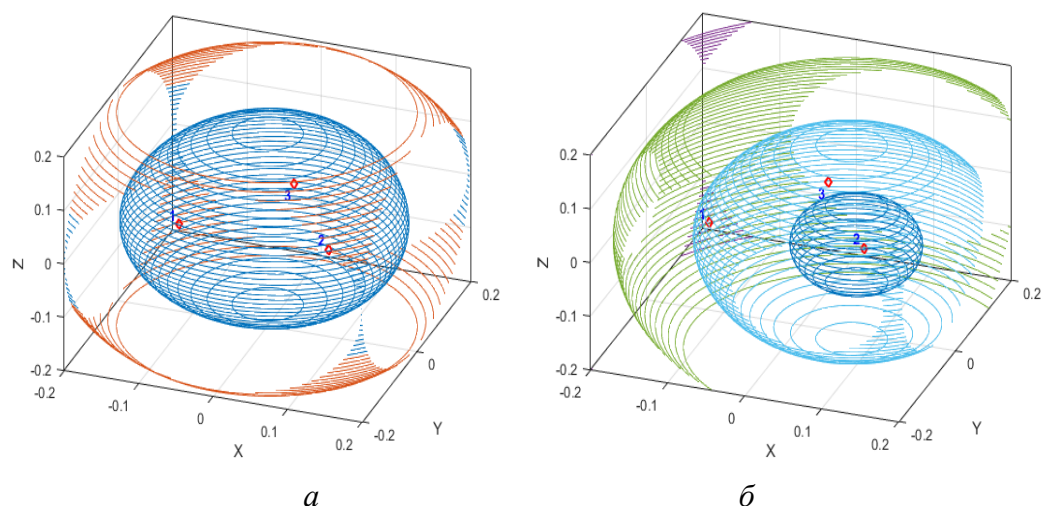


Рис. 6 – Эволюция эквифазной поверхности при росте в 10 раз интенсивности отражения (элемент матрицы s_{11}) от одной из блестящих точек

На рис. 7 проиллюстрирован процесс определения ФЦ для трех блестящих точек, матрицы рассеяния которых были выбраны случайным образом.

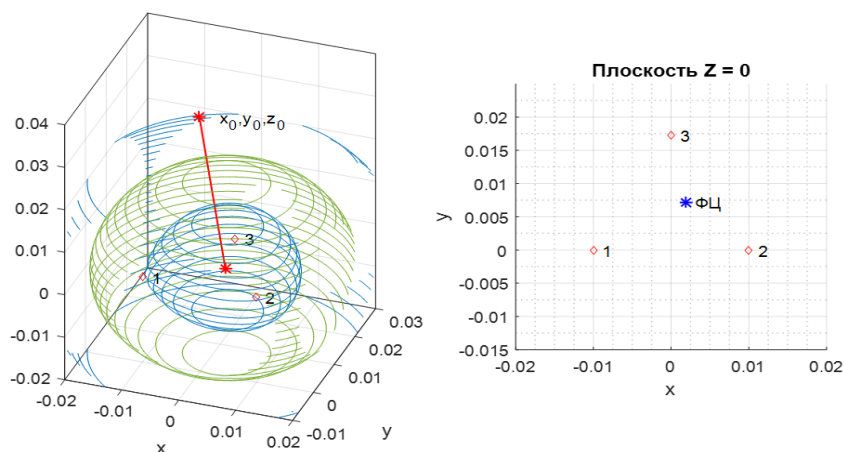


Рис. 7 – Фазовый центр отражения сложной радиолокационной цели, представленной тремя БТ со случайными матрицами рассеяния в исходном поляризованном базисе

С целью проверки поляризационной чувствительности объектов наблюдения и возможности управления положением фазового центра отражения для решения задачи раздельного обнаружения нескольких объектов в пределах элемента разрешения был проведен лабораторный эксперимент. Экспериментальная установка представлена на рис.8. Полученные в результате эксперимента ППК для случая двух и трех объектов проиллюстрированы на рис. 9.

Результаты эксперимента подтверждают возможность управления местоположением фазового центра. Для случая двух и трех объектов наблюдения, находящихся внутри элемента разрешения, были построены пространственно-поляризационные контуры, давшие возможность провести обнаружение и разделение объектов, находящихся в пределах элемента разрешения, тем самым, показывая возможность их различения. При этом ошибка определения координат составила порядка 14 см для случая двух целей и не менее 60 см в случае трех целей.

Таким образом, предложенный метод управления фазовым центром отражения, имеющий место при управлении поляризационными характеристиками зондирующей волны, дает возможность для обнаружения, различения и оконтуривания нескольких ОПАП, находящихся в пределах элемента разрешения зондирующей радиолокационной станции. Кроме того,

экспериментально-лабораторная проверка подтверждает возможность управления ФЦ на основании предложенного метода.

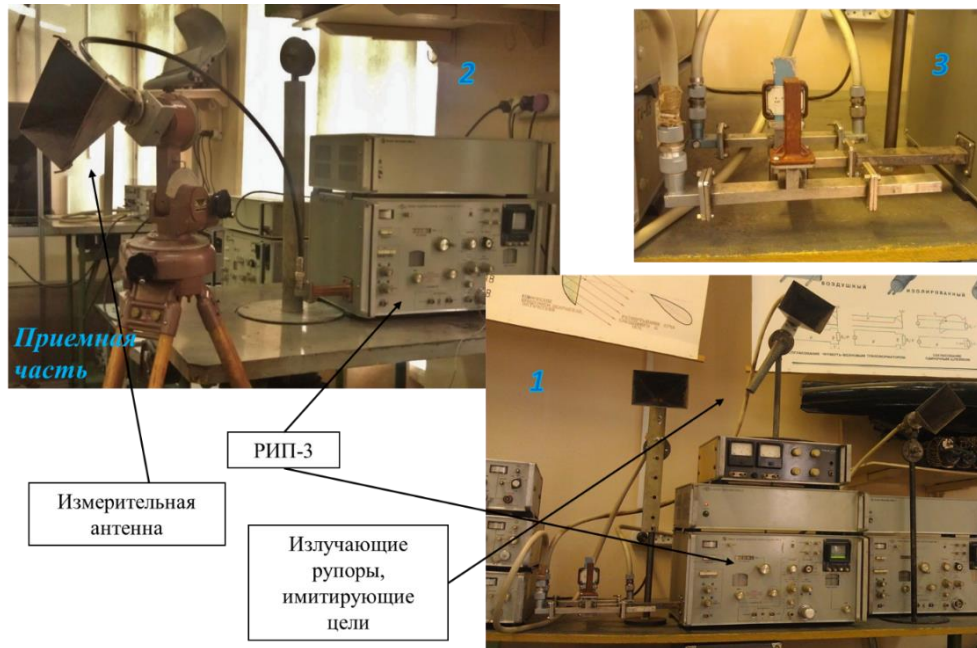


Рис. 8 – Экспериментальная установка

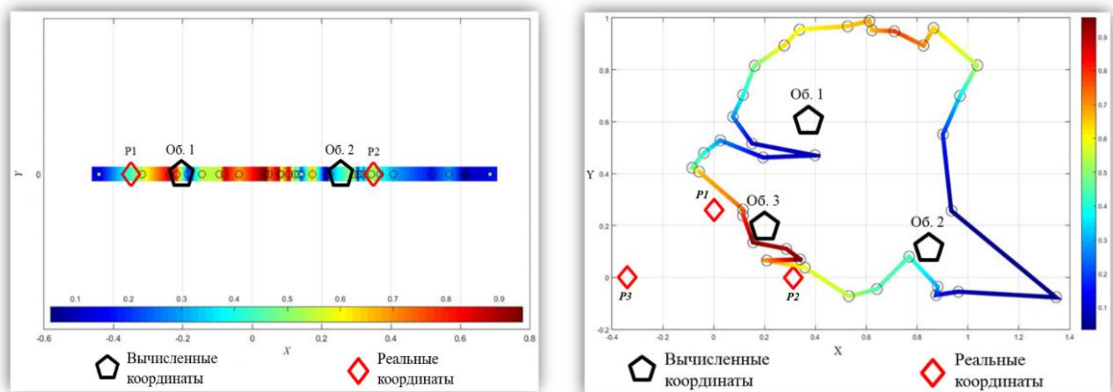


Рис. 9 – ППК для двух и трех объектов

В третьей главе разработана методика дистанционного обнаружения мест и объектов последствия авиационного происшествия путем специальной пространственно-временной обработки отраженных электромагнитных волн. Классическая РЛС фактически сводит всю наблюдаемую отражающую поверхность в одну точку. Рассматриваемый метод предлагает, опираясь на знание амплитудно-фазового распределения поля в раскрыве антенны, восстанавливать амплитудно-фазовое распределение поля на облучаемой поверхности, что дает принципиально иной подход к осуществлению ее детализации, т.е. к определению ее физических и геометрических характеристик.

При падении плоской электромагнитной волны на поверхность, в точке наблюдения комплексная амплитуда напряженности электрического поля отраженной волны для дискретной системы (рис. 8) может быть записана следующим образом:

$$\dot{E}_{M_x, M_y} = \sum_{N_y=1}^N \sum_{N_x=1}^N \dot{S}_{N_x, N_y} \frac{e^{ik(R_f + R_0)}}{r^2}, \quad (7)$$

где \dot{S}_{N_x, N_y} – функция рассеяния объекта, $N_{x,y}$ – наблюдаемая поверхность, $R_0 = r + \frac{d^2((N_x - M_x)^2 + (N_y - M_y)^2)}{2r}$, $R_f = f_{x,y} + \frac{f_{x,y}^2}{2r}$, $f_{x,y}$ – функция, определяющая рельеф поверхности, k – волновое число.

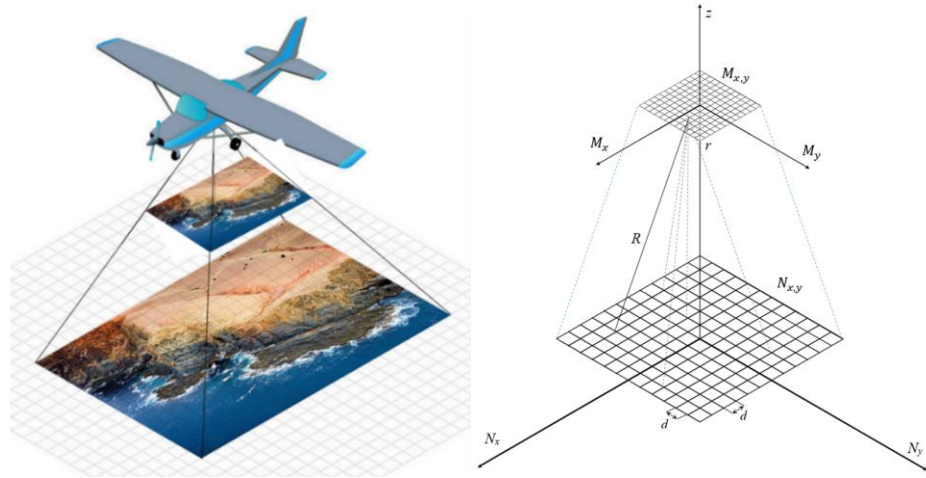


Рис. 10 – Принцип «переноса изображения» на наблюдаемую площадку

По распределению отраженного поля, определяемого модулем и аргументом комплексной амплитуды напряженности электрического поля, можно восстановить исходную поверхность.

Для оценки возможности восстановления структуры наблюдаемого участка поверхности, находящегося в пределах элемента разрешения, разработана программа на языке Matlab. На рис. 12 приведен пример вычисленного программой амплитудно-фазового распределение ($M_{x,y}$) для некоторого случайного участка поверхности ($N_{x,y}$), на котором располагаются три объекта наблюдения (рис. 11).

В литературе выведены соотношения (формулы Козлова-Логвина), позволяющие по известным элементам в исходном поляризованном базисе и параметрам поляризации γ, ϕ получить их представление в произвольном поляризованном базисе:

$$\begin{aligned} s_{11}e^{-2i\phi} &= e^{2i\eta} e^{2i\phi_{xy}} (\lambda_1 e^{-2i\phi_{xy}} \cos^2 \gamma + \lambda_2 e^{2i\phi_{xy}} \sin^2 \gamma); \\ s_{12}e^{-2i\phi} &= (-\lambda_1 e^{-2i\phi_{xy}} + \lambda_2 e^{2i\phi_{xy}}) \sin \gamma \cos \gamma; \\ s_{22}e^{-2i\phi} &= e^{-2i\eta} e^{-2i\phi_{xy}} (\lambda_1 e^{-2i\phi_{xy}} \sin^2 \gamma + \lambda_2 e^{2i\phi_{xy}} \cos^2 \gamma). \end{aligned} \quad (8)$$

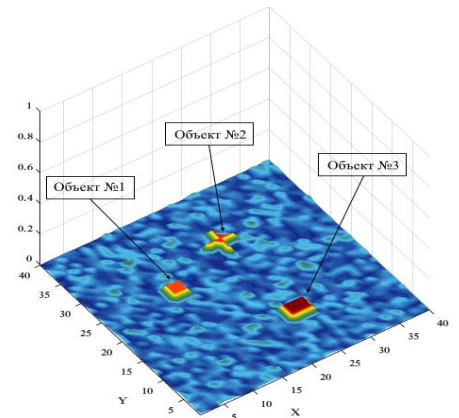


Рис. 11 – Структура наблюдаемой поверхности

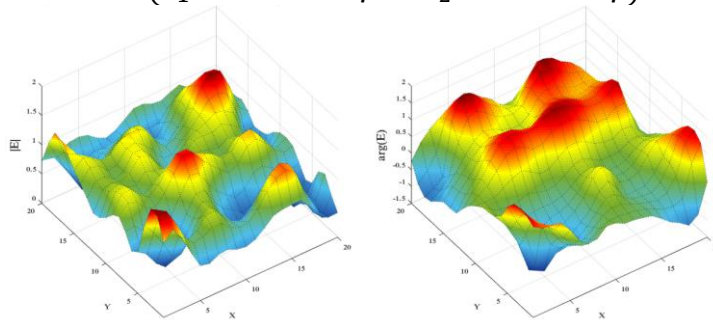


Рис. 12 – Пример амплитудно-фазового распределения

Выражения, позволяющие определять матрицы рассеяния в требуемом поляризованном базисе, когда в качестве исходного выбран произвольный, имеют вид:

$$\begin{aligned}
 q_{11} &= s_{11} e^{j(\Psi_{11}-2\varphi)} \cos(\gamma)^2 + s_{22} e^{j(\Psi_{22}+2\varphi)} \sin(\gamma)^2 + s_{12} \exp(\Psi_{12}) \sin(2\gamma) \\
 q_{12} &= \left(-s_{11} e^{j(\Psi_{11}-2\varphi)} + s_{22} e^{j(\Psi_{22}+2\varphi)}\right) \frac{\sin(2\gamma)}{2} + s_{12} \exp(\Psi_{12}) \cos(2\gamma) \\
 q_{22} &= s_{11} e^{j(\Psi_{11}-2\varphi)} \sin(\gamma)^2 + s_{22} e^{j(\Psi_{22}+2\varphi)} \cos(\gamma)^2 - s_{12} \exp(\Psi_{12}) \sin(2\gamma)
 \end{aligned}
 \tag{9}$$

При $s_{12} = 0$ равенства (9) переходят в (8).

Динамика отраженного сигнала от моделируемых целей при поляризационном сканировании приведена на рис. 13. При изменении видов поляризации зондирующего сигнала уровень отраженного сигнала от объектов изменяется вследствие их поляризационной чувствительности. Из рисунков наглядно видно, что наблюдение на одном фиксированном виде поляризации не дает возможности с достаточной вероятностью обнаруживать и различать между собой эти объекты.

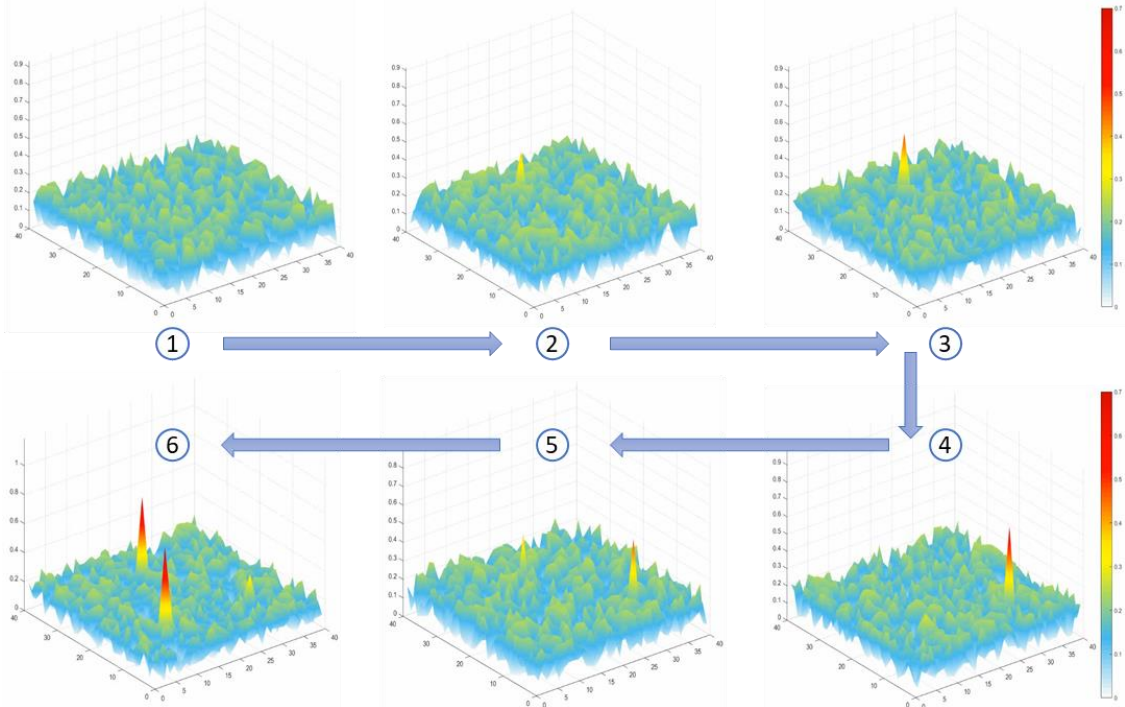


Рис. 13 – Динамика отраженного сигнала при поляризационном сканировании

Накопление изображений, полученных в ходе поляризационного сканирования, позволяет обнаружить все три объекта наблюдения за одно полное сканирование, в данном случае реализованное путем зондирования на 235 различных видах поляризации. На рис. 14 изображена восстановленная поверхность, содержащая три радиолокационные цели при отношении сигнал/шум 0 дБ.

На рис. 15 приведена зависимость диаметра элемента разрешения от числа дискретных точек наблюдения N (элементов антенной решетки) при высоте зондирования 1000 метров и различной ширине ДН $\Delta\Theta$. Методика 1, опирающаяся на применение «Методики пересчета» позволяет при $N=40$ элементов и ширине ДН $\Delta\Theta=3^\circ$ на удалении 1 км получить разрешающую способность по угловым координатам $D = 1.3$ метра. При этом методика 2 опирается на применение «Методики пересчета» совместно с режимом управления положением ФЦ позволит получить разрешающую способность порядка 32 см.

Идентификация обнаруженных объектов опирается на разработанный алгоритм определения собственных значений матриц рассеяния. Схема алгоритма приведена на рис. 16. Произведенная реализации алгоритма на языке MATLAB демонстрирует возможность вычисления собственных значений матриц рассеяния наблюдаемых целей с относительной погрешностью не более 1.9% при отношении сигнал/шум 20 дБ.

Таким образом, метод, основанный на принципе «переноса амплитудно-фазового распределения», позволяет различать находящиеся в пределах элемента разрешения

радиолокационные цели типа «объекты последствия авиационного происшествия» и производить их идентификацию на основе определения собственных значений матриц рассеяния.

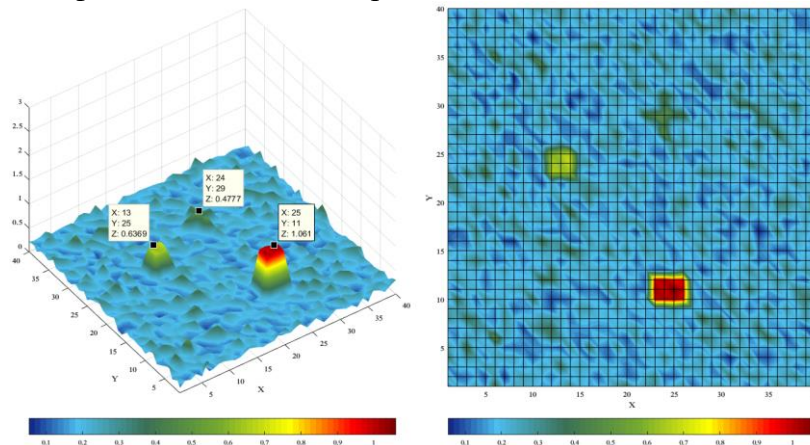


Рис. 14 – Результат обработки радиолокационного изображения в режиме ППС

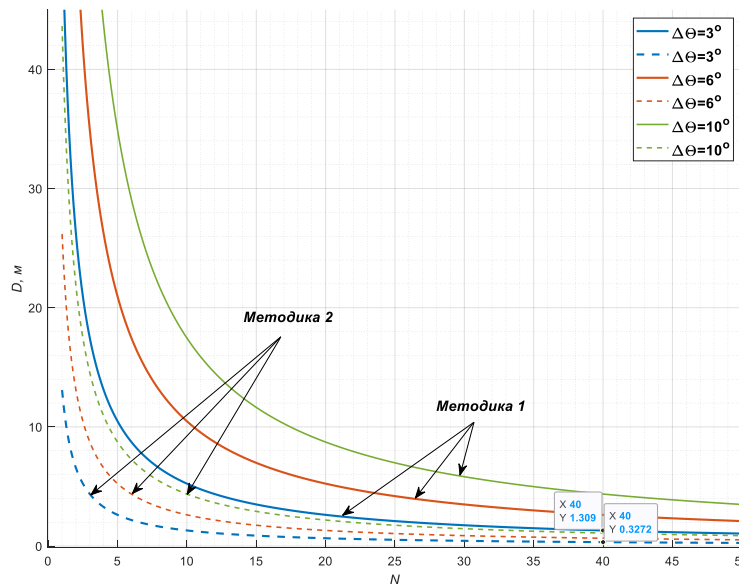


Рис. 15 – Зависимость диаметра элемента разрешения D от количества дискретов наблюдения N (элементов антенной решетки) при высоте зондирования 1000 метров и различной ширине ДН $\Delta\Theta$

В четвертой главе приводятся разработанные методы для детализации, оконтуривания и идентификации объектов последствия авиационного происшествия на фоне земной поверхности путем управления радиолокационным контрастом. Решения задач в рамках главы 2 и 3 фактически приводят к многократному улучшению разрешающей способности РЛС, что позволяет повысить детализацию радиолокационного изображения, и, в свою очередь, расширяет возможности для разработки новых методов улучшения обнаружения и идентификации слабоконтрастных объектов радиолокационного наблюдения типа объект последствия авиационного происшествия (ОПАП).

Пусть в качестве ОПАП выступает сложный по структуре одиночный объект. Таким объектом может быть, например, самолет или некоторая его составная часть, образовавшаяся в результате катастрофы (крыло, обломок фюзеляжа, двигатель и т.п.). Рассмотрим радиолокационное изображение участка земной поверхности, на которой расположен объект. При этом наблюдатель и наблюдаемый участок находятся в статичном положении, а вся динамика обусловлена изменением вида поляризации зондирующей волны и шумом приемного устройства.

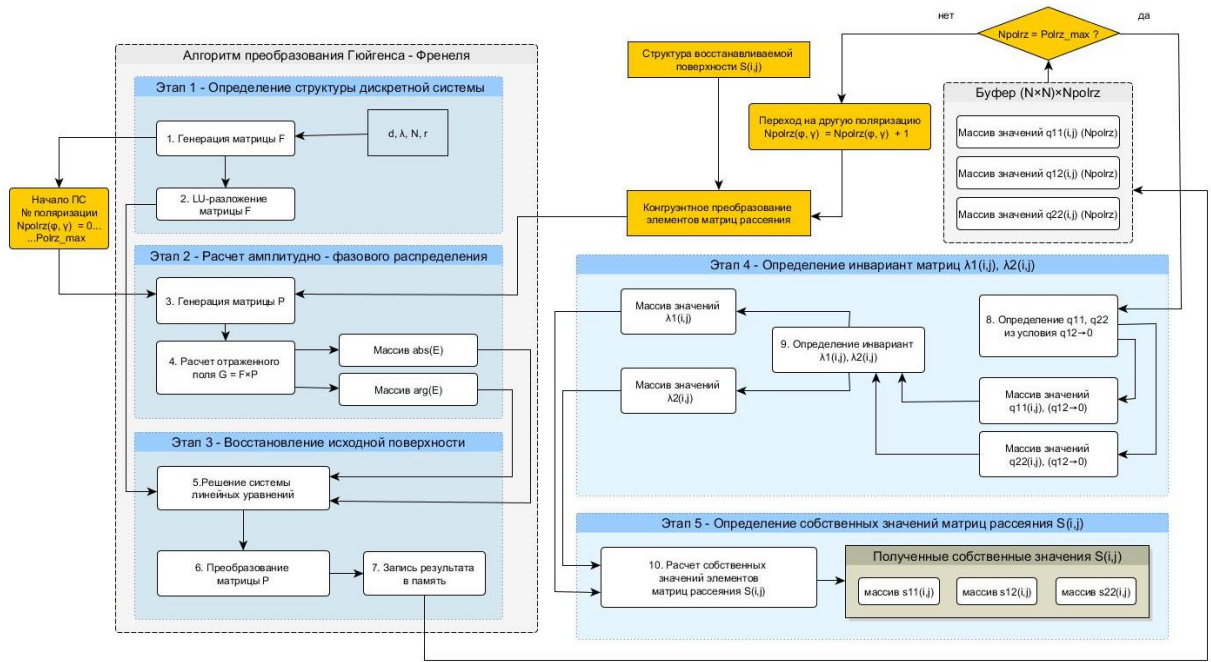


Рис. 16 – Алгоритм вычисления собственных значений матриц рассеяния

При поляризационном сканировании значение мощности отраженной электромагнитной волны от объекта и фона, как правило, изменяется по разным законам. На рис. 17 приведена динамика изменения усредненного уровня отраженного сигнала от объекта и фона при полном поляризационном сканировании. Как видно, пиковые значения интенсивности отраженного от объекта сигнала превышают пиковые значения интенсивности отражения от фона. Определяя уровень порога на уровне $V=0.5$, объект может быть обнаружен классическим способом.

Однако, если максимальные значения отраженного сигнала от объекта и фона находятся на одном уровне (рис. 18), применение постоянного уровня порога ограничивает обнаружение объекта.

Основная идея метода, позволяющего обнаруживать подобные слабоконтрастные объекты, заключается в определении видов поляризаций, на которых объект и фон в максимальной степени различимы. В качестве инструмента здесь выступает отношение объект/фон ($\xi_{o/f}$). Динамика отношения объект/фон при поляризационном сканировании приведена на рис. 19 (a). Пиковые значения $\xi_{o/f}$ показывают те виды поляризации, на которых могут быть получены наиболее контрастные радиолокационные изображения.

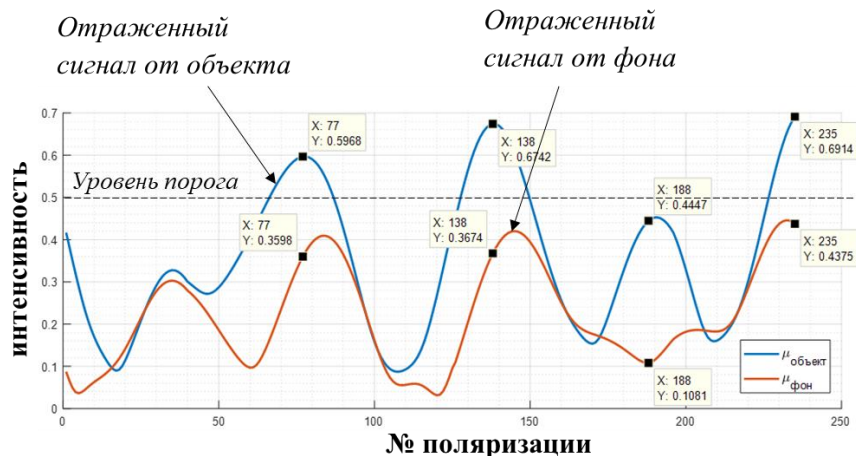


Рис. 17 Динамика изменения уровня отраженного сигнала от объекта наблюдения и фона при полном поляризационном сканировании

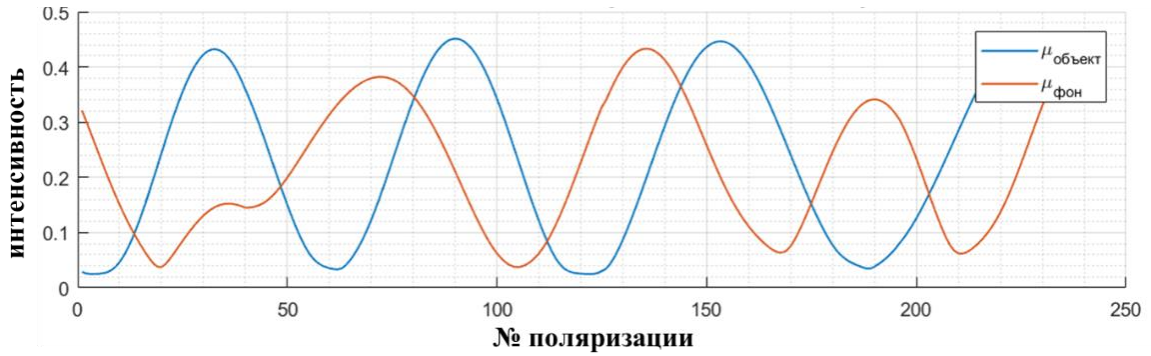


Рис. 18 – Динамика изменения уровня отраженного сигнала от объекта наблюдения и фона при полном поляризационном сканировании

На практике отношение объект/фон может быть оценено на основе коэффициента вариации (k_v) (мерой относительного разброса случайной величины):

$$\xi_{o/\phi} = \sqrt{\frac{k_v^2(1+g^2)}{1-g^2}}, \quad (10)$$

где g – коэффициент, определяемый типом подстилающей поверхности. Динамика изменения k_v при поляризационном сканировании приведена на рис. 19 (б).

В работе предлагается каждый раз при изменении вида поляризации определять уровень порога, исходя из следующего соотношения:

$$V(N_{plrz}) = \frac{V_\xi \cdot \mu}{\xi_{o/\phi}}, \quad (11)$$

где V_ξ – параметр порога; μ – среднее арифметическое значение интенсивности отраженного сигнала на наблюдаемой площадке; N_{plrz} – номер поляризации.

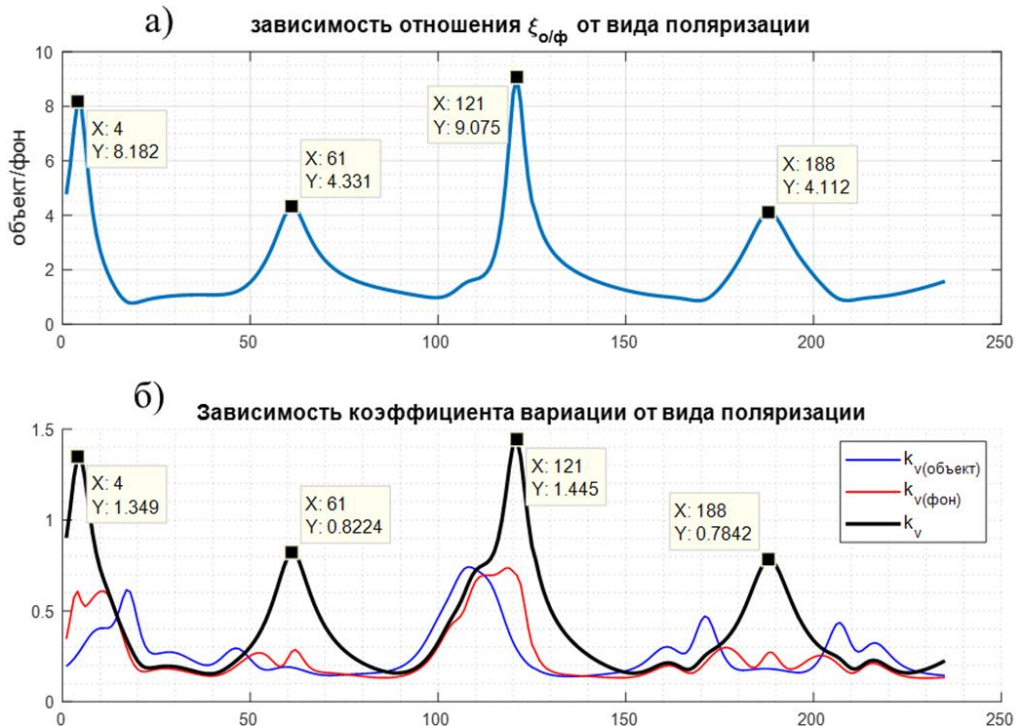


Рис. 19 – Динамика изменения уровня отраженного сигнала, отношения объект/фон и коэффициента вариации при полном поляризационном сканировании

Данный подход приводит к тому, что уровень порога V оказывается в обратной зависимости от отношения объект/фон. Соответственно, когда объект в достаточной степени

отличен от фона уровень порога (V) снижается и позволяет «зафиксировать» объект фактически отдельно от фона. Динамика изменения уровня порога при поляризационном сканировании приведена на рис. 20.

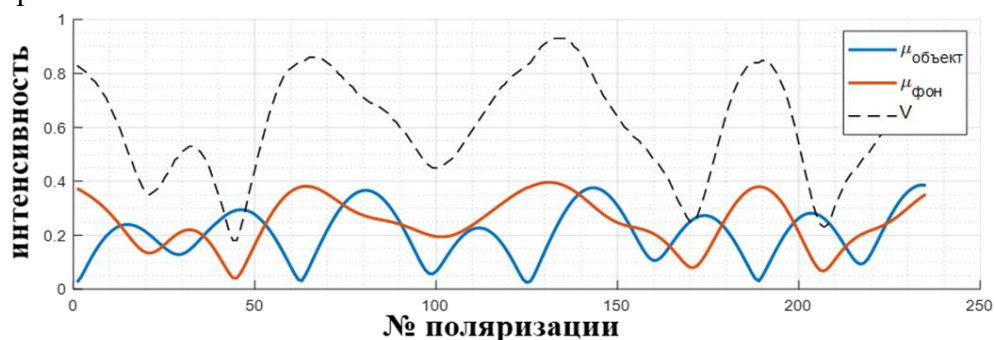


Рис. 20 – Динамика изменения уровня порога V и среднего значения интенсивности отраженного сигнала от объекта ($\mu_{\text{объект}}$), от фона ($\mu_{\text{фон}}$)

Таким образом, фиксируя в ходе поляризационного сканирования значения интенсивности отраженного сигнала, превышающие уровень порога отдельно в каждом элементе наблюдаемой площадки, получаем дополнительную возможность фактического разделения объекта и фона.

На рис. 21 приведены полученные в результате моделирования радиолокационные изображения, при «классической» обработке – когда фиксируются максимальные значения принимаемого сигнала и при разработанном методе. Как видно, наибольшая эффективность достигается при минимальных отношениях объект/фон – так открывается возможность обнаружить объекты, которые неразличимы при обработке «классическим» методом.

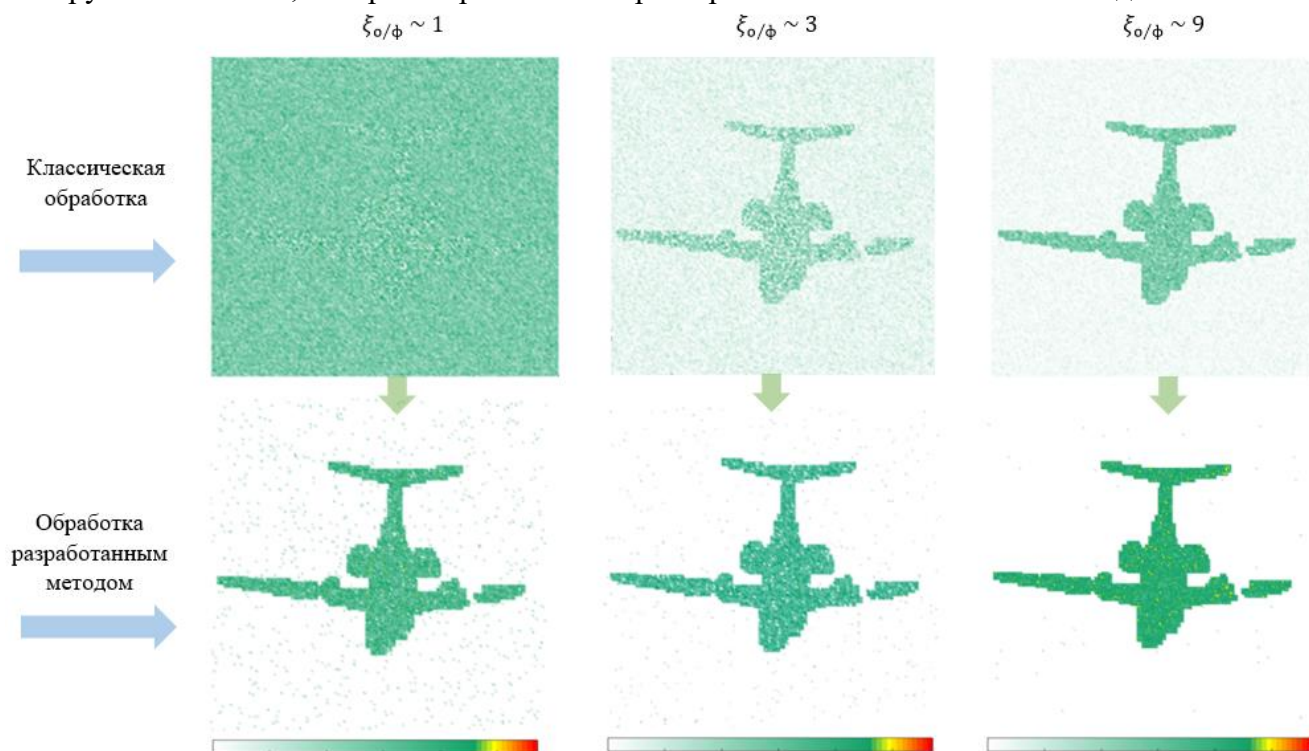


Рис. 21 – Полученные в результате моделирования изображения ОПАП

На рис. 22 изображена зависимость вероятности правильного и ложного распознавания наблюдаемых ОПАП от отношения сигнал/шум. В таблице 1 приводятся значения минимального отношения сигнал/шум, обеспечивающее вероятность правильного распознавания (ВПР) ОПАП ($P=0.99$), при заданной вероятности ложного распознавания (ВЛР).

Таблица 1 – Минимальное отношение сигнал/шум, обеспечивающее ВПР (P=0.99), при заданной ВЛР

Объект	Отношение объект/фон ($\xi_{o/\phi}$)	ВЛР = 10^{-2}	ВЛР = 10^{-3}	ВЛР = 10^{-6}
ОПАП №1	10	11.6 дБ	14.5 дБ	19.4 дБ
ОПАП №2	3	11.9 дБ	17.3 дБ	22.1 дБ
ОПАП №3	2	12.2 дБ	18.3 дБ	23.2 дБ
ОПАП №4	1	15.5 дБ	18.9 дБ	24.1 дБ

После того как фактически был получен контур объекта возникает задача идентификации этого объекта. Здесь предлагается воспользоваться корреляционным анализом. Для этого создается банк стандартных эталонных изображений (контуров) с каждым из которых определяется степень корреляции контура обнаруженного объекта. Пример такого банка приведен на рис. 23. Степень корреляции определяется путем вычисления коэффициента корреляции по следующей формуле:

$$K_{cr} = \frac{\sum_m \sum_n (B_{m,n} - \bar{B})(J_{m,n} - \bar{J})}{\sqrt{(\sum_m \sum_n (B_{m,n} - \bar{B})^2)(\sum_m \sum_n (J_{m,n} - \bar{J})^2)}}, \quad (12)$$

где $B_{m,n}$ – двумерный массив, содержащий полученное радиополяриметрическое изображение; \bar{B} – математическое ожидание массива $B_{m,n}$; $J_{m,n}$ – двумерный массив, содержащий стандартное изображение; \bar{J} – математическое ожидание массива $J_{m,n}$.

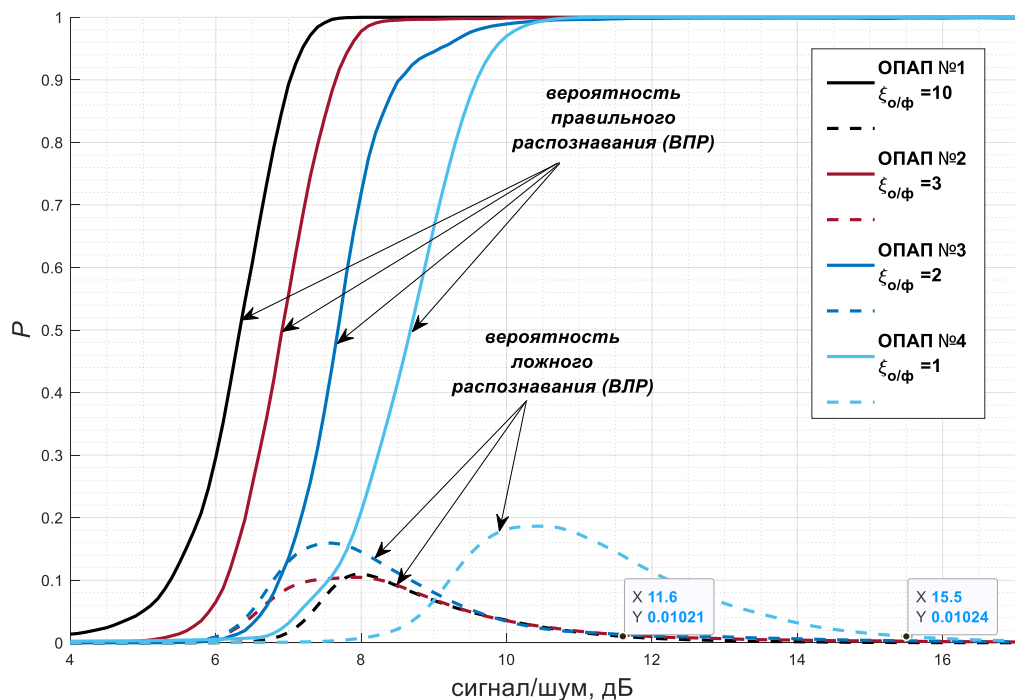


Рис. 22 – Зависимость правильного и ложного распознавания ОПАП от отношения сигнал/шум

Структурная схема основных этапов алгоритма идентификации ОПАП приведена на рис. 24.

На рис. 25 приведена зависимость вероятности правильной идентификации от отношения сигнал/шум. Из полученных результатов видно, что доверительная вероятность (P=0.99) правильной идентификации обеспечивается при отношении сигнал/шум более -20 дБ.

Таким образом, разработанный алгоритм дает возможность производить идентификацию обнаруженных объектов последствия авиационного происшествия вплоть до отношения объект/шум -20 дБ с вероятностью 0.99.
























Объект		Стандартное изображение				
№	Тип / №	1	2	3	4	5
1	Воздушное судно					
2	Крыло					
3	Хвостовое оперение					
4	Часть фюзеляжа					
5	Двигатель					

Рис. 23 – Пример банка эталонных изображений (контуров)



Рис. 24 – Структурная схема алгоритма идентификации ОПАП

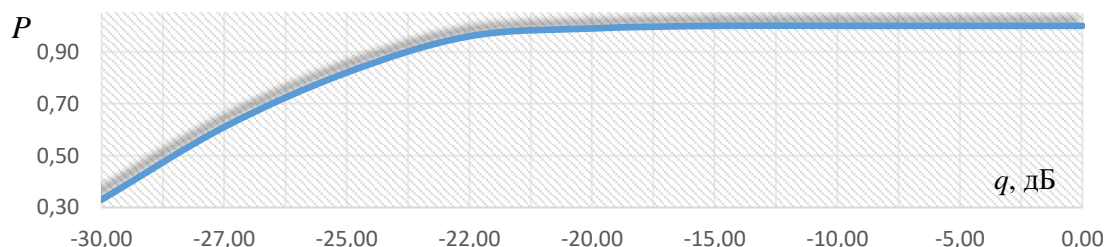


Рис. 25 – Зависимость вероятности правильной идентификации от отношения сигнал/шум

Заключение

Цель работы: «Расширение возможностей расследования авиационных происшествий путем разработки новых инженерно-авиационных методов и алгоритмов дистанционного обнаружения объектов последствия этих происшествий с их последующей детализацией, оконтуриванием и идентификацией».

В рамках достижения поставленной цели были решены задачи:

- по улучшению обнаружения мест авиационных происшествий и различению объектов в зоне локализации происшествия;
- по улучшению обнаружения (в том числе малоразмерных) близко расположенных объектов последствия авиационного происшествия (ОПАП);
- по увеличению взаимного контраста ОПАП как между собой, так и на фоне земной поверхности;
- по оценке геометрических размеров и детализации обнаруженных ОПАП;
- по идентификации и классификации обнаруженных ОПАП;

- по повышению вероятности правильной интерпретации обнаруженных ОПАП со стандартным набором элементов конструкции самолета, радиополяриметрическим изображением участка земной поверхности;

В качестве основного инструмента для решения сформулированных задач использовались методы управления поляризационным состоянием радиоволн при зондировании земной поверхности.

Подтверждением возможностей используемых методов исследования явились полученные и представленные в работе результаты **экспериментальной проверки поляризационной чувствительности объектов наблюдения.**

К основным результатам, полученным в работе относятся:

1. Методы и алгоритмы, разработанные и представленные в диссертации, дающие возможность дистанционного обнаружения мест авиационных происшествий, а также различения объектов в зоне их локализации, что является перспективным и полезным при сборе и регистрации данных о месте авиационного происшествия – одного из важнейшего этапа процесса расследования авиационных происшествий. Так, например, появляется возможность определять геометрические характеристики объектов последствия авиационного происшествия с относительной погрешностью в пределах 20%.

2. Режим «управления положением фазового центра», дающий возможность различать наблюдаемые объекты последствия авиационного происшествия, находящиеся на поверхности земли даже в пределах элемента разрешения РЛС.

3. Экспериментально-лабораторная проверка, подтверждающая поляризационную чувствительность объектов последствия авиационного происшествия и доказывающая возможность использования режима управляемой поляризации при расследовании авиационных происшествий для различения этих объектов даже в тех ситуациях, когда они находятся за пределами радиолокационного разрешения по угловым координатам.

4. Принципы и методы различения и детализации объектов, находящихся в пределах элемента разрешения, опирающиеся на анализ амплитудно-фазового распределения поля в зоне наблюдателя, позволяющие существенно повысить линейную разрешающую способность.

Так, например, при высоте полета 1000 м и размере элемента разрешения в 30 метров, разрешаемые цели могут находиться на расстоянии до 10 метров друг от друга. При высоте полета 500 м это расстояние сокращается до 5 метров, а при высоте 100 м – до одного метра.

5. Рекомендации по использованию режима полного поляризационного сканирования (ППС) для решения задач обнаружения на фоне земной поверхности объектов последствия авиационного происшествия, дающие возможность:

- увеличивать взаимный контраст объектов последствия авиационного происшествия друг с другом и земной поверхностью (в среднем в несколько раз, а в отдельных случаях вплоть до 10);

- различать и идентифицировать объекты последствия авиационного происшествия.

6. Рекомендации по использованию режима полного поляризационного сканирования при расследовании авиационных происшествий с целью последующей классификации и идентификации ОПАП, дающие возможность существенно снизить вероятность ошибки опознавания объектов наблюдения, тем самым, повышая эффективность работы наземных поисковых бригад. В этом режиме появляется возможность управлять вероятностью правильного обнаружения в пределах 0.7- 0.93, а вероятностью ложной тревоги от 0.3 до 0.1.

7. Рекомендации по использованию динамического уровня порога в режиме ППС, дающие возможность существенно, более, чем в 10 раз, повысить различимость объектов последствий авиационного происшествия и земной поверхности.

8. Разработанный алгоритм сравнения радиополяриметрического изображения участка земной поверхности со стандартными изображениями элементов конструкции летательных аппаратов, позволяющий идентифицировать объекты последствия авиационного происшествия с вероятностью до 0.8...0.9.

Основные результаты работы опубликованы в изданиях, включенных в перечень изданий ВАК, определенных для публикации материалов диссертаций:

1. Затучный Д.А., Козлов А.И., Трушин А.В. Различение объектов наблюдения, находящихся в пределах облучаемого участка поверхности // Информатизация и связь №5'2018. С.12-21.

2. Автин И.В., Трушин А.В. Об обнаружении и разрешении слабоконтрастных малоподвижных радиолокационных целей, находящихся в пределах элемента разрешения // Научный Вестник МГТУ ГА. - 2015. - №222. С. 80-84.

3. Немченко М.В., Трушин А.В. Повышение точности наземных радионавигационных систем методом коррекции навигационных параметров. Результаты статистической обработки полетных данных // Новости навигации. М: Научно-технический центр современных навигационных технологий "Интернавигация", 2018. № 4. С. 23-26.

а также в изданиях и отчетах о научно-исследовательских работах:

4. Козлов А.И., Трушин А.В., Автин И.В. Возможность определения матриц рассеяния и местоположения радиолокационных целей, находящихся в одном элементе разрешения, методами радиополяриметрии // VII Всероссийские Армандовские чтения. Современные проблемы дистанционного зондирования, радиолокации, распространения и дифракции волн. Материалы Всероссийской научной конференции. – Муром: Издательство МИ (филиал) ВлГУ – 2017. С. 140-148.

5. Трушин А.В. Траектория фазового центра отражения от сложной радиолокационной цели при её поляризационном сканировании // VII Всероссийские Армандовские чтения. Современные проблемы дистанционного зондирования, радиолокации, распространения и дифракции волн. Материалы Всероссийской научной конференции. – Муром: Издательство МИ (филиал) ВлГУ, 2017. С. 380-383.

6. Автин И.В., Трушин А.В. К построению поляризационного образа радиолокационной цели // VII Всероссийские Армандовские чтения. Современные проблемы дистанционного зондирования, радиолокации, распространения и дифракции волн. Материалы Всероссийской научной конференции. – Муром: Издательство МИ (филиал) ВлГУ, 2017. – С. 387-391.

7. Трушин А.В., Автин И.В. О возможности различения близко расположенных целей // Авиация: современность, перспективы развития и история. Сборник материалов I-ой международной заочной научно- практической конференции учреждения образования «Белорусская государственная академия авиации». – Минск: Национальная библиотека Беларуси, 2016. – С. 176-180.

8. Автин И.В. Трушин А.В. Об обнаружении и распознавании слабоконтрастных малоподвижных целей на фоне подстилающих покровов методами радиополяриметрии // Авиация: современность, перспективы развития и история. Сборник материалов I-ой международной заочной научно- практической конференции учреждения образования «Белорусская государственная академия авиации». – Минск: Национальная библиотека Беларуси, 2016. – С. 78-81.

9. Козлов А.И., Трушин А.В., Автин И.В. О повышении детализации радиолокационного изображения методами радиополяриметрии // I Всероссийская научная конференция ведущих научных школ в области радиолокации, радионавигации и радиоэлектронных систем передачи информации, посвященная памяти профессора Томского государственного университета систем управления и радиоэлектроники академика Германа Сергеевича Шарыгина. Сборник докладов. – Томск: Издательство ТУСУРа, 2019. С. 79-83.

10. Козлов А.И., Автин И.В., Трушин А.В. Об определении комплексной диэлектрической проницаемости методами радиополяриметрии // I Всероссийская научная конференция ведущих научных школ в области радиолокации, радионавигации и радиоэлектронных систем передачи информации, посвященная памяти профессора Томского государственного университета систем управления и радиоэлектроники академика Германа Сергеевича Шарыгина. Сборник докладов. – Томск: Издательство ТУСУРа, 2019. С. 84-88.

11. Повышение детализации радиолокационного изображения наблюдаемой цели методами радиополяриметрии [Текст]: отчет о НИР / МГТУ ГА; рук. А. И. Козлов; исполн.: А.В. Трушин – М., 2018. – 41 с.– №ГР 117051860165.

12. Обоснование возможности разрешения (по углу места) нескольких радиолокационных целей, находящихся внутри элемента разрешения, методами радиополяриметрии, и разработка соответствующих методов математического моделирования этого процесса [Текст]: отчет о НИР / МГТУ ГА; рук. А. И. Козлов; исполн.: А. В. Трушин – М., 2016. – 116 с.– № ГР 115071310041.

13. Разработка инновационных методов дистанционного зондирования земной поверхности и природных объектов при проведении нестандартных видов авиационных работ. Этап 2. Методы радиополяриметрии для поиска и описания места авиационного происшествия на основе мониторинга земной поверхности [Текст]: отчет по НИР / АО «НПО СПАРК», 2019. 98 с. – Исполн.: Чинючин Ю.М., Козлов А.И., Трушин А.В, Автин И.В.

Соискатель:



Трушин А.В.

Подписано в печать: 21.01.2022

Объем: 1,0 усл.п.л.

Тираж: 100 экз. Заказ № 0003

Отпечатано в типографии «Реглет»

125171, г. Москва, Ленинградское шоссе д. 14 стр. 1

+7(495) 971-18-86

www.reglet.ru