

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ВОЗДУШНОГО ТРАНСПОРТА

**ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ ГРАЖДАНСКОЙ АВИАЦИИ» (МГТУ ГА)**

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

Диссертация

на соискание ученой степени кандидата технических наук

Научный руководитель

Заслуженный деятель науки и техники РФ,
профессор, доктор физико-математических наук

Козлов А.И.

Москва - 2021

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	5
ГЛАВА 1. ОСНОВНЫЕ ОГРАНИЧЕНИЯ СОВРЕМЕННЫХ МЕТОДОВ ДИСТАНЦИОННОГО ОБНАРУЖЕНИЯ МЕСТ И ОБЪЕКТОВ ПОСЛЕДСТВИЯ АВИАЦИОННОГО ПРОИСШЕСТВИЯ.....	15
1.1 Ограничение возможностей современных методов расследования авиационных происшествий (в части поиска мест и объектов крушения), и пути их расширения	15
1.2. Методы поиска и детализации мест авиационных происшествий	21
1.3 Возможность применения методов радиополяриметрии для поиска и детализации мест авиационных происшествий	26
1.4 Выводы по главе 1	29
ГЛАВА 2. ОБНАРУЖЕНИЕ МЕСТ И ОБЪЕКТОВ ПОСЛЕДСТВИЯ АВИАЦИОННОГО ПРОИСШЕСТВИЯ С БОРТА ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА ПУТЕМ УПРАВЛЕНИЯ ПОЛОЖЕНИЕМ ФАЗОВОГО ЦЕНТРА ОТРАЖЕНИЯ.....	31
2.1 Обнаружение объектов последствия авиационного происшествия, находящихся на земной поверхности в пределах элемента разрешения радиолокационной станции, методами радиополяриметрии	31
2.2. Повышение достоверности определения местоположения и количества объектов последствия авиационного происшествия с борта ЛА.....	35
2.3 Экспериментальное подтверждение возможности различения нескольких объектов наблюдения, находящихся в пределах облучаемой площадки.....	52
2.4 Выводы по главе 2.....	63
ГЛАВА 3. ОБНАРУЖЕНИЕ МЕСТ И ОБЪЕКТОВ ПОСЛЕДСТВИЯ АВИАЦИОННОГО ПРОИСШЕСТВИЯ С БОРТА ЛЕТАТЕЛЬНОГО	

АППАРАТА ПУТЕМ СПЕЦИАЛЬНОЙ ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННОЙ ОБРАБОТКИ ОТРАЖЕННЫХ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ВОЛН.....	66
3.1. Разработка алгоритмов для различения и идентификации объектов последствия авиационного происшествия.....	66
3.2 Определение координат объектов последствия авиационного происшествия, находящихся в пределах облучаемого участка поверхности, на основе алгоритма Гюйгенса-Френеля	73
3.3. Определение матриц рассеяния обнаруженных объектов наблюдения.....	83
3.4 Выводы по главе 3	91
ГЛАВА 4. РАЗРАБОТКА МЕТОДОВ И АЛГОРИТМОВ ОБНАРУЖЕНИЯ ОБЪЕКТОВ ПОСЛЕДСТВИЯ АВИАЦИОННОГО ПРОИСШЕСТВИЯ, ИХ ОКОНТУРИВАНИЕ, ДЕТАЛИЗАЦИЯ И КЛАССИФИКАЦИЯ МЕТОДАМИ РАДИОПОЛЯРИМЕТРИИ.....	93
4.1. Возможность обнаружения блестящих точек на поверхности объекта последствия авиационного происшествия в режиме полного поляризационного сканирования	93
4.2 Обнаружение объектов последствия авиационного происшествия на фоне мешающих отражений	100
4.3 Использование режима полного поляризационного сканирования для различения объектов последствия авиационного происшествия на фоне подстилающего покрова	104
4.4 Возможности обнаружения объектов последствия авиационного происшествия в режиме полного поляризационного сканирования на фоне подстилающего покрова	111
4.5 Разработка методов улучшения обнаружения объектов последствия авиационного происшествия в режиме полного поляризационного сканирования	122

4.6 Разработка методов и алгоритмов определения при расследовании авиационных происшествий внешнего контура объекта с целью его идентификации путем сравнения со стандартным набором элементов воздушных судов	159
4.7 Выводы по главе 4.....	170
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	172
СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ И УСЛОВНЫХ ОБОЗНАЧЕНИЙ.....	175
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....	176
ПРИЛОЖЕНИЯ.....	184

ВВЕДЕНИЕ

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 – залог недопущения повторения их в будущем, поэтому 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. [38, 40, 41].

Требования к максимизации скорости обнаружения, в первую очередь, обусловлены вероятностью 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, спасению раненных и другие специфические работы [33, 36, 37, 42, 43]. Кроме того, места авиационного происшествия нередко привлекают внимание мародеров [44].

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

- поиск места происшествия (важно максимально быстро найти место происшествия, т.к. есть шанс спасти людей);
- задача обнаружения обломков (детализация места авиационного происшествия);
- задача идентификации 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 [34, 35]. Для этих целей могут использоваться активные методы радиолокации.

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

- задач по осмотру места происшествия;
- 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 назвать в чем-то базовая узловая статья Б.П. Елисеева, В.А. Санникова, А.Д. Филина, А.Ю. Шатракова [32].

Вопросы, связанные с организационно-тактическими особенностями проведения осмотра места авиационного происшествия, отражены в работах М.В. Головина и Н.М. Шпак [38].

Тактические особенности осмотра места авиационного происшествия, достаточно детально изложены в работах А.А. Митрофановой [43].

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 [59].

Задачи, связанные с вопросами применения Приложения 19 «Управление безопасностью полетов», нашли свое отражение в работе В.Д. Бордунова и Б.П. Елисеева [60]

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. 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 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.

Методы исследований

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.

Теоретическая значимость работы состоит в том, что в ней проведено и представлено решение задач, направленных на:

- Развитие и разработку новых дистанционных методов и алгоритмов обнаружения слабоконтрастных малоподвижных объектов наблюдения;

- Разработку новых дистанционных методов и алгоритмов обнаружения, в том числе слабоконтрастных, объектов наблюдения, находящихся в пределах элемента разрешения радиолокационной станции;

- Разработку методов и алгоритмов управления положением фазового центра отражения электромагнитной волны на зондируемой поверхности.

- Развитие теории радиополяриметрии.

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.

Основные 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

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.

По материалам диссертации опубликовано 10 печатных работ (54 стр.), в том числе 3 из них в журналах из перечня изданий, рекомендованных ВАК при Минобрнауки России (18 стр.); 7 публикаций в трудах международных и всероссийских конференций (36 стр.).

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 научно-исследовательской работе (2018, Ученый совет МГТУ ГА) *«Повышение детализации радиолокационного изображения наблюдаемой цели методами радиополяриметрии»* [11].

– В научно-исследовательской работе (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 научно-исследовательской работе (2016, Ученый совет 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»* [12].

– В научно-исследовательской работе (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 **специальной премии Министерства обороны РФ (2019)**, в рамках конкурса по тематике: «Системы технического зрения для вооружения, военной и специальной техники», а также **премией Пирогова Г.Н.** в номинации за «Лучшую научную студенческую работу в области аэронавигации – 2016 год».*

Личный вклад автора

Автором была сформулирована актуальная научно-техническая задача по разработке новых методов расширения возможностей расследования авиационных происшествий в части дистанционного сбора и регистрации данных о месте

авиационного происшествия. Автором лично сформулирована постановка задачи и разработаны алгоритмы различения и определения радиолокационных характеристик объектов последствия авиационного происшествия, находящихся в пределах элемента разрешения радиолокационной станции. Автором решены задачи:

- по улучшению обнаружения объектов-последствия авиационных происшествий (ОПАП);

- по различению близко расположенных ОПАП, в том числе, находящихся в пределах области радиолокационного разрешения на земной поверхности;

- 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 автор использовал возможности, которые несет в себе режим управления поляризационным состоянием радиоволны.

Подтверждением возможностей используемых методов исследования явилась представленная в работе экспериментальная лабораторная проверка возможности различения объектов, находящихся в пределах элемента разрешения РЛС.

Структура и объем диссертационной работы

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

ГЛАВА 1. ОСНОВНЫЕ ОГРАНИЧЕНИЯ СОВРЕМЕННЫХ МЕТОДОВ ДИСТАНЦИОННОГО ОБНАРУЖЕНИЯ МЕСТ И ОБЪЕКТОВ ПОСЛЕДСТВИЯ АВИАЦИОННОГО ПРОИСШЕСТВИЯ

1.1 Ограничение возможностей современных методов расследовании авиационных происшествий (в части поиска мест и объектов крушения), и пути их расширения

Расследование авиационных происшествий – одна из самых острых задач, стоящих перед гражданской авиацией. Актуальность данной задачи обусловлена непрерывным ростом потока авиационных перевозок и требованиями по обеспечению безопасности полетов [25, 26].

Существование такого события как авиационное происшествие говорит о несовершенстве и опасности авиационной системы. Проводимые мероприятия по расследованию авиационных происшествий направлены на определение непосредственных системных причин данного события, выработку рекомендаций и принятию мер по их предотвращению в будущем [27...32].

В соответствии с наставлениями ИКАО¹, государство, на территории которого произошло авиационное происшествие, должно провести расследование обстоятельств данного происшествия [26, 27]. С этой целью на законодательном уровне утверждается полномочный орган по расследованию авиационных происшествий, который должен действовать объективно и беспристрастно. На рисунке 1 представлена типовая организационная структура полномочного органа по расследованию авиационных происшествий [29].

¹ Ст. 26 Конвенции о международной гражданской авиации

Процедура расследования авиационного происшествия включает следующие основные этапы [30]:

- 1) сбор, регистрацию и анализ всей относящейся к происшествию информации;
- 2) выработку рекомендаций по обеспечению безопасности;
- 3) установление причин, которые привели к авиационному происшествию;
- 4) составление окончательного отчета.



Рисунок 1 – Организационная структура полномочного органа

В требованиях ИКАО [29] определена система организации расследования авиационного происшествия. Система определяет хронологию и подразделяет деятельность по расследованию на функциональные события (таблица 1). Перечень данных событий в системе организации расследования авиационного происшествия описывается блок-схемой (рис. 2).

В Российской Федерации на текущий момент 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.

В работе рассматривается возможность улучшения процедуры расследования в части сбора, регистрации и анализа всей относящейся к происшествию информации.

Таблица 1 - События системы организации расследования

1. Первоначальные меры реагирования	36. Опросы (обслуживание воздушного движения и аэропорты)
2. Первоначальные действия на месте происшествия	37. Спасательные операции
3. Обеспечение сохранности полетной документации	38. Состояние пассажирского салона
4. Извлечение останков погибших	39. Опросы (техническое обслуживание и записи)
5. Опрос очевидцев	40. Опросы (системы)
6. Изъятие бортовых самописцев	41. Ударостойкость
7. Обеспечение сохранности метеорологических документов	42. Летно-технические характеристики воздушного судна
8. Обеспечение сохранности документов обслуживания воздушного движения и аэропортов	43. Аутопсия
9. Операции поиска и спасания	44. Повторные опросы (очевидцы)
10. Обеспечение сохранности соответствующей пассажирской документации	45. Навигационные средства и состояние аэропорта
11. Обеспечение сохранности документов по техническому обслуживанию	46. Операции по борьбе с пожаром
12. Исследование систем	47. Опросы (кабинный экипаж и пассажиры)
13. Исследование конструкции	48. Организация технического обслуживания
14. Исследование двигателя(ей) и воздушного винта(ов)	49. Натурная выкладка элементов конструкции
15. Первоначальный осмотр места происшествия	50. Результаты анализа и отчет летной группы
16. Фотографирование места происшествия (этап 1)	51. Результаты анализа и отчет группы по медицине и человеческому фактору
17. Ознакомление с полетными документами	52. Результаты анализа и отчет группы по свидетелям
18. Медицинское освидетельствование членов экипажа	53. Результаты анализа и отчет группы по бортовым самописцам
19. Построение траектории полета	54. Результаты анализа и отчет группы по метеорологии
20. Расшифровка записей бортовых самописцев	55. Результаты анализа и отчет группы по ОВД и аэропортам
21. Рассмотрение метеорологических документов	56. Результаты анализа и отчет группы по выживаемости
22. Рассмотрение документов ОВД и аэропортов	57. Результаты анализа и отчет группы по безопасности в пассажирском салоне
23. Операции по эвакуации	58. Результаты анализа и отчет группы по техническому обслуживанию и записям
24. Рассмотрение соответствующей пассажирской документации	59. Результаты анализа и отчет группы по системам
25. Рассмотрение документов по техническому обслуживанию	60. Результаты анализа и отчет группы по конструкции
26. Исследования и испытания (системы)	61. Результаты анализа и отчет группы по силовым установкам
27. Пожары и взрывы	62. Результаты анализа и отчет группы по осмотру места происшествия
28. Исследования и испытания (силовые установки)	63. Результаты анализа и отчет группы по фотосъемке и видеозаписи
29. Построение схем (кроков) разброса обломков	64. Результаты анализа и выводы по летной эксплуатации
30. Фотографирование места происшествия (этап 2)	65. Результаты технического анализа и выводы
31. Опрос членов летного экипажа	66. Отчет уполномоченного по расследованию
32. Опознание погибших	
33. Опрос родственников	
34. Анализ данных бортовых самописцев	
35. Опросы (метеорология)	

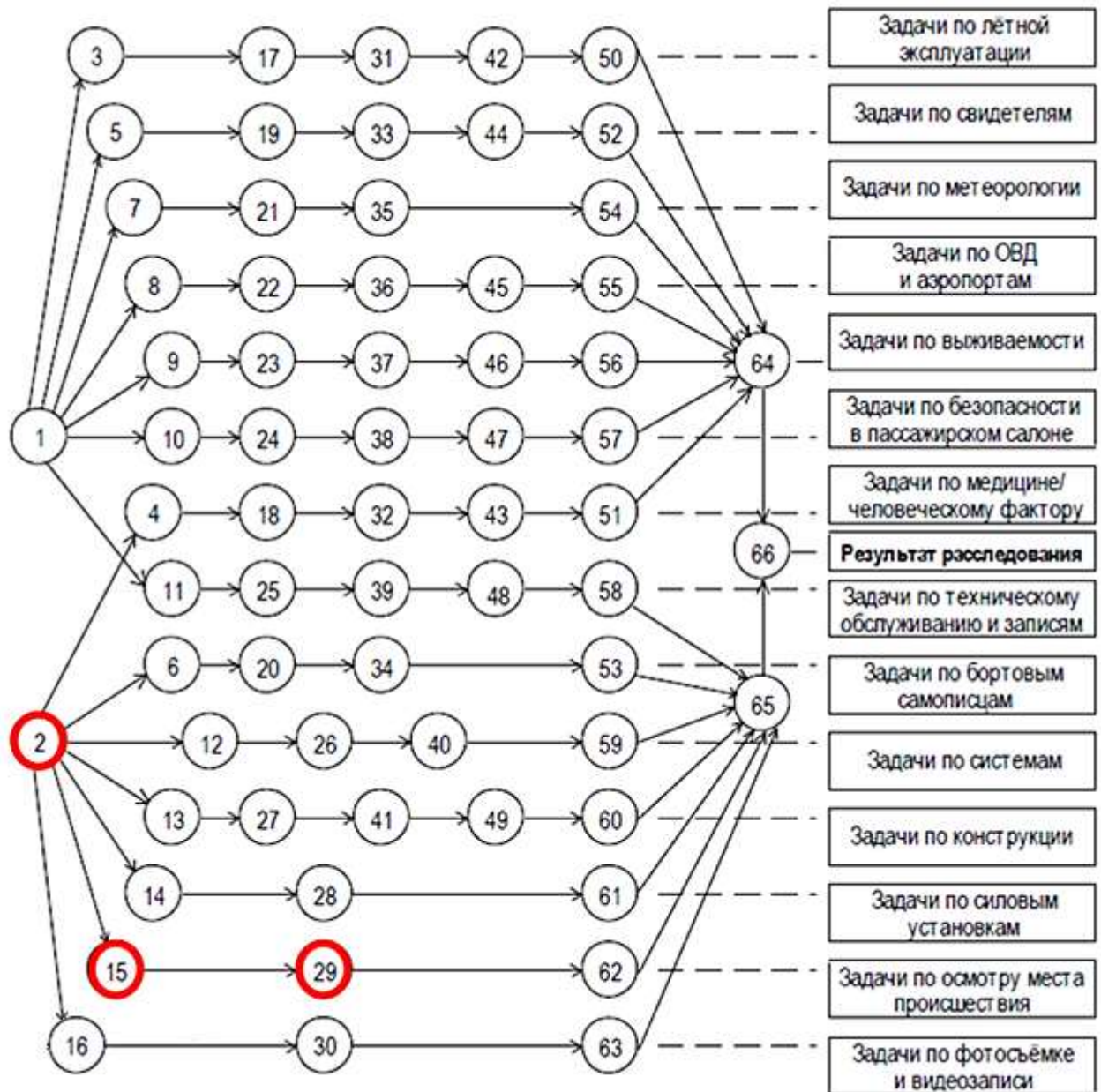


Рисунок 2 – Блок-схема событий системы организации расследования

Разработанные в диссертационной работе методы позволяют улучшить процесс решения следующих типовых задач по осмотру места происшествия:

- (2) первоначальные действия на месте происшествия;
- (15) первоначальный осмотр места происшествия;
- (29) построение схем (кроков) разброса обломков.

В таблице 2 приведены некоторые имевшие место авиационные происшествия и возникшие в ходе их расследования сложности.

Таблица 2 – Перечень авиационных происшествий

№	Названия авиационного происшествия	Возникшие сложности в процессе расследования	Время поиска места происшествия
1	Катастрофа Ту-154 под Хабаровском (1995)	1. Короткий световой день 2. Отдаленность предполагаемого места крушения от аэродромов базирования 3. Низкая температура воздуха	12 дней
2	Крушение Ил-76 в Иркутской области (2016)	1. Плотное задымление (от лесного пожара) 2. Предполагаемое место крушение находилось в десятках километров от фактического	2 дня
3	Катастрофа А310 под Междуреченском (1994)	1. Обломки оказались разбросанными в радиусе 2 километров в труднодоступной местности (лес и болото)	Несколько часов
4	Катастрофа Ан-2 под Серовом (2012)	1. Труднодоступная местность (непроходимые болота и лес) 2. Разбитый самолет был закрыт сверху кронами деревьев	10 месяцев (обломки были случайно обнаружены местными охотниками)
5	Крушение Ан-12 в Магаданской области (2011)	1. Труднодоступная местность (горы и непроходимая тайга) 2. Нулевая видимость (сильный туман и густая облачность)	Более суток

В основном сложности, возникающие при первоначальных действиях в ходе расследования авиационного происшествия, обусловлены:

- отдаленностью места авиационного происшествия;
- труднодоступной местностью (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 ходе решения задач по осмотру места происшествия возникают следующие проблемы:

- поиск места происшествия (важно максимально быстро найти место происшествия, т.к. есть шанс спасти людей);
- задача обнаружения и идентификации обломков;
- определение участков на месте авиационного происшествия где потенциально могут находиться выжившие люди;
- определение потенциально опасных участков в зоне авиационного происшествия.

На рисунке 3 показаны «дыры» (узко проработанные вопросы), имеющиеся в процессе расследования авиационных происшествий, рассматриваемые в работе.

Проработка данных вопросов позволит:

- 1) уменьшить «блуждания» наземных поисковых групп на месте авиационного происшествия, улучшить их координацию;
- 2) производить предварительную идентификацию объектов на месте авиационного происшествия;
- 3) производить предварительное построение схем разброса обломков (кроков);
- 4) существенно улучшить поиск мест и объектов последствия авиационного происшествия в труднодоступных районах;

- 5) в целом улучшить процесс решения задач по осмотру места авиационного происшествия.



Рисунок 3 – Существующие «дыры» в процессе расследования АП

1.2. Методы поиска и детализации мест авиационных происшествий

Существующие методы поиска и детализации мест авиационных происшествий можно разделить на следующие категории:

- оптические;
- инфракрасные;
- радиоинформационные;

– радиолокационные.

Под оптическими методами понимается видео и фотосъемка, наблюдение с воздушного судна, со спутника и т.п. (рис. 4). Основным достоинством данных методов является их сравнительная простота в реализации. Оптические методы совершенно неэффективны в темное время суток. Они неэффективны при густом тумане или сильном задымлении. Также, данные методы не позволяют обнаружить «спрятанные» объекты (например, скрытых за кронами деревьев).

Инфракрасные методы позволяют обнаруживать объекты в любое время суток. Однако, эффективность методов снижается по мере «остывания» места и обломков авиационного происшествия. Таким образом, данные методы эффективны только в первые часы после крушения.

К радиоинформационным методам можно отнести определение и дальнейшую передачу координат по радиоканалу или излучение аварийного радиосигнала для его пеленгования (различные аварийные маяки, система Коспас-Сарсат). Основным недостатком является то, что обычно данные средства оказываются уничтоженными в результате авиационного происшествия. Кроме того, данными методами можно определить только координаты места происшествия (нет возможности детализации и обнаружения объектов).

Радиолокационные методы не зависят от времени суток, степени задымления и тумана, дают возможность обнаруживать «спрятанные» объекты (рис. 5). К основным недостаткам можно отнести низкую разрешающую способность и плохую различимость слабоконтрастных целей [18, 19].

Основная причина этого, в конечном счете, заключается в невозможности получения узкой диаграммы направленности антенны вследствие ее естественной ограниченности в линейных размерах.



Рисунок 4 – Фотографии объектов последствия авиационного происшествия

Применительно к задачам, рассматриваемым в диссертации, – это проявляется себя 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 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.

Для решения обозначенных вопросов (закрытию «дыр») из существующих методов наиболее подходят радиолокационные. Однако их применение оказывается недостаточным, поскольку:

- объекты последствия авиационного происшествия в основном являются слабоконтрастными целями;
- достаточно большое пятно разрешения не позволит различать «небольшие» объекты.

Исключением из сказанного можно считать только радиолокационные станции, использующие антенны бокового обзора или антенны с синтезированной апертурой, которые позволяют обеспечить разрешение $0,5 \times 0,5$ м в сантиметровом и $3,5 \times 3,5$ м в метровом диапазонах волн. При этом сама «длина» такой антенны составляет сотни метров.

Что касается выбора диапазона частот, то в работе предлагается опираться на сантиметровый диапазон волн, хотя в рамках проводимых рассуждений и предлагаемых методов, это не носит принципиального характера. Характеристики исследуемой поверхности, в конечном счете, являются здесь определяющим фактором. Так, например, при поиске ОПАП в лесной местности, густой траве и

т.п. целесообразно использовать, например, метровый P -диапазон волн (100...300 МГц), а на относительно ровной – X -диапазон

Применение радиополяриметрических методов позволяет существенно расширить объем радиолокационной информации о наблюдаемых объектах [13 - 15, 17, 21, 52 - 56], что открывает пути для решения поставленных вопросов.

В соответствии со сказанным выше требуется разработка новых методов и алгоритмов о которых и пойдет речь в диссертационной работе.



Рисунок 5 – Фотография объекта последствия авиационного происшествия, «спрятанного» за кронами деревьев

1.3 Возможность применения методов радиополяриметрии для поиска и детализации мест авиационных происшествий

Любой объект или группа объектов, попавшие в пределы элемента разрешения на земной поверхности, облучаемой радиолокатором, будут трактоваться как один объект (точечная цель). Классическая радиолокация не предлагает каких-либо методов разрешения таких целей [22 – 24, 50, 57, 58].

Следствием этого является то, что отдельные небольшие элементы обломков самолетов могут быть просто не обнаружены с борта летательного аппарата, а если и будут обнаружены, то дать заключение о том, что это за объект, выяснить один это объект или их несколько – просто невозможно.

Оценку размера элемента разрешения на поверхности Земли в зависимости от высоты полета и ширины диаграммы направленности антенны дают таблица 3 и рис. 6.

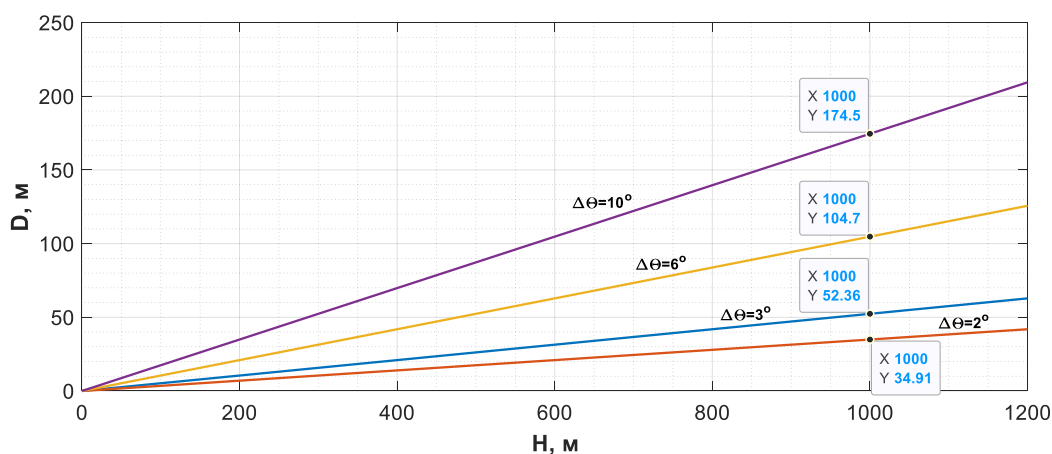


Рисунок 6 – Зависимость диаметра D элемента разрешения на поверхности Земли от высоты H зондирования при различных ширинах диаграммы направленности антенны $\Delta\theta$.

Таблица 3 – Зависимость диаметра D_m элемента разрешения на поверхности Земли от высоты H_m зондирования при различных ширинах диаграммы направленности антенны $\Delta\theta^0$

$H_m \downarrow$	$\Delta\theta^0 \rightarrow$	D_m			
		6^0	10^0	15^0	30^0
0		0,0	0,0	0,0	0,0
10		1,0	1,7	2,6	5,4
20		2,1	3,5	5,3	10,7
40		4,2	7,0	10,5	21,4
60		6,3	10,5	15,8	32,1
80		8,4	14,0	21,1	42,8
100		10,5	17,5	26,3	53,6
120		12,6	21,0	31,6	64,3
140		14,7	24,5	36,8	75,0
160		16,8	28,0	42,1	85,7
180		18,9	31,5	47,4	96,4
200		21,0	35,0	52,6	107,1
220		23,0	38,5	57,9	117,8
240		25,1	42,0	63,2	128,5
260		27,2	45,5	68,4	139,3
280		29,3	49,0	73,7	150,0
300		31,4	52,5	79,0	160,7

Как видно, при высотах полета даже на уровне порядка 300 метров, при использовании небольшой антенны, а 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» [15, 17]. 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 граней у искусственных объектов даже при небольшом изменении вида поляризации, как правило, существенно изменяет мощность отраженного сигнала, тем самым, искусственно осуществляя поляризационную модуляцию, что открывает путь к обнаружению искусственных объектов, которыми и являются объекты последствия авиационных происшествий. Следствием такой зависимости отраженного сигнала от вида поляризации является изменение положения фазового центра отражения [1, 3, 15, 17, 45-49].

Иной путь в решении задач различения близко расположенных неподвижных объектов использует алгоритмы быстрого численного преобразования Гюйгенса-Френеля [2, 16, 20], основанные на принципе голографии (рис.7).

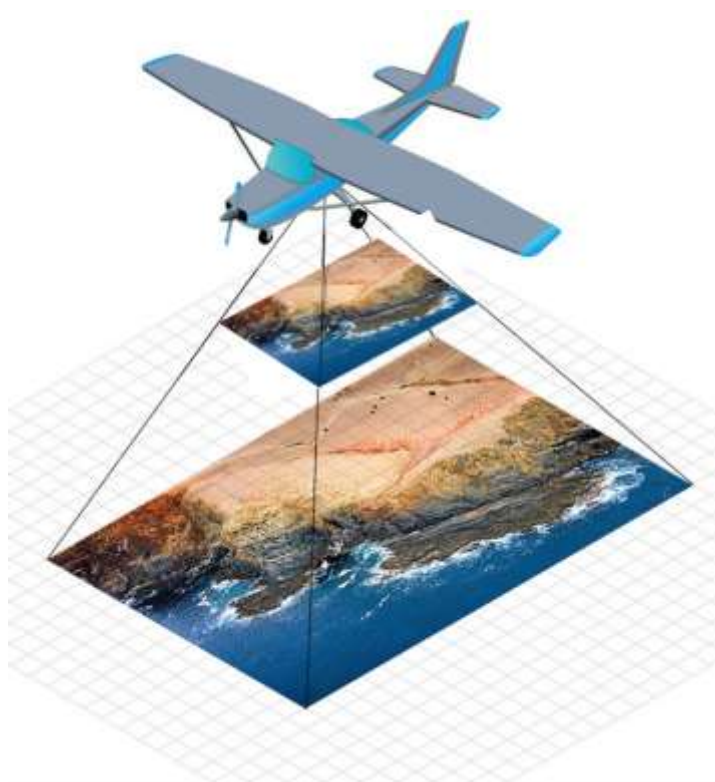


Рисунок 7– Принцип «переноса изображения» на наблюдаемую площадку

Приведенные выше положения показывают возможность различения слабоконтрастных объектов в пределах элемента разрешения РЛС, за счет расширения получаемой радиолокационной информации и применения специальных алгоритмов обработки.

Таким образом, разработка и применение методов радиополяриметрии позволит находить места авиационного происшествия и производить их детализацию, что открывает новые возможности для улучшения процесса расследования авиационных происшествий.

1.4 Выводы по главе 1

Основные **результаты**, полученные в главе 1, заключаются в следующем:

1) На основе имевших место авиационных происшествиях показаны сложности, возникающие при первоначальных действиях в ходе расследования авиационных происшествий. В основном они обусловлены:

- отдаленностью места авиационного происшествия;
- труднодоступной местностью;
- плохой видимостью в зоне авиационного происшествия;
- коротким световым днем;
- низкой температурой воздуха.

2) Показан перечень слабо проработанных вопросов, возникающих в процессе расследования авиационных происшествий, в части поиска мест происшествий и объектов, образовавшихся в следствии крушения.

3) Рассмотрены возможные пути проработки вопросов поиска мест и обнаружения объектов последствия авиационных происшествий и показана необходимость разработки новых методов и алгоритмов.

4) Показана возможность решения обозначенных проблемных вопросов по осмотру мест авиационного происшествия, путем разработки новых методик и алгоритмов на основе методов пространственно-временной обработки отраженных электромагнитных волн.

В рамках **решения** задач по осмотру места авиационного происшествия обозначен следующей перечень проблемных вопросов:

- поиск места авиационного происшествия;
- задача обнаружения и идентификации обломков;
- определение участков на месте авиационного происшествия где потенциально могут находиться выжившие люди;
- определение потенциально опасных участков в зоне авиационного происшествия.

Проработка поставленных вопросов позволит:

- 1) уменьшить «блуждания» наземных поисковых групп на месте авиационного происшествия, улучшить их координацию;
- 2) производить предварительную идентификацию объектов на месте авиационного происшествия;
- 3) производить предварительное построение схем разброса обломков (кроков);
- 4) существенно улучшить поиск мест и объектов последствия авиационного происшествия в труднодоступных районах;
- 5) в целом улучшить процесс решения задач по осмотру места авиационного происшествия.

ГЛАВА 2. ОБНАРУЖЕНИЕ МЕСТ И ОБЪЕКТОВ ПОСЛЕДСТВИЯ АВИАЦИОННОГО ПРОИСШЕСТВИЯ С БОРТА ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА ПУТЕМ УПРАВЛЕНИЯ ПОЛОЖЕНИЕМ ФАЗОВОГО ЦЕНТРА ОТРАЖЕНИЯ

2.1 Обнаружение объектов последствия авиационного происшествия, находящихся на земной поверхности в пределах элемента разрешения радиолокационной станции, методами радиополяриметрии

Любой объект или группа объектов, попавшие в пределы элемента разрешения на земной поверхности, облучаемой радиолокатором, будут трактоваться как точечная цель. Классическая радиолокация не предлагает каких-либо методов разрешения таких целей. Один из рассматриваемых ниже алгоритмов опирается на зависимость положения фазового центра (ФЦ) отражения облучаемых объектов от вида поляризации. Отражение радиоволн от цели в основном формируется «блестящими точками» [15], матрицы рассеяния которых в сильной степени зависят от вида поляризации облучающей волны, изменение которой приводит к зависимости интенсивности отраженной волны от вида поляризации [13, 14, 17].

Пусть в исходном поляризационном базисе положение фазового центра отраженной волны наблюдается под углом Θ_0 . При изменении вида поляризации, положение этого центра будет непрерывно изменяться [13], описывая некоторую траекторию [1, 3]. При полном поляризационном сканировании эта траектория будет представлять собой некоторую замкнутую кривую, называемую пространственно-поляризационным контуром (ППК) [1, 13, 48].

Рассмотрим случай, когда цель представляет собой некоторую структуру, например, обломок или элементы частей самолета, багажа, кресел и т.п., содержащих какое-то число «блестящих» точек.

Для отработки методики расчета предположим, что эти точки будут представлять собой некоторый набор, например, из трех точек, с координатами (x_1y_1, x_2y_2, x_3y_3) , каждой из которых соответствует своя матрица рассеяния [14, 21, 57, 58]:

$$S_1 = \begin{pmatrix} S_{11_1} & S_{12_1} \\ S_{12_1} & S_{22_1} \end{pmatrix}; S_2 = \begin{pmatrix} S_{11_2} & S_{12_2} \\ S_{12_2} & S_{22_2} \end{pmatrix}; S_3 = \begin{pmatrix} S_{11_3} & S_{12_3} \\ S_{12_3} & S_{22_3} \end{pmatrix}. \quad (2.1)$$

В дальнейшем в настоящей главе рассматривается исходная базовая ситуация, когда считается, что уже имеет место факт обнаружения объекта наблюдения с максимальной вероятностью правильного обнаружения при заданной вероятности ложной тревоги. В некотором смысле рассматривается идеализированная ситуация, дающая возможность получить некоторые предельные значения. Ситуация, связанная с определением пороговых значений при принятии решений, рассматривается в заключительной части работы.

При облучении цели на некоторой поляризации и приеме отраженной волны на такой же поляризации, мощность принятой радиоволны на выходе приемной антенны будет пропорциональна величине $|s_{11_i}|^2$. Суммарная мощность при некогерентном отражении определится как сумма мощностей сигналов P_i , соответствующих каждой из блестящих точек (БТ) [13]:

$$P_{\Sigma} = P_1 + P_2 + P_3 = a \cdot (|s_{11_1}|^2 + |s_{11_2}|^2 + |s_{11_3}|^2), \quad (2.2)$$

где a – не играющий существенной роли коэффициент пропорциональности.

С учетом изменения поляризации зондирующего сигнала пространственные координаты фазового центра при некогерентном отражении определяются следующими соотношениями [1, 3, 13, 17, 48]:

$$\begin{aligned}
& x_1 |s_{11_1} \cos^2(\gamma) + s_{12_1} \sin(2\gamma) \cdot e^{i\varphi} + s_{22_1} \sin(\gamma) \cdot e^{2i\varphi}|^2 + \\
& x_2 |s_{11_2} \cos^2(\gamma) + s_{12_2} \sin(2\gamma) \cdot e^{i\varphi} + s_{22_2} \sin(\gamma) \cdot e^{2i\varphi}|^2 + \\
X = & \frac{x_3 |s_{11_3} \cos^2(\gamma) + s_{12_3} \sin(2\gamma) \cdot e^{i\varphi} + s_{22_3} \sin(\gamma) \cdot e^{2i\varphi}|^2}{|s_{11_1} \cos^2(\gamma) + s_{12_1} \sin(2\gamma) \cdot e^{i\varphi} + s_{22_1} \sin(\gamma) \cdot e^{2i\varphi}|^2 +}, \quad (2.3) \\
& |s_{11_2} \cos^2(\gamma) + s_{12_2} \sin(2\gamma) \cdot e^{i\varphi} + s_{22_2} \sin(\gamma) \cdot e^{2i\varphi}|^2 + \\
& |s_{11_3} \cos^2(\gamma) + s_{12_3} \sin(2\gamma) \cdot e^{i\varphi} + s_{22_3} \sin(\gamma) \cdot e^{2i\varphi}|^2
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
& y_1 |s_{11_1} \cos^2(\gamma) + s_{12_1} \sin(2\gamma) \cdot e^{i\varphi} + s_{22_1} \sin(\gamma) \cdot e^{2i\varphi}|^2 + \\
& y_2 |s_{11_2} \cos^2(\gamma) + s_{12_2} \sin(2\gamma) \cdot e^{i\varphi} + s_{22_2} \sin(\gamma) \cdot e^{2i\varphi}|^2 + \\
Y = & \frac{y_3 |s_{11_3} \cos^2(\gamma) + s_{12_3} \sin(2\gamma) \cdot e^{i\varphi} + s_{22_3} \sin(\gamma) \cdot e^{2i\varphi}|^2}{|s_{11_1} \cos^2(\gamma) + s_{12_1} \sin(2\gamma) \cdot e^{i\varphi} + s_{22_1} \sin(\gamma) \cdot e^{2i\varphi}|^2 +}, \quad (2.4) \\
& |s_{11_2} \cos^2(\gamma) + s_{12_2} \sin(2\gamma) \cdot e^{i\varphi} + s_{22_2} \sin(\gamma) \cdot e^{2i\varphi}|^2 + \\
& |s_{11_3} \cos^2(\gamma) + s_{12_3} \sin(2\gamma) \cdot e^{i\varphi} + s_{22_3} \sin(\gamma) \cdot e^{2i\varphi}|^2
\end{aligned}$$

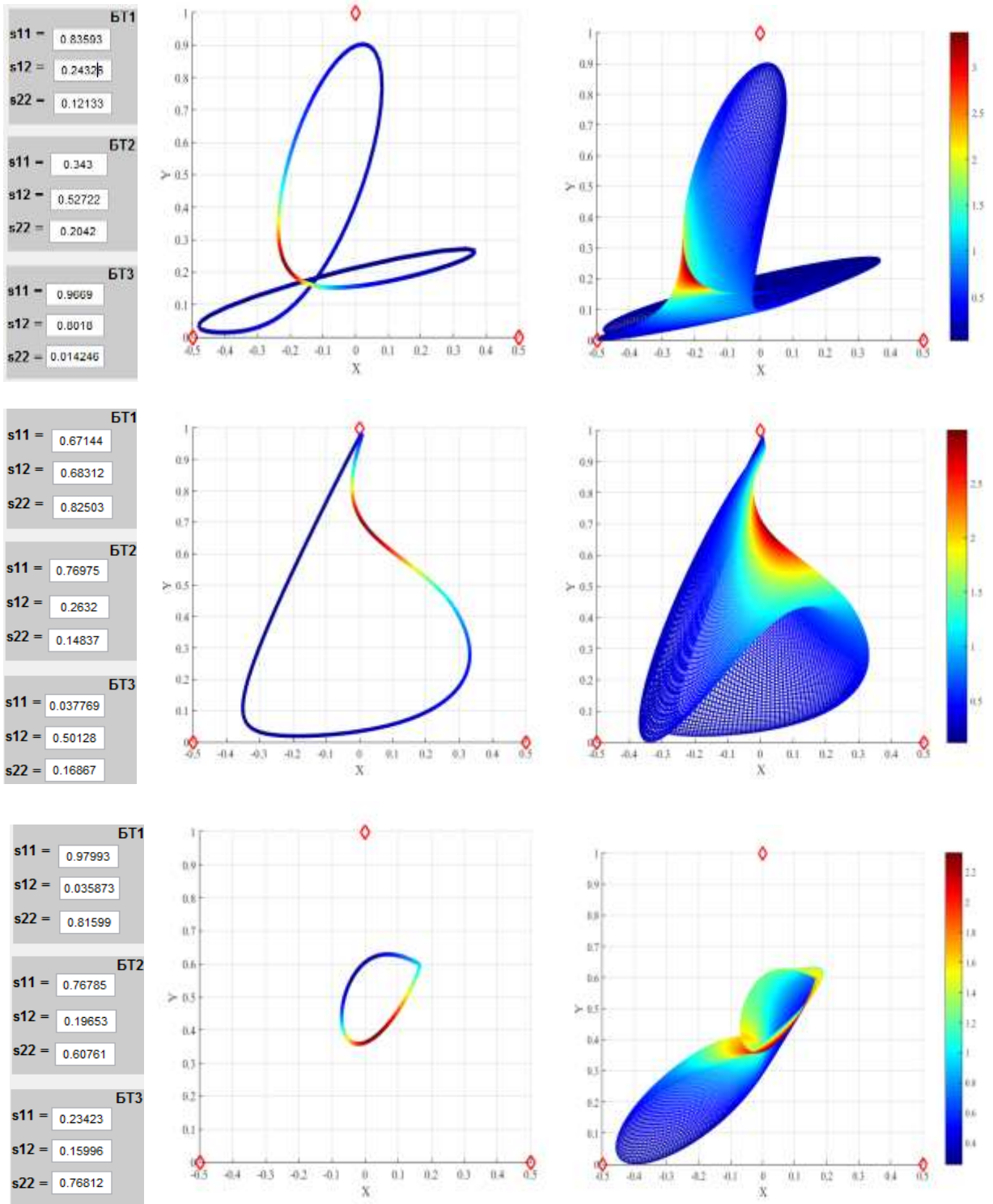
где $0 \leq \gamma \leq \pi$ и $0 \leq \varphi \leq \pi$ – параметры, определяющие вид поляризации, на которой производится наблюдение.

Путем моделирования режима поляризационного сканирования некоторых целей (листинг программы приведен в приложении А), элементы матриц рассеяния которых выбирались случайным образом, получены два типа ППК:

- при фиксированном параметре поляризации φ ($\varphi = 0$) и $\gamma = 0 \dots \pi$ (рисунок 8 (а));
- при параметрах поляризации $\varphi = 0 \dots \pi$, $\gamma = 0 \dots \pi$ (рисунок 8 (б)).

Цвет графиков характеризует интенсивность принимаемой радиоволны.

Представленные ППК на рисунок 8 (б) являются более информативными и ценными с точки зрения аналитического подхода, но, в свою очередь, ППК на рисунок 8 (а) более применимы для практической реализации предлагаемого метода. Стоит отметить, что «центры тяжести» фигур, определяемые максимальными значениями интенсивности принимаемого сигнала (красные области рисунок 8 (б)), в основном сосредоточены в пределах определенного участка на поверхности фигуры.



а

б

Рисунок 8 – ПЛК некоторых целей, представленных набором из трех БТ

2.2. Повышение достоверности определения местоположения и количества объектов последствия авиационного происшествия с борта ЛА

2.2.1 Ошибки в определении, связанные с неизбежной зависимостью ФЦ отраженной радиоволны от месторасположения объектов наблюдения.

Представим объект последствия авиационного происшествия (ОПАП) в виде набора из трех блестящих точек (БТ) со следующими матрицами рассеяния:

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

ППК такой цели проиллюстрирован на рисунке 9.

Рассмотрим эволюцию ППК при изменении матриц рассеяния одной из БТ, характеризующий исследуемый объект.

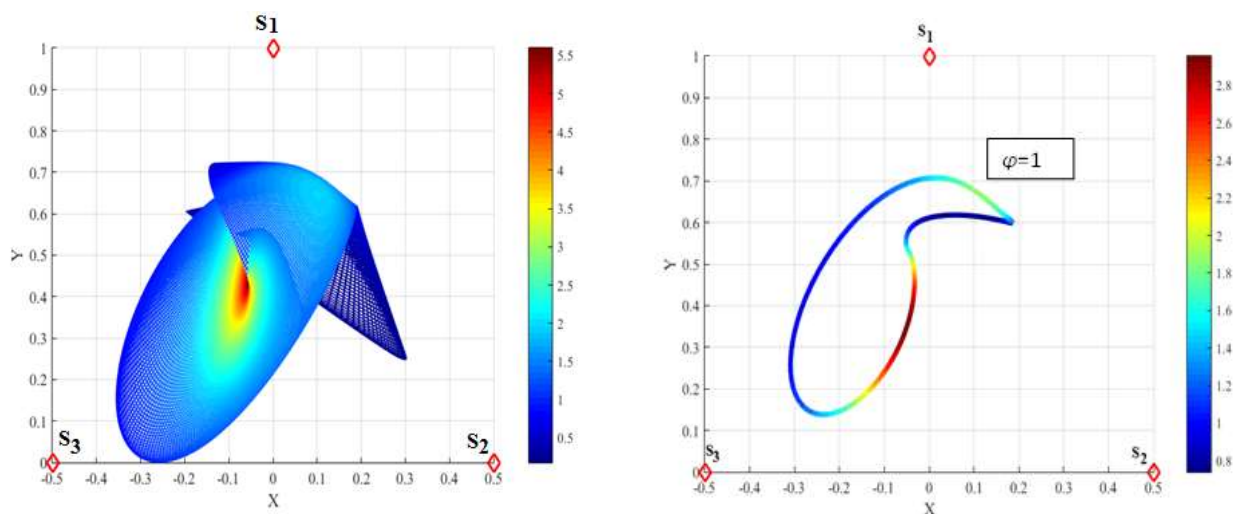


Рисунок 9 – ППК некоторого объекта последствия авиационного происшествия, характеризуемого набором из трех БТ

На рисунке 10 продемонстрирована эволюция ППК при изменении «веса» БТ №3.

Из рисунка 10 видно, что с уменьшением «веса» БТ №3 ППК сужается и преобразуется в линию, заключенную между двумя другими БТ.

Аналогично рассмотрим эволюцию ППК при изменении двух других БТ.

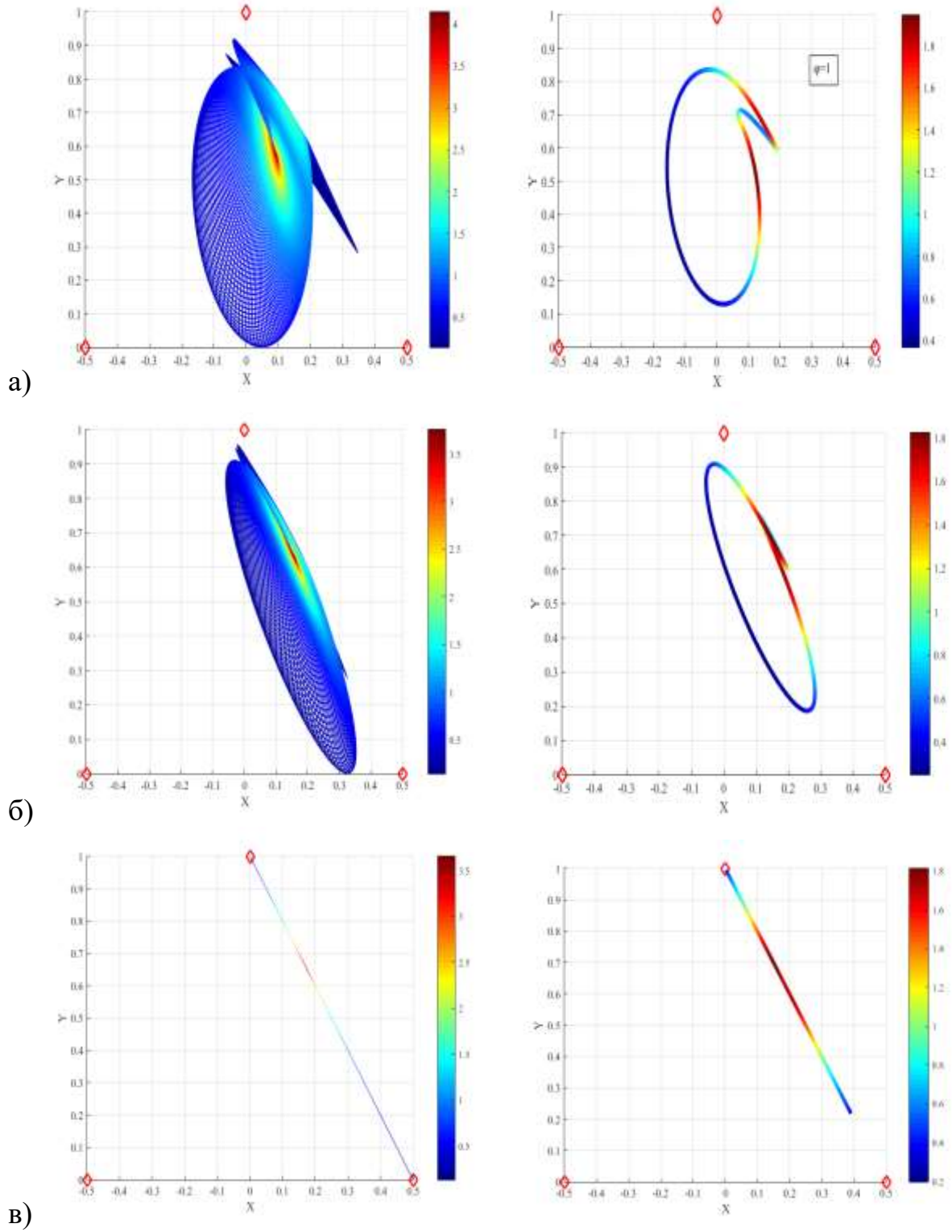


Рисунок 10 – Эволюция ППК при уменьшении «веса» БТ №3

$$\text{а) } S_3 = \begin{pmatrix} 0.33 & 0.32 \\ 0.32 & 0.29 \end{pmatrix}; \quad \text{б) } S_3 = \begin{pmatrix} 0.13 & 0.12 \\ 0.12 & 0.19 \end{pmatrix}; \quad \text{в) } S_3 = \begin{pmatrix} 0 & 0 \\ 0 & 0 \end{pmatrix}$$

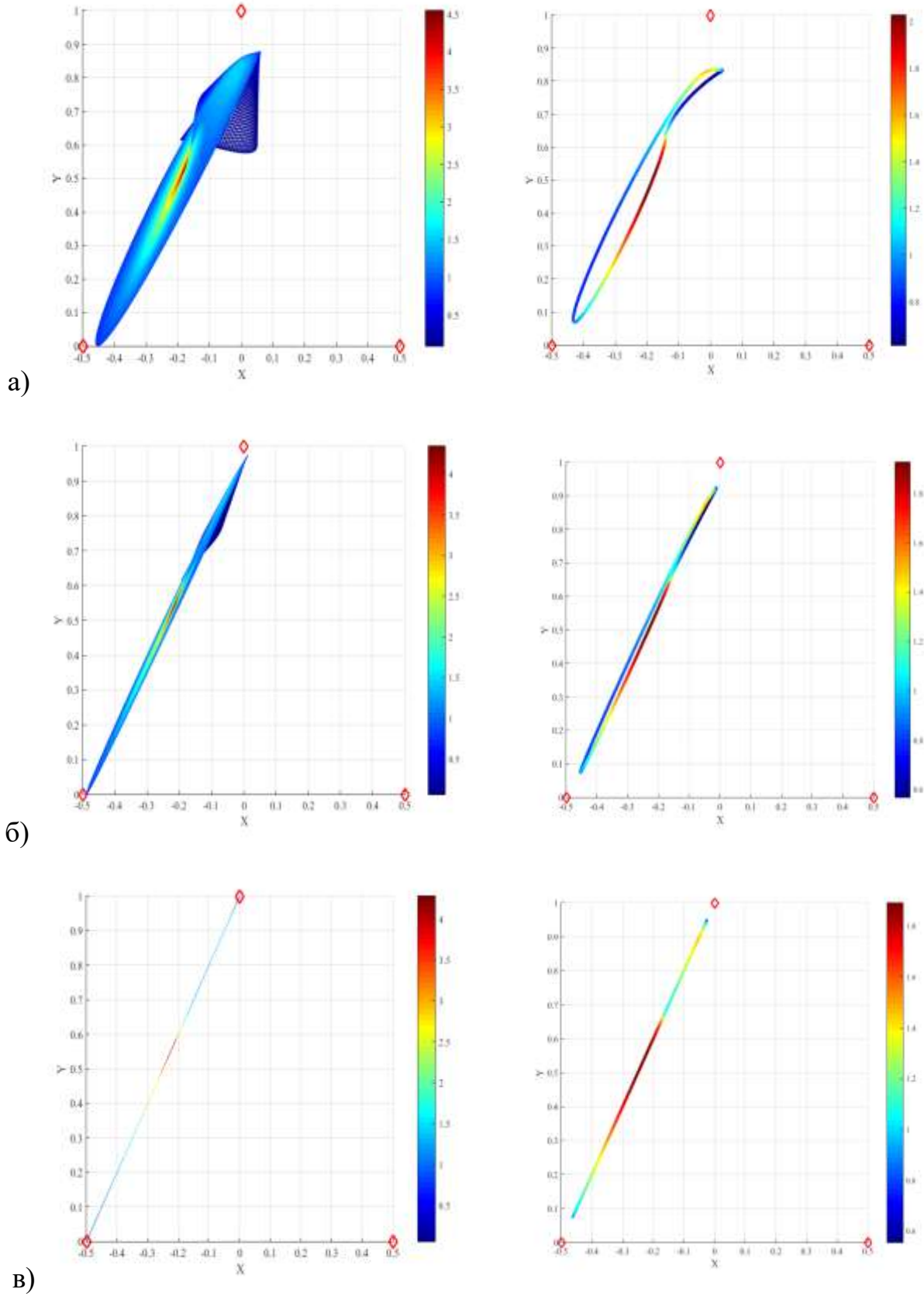


Рисунок 11 – Эволюция ППК при уменьшении «веса» БТ №2

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

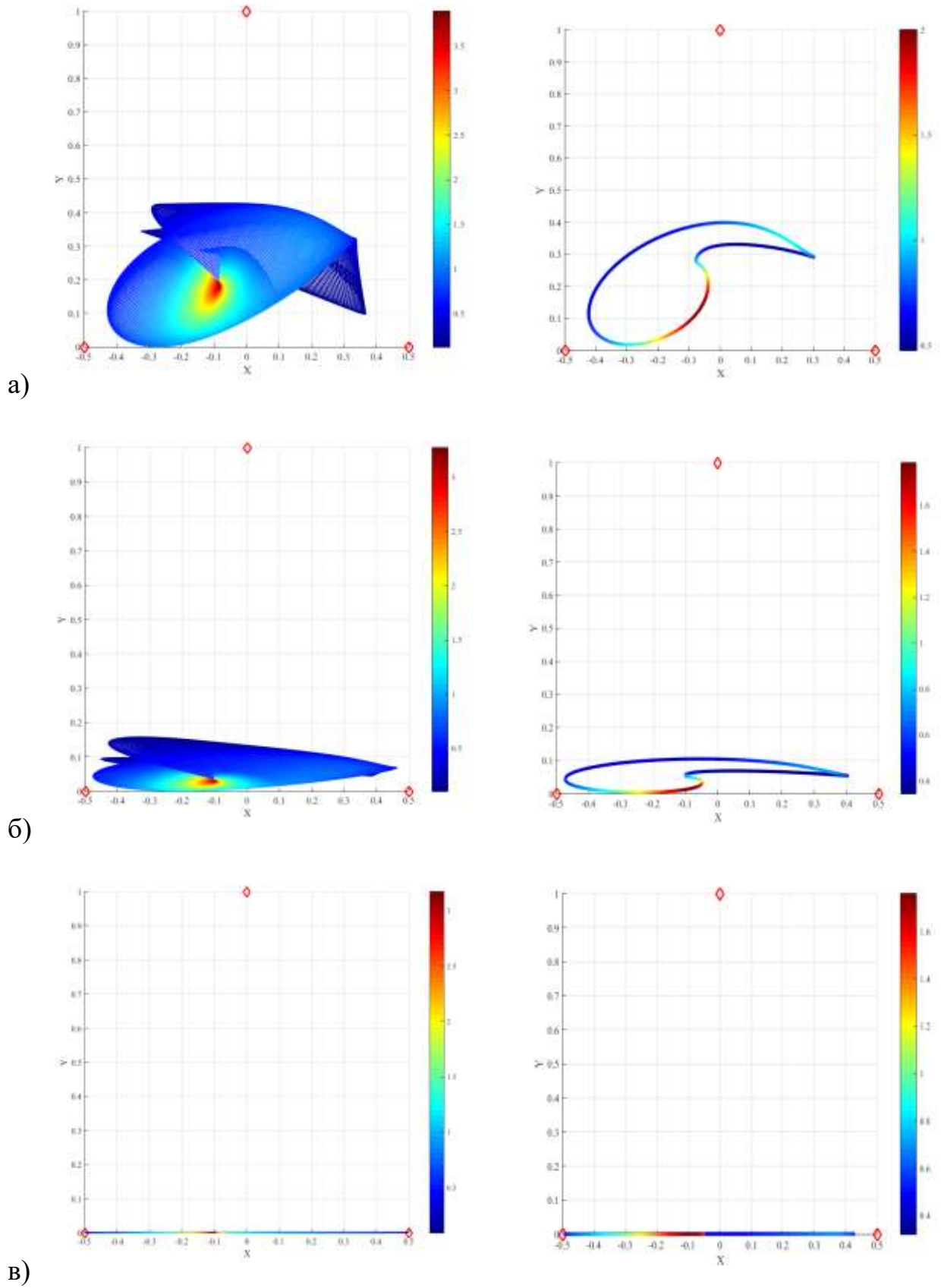


Рисунок 12 – Эволюция ППК при уменьшении «веса» БТ №1

$$\text{а) } S_1 = \begin{pmatrix} 0.42 & 0.36 \\ 0.36 & 0.45 \end{pmatrix}; \quad \text{б) } S_1 = \begin{pmatrix} 0.2 & 0.16 \\ 0.16 & 0.2 \end{pmatrix}; \quad \text{в) } S_1 = \begin{pmatrix} 0 & 0 \\ 0 & 0 \end{pmatrix}$$

Из рисунка 11 видно, что тенденция эволюции ППК при уменьшении «веса» БТ №2 аналогична рассмотренному случаю с БТ №3.

Изображение эволюции ППК при уменьшении «веса» БТ №1 приведенное на рис. 12, как и в случаях с двумя другими БТ, показывает аналогичную тенденцию в трансформации ППК.

Из полученных результатов следует:

- Уменьшение «веса» одной из БТ ведет к сужению ППК и приближает его форму к линии.
- При уменьшении «веса» одной из БТ до нуля, ППК представляет собой линию, заключенную между двумя оставшимися БТ.
- Центр тяжести ППК, характеризующий наибольшую интенсивность принимаемой радиоволны, во всех случаях плавно смещается в противоположную сторону от «уменьшаемой» БТ.

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.

Здесь возникает вполне естественный вопрос: «Как по трем точкам без учета ракурса их наблюдения и движения носителя можно делать такой вывод?»

Ответу на этот вопрос посвящен специальный раздел в заключительной части работы. Его суть сводится к тому, что полученные из измерений результаты и образы сравниваются с конкретным конечным набором возможных объектов авиационного происшествия, после чего проводится статистическая оценка результатов сравнения.

2.2.2 Определение координат и матриц рассеяния объектов последствия авиационного происшествия в случае некогерентного отражения зондирующего сигнала.

Решение задачи для случая, когда ОПАП представлен трехточечной целью, сводится к решению системы нелинейных уравнений, т.е. к численному определению следующих 15 неизвестных:

$x_1, y_1; y_2 x_2; y_3 x_3$ – 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.

$$\left\{ \begin{array}{l} X_1 = \frac{\sum_{i=1}^3 x_i |s_{11_i} \cos^2(\gamma_1) + s_{12_i} \sin(2\gamma_1) \cdot e^{j\varphi} + s_{22_i} \sin(\gamma_1) \cdot e^{2j\varphi}|^2}{\sum_{i=1}^3 |s_{11_i} \cos^2(\gamma_1) + s_{12_i} \sin(2\gamma_1) \cdot e^{j\varphi} + s_{22_i} \sin(\gamma_1) \cdot e^{2j\varphi}|^2} \\ Y_1 = \frac{\sum_{i=1}^3 y_i |s_{11_i} \cos^2(\gamma_1) + s_{12_i} \sin(2\gamma_1) \cdot e^{j\varphi} + s_{22_i} \sin(\gamma_1) \cdot e^{2j\varphi}|^2}{\sum_{i=1}^3 |s_{11_i} \cos^2(\gamma_1) + s_{12_i} \sin(2\gamma_1) \cdot e^{j\varphi} + s_{22_i} \sin(\gamma_1) \cdot e^{2j\varphi}|^2} \\ \dots \\ X_n = \frac{\sum_{i=1}^3 x_i |s_{11_i} \cos^2(\gamma_n) + s_{12_i} \sin(2\gamma_n) \cdot e^{i\varphi} + s_{22_i} \sin(\gamma_n) \cdot e^{2i\varphi}|^2}{\sum_{i=1}^3 |s_{11_i} \cos^2(\gamma_n) + s_{12_i} \sin(2\gamma_n) \cdot e^{i\varphi} + s_{22_i} \sin(\gamma_n) \cdot e^{2i\varphi}|^2} \\ Y_n = \frac{\sum_{i=1}^3 y_i |s_{11_i} \cos^2(\gamma_n) + s_{12_i} \sin(2\gamma_n) \cdot e^{i\varphi} + s_{22_i} \sin(\gamma_n) \cdot e^{2i\varphi}|^2}{\sum_{i=1}^3 |s_{11_i} \cos^2(\gamma_n) + s_{12_i} \sin(2\gamma_n) \cdot e^{i\varphi} + s_{22_i} \sin(\gamma_n) \cdot e^{2i\varphi}|^2} \end{array} \right. \quad (2.10)$$

Известными в данной системе будут координаты фазового центра X, Y и параметр γ , определяющий конкретный вид поляризации, на которой производится наблюдение ($\varphi = 0$). Для осуществления поляризационного сканирования необходимо варьировать параметр γ в диапазоне 0 до π .

Произведем элементарные преобразования выражения (2.10):

$$\left\{ \begin{array}{l} X = \frac{\sum_{i=1}^3 x_i \left| \begin{array}{l} s_{11_i} \cos^2(\gamma) + s_{12_i} \sin(2\gamma) \cdot \cos(\varphi) + i \cdot s_{12_i} \sin(2\gamma) \cdot \sin(\varphi) \\ \sin(\varphi) + s_{22_i} \sin(\gamma) \cdot \cos(2\varphi) + i \cdot s_{22_i} \sin(\gamma) \cdot \sin(2\varphi) \end{array} \right|^2}{\sum_{i=1}^3 \left| \begin{array}{l} s_{11_i} \cos^2(\gamma) + s_{12_i} \sin(2\gamma) \cdot \cos(\varphi) + i \cdot s_{12_i} \sin(2\gamma) \cdot \sin(\varphi) \\ \sin(\varphi) + s_{22_i} \sin(\gamma) \cdot \cos(2\varphi) + i \cdot s_{22_i} \sin(\gamma) \cdot \sin(2\varphi) \end{array} \right|^2} \\ Y = \frac{\sum_{i=1}^3 y_i \left| \begin{array}{l} s_{11_i} \cos^2(\gamma) + s_{12_i} \sin(2\gamma) \cdot \cos(\varphi) + i \cdot s_{12_i} \sin(2\gamma) \cdot \sin(\varphi) \\ \sin(\varphi) + s_{22_i} \sin(\gamma) \cdot \cos(2\varphi) + i \cdot s_{22_i} \sin(\gamma) \cdot \sin(2\varphi) \end{array} \right|^2}{\sum_{i=1}^3 \left| \begin{array}{l} s_{11_i} \cos^2(\gamma) + s_{12_i} \sin(2\gamma) \cdot \cos(\varphi) + i \cdot s_{12_i} \sin(2\gamma) \cdot \sin(\varphi) \\ \sin(\varphi) + s_{22_i} \sin(\gamma) \cdot \cos(2\varphi) + i \cdot s_{22_i} \sin(\gamma) \cdot \sin(2\varphi) \end{array} \right|^2} \end{array} \right. \quad (2.11)$$

Пусть

$$\begin{aligned} \sin(\gamma) &= z; \cos(\gamma) = k; \\ \sin(\varphi) &= a; \cos(\varphi) = b. \end{aligned} \quad (2.12)$$

Тогда:

$$\begin{aligned}\sin(2\gamma) &= 2 \cdot z \cdot k; \\ \sin(2\varphi) &= 2 \cdot a \cdot b; \\ \cos(2\varphi) &= b^2 - a^2.\end{aligned}\tag{2.13}$$

С учетом (2.11 – 2.13) получим:

$$\left\{ \begin{aligned} X &= \frac{\sum_{i=1}^3 x_i \left(\frac{\left(s_{11_i} k^2 + s_{12_i} 2 z \cdot k \cdot b \cdot (b^2 - a^2) + s_{22_i} z \cdot (b^2 - a^2) \right)^2 + \left(s_{12_i} 2 \cdot z \cdot k \cdot a + s_{22_i} \cdot z \cdot 2 \cdot a \cdot b \right)^2}{\left(s_{11_i} k^2 + s_{12_i} 2 z \cdot k \cdot b \cdot (b^2 - a^2) + s_{22_i} z \cdot (b^2 - a^2) \right)^2 + \left(s_{12_i} 2 \cdot z \cdot k \cdot a + s_{22_i} \cdot z \cdot 2 \cdot a \cdot b \right)^2} \right)}{\sum_{i=1}^3 \left(\frac{\left(s_{11_i} k^2 + s_{12_i} 2 z \cdot k \cdot b \cdot (b^2 - a^2) + s_{22_i} z \cdot (b^2 - a^2) \right)^2 + \left(s_{12_i} 2 \cdot z \cdot k \cdot a + s_{22_i} \cdot z \cdot 2 \cdot a \cdot b \right)^2}{\left(s_{11_i} k^2 + s_{12_i} 2 z \cdot k \cdot b \cdot (b^2 - a^2) + s_{22_i} z \cdot (b^2 - a^2) \right)^2 + \left(s_{12_i} 2 \cdot z \cdot k \cdot a + s_{22_i} \cdot z \cdot 2 \cdot a \cdot b \right)^2} \right)} \\ Y &= \frac{\sum_{i=1}^3 y_i \left(\frac{\left(s_{11_i} k^2 + s_{12_i} 2 z \cdot k \cdot b \cdot (b^2 - a^2) + s_{22_i} z \cdot (b^2 - a^2) \right)^2 + \left(s_{12_i} 2 \cdot z \cdot k \cdot a + s_{22_i} \cdot z \cdot 2 \cdot a \cdot b \right)^2}{\left(s_{11_i} k^2 + s_{12_i} 2 z \cdot k \cdot b \cdot (b^2 - a^2) + s_{22_i} z \cdot (b^2 - a^2) \right)^2 + \left(s_{12_i} 2 \cdot z \cdot k \cdot a + s_{22_i} \cdot z \cdot 2 \cdot a \cdot b \right)^2} \right)}{\sum_{i=1}^3 \left(\frac{\left(s_{11_i} k^2 + s_{12_i} 2 z \cdot k \cdot b \cdot (b^2 - a^2) + s_{22_i} z \cdot (b^2 - a^2) \right)^2 + \left(s_{12_i} 2 \cdot z \cdot k \cdot a + s_{22_i} \cdot z \cdot 2 \cdot a \cdot b \right)^2}{\left(s_{11_i} k^2 + s_{12_i} 2 z \cdot k \cdot b \cdot (b^2 - a^2) + s_{22_i} z \cdot (b^2 - a^2) \right)^2 + \left(s_{12_i} 2 \cdot z \cdot k \cdot a + s_{22_i} \cdot z \cdot 2 \cdot a \cdot b \right)^2} \right)} \end{aligned} \right.\tag{2.14}$$

Численное решение уравнений (2.14) позволит определить координаты и матрицы рассеяния объектов наблюдения для случая трех целей, находящихся в пределах элемента разрешения.

На рисунке 13 приведен алгоритм решения задачи по определению координат и матриц рассеяния наблюдаемых объектов. В соответствии с алгоритмом, на первом этапе произведем моделирование режима поляризованного сканирования для случая, когда объект наблюдения представляет собой набор из трех БТ с параметрами, указанными в таблице 4, в которой обозначены:

s_{11}, s_{12}, s_{22} – элементы матриц рассеяния целей;

x, y – координаты целей.

Таблица 4 – Параметры моделируемых целей

Параметр цели	Цель №1	Цель №2	Цель №3
s_{11}	0.7	0.5	0.7
s_{12}	0.1	0.2	0.2
s_{22}	0.1	0.01	0.1
x	0.6	1.1	0.1
y	0.99	0.01	0.01

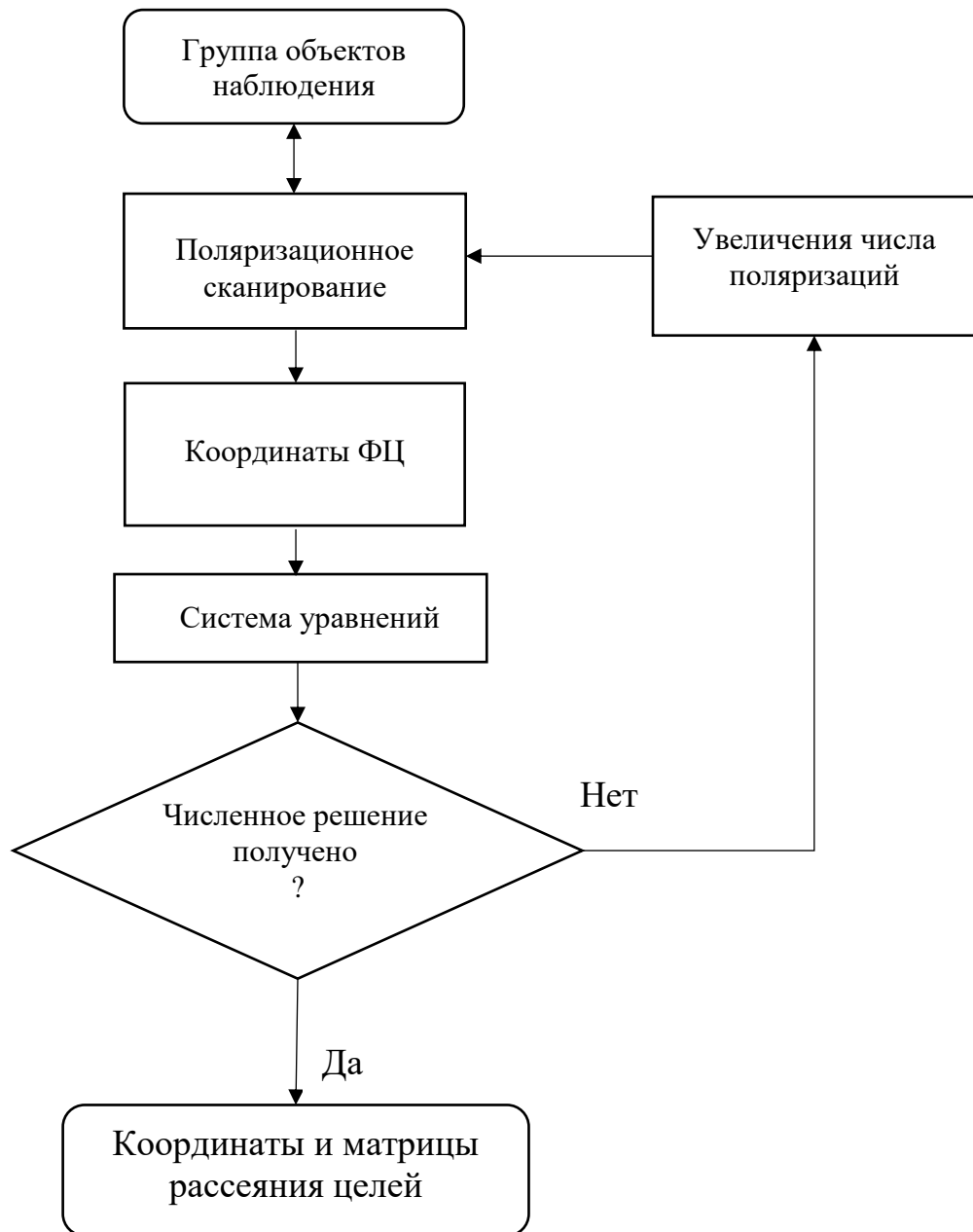


Рисунок 13 – Алгоритм определения координат и матриц рассеяния

В результате поляризационного сканирования (см. листинг программы в приложении А) получена зависимость положения ФЦ от вида поляризации. Таким образом получено 51 значение координат ФЦ. Полученные результаты приведены в таблице 5. На рисунке 14 изображен полученный пространственно - поляризационный контур, кружками выделены положения фазовых центров.

Таблица 5 – Координаты ФЦ, полученные в результате поляризационного сканирования

№	γ	X	Y	№	γ	X	Y
1	0.062	0.503	0.391	27	1.66	0.431	0.588
2	0.123	0.503	0.383	28	1.722	0.533	0.613
3	0.185	0.503	0.375	29	1.784	0.616	0.618
4	0.246	0.503	0.368	30	1.845	0.652	0.632
5	0.308	0.503	0.361	31	1.906	0.645	0.665
6	0.369	0.503	0.354	32	1.968	0.611	0.708
7	0.43	0.503	0.348	33	2.03	0.566	0.743
8	0.492	0.503	0.342	34	2.091	0.524	0.76
9	0.554	0.502	0.336	35	2.152	0.491	0.756
10	0.615	0.502	0.331	36	2.214	0.47	0.735
11	0.676	0.501	0.326	37	2.276	0.458	0.705
12	0.738	0.499	0.321	38	2.337	0.454	0.672
13	0.8	0.498	0.316	39	2.398	0.453	0.638
14	0.861	0.495	0.312	40	2.46	0.455	0.607
15	0.922	0.492	0.308	41	2.522	0.459	0.578
16	0.984	0.488	0.306	42	2.583	0.463	0.552
17	1.046	0.483	0.304	43	2.644	0.468	0.528
18	1.107	0.476	0.303	44	2.706	0.473	0.507
19	1.168	0.467	0.305	45	2.768	0.477	0.488
20	1.23	0.455	0.31	46	2.829	0.482	0.47
21	1.292	0.44	0.319	47	2.89	0.486	0.454
22	1.353	0.42	0.335	48	2.952	0.49	0.44
23	1.414	0.396	0.361	49	3.014	0.494	0.426
24	1.476	0.37	0.402	50	3.075	0.498	0.413
25	1.538	0.352	0.46	51	3.136	0.502	0.401
26	1.599	0.365	0.53				

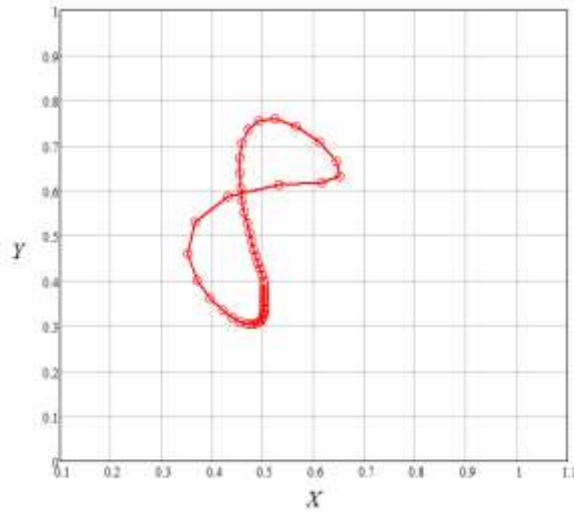


Рисунок 14 – ППК трех целей

В соответствии с (2.14) и полученными данными запишем систему из 102 нелинейных уравнений:

$$\left\{ \begin{array}{l}
 X_1 = \frac{\sum_{i=1}^3 x_i \left(\left(s_{11_i} k_1^2 + s_{12_i} 2 z_1 \cdot k_1 \cdot b \cdot (b^2 - a^2) + s_{22_i} z_1 \cdot (b^2 - a^2) \right)^2 + \right.}{\left. \left(s_{12_i} 2 \cdot z_1 \cdot k_1 \cdot a + s_{22_i} \cdot z_1 \cdot 2 \cdot a \cdot b \right)^2} \right); \\
 Y_1 = \frac{\sum_{i=1}^3 y_i \left(\left(s_{11_i} k_1^2 + s_{12_i} 2 z_1 \cdot k_1 \cdot b \cdot (b^2 - a^2) + s_{22_i} z_1 \cdot (b^2 - a^2) \right)^2 + \right.}{\left. \left(s_{12_i} 2 \cdot z_1 \cdot k_1 \cdot a + s_{22_i} \cdot z_1 \cdot 2 \cdot a \cdot b \right)^2} \right); \\
 \dots \\
 \dots \\
 X_{51} = \frac{\sum_{i=1}^3 x_i \left(\left(s_{11_i} k_{51}^2 + s_{12_i} 2 z_{51} \cdot k_{51} \cdot b \cdot (b^2 - a^2) + s_{22_i} z_{51} \cdot (b^2 - a^2) \right)^2 + \right.}{\left. \left(s_{12_i} 2 \cdot z_{51} \cdot k_{51} \cdot a + s_{22_i} \cdot z_{51} \cdot 2 \cdot a \cdot b \right)^2} \right); \\
 Y_{51} = \frac{\sum_{i=1}^3 y_i \left(\left(s_{11_i} k_{51}^2 + s_{12_i} 2 z_{51} \cdot k_{51} \cdot b \cdot (b^2 - a^2) + s_{22_i} z_{51} \cdot (b^2 - a^2) \right)^2 + \right.}{\left. \left(s_{12_i} 2 \cdot z_{51} \cdot k_{51} \cdot a + s_{22_i} \cdot z_{51} \cdot 2 \cdot a \cdot b \right)^2} \right)
 \end{array} \right. \quad (2.15)$$

Для решения данной системы воспользуемся алгоритмом Левенберга-Марквардта (приложение Б). В результате получены матрицы рассеяния и координаты моделируемых целей. Результат приведен в таблице 4.

Как видно, координаты целей были найдены разработанной программой с относительной ошибкой, не превышающей 10^{-12} . Матрицы рассеяния найдены со значительно меньшей точностью (относительная ошибка 4%).

Таблица 6 – Результат работы программы по определению координат и матриц рассеяния

Цель №1			
параметр	реальные значения	расчётные значения	относительная ошибка, %
s_{11}	0.7	0.672	4
s_{12}	0.1	0.096	4
s_{22}	0.1	0.096	4
x	0.6	0.6	$19 \cdot 10^{-15}$
y	0.99	0.99	$22 \cdot 10^{-15}$
Цель №2			
параметр	реальные значения	расчетные значения	относительная ошибка, %
s_{11}	0.5	0.48	4.03
s_{12}	0.2	0.192	4.03
s_{22}	0.01	0.01	4.03
x	1.1	1.1	$121 \cdot 10^{-15}$
y	0.01	0.01	$110 \cdot 10^{-15}$
Цель №3			
параметр	реальные значения	расчетные значения	относительная ошибка, %
s_{11}	0.7	0.672	4.03
s_{12}	0.2	0.192	4.03
s_{22}	0.1	0.096	4.03
x	0.1	0.1	$1.5 \cdot 10^{-12}$
y	0.01	0.01	$28 \cdot 10^{-12}$

Следует отметить, что при увеличении числа уравнений, относительная ошибка будет уменьшаться, т. е. увеличивая число поляризаций на которых производится наблюдение, можно добиться необходимой точности.

Таким образом, предлагаемый метод определения координат и матриц рассеяния БТ, представляющих сложный объект, открывает новые возможности для обнаружения и идентификации ОПАП, находящихся в пределах элемента разрешения РЛС.

2.2.3 Возможность определения координат объектов, находящихся в пределах облучаемого участка поверхности, в случае когерентного отражения зондируемого сигнала.

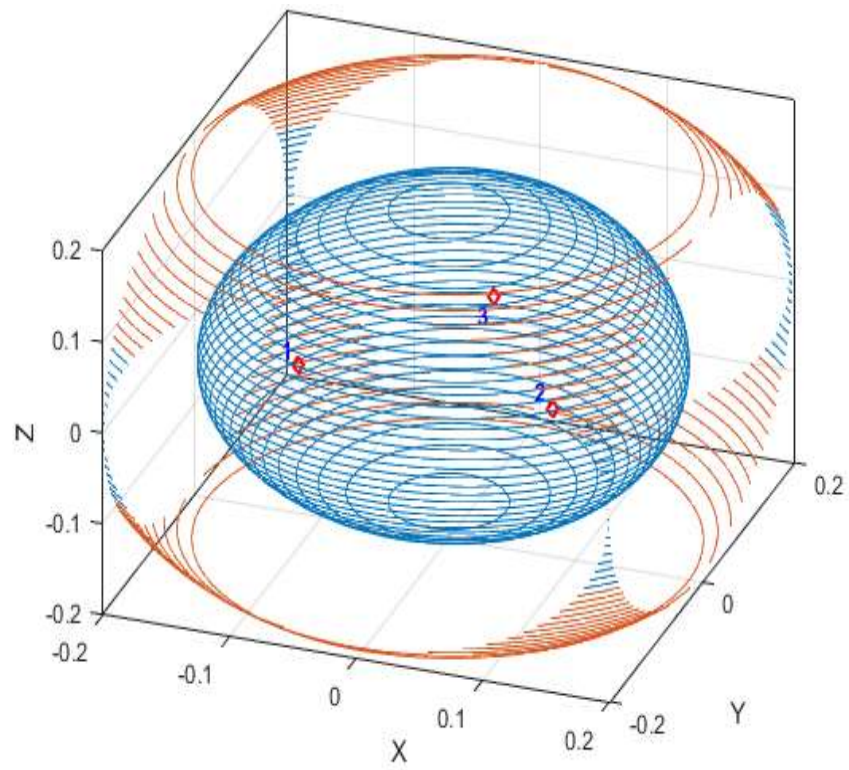
Математически положение фазового центра при когерентном отражении можно определить, построив нормаль к поверхности одинаковой фазы ($\Psi(x, y, z) = const$) наблюдаемого объекта.

Рассмотрим случай, когда три объекта последствия авиационного происшествия, находящиеся в пределах элемента разрешения РЛС, представлены блестящими точками. Фаза суммарного колебания для таких целей запишется следующим образом [13, 45, 47]:

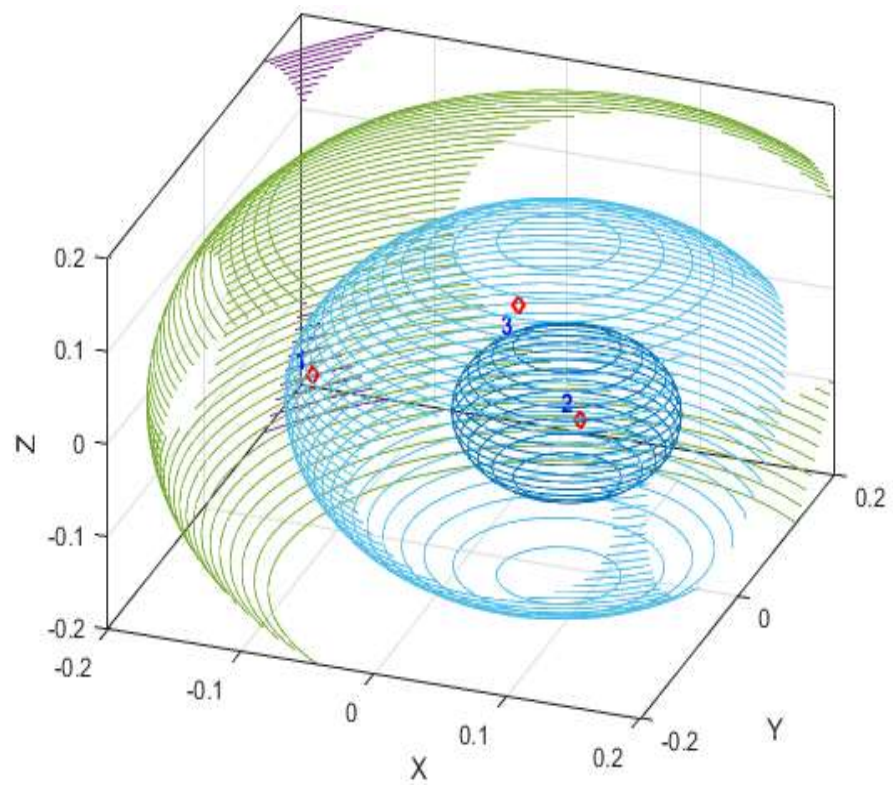
$$\Psi = \operatorname{arctg} \left(\frac{a_1 \sin(k \sqrt{(x-x_1)^2 + (y-y_1)^2 + (z-z_1)^2} - \varphi_1) + a_2 \sin(k \sqrt{(x-x_2)^2 + (y-y_2)^2 + (z-z_2)^2} - \varphi_2) + a_3 \sin(k \sqrt{(x-x_3)^2 + (y-y_3)^2 + (z-z_3)^2} - \varphi_3)}{a_1 \cos(k \sqrt{(x-x_1)^2 + (y-y_1)^2 + (z-z_1)^2} - \varphi_1) + a_2 \cos(k \sqrt{(x-x_2)^2 + (y-y_2)^2 + (z-z_2)^2} - \varphi_2) + a_3 \cos(k \sqrt{(x-x_3)^2 + (y-y_3)^2 + (z-z_3)^2} - \varphi_3)} \right) \quad (2.16)$$

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 рисунке 15 проиллюстрирована поверхность одинаковой фазы (эквифазная поверхность) $\Psi(x, y, z) = const$ для случая, когда интенсивность отраженной волны от всех БТ одинакова (а) и для случая, когда интенсивность отраженной волны от точки №2 больше в 10 раз (б).



а)



б)

Рисунок 15 – Поверхности одинаковой фазы сложной радиолокационной цели, представленной тремя БТ

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

$$\frac{X - x_0}{\Psi'_x} = \frac{Y - y_0}{\Psi'_y} = \frac{Z - z_0}{\Psi'_z}, \quad (2.17)$$

где x_0, y_0, z_0 – координаты точки наблюдения;

$\Psi'_x, \Psi'_y, \Psi'_z$ – частные производные по x, y, z выражения (2.16).

Сделав элементарные преобразования, получим координаты фазового центра:

$$\begin{cases} X = x_0 - z_0 \frac{\Psi'_x}{\Psi'_z} \\ Y = y_0 - z_0 \frac{\Psi'_y}{\Psi'_z} \end{cases} \quad (2.18)$$

На рисунке 16 проиллюстрирован процесс определения ФЦ для трех блестящих точек, матрицы рассеяния которых были выбраны случайным образом.

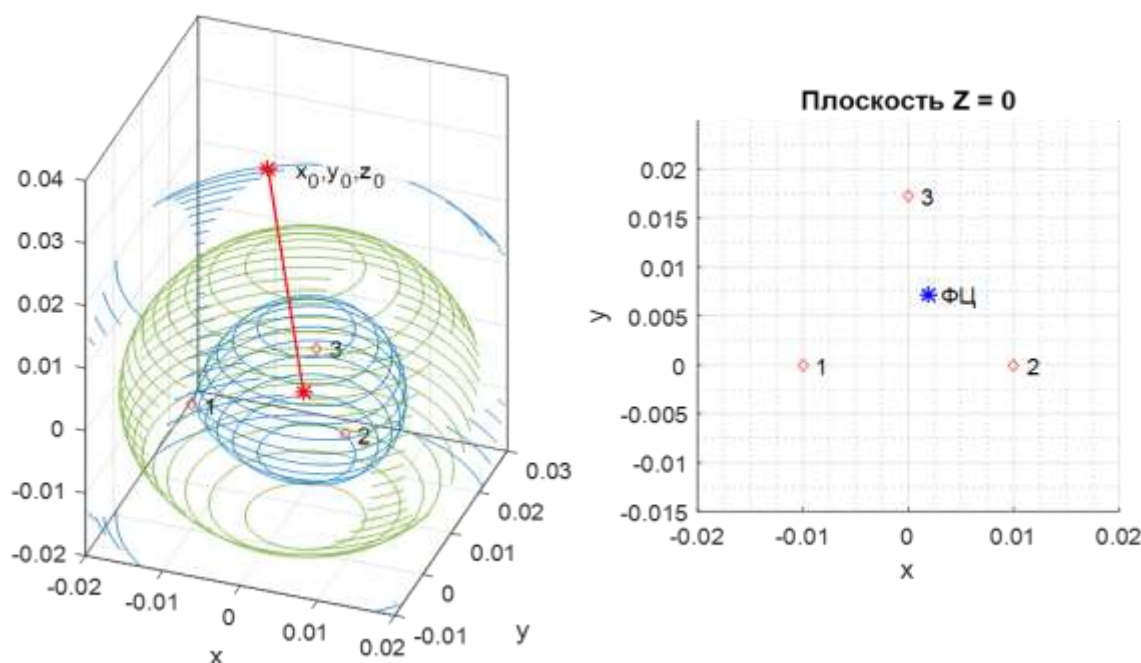


Рисунок 16 – Фазовый центр отражения сложной радиолокационной цели, представленной тремя БТ со случайными матрицами рассеяния в исходном поляризационном базисе

При переходе из исходного поляризационного базиса к произвольному, элементы матриц рассеяния будут подвергнуты следующему преобразованию [13, 17]:

$$q_{11} = s_{11} e^{(-j^2 \varphi)} \cos(\gamma)^2 + s_{22} e^{(j^2 \varphi)} \sin(\gamma)^2 + s_{12} \sin(2 \gamma), \quad (2.19)$$

где s_{ij} – элементы матриц рассеяния; γ, φ – параметры, определяющие конкретный вид поляризации.

Вследствие (2.19), интенсивность отражения от блестящих точек будет меняться при изменении вида поляризации.

$$\begin{aligned} A_i &= \operatorname{Re}(q_{11}) = s_{22i} \sin(\gamma)^2 \cos(2 \varphi) + s_{11i} \cos(2 \varphi) \cos(\gamma)^2 + s_{12i} \sin(2 \gamma) \\ B_i &= \operatorname{Im}(q_{11}) = s_{22i} \sin(2 \varphi) \sin(\gamma)^2 - s_{11i} \sin(2 \varphi) \cos(\gamma)^2 \end{aligned} \quad (2.20)$$

Используя (2.20), определим интенсивность и начальную фазу отраженной волны при изменении вида поляризации:

$$a_i = \sqrt{A_i^2 + B_i^2} \quad (2.21)$$

$$\varphi_i = \begin{cases} \operatorname{atan}\left(\frac{B_i}{A_i}\right), & \text{при } A > 0 \\ \pi + \operatorname{atan}\left(\frac{B_i}{A_i}\right), & \text{при } A < 0, B \geq 0 \\ -\pi + \operatorname{atan}\left(\frac{B_i}{A_i}\right), & \text{при } A < 0, B < 0 \\ \frac{\pi}{2}, & \text{при } A = 0, B > 0 \\ -\frac{\pi}{2}, & \text{при } A = 0, B < 0 \end{cases} \quad (2.22)$$

С учетом выше сказанного, на рис. 17 проиллюстрированы полученные ФЦ в различных поляризационных базисах.

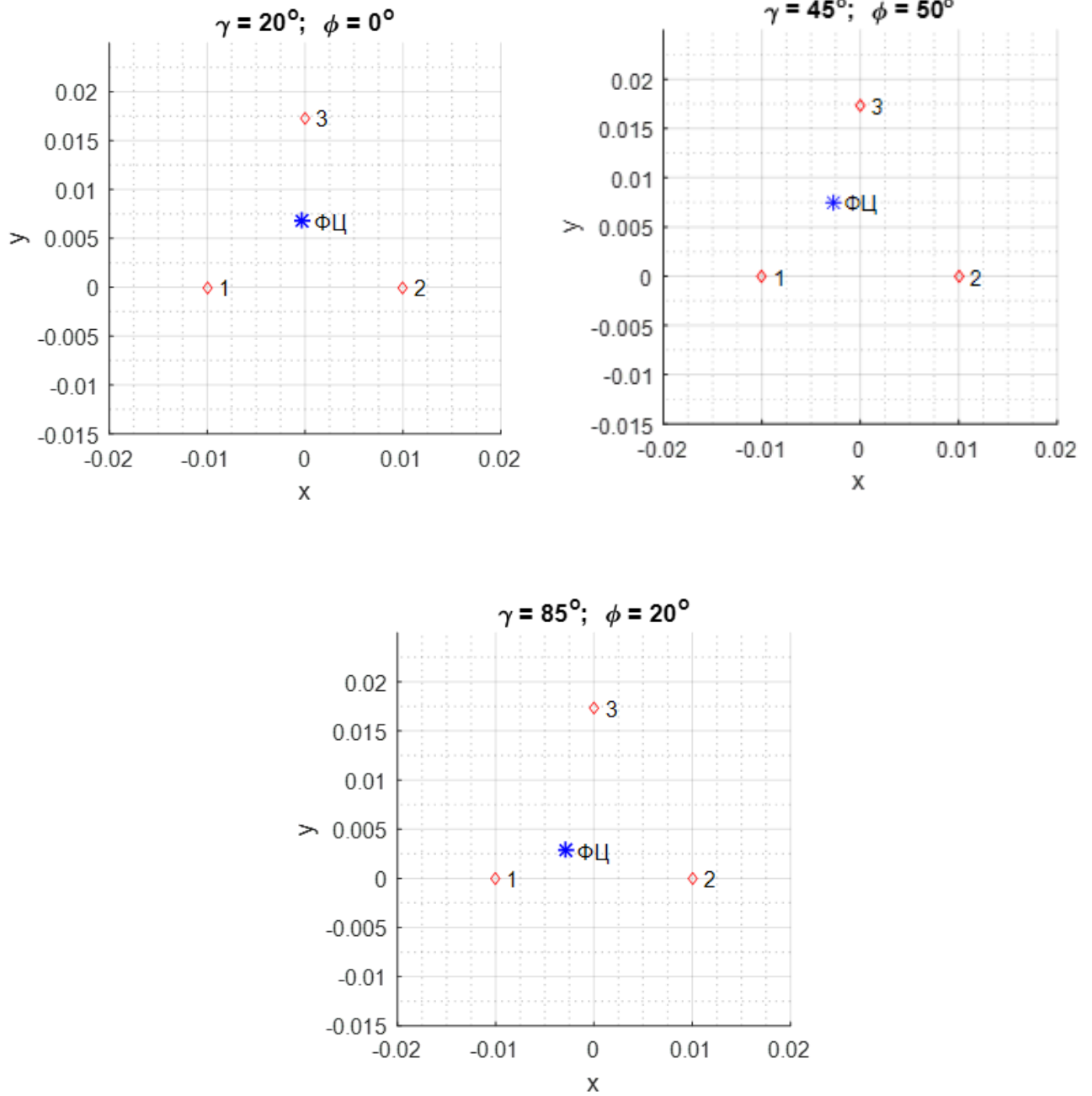


Рисунок 17 – Положения фазового центра при изменении вида поляризации для сложной цепи, состоящей из трех БТ с матрицами рассеяния выбранными случайно

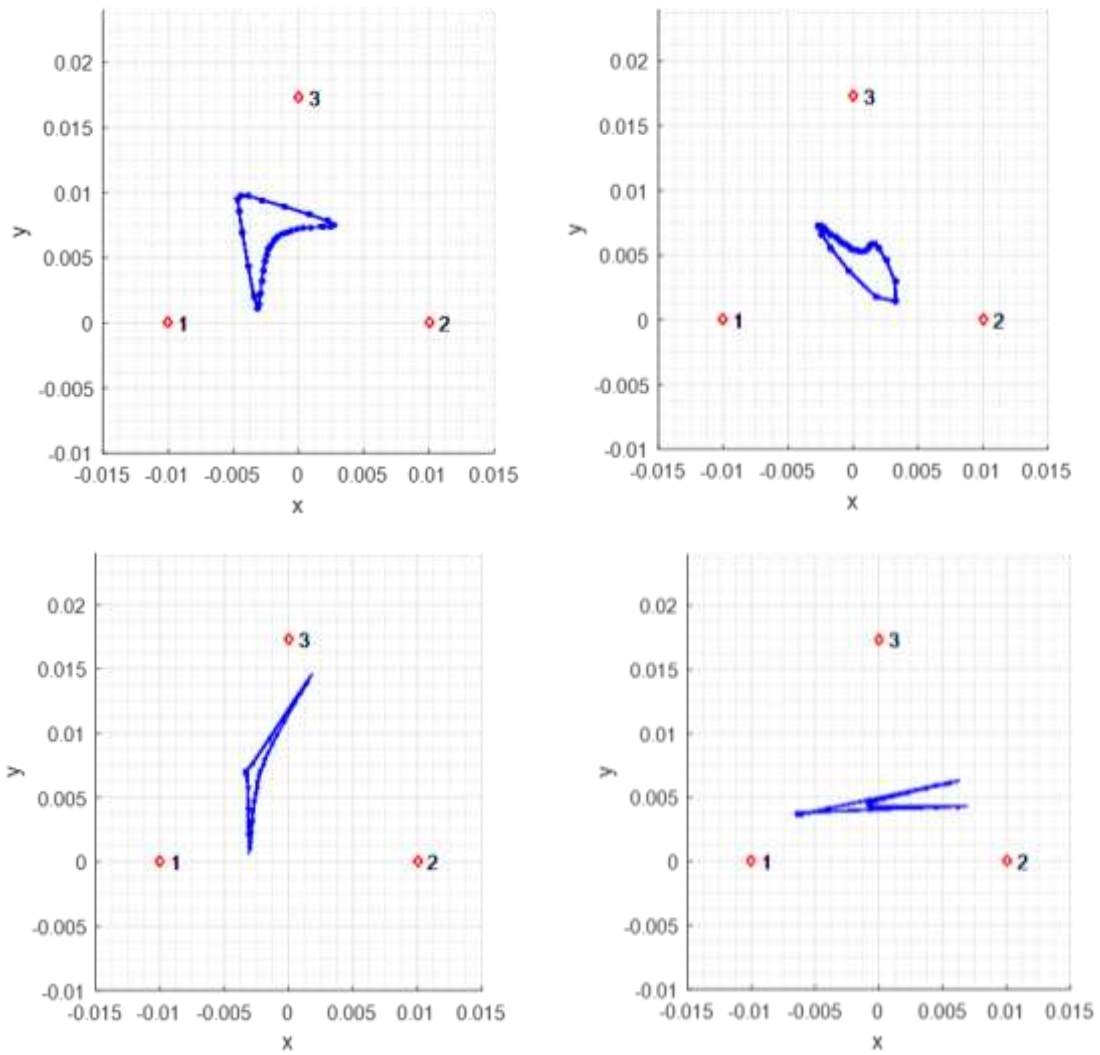


Рисунок 18 – Траектория фазового центра для объектов, характеризующихся разными матрицами рассеяния;

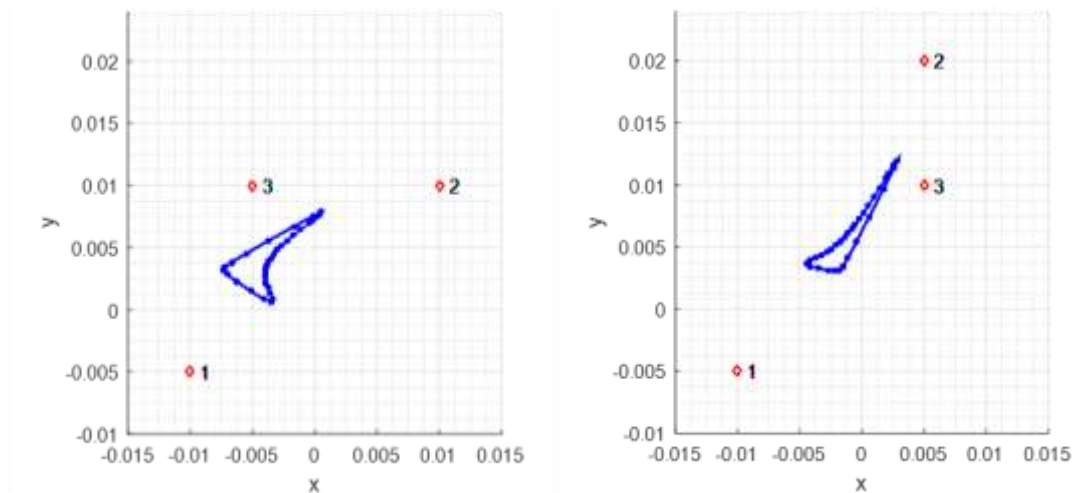


Рисунок 19 – Траектория фазового центра при разных расположениях объектов в пространстве

Произведя поляризационное сканирование, можно построить замкнутую кривую, которая будет в полной мере характеризовать исследуемый объект наблюдения (рис. 18, 19). Определить координаты объектов можно по аналогии со случаем некогерентного отражения, используя выражения (2.18) и положения, приведенные в [1.3.2].

Таким образом, приведенные теоретические положения доказывают возможность различения объектов последствия авиационного происшествия, находящихся в пределах элемента разрешения, в случае когерентного рассеяния электромагнитных волн.

2.3 Экспериментальное подтверждение возможности различения нескольких объектов наблюдения, находящихся в пределах облучаемой площадки

Для проверки теоретических положений по нахождению фазового центра и построению ППК был поставлен натурный эксперимент. Эксперимент состоит из следующих частей:

- 1) Определение диаграммы направленности рупора;
- 2) Обнаружение ОПАП, находящихся внутри элемента разрешения и построение ППК для случая двух целей;
- 3) Обнаружение ОПАП, находящихся внутри элемента разрешения и построение ППК для случая трех целей.

2.3.1 Описание экспериментальной установки и методики проведения эксперимента

Для моделирования отражения электромагнитных волн от объектов последствия авиационного происшествия (представляемых в рамках эксперимента блестящими точками) использовалось излучение антенн. В качестве излучающих антенн использовались рупора, показанные на рис. 20 и обозначенные P1, P2, P3.

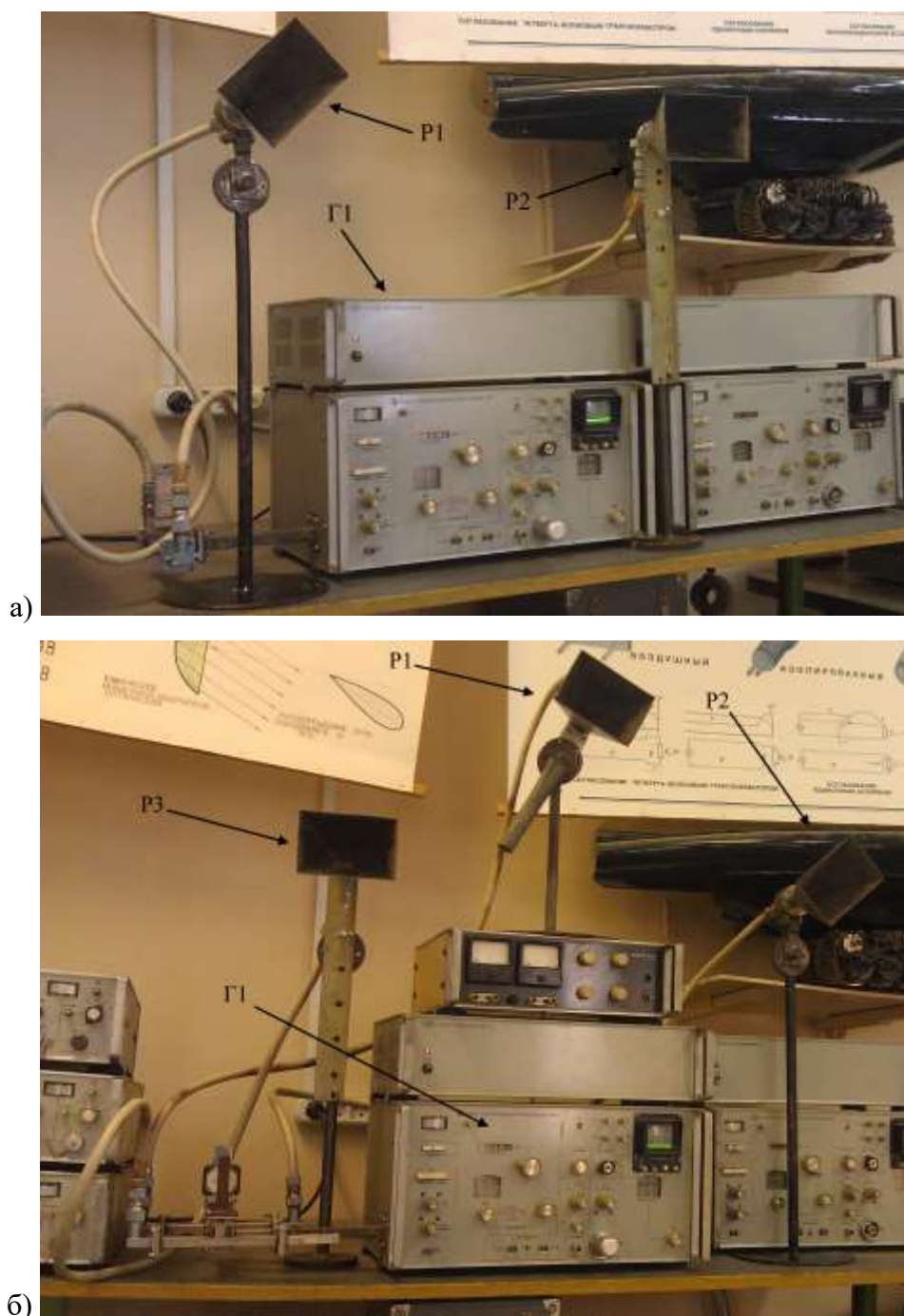


Рисунок 20 – Экспериментальная установка. Передающая часть

Регистрация сигнала, принятого от системы рупоров производилась на установке, изображенной на рис. 21. Установка представляет собой штатив, с возможностью изменять направление оси приемной антенны в горизонтальной и вертикальной плоскостях. Измерение уровня сигнала производилось измерителем мощности РИП-3. Поляризационное сканирование осуществлялось в соответствии с алгоритмом, приведенном на рис. 24.



а)



б)

Рисунок 21 – Экспериментальная установка. Приемная часть



Рисунок 22 – Подключение двух рупоров к генератору

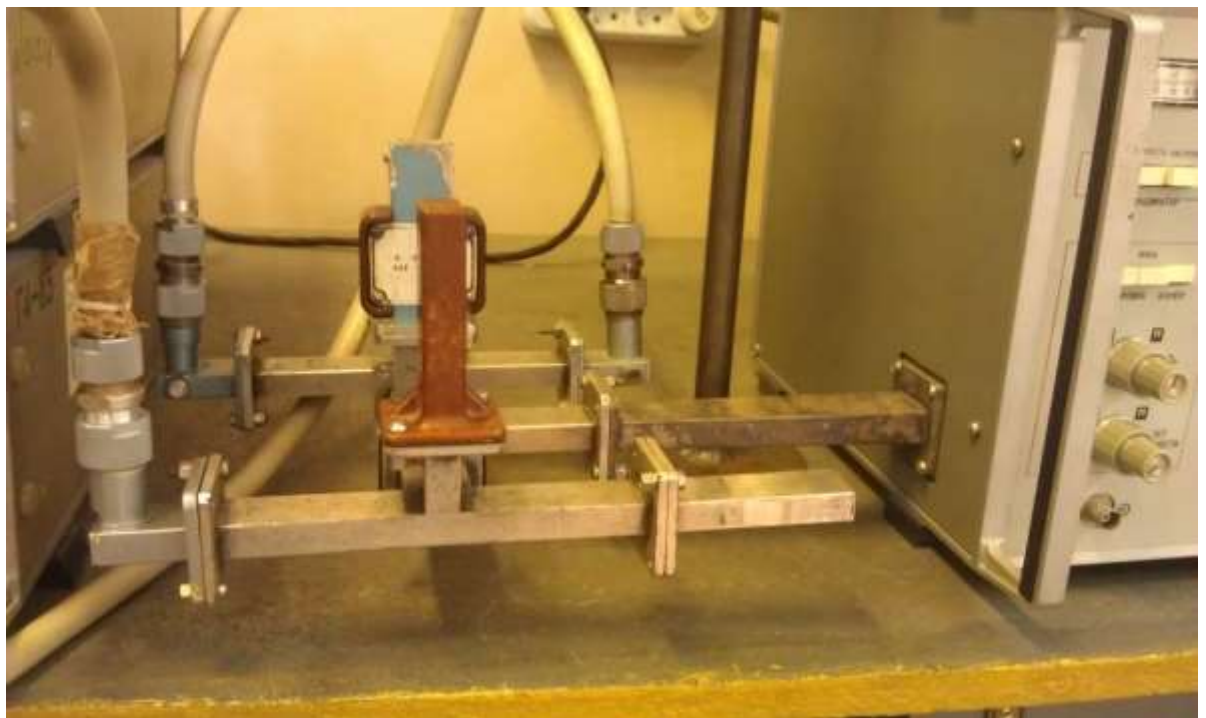


Рисунок 23 – Подключение трех рупоров к генератору

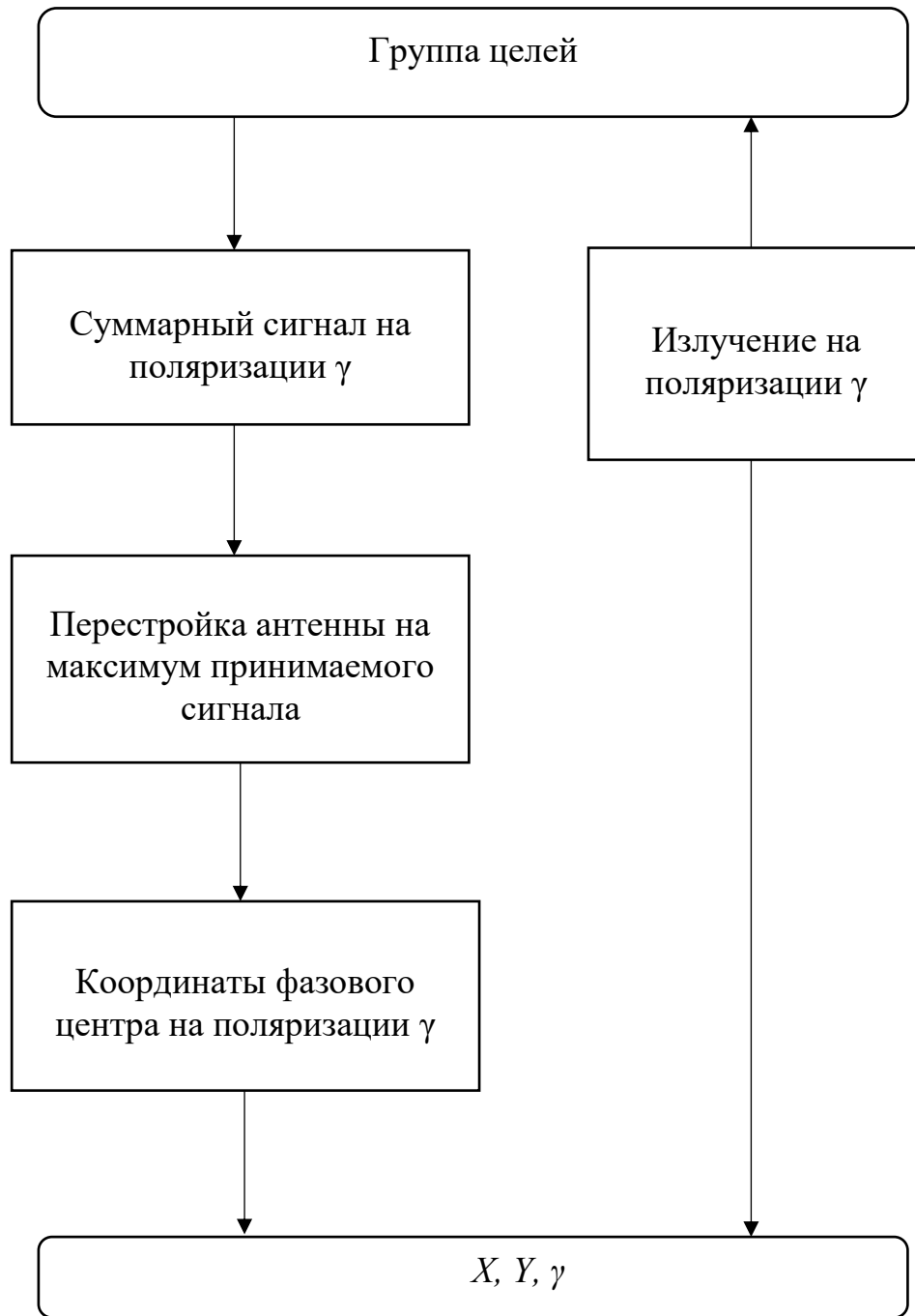


Рисунок 24 – Структурная схема алгоритма поляризационного сканирования

2.3.2 Обнаружение объектов наблюдения, находящихся внутри элемента разрешения, и построение ППК для случая двух целей

Для моделирования случая двух объектов наблюдения рупора передающей части запитывались от генератора Г (РИП-3) (рис. 20, а) частотой 9200 МГц через 2Т-мост и коаксиальные кабели (рис.22).

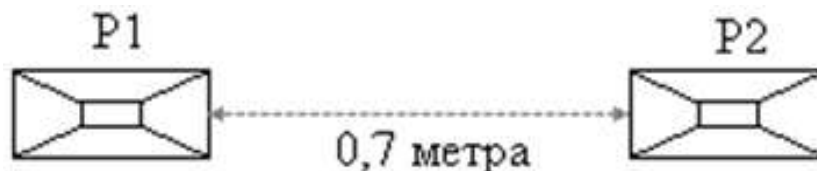


Рисунок 25 – Расположение передающих рупоров

Рупора, имитирующие два объекта наблюдения, располагались на одном уровне, на расстоянии 0.7 метра друг от друга (рис. 25). Расстояние между системой рупоров и приемной антенной составляло 3,6 метра.

В качестве приемной антенны использовался рупор с ДН в горизонтальной плоскости $27,49^\circ$, а в вертикальной плоскости $27,76^\circ$ (определение ДН приведено в приложении В). Таким образом, два объекта наблюдения, имитируемые рупорами, находились внутри элемента разрешения приемной антенны.

Поляризационное сканирование осуществлялось в соответствии с алгоритмом, изображенном на рис. 24, путем поворота приемного рупора вокруг своей оси с шагом в 10 градусов. При этом, производилась настройка приемной антенны на максимум принимаемого сигнала по показаниям измерительного прибора с фиксированием угловых положений измерительной антенны по азимуту.

С целью минимизации погрешности измерений была произведена серия из десяти однотипных экспериментов. Каждый эксперимент в отдельности состоял из 36 измерений. Таким образом было произведено 360 измерений, результаты которых приведены в приложении В.

В таблице 7 приведены результаты, полученные путем обработки всех полученных экспериментальных данных, где приняты обозначения:

γ – угол поворота рупора вокруг своей оси;

α – угловое положение измерительной антенны по азимуту;

$P_{\text{норм}}$ – нормированное значение интенсивности принимаемого сигнала, рассчитанное из соотношения текущего значения интенсивности P , к максимальному значению P в конкретном эксперименте:

$$P_{\text{норм}} = \frac{P}{\max P} \quad (2.23)$$

Были рассчитаны статистические характеристики измеряемых величин:

m – математическое ожидание, определенное по следующей формуле:

$$m = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i, \quad (2.24)$$

D – исправленная дисперсия, рассчитанная по следующей формуле:

$$D = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - m)^2, \quad (2.25)$$

где x_i – значения величин α , $P_{\text{норм}}$ при определенном значении γ ;

n – число произведенных измерений конкретной величины ($n=10$).

Поскольку рупоры располагались на одном уровне, перестройка антенны по углу места не требовалась (результат по углу места определялся бы только неидеальными условиями эксперимента и ошибкой оператора), поэтому координаты ФЦ будут следующими:

$$x = L \cdot \operatorname{tg} \alpha, \quad (2.26)$$

$$y = 0, \quad (2.27)$$

где L – расстояние от измерительной антенны до системы рупоров.

На рисунке 26 изображен результат построения ППК. Кругами обозначены положения найденных фазовых центров, ромбами – местоположения излучающих рупоров, имитирующих трехточечную цель. Линией обозначен полученный ППК для случая двух объектов наблюдения, цвет отражает интенсивность принимаемой радиоволны.

Таблица 7 – Данные, полученные в результате эксперимента с двумя объектами наблюдения

№ γ	$\alpha, ^\circ$		$P_{\text{норм}}$	
	m	D	m	D
0	0,60	0,1556	0,944	0,0046
10	1,25	0,3472	0,904	0,0076
20	1,70	0,4000	0,847	0,0081
30	0,75	0,1806	0,695	0,0064
40	-1,50	0,2778	0,544	0,0031
50	4,95	0,4139	0,420	0,0009
60	8,95	0,5806	0,292	0,0005
70	4,85	1,0583	0,170	0,0003
80	3,40	0,6556	0,053	0,0000
90	-7,00	0,4444	0,138	0,0001
100	3,55	0,4694	0,282	0,0007
110	2,25	0,3472	0,226	0,0005
120	-2,30	0,3444	0,555	0,0043
130	-5,05	0,4694	0,545	0,0019
140	-3,45	0,1361	0,766	0,0090
150	-3,80	0,5667	0,850	0,0071
160	-1,25	0,3472	0,860	0,0076
170	-0,60	0,2111	0,683	0,0020
180	0,75	0,2917	0,777	0,0063
190	1,30	0,3444	0,559	0,0038
200	2,10	0,3222	0,483	0,0044
210	1,95	0,0806	0,422	0,0009
220	2,10	0,2667	0,548	0,0034
230	2,75	0,2917	0,669	0,0059
240	5,45	0,1917	0,575	0,0038
250	4,65	0,2806	0,557	0,0017
260	5,85	0,7250	0,414	0,0030
270	5,10	0,2111	0,282	0,0004
280	6,45	0,3028	0,304	0,0013
290	9,60	0,6000	0,142	0,0004
300	8,20	0,6222	0,171	0,0004
310	9,75	0,4583	0,109	0,0001
320	9,70	4,2333	0,080	0,0000
330	10,35	0,9472	0,141	0,0003
340	10,80	0,7889	0,168	0,0004
350	-2,95	0,8028	0,197	0,0004

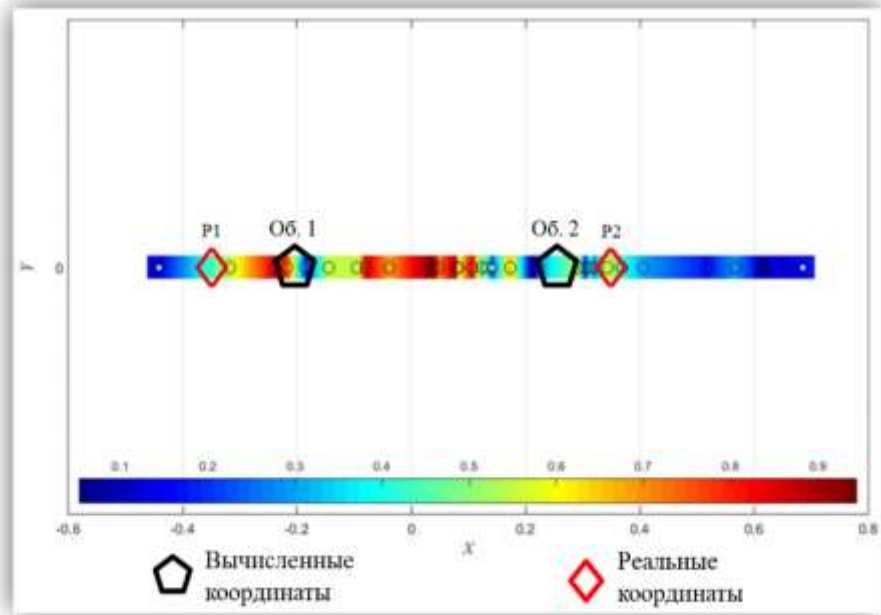


Рисунок 26 – Результаты нахождения фазовых центров и ППК цели

Результаты эксперимента подтверждают возможность нахождения ФЦ и построения ППК для случая двух объектов наблюдения, находящихся внутри элемента разрешения, тем самым показывая возможность их различения.

2.3.3 Обнаружение радиолокационных целей, находящихся внутри элемента разрешения и построение ППК для случая трех целей

Для реализации данного случая рупоры передающей части запитывались от генератора Г (РИП-3) (рис. 20, б) частотой 9200 МГц через 3 соединенных 2Т-моста и коаксиальные кабели (рис. 23).

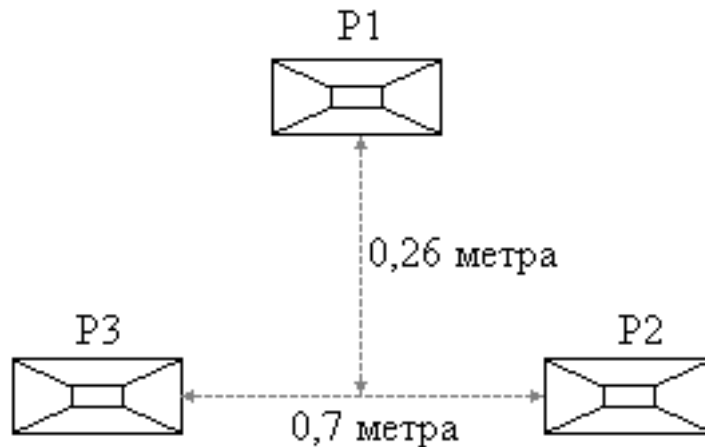


Рисунок 27 – Расположение передающих рупоров

Рупоры, имитирующие трехточечную цель, располагались в вершинах треугольника (рис. 27). Расстояние между системой рупоров и приемной антенной составляло 3,6 метра.

В качестве приемной антенны использовался рупор с ДН в горизонтальной плоскости $27,49^\circ$, а в вертикальной плоскости $27,76^\circ$. Таким образом, трехточечная цель, имитируемая рупорами, находилась внутри элемента разрешения приемной антенны.

Полное поляризационное сканирование осуществлялось в соответствии с алгоритмом, приведенном на рис. 24, по аналогии со случаем для двух объектов наблюдения (2.3.2).

В таблице 8 приведены результаты, полученные путем обработки всех полученных экспериментальных данных.

Координаты ФЦ определялись по следующим формулам:

$$x = L \cdot \operatorname{tg} \alpha, \quad (2.28)$$

$$y = \frac{L}{\cos \alpha} \cdot \operatorname{tg} \beta, \quad (2.29)$$

где L – расстояние от измерительной антенны до системы рупоров.

На рисунке 28 изображен полученный ППК для случая трех объектов наблюдения. Цвет отражает интенсивность принимаемой радиоволны. Кругами обозначены положения найденных фазовых центров, ромбами – местоположения излучающих рупоров, имитирующих три объекта.

Таблица 8 – Полученные в результате эксперимента данные для случая трех объектов наблюдения

$\gamma, ^\circ$	$\alpha, ^\circ$		$\beta, ^\circ$		$P_{\text{норм}}$	
	m	D	m	D	m	D
0	5,4	0,3778	1,1	0,2667	0,956	0,0035
10	4,55	0,4694	1,75	0,1250	0,907	0,0068
20	2,45	0,1361	2,15	0,3361	0,931	0,0059
30	1,85	0,1694	3,8	0,2889	0,800	0,0055
40	1,85	0,1139	4,15	0,2806	0,737	0,0078
50	-0,9	0,0444	6,45	0,3028	0,663	0,0022
60	-1,35	0,2250	6,7	0,8444	0,472	0,0014
70	-0,6	0,1556	7,6	0,3778	0,402	0,0015
80	0,4	0,1556	8,35	0,4472	0,271	0,0004
90	3,1	0,3222	7,3	1,0111	0,117	0,0003
100	6,3	0,2333	7,4	1,3778	0,075	0,0003
110	2,4	0,4889	8,15	0,9472	0,114	0,0006
120	1,2	0,4000	9,75	1,0694	0,273	0,0014
130	1,85	0,4472	11,05	0,5806	0,390	0,0011
140	2,55	0,6361	12,75	0,3472	0,482	0,0022
150	4,4	0,4889	13,9	0,7667	0,629	0,0041
160	5,35	0,2806	14,8	0,1778	0,601	0,0049
170	8,35	0,6139	14,9	0,9333	0,651	0,0040
180	9,65	0,7250	15,15	0,5583	0,678	0,0065
190	9,8	0,6222	14,6	0,5444	0,662	0,0043
200	11,15	0,1694	14,5	0,2778	0,785	0,0070
210	12,9	0,4889	13,6	1,0444	0,718	0,0078
220	13,5	0,5556	14,55	1,6917	0,637	0,0067
230	16,05	0,8583	12,3	0,3444	0,538	0,0067
240	15,05	1,0806	10,6	0,7667	0,353	0,0044
250	14,05	1,0250	8,45	1,6917	0,180	0,0037
260	14,55	3,0806	3,95	1,9139	0,036	0,0001
270	20,5	0,7222	-1,15	1,3917	0,041	0,0002
280	14,95	1,3028	-0,85	0,5028	0,084	0,0002
290	13,65	1,0028	-1,05	0,1361	0,176	0,0006
300	13,75	0,2917	-0,55	0,2472	0,299	0,0013
310	12,05	0,5806	1,25	0,5139	0,437	0,0021
320	10,1	0,6556	-0,7	0,1778	0,443	0,0031
330	8,4	0,3778	-1,15	0,7250	0,547	0,0032
340	5,7	0,2889	0,6	0,1556	0,592	0,0022
350	3,3	1,6778	1,05	0,4139	0,702	0,0070

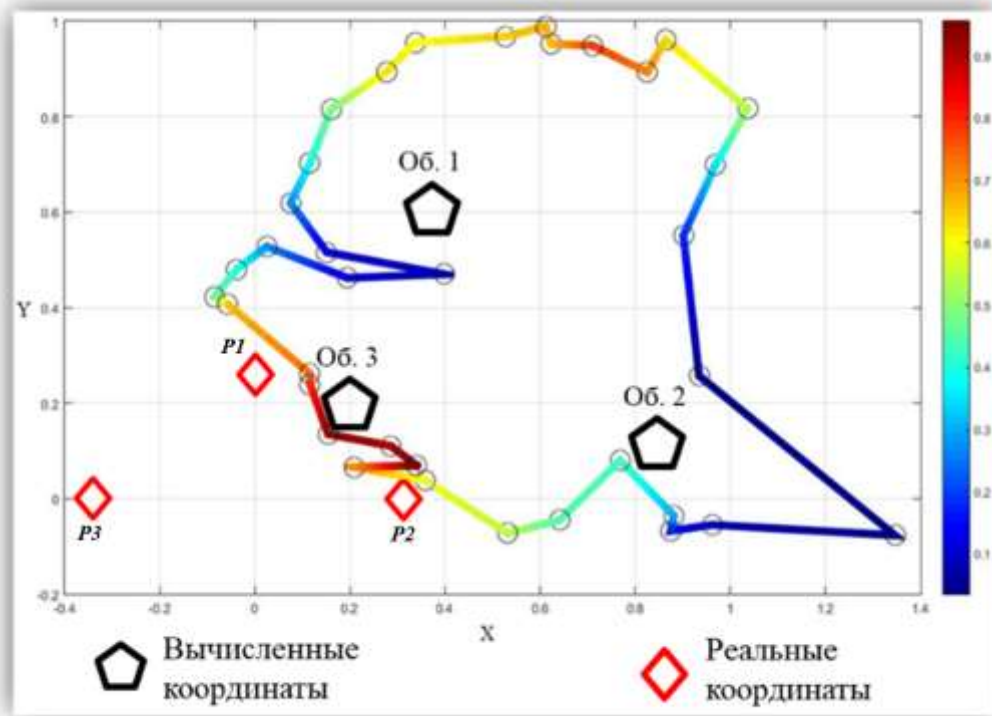


Рисунок 28 – ППК для случая трех объектов наблюдения

Результаты эксперимента подтверждают возможность нахождения ФЦ и построения ППК для случая трех целей, классифицируемых точечными, находящимися внутри элемента разрешения, тем самым доказывая принципиальную возможность их различения.

2.4 Выводы по главе 2

Основные результаты, полученные в главе 2 заключаются в следующем:

1. Показана возможность использования режима ППС при обнаружении и оконтуривании объектов АП.
2. Доказана возможность различения нескольких объектов АП в пределах элемента разрешения.

3. Доказана возможность определения координат и матриц рассеяния с целью последующей идентификации объектов внутри ЭР.
4. Разработана методика построения ППК для детализации структуры ЭР.
5. Установлена аналитическая зависимость между местоположением и матрицами рассеяния наблюдаемых объектов, и положением фазового центра отражения.
6. Доказана возможность определения траектории ФЦ при изменении вида поляризации как при когерентном, так и при некогерентном рассеянии.
7. Экспериментально доказана поляризационная чувствительность объектов авиационного происшествия.
8. Экспериментально подтверждена возможность использования разработанных алгоритмов для управления положением ФЦ.

Полученные результаты позволяют сформулировать следующие **выводы**:

1. Управление траекторией ФЦ может быть осуществлено путем реализации режима управляемой поляризации зондирующего сигнала.
2. Управление траекторией ФЦ при расследовании авиационных происшествий дает возможность производить оконтуривание обнаруженных объектов последствий авиационного происшествия.
3. Знание траектории ФЦ, которая может быть построена на основании полученных соотношений для случая когерентного отражения, дает возможность при расследовании авиационных происшествий определять геометрические характеристики объектов последствия АП с относительной погрешностью не ниже 20%.
4. Знание траектории ФЦ, которая может быть построена на основании полученных соотношений для случая некогерентного отражения, дает возможность при расследовании авиационных происшествий определять геометрические и поляризационные характеристики объектов последствия АП с относительной погрешностью не ниже 15%.

5. Использование режима «управления положением ФЦ» при расследовании авиационных происшествий дает возможность оценивать геометрические размеры наблюдаемых объектов, находящихся на поверхности земли в пределах элемента разрешения БРЛС.

6. Экспериментальная проверка подтверждает поляризационную чувствительность объектов последствия авиационного происшествия и возможность использования режима ППС при расследованиях авиационных происшествий для определения количества этих объектов, находящихся в пределах элемента разрешения БРЛС, а также их различение.

ГЛАВА 3. ОБНАРУЖЕНИЕ МЕСТ И ОБЪЕКТОВ ПОСЛЕДСТВИЯ АВИАЦИОННОГО ПРОИСШЕСТВИЯ С БОРТА ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА ПУТЕМ СПЕЦИАЛЬНОЙ ПРОСТРАНСТВЕННО- ВРЕМЕННОЙ ОБРАБОТКИ ОТРАЖЕННЫХ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ВОЛН

3.1. Разработка алгоритмов для различения и идентификации объектов последствия авиационного происшествия

В [16, 20] приведен алгоритм быстрого численного преобразования Гюйгенса-Френеля, позволяющий по известному распределению отраженного поля, восстанавливать исходную структуру облучаемой поверхности. Разработка методики для определения координат и идентификации объектов последствия авиационного происшествия опирается на теоретические положения, приведенные в рамках алгоритма.

В соответствии с принципом Гюйгенса – Френеля при падении плоской электромагнитной волны на поверхность в точке наблюдения комплексная амплитуда электрического поля отраженной волны \dot{E}_{M_x, M_y} может быть определена по следующей формуле [16]:

$$\dot{E}_{M_x, M_y} = \int_{N(x, y)} \dot{S}_{N_x, N_y} \frac{e^{-ikR}}{R} dN_x dN_y \quad (3.1)$$

где \dot{S}_{N_x, N_y} – функция рассеяния объекта, R – расстояние между рассеивающей точкой на поверхности и точкой, где определяется величина отраженного поля, k – волновое число, $N_{x, y}$ – наблюдаемая поверхность.

Разделим наблюдаемую поверхность $N_{x,y}$ на $N \times N$ прямоугольных частей (рисунок 29). Пусть точки, для которых задается функция рассеяния объекта, и точки, где определяются величины отраженного поля располагаются в параллельных плоскостях на расстоянии d друг от друга. Если поверхность объекта ($z = f_{x,y}$) облучается плоской волной, нормаль к которой совпадает с осью z , то расстояние:

$$R = \sqrt{d^2 \left((N_x - M_x)^2 + (N_y - M_y)^2 \right) + (r + f_{x,y})^2}, \quad (3.2)$$

где N_x, N_y – номера отсчетов на наблюдаемой поверхности; M_x, M_y – номера отсчетов на поверхности наблюдения.

В области, где отраженные волны имеют сферический фронт, в сомножителе расстояние R полагается $R \cong r$, а расстояние r в показателе экспоненты можно представить в виде двух членов разложения в ряд Тейлора [16]:

$$R \cong r + f_{x,y} + \frac{d^2 \left((N_x - M_x)^2 + (N_y - M_y)^2 \right) + f_{x,y}^2}{2r} = R_0 + R_f, \quad (3.3)$$

где $R_0 = r + \frac{d^2 \left((N_x - M_x)^2 + (N_y - M_y)^2 \right)}{2r}$, $R_f = f_{x,y} + \frac{f_{x,y}^2}{2r}$.

С учетом равенств (3.2) и (3.3) комплексная амплитуда напряженности электрического поля отраженной волны может быть записана следующим образом [16]

$$\dot{E}_{M_x, M_y} = \sum_{N_y=1}^N \sum_{N_x=1}^N \dot{S}_{N_x, N_y} \frac{e^{ikR}}{r} = \sum_{N_y=1}^N \sum_{N_x=1}^N \dot{S}_{N_x, N_y} \frac{e^{ik(R_0 + R_f)}}{r}, \quad (3.4)$$

$$\dot{E}_{M_x, M_y} = \sum_{N_y=1}^N \sum_{N_x=1}^N \frac{e^{ikR_0}}{r} \dot{S}_{N_x, N_y} \frac{e^{ikR_f}}{r}, \quad (3.5)$$

где \dot{S}_{N_x, N_y} и $\dot{E}_{n,m}$ – двумерные массивы размерностью $N \times N$, r – расстояние между наблюдаемой поверхностью и поверхностью наблюдения.

Представим выражение (3.3) в виде произведения двух матриц [16]

$$\mathbf{G} = \mathbf{F} \times \mathbf{P} \quad (3.6)$$

Двумерный массив $\dot{p}_{N_x, N_y} = \dot{S}_{N_x, N_y} \frac{e^{-ikR}}{r}$ преобразуется в матрицу P размером $N^2 \times 1$

$$P = \frac{(\dot{p}_{1,1} \ \dot{p}_{1,2} \ \dots \ \dot{p}_{1,N} \ \dot{p}_{2,1} \ \dot{p}_{2,2} \ \dots \ \dot{p}_{N,N})^T}{r}$$

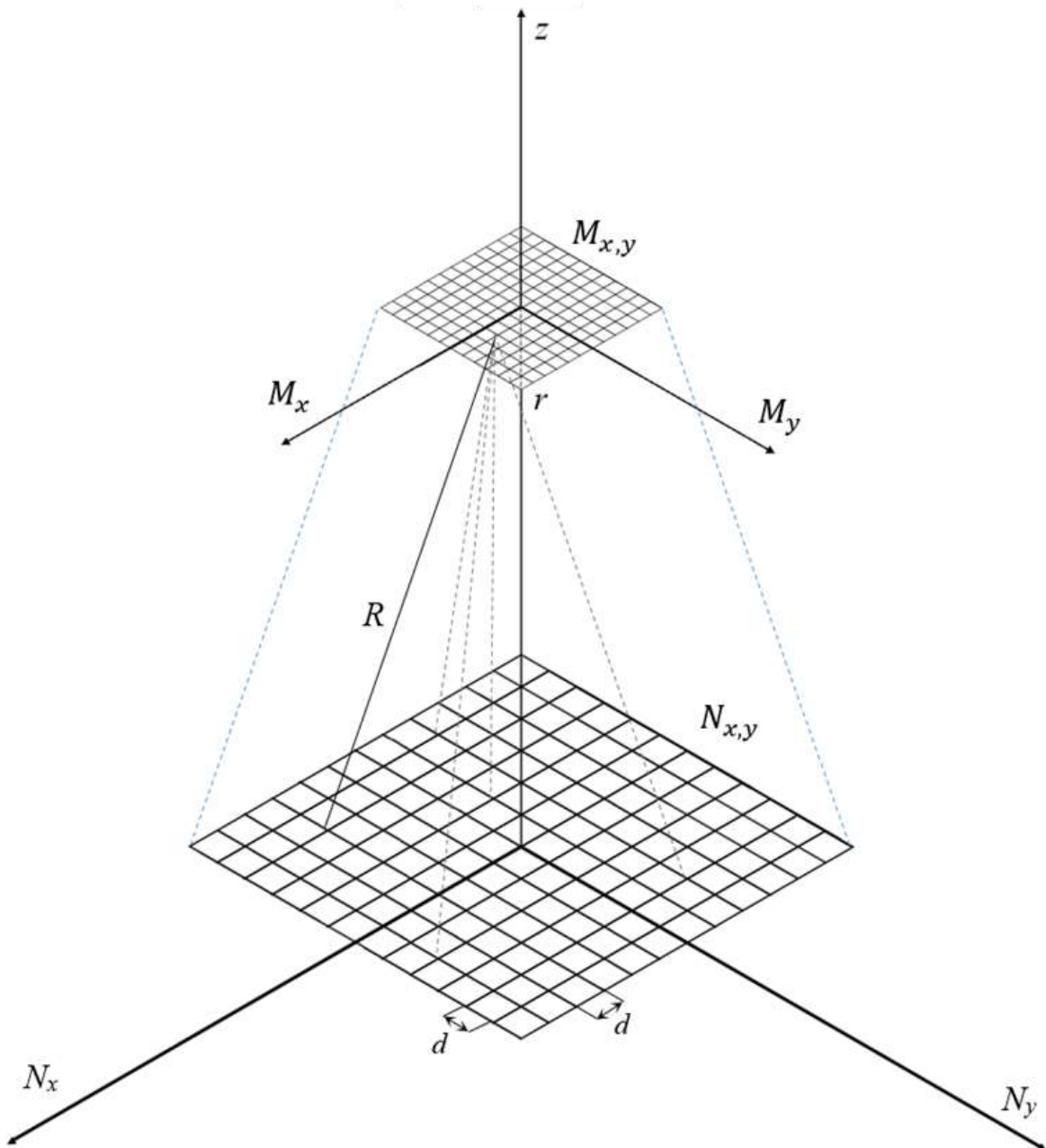


Рисунок 29 – Взаимное расположение объектов и плоскости наблюдения отраженного от объектов электромагнитного поля

Матрица \mathbf{F} содержит элементы $f_{n,m}^{N_x, N_y} = e^{\frac{ikd^2((N_x-m)^2 + (N_y-n)^2)}{2r}}$

$$F = \begin{pmatrix} \phi_{-1,1}^{1,1} & \phi_{-1,1}^{1,2} & \dots & \phi_{-1,1}^{1,N} & \phi_{-1,1}^{2,1} & \phi_{-1,1}^{2,2} & \dots & \phi_{-1,1}^{N,N} \\ \phi_{-1,2}^{1,1} & \phi_{-1,2}^{1,2} & \dots & \phi_{-1,2}^{1,N} & \phi_{-1,2}^{2,1} & \phi_{-1,2}^{2,2} & \dots & \phi_{-1,2}^{N,N} \\ \vdots & \vdots & & \vdots & \vdots & \vdots & & \vdots \\ \phi_{-1,N}^{1,1} & \phi_{-1,N}^{1,2} & \dots & \phi_{-1,N}^{1,N} & \phi_{-1,N}^{2,1} & \phi_{-1,N}^{2,2} & \dots & \phi_{-1,N}^{N,N} \\ \phi_{-2,1}^{1,1} & \phi_{-2,1}^{1,2} & \dots & \phi_{-2,1}^{1,N} & \phi_{-2,1}^{2,1} & \phi_{-2,1}^{2,2} & \dots & \phi_{-2,1}^{N,N} \\ \phi_{-2,2}^{1,1} & \phi_{-2,2}^{1,2} & \dots & \phi_{-2,2}^{1,N} & \phi_{-2,2}^{2,1} & \phi_{-2,2}^{N,N} & \dots & \phi_{-2,2}^{N,N} \\ \vdots & \vdots & & \vdots & \vdots & \vdots & & \vdots \\ \phi_{-N,N}^{1,1} & \phi_{-N,N}^{1,2} & \dots & \phi_{-N,N}^{1,N} & \phi_{-N,N}^{2,1} & \phi_{-N,N}^{2,2} & \dots & \phi_{-N,N}^{N,N} \end{pmatrix} \frac{1}{r}$$

Решение обратной задачи, т.е. определение матрицы \mathbf{P} , элементы которой характеризуются функцией рассеяния объекта \dot{S}_{N_x, N_y} , сводится к решению системы линейных алгебраических уравнений следующего вида [16]:

$$\mathbf{F} \times \mathbf{P} = \mathbf{G} \quad (3.7)$$

В уравнении (3.5) матрица \mathbf{F} рассчитывается из соотношения (3.6) при заданных величинах r и d , определяющих взаимное положение объекта и точек наблюдения отраженного поля. Матрица \mathbf{G} размером $N^2 \times 1$ образуется из массива комплексных значений отраженного поля $\dot{E}_{n,m}$ (3.3). Для решения системы уравнений (3.7) воспользуемся алгоритмом LU – разложения [16]:

$$\mathbf{F} = \mathbf{L} \times \mathbf{U} \quad (3.8)$$

где \mathbf{L} , \mathbf{U} – нижняя и верхняя треугольные матрицы.

Искомую матрицу \mathbf{P} , полученную в результате решения системы уравнений (3.8), преобразуем в квадратную матрицу размером $N \times N$.

Таким образом, по распределению отраженного поля (матрица \mathbf{G}), определяемого модулем и аргументом комплексной амплитуды напряженности электрического поля, можно восстановить исходную структуру поверхности.

Для оценки возможности восстановления структуры поверхности алгоритмом быстрого численного преобразования Гюйгенса – Френеля, произведена его реализация на языке Matlab. На рисунке 30 проиллюстрирована

структурная схема разработанной программы. Исходный код приведен в приложении Г.

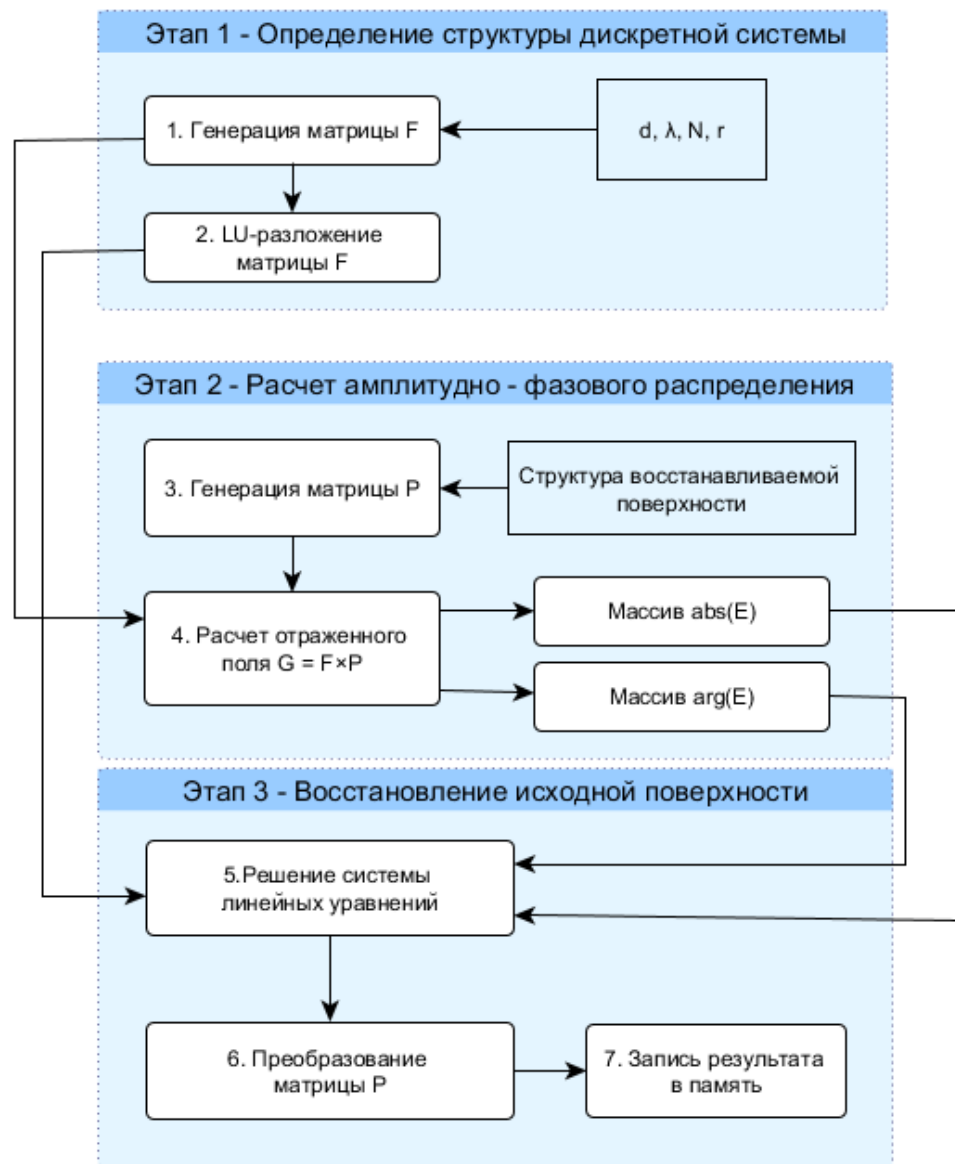


Рисунок 30 – Структурная схема алгоритма

Рассмотрим работу программы. На первом этапе выбираются параметры системы, и в соответствии с ними генерируется матрица F , а также производится ее LU – разложение.

Пусть $d = 0.1, \lambda = 0.03, N = 20, r = 1000$.

На втором этапе задается отражательная характеристика восстанавливаемой поверхности (рис. 31). Программа производит расчет отраженного поля, в

соответствии с формулой (2.6). Полученный результат вычисления распределения модуля и аргументов комплексной амплитуды напряженности представлен на рисунке 32.

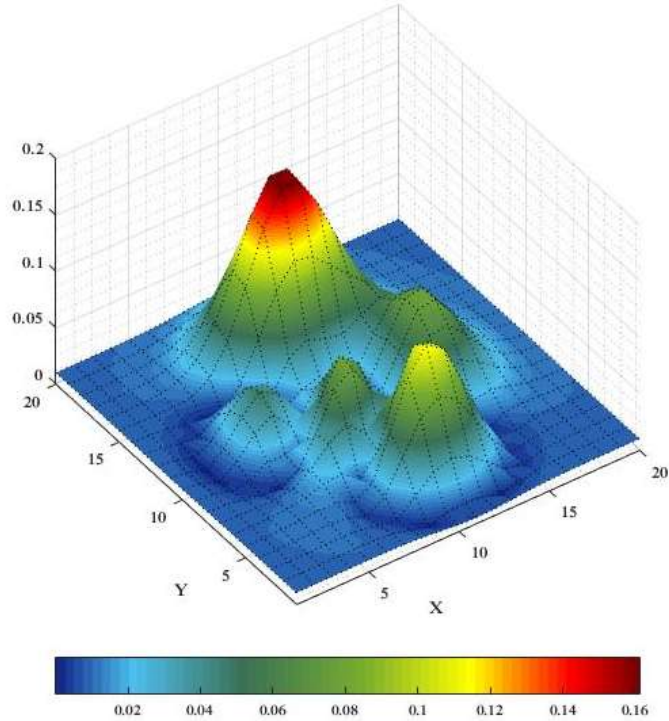


Рисунок 31 – Исходная восстанавливаемая поверхность (распределение характеристики отражения)

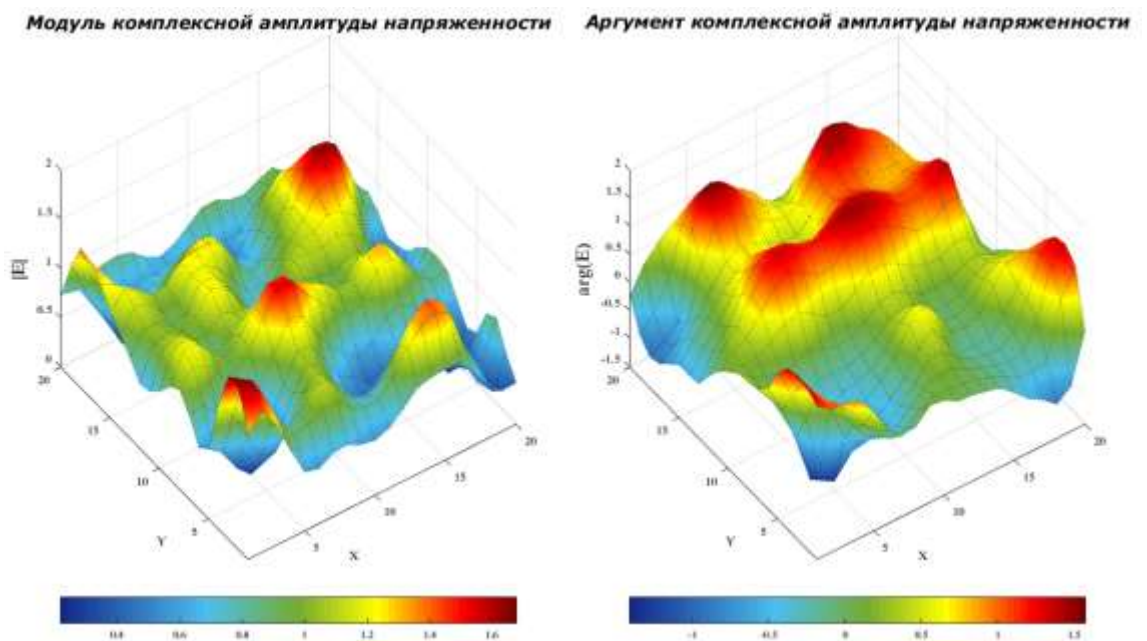


Рисунок 32 – Амплитудно-фазовое распределение

На третьем этапе программа решает систему линейных уравнений (2.7) – (2.8) и выполняет необходимые преобразования. Восстановленная исходная поверхность проиллюстрирована на рисунке 33.

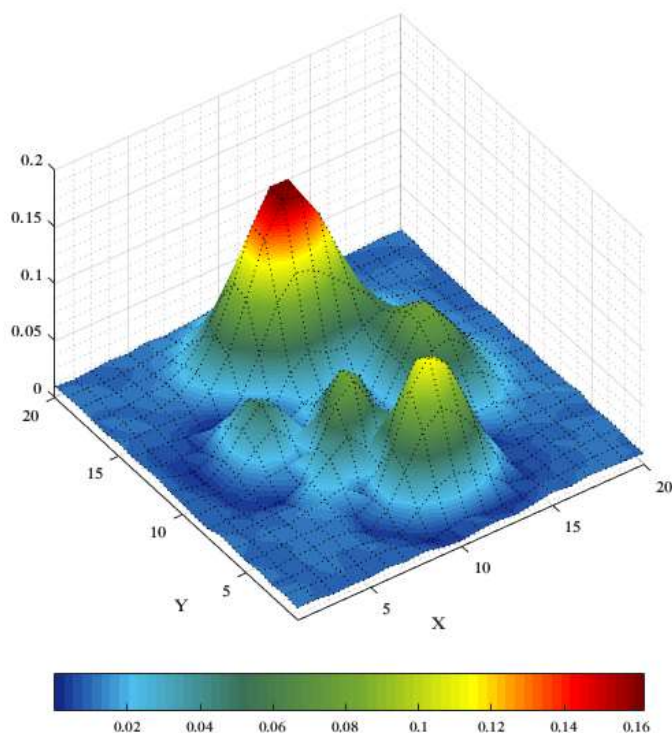


Рисунок 33 – Результат восстановления характеристики отражения поверхности

В результате работы программы была восстановлена поверхность, по всем геометрическим параметрам соответствующая исходной.

Полученный результат доказывает результативность рассматриваемого алгоритма, что открывает новые возможности для решения задачи по обнаружению и идентификации объектов наблюдения.

3.2 Определение координат объектов последствия авиационного происшествия, находящихся в пределах облучаемого участка поверхности, на основе алгоритма Гюйгенса-Френеля

Любой объект или группа объектов, попавшие в пределы пятна поверхности, облучаемой радиолокатором (в элемент разрешения), будут трактоваться как один объект (точечная цель). Классическая радиолокация не предлагает каких-либо методов разрешения для таких целей. Рассматриваемый метод, основанный на восстановлении поверхности алгоритмом быстрого численного преобразования Гюйгенса-Френеля, позволяет преодолеть это ограничение и не только разрешить несколько объектов, но и определять их координаты и матрицы рассеяния в пределах облучаемой площадки [2].

Для решения поставленной задачи определим последовательность действий. В соответствии с [3.1] на первом этапе необходимо произвести моделирование отражающей поверхности (где будут располагаться объекты наблюдения) для расчета комплексной напряженности электромагнитного поля. Данный этап является, так называемой «прямой задачей», в результате решения которой будет получено амплитудно-фазовое распределение, которое необходимо для дальнейшего исследования.

На втором этапе решается «обратная задача». Результатом решения станет восстановленная структура, заложенная при расчете амплитудно-фазового распределения на первом этапе. Результат такого решения не будет абсолютно точен, даже без внесения каких-либо искажений (будет определен машинной точностью и выбором параметров системы). На данном этапе необходимо оценить степень соответствия полученного результата структуре отражаемой поверхности, заложенной на первом этапе, и, в случае необходимости, скорректировать параметры системы (d, λ, N).

На третьем этапе производится работа непосредственно с восстанавливаемой структурой. Добавляются определенные искажения (шум) и производится оценка возможности обнаружения и идентификации объектов наблюдения.

3.2.1 Решение «прямой задачи» по определению амплитудно-фазового распределения отраженных от поверхности электромагнитных волн

Разделим наблюдаемую поверхность на 40×40 равных частей ($N = 40$). Примем $\lambda = 0.03$; $d = 0.05$. Каждому элементу $N_{x,y}$ в исходном поляризационном базисе соответствует матрица рассеяния следующего вида: $S_{x,y} = \begin{pmatrix} S_{11x,y} & S_{12x,y} \\ S_{12x,y} & S_{22x,y} \end{pmatrix}$.

Матрица рассеяния является самой общей характеристикой любой радиолокационной цели, описываемой в общем случае тремя комплексными числами [17, 57, 58].

Пусть в пределах облучаемой площадке на фоне подстилающей поверхности расположены три объекта наблюдения со следующими координатами и матрицами рассеяния:

$$\begin{aligned} N_1\{x, y\} &= \{[12 \dots 14], [23 \dots 25]\}, & S_{N_1\{x,y\}} &= \begin{pmatrix} 0.65 & 0.45 \\ 0.45 & 0.25 \end{pmatrix}; \\ N_2\{x, y\} &= \{[22 \dots 26], [27 \dots 31]\}, & S_{N_2\{x,y\}} &= \begin{pmatrix} 0.45 & 0 \\ 0 & 0.55 \end{pmatrix}; \\ N_3\{x, y\} &= \{[23 \dots 26], [10 \dots 12]\}, & S_{N_3\{x,y\}} &= \begin{pmatrix} 0.15 & 0.7 \\ 0.7 & 0.75 \end{pmatrix}. \end{aligned}$$

Элементы матриц рассеяния для фона заданы по нормальному закону:

$$S_{x,y} = \begin{pmatrix} 0.25 \pm 0.2 & 0.25 \pm 0.2 \\ 0.25 \pm 0.2 & 0.25 \pm 0.2 \end{pmatrix}.$$

Отражающая структура наблюдаемой поверхности показана на рисунке 34.

Пример полученного амплитудно-фазового распределения представлен на рисунке 35.

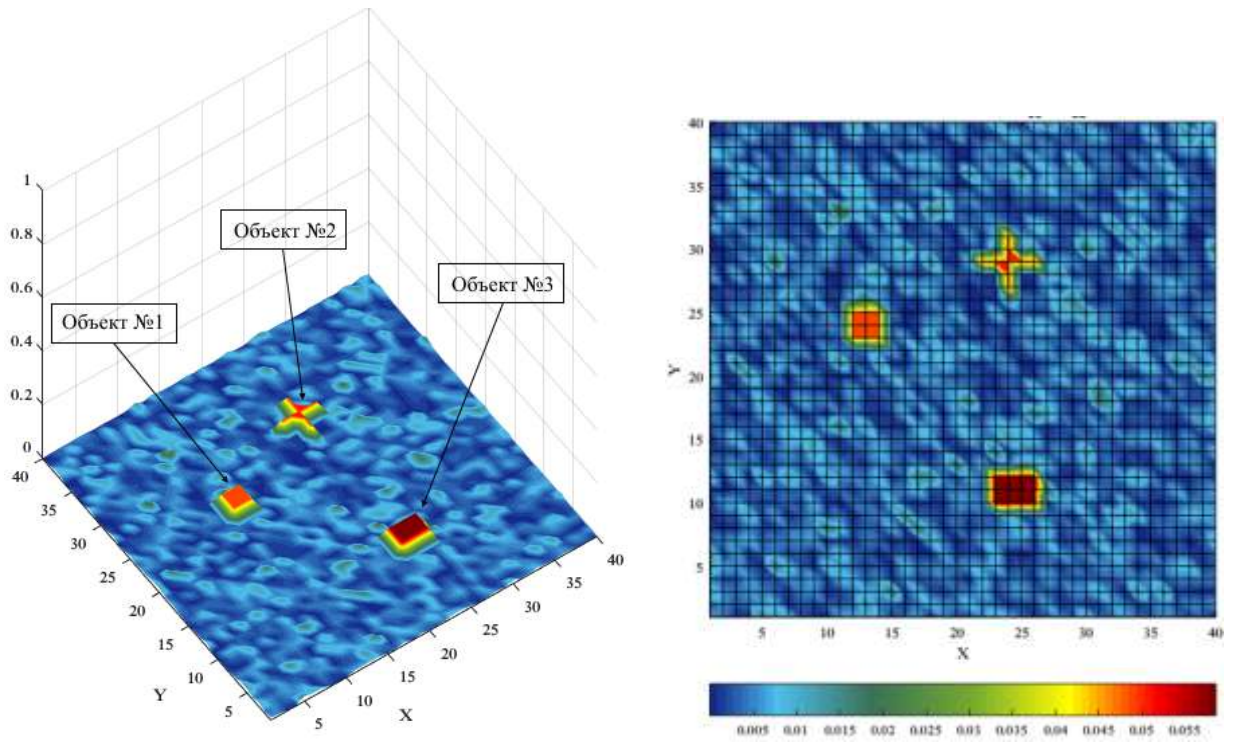


Рисунок 34 – Структура наблюдаемой поверхности $U_{x,y} = s_{11}^2 + s_{22}^2$

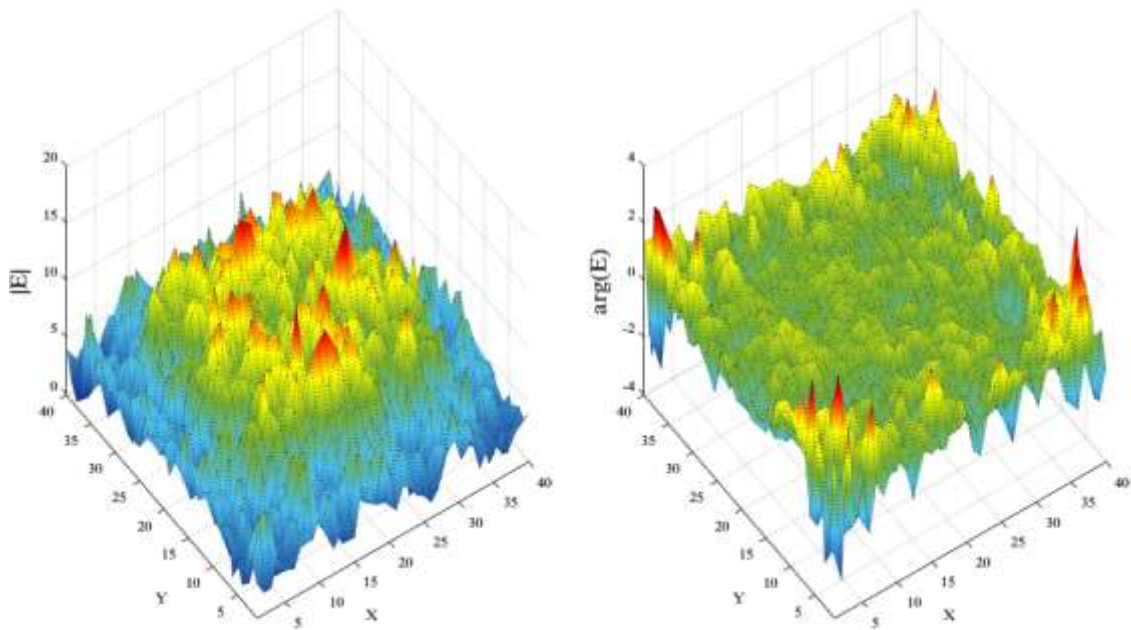


Рисунок 35 – Амплитудно-фазовое распределение

3.2.2. Решение «обратной задачи» по восстановлению облучаемой поверхности наблюдения

В литературе [13, 17] выведены соотношения, позволяющие по известным элементам в исходном поляризационном базисе и параметрам поляризации γ, ϕ получить их представление в произвольном:

$$\begin{aligned} s_{11}e^{-2i\phi} &= e^{2i\eta}e^{2i\phi_{xy}}(\lambda_1e^{-2i\phi_{xy}}\cos^2\gamma + \lambda_2e^{2i\phi_{xy}}\sin^2\gamma); \\ s_{12}e^{-2i\phi} &= (-\lambda_1e^{-2i\phi_{xy}} + \lambda_2e^{2i\phi_{xy}})\sin\gamma\cos\gamma; \\ s_{22}e^{-2i\phi} &= e^{-2i\eta}e^{-2i\phi_{xy}}(\lambda_1e^{-2i\phi_{xy}}\sin^2\gamma + \lambda_2e^{2i\phi_{xy}}\cos^2\gamma). \end{aligned} \quad (3.9)$$

В соответствии с (3.9) на рисунке 36 проиллюстрирован результат наблюдения поверхности на поляризации, определяемой параметрами $\gamma = \phi = 0$. На рисунке видно, что при наблюдении на s_{11} объект №3 не различим на фоне подстилающей поверхности, в то время как на s_{22} не различим объект №1. С учетом этого для улучшения обнаружения радиолокационных целей будем использовать обработку по специальным алгоритмам, описанным в [14, 15] (например $S_{\Sigma} = s_{11}^2 + s_{22}^2$). Результат такой обработки приведен на рисунке 37.

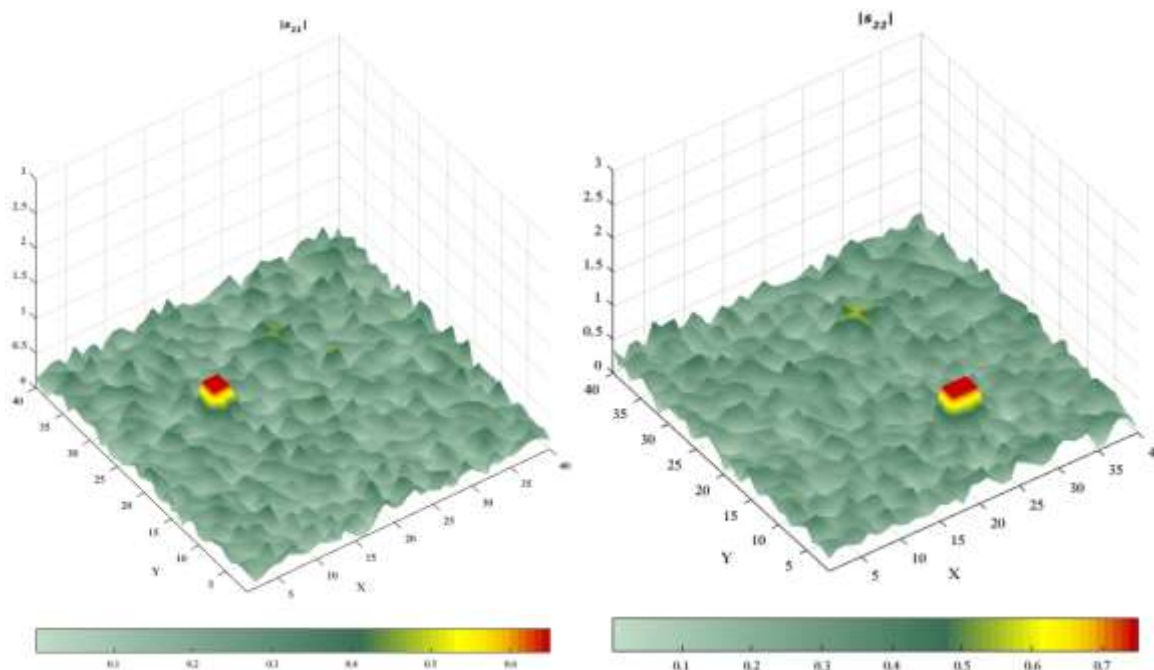


Рисунок 36 – Результат наблюдения в режимах s_{11} и s_{22} при $\gamma = \phi = 0$

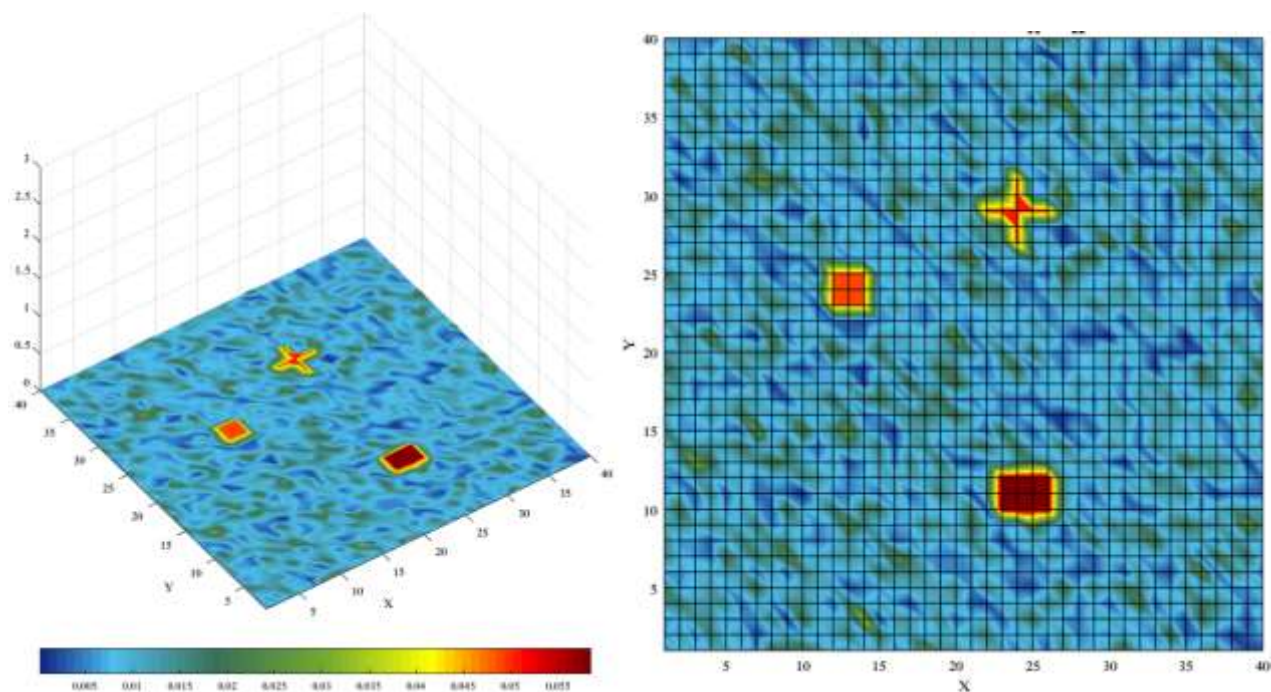


Рисунок 37 – Результат обработки радиолокационного изображения

Как видно из рисунка 37, местоположение обнаруженных объектов наблюдения соответствует истинным значениям, заложенным на начальном этапе моделирования, с погрешностью, определяемой машинной точностью, что подтверждает результативность алгоритма.

3.2.3. Определение координат объектов, находящихся в пределах облучаемого участка поверхности при наличии шумовых искажений

Известно, что эффективность работы любого приемного устройства малых сигналов в конечном счете определяется качеством выделения полезного сигнала на фоне собственных шумов приемника – его неизменного атрибута. Оценим работу полученного алгоритма при наличии шума.

На рисунке 38 показан результат радиолокационного наблюдения при отношении сигнал/шум $G_{S/N} \cong 15.6$ дБ. Шумовые амплитудные искажения сгенерированы по нормальному закону распределения со среднеквадратическим отклонением $\sigma = 0.1$.

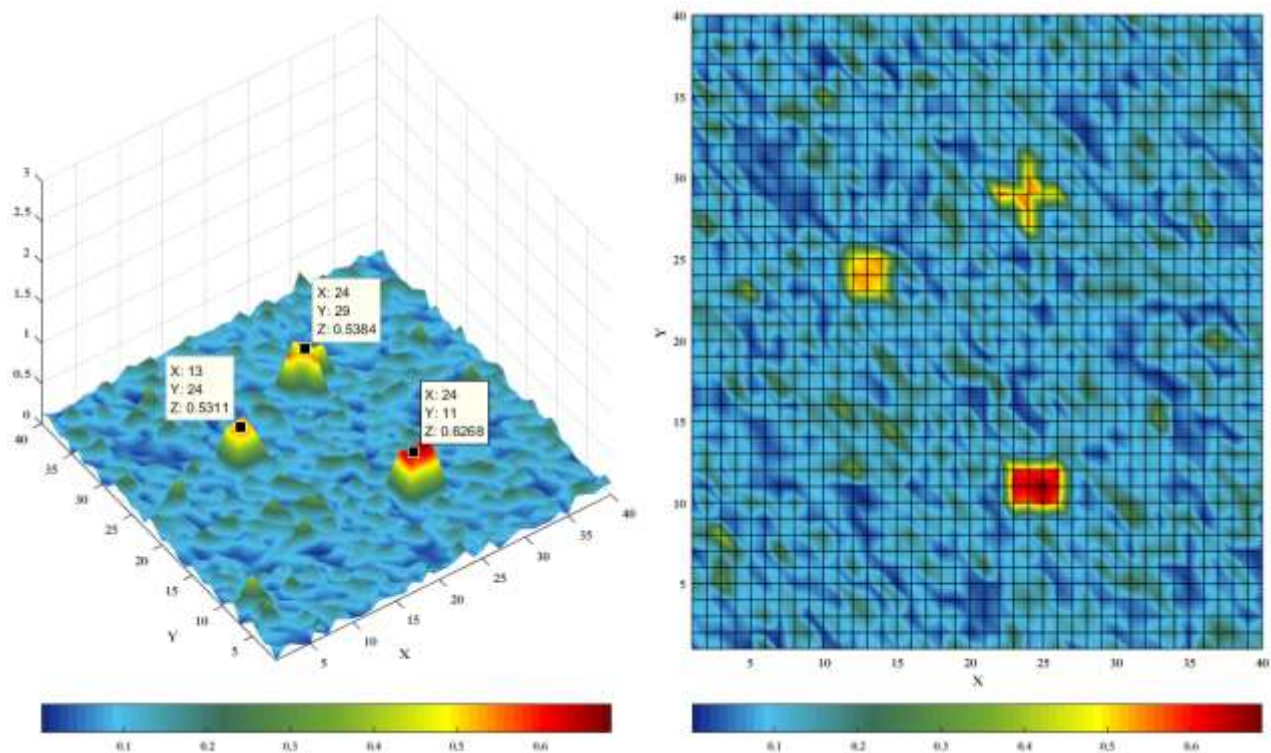


Рисунок 38 – Результат обработки радиолокационного изображения при отношении сигнал/шум $G_{S/N} \cong 15.6$ дБ

Из рисунка 38 видно, что добавленная шумовая помеха лишь незначительно «искривляет» цели, что не оказывает сильного влияние на результат обнаружения и определение координат.

Шумовая составляющая, снижающая отношение сигнал/шум до 9.5 дБ, вносит более серьезные искажения (рис. 39). Хотя цели все еще могут быть обнаружены, наблюдается появление выбросов (в точках с координатами XY: {36, 27}; {3, 8}), которые могут быть ошибочно интерпретированы как объекты наблюдения.

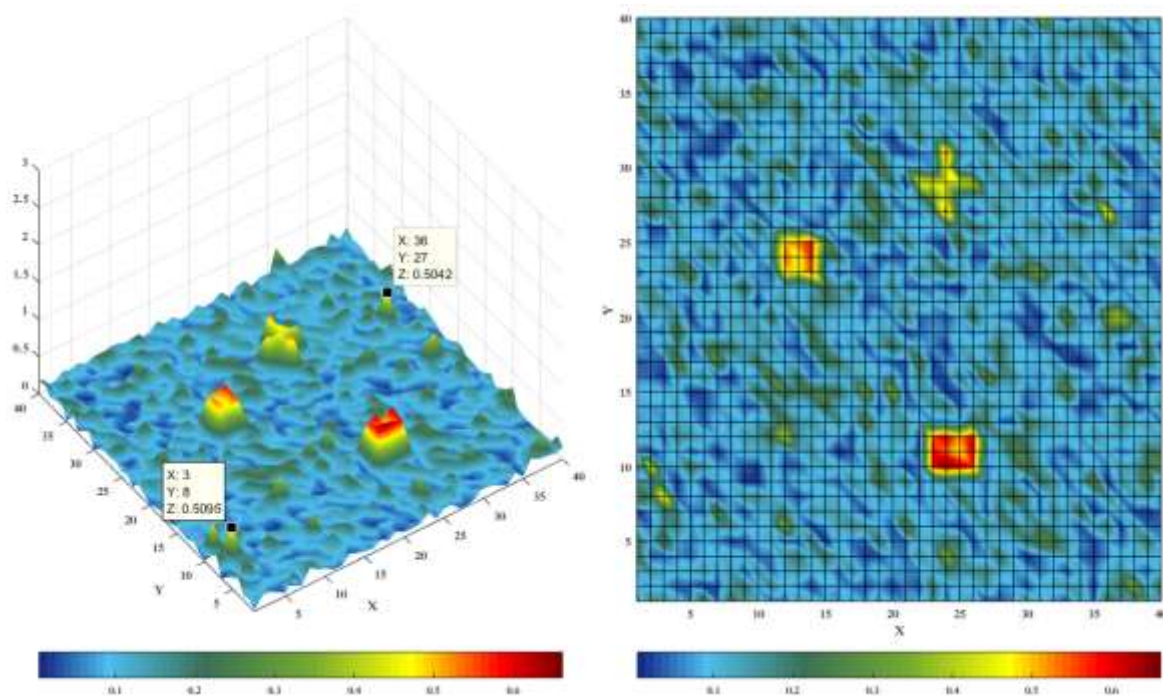


Рисунок 39 – Результат обработки радиолокационного изображения при отношении сигнал/шум $G_{S/N} \cong 9.5$ дБ

Из рисунка 40 видно, что при отношении сигнал/шум $G_{S/N} \cong 3.5$ дБ, объекты наблюдения начинают «сливаться» с фоном, что значительно уменьшает вероятность правильного обнаружения.

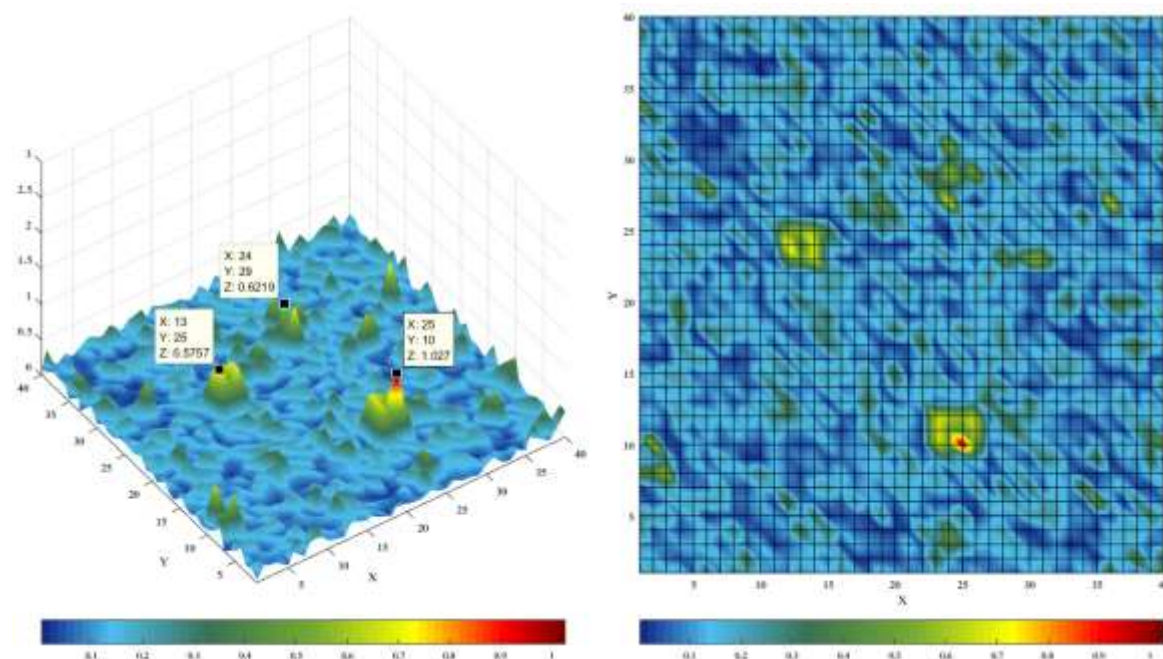


Рисунок 40 – Результат обработки радиолокационного изображения при отношении сигнал/шум $G_{S/N} \cong 3.5$ дБ

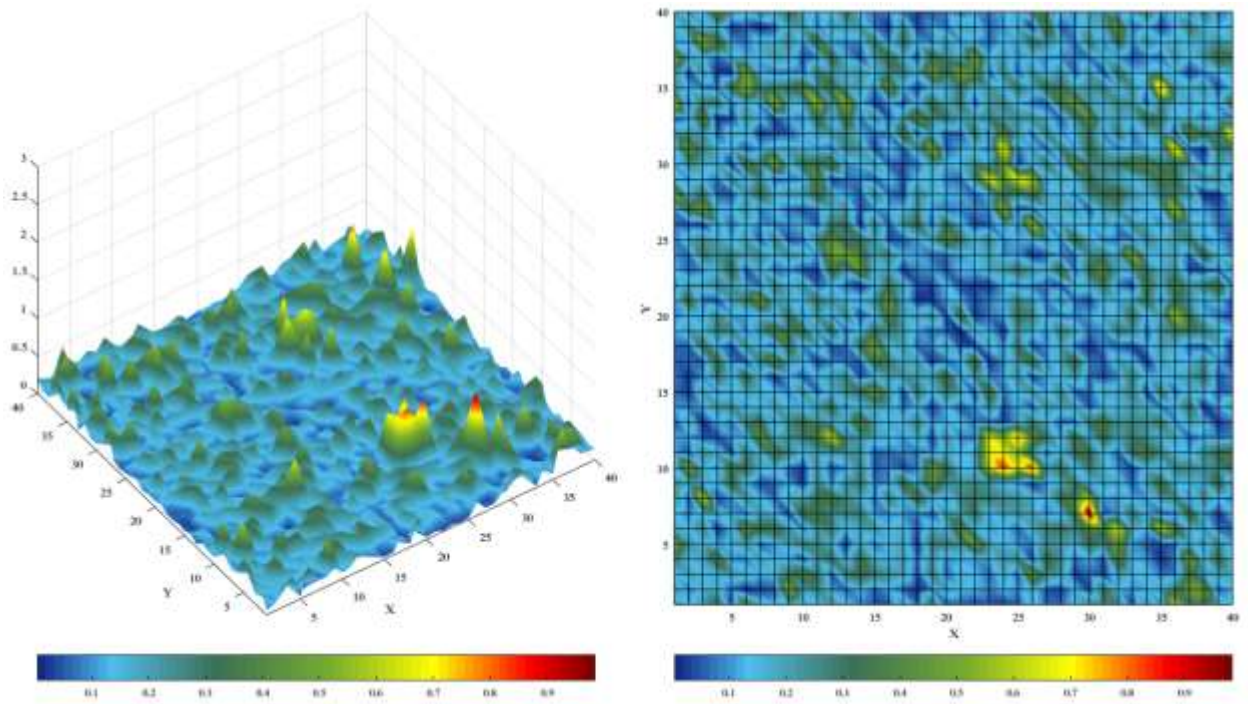


Рисунок 41 – Результат обработки радиолокационного изображения при отношении сигнал/шум $G_{S/N} \cong 0$ дБ

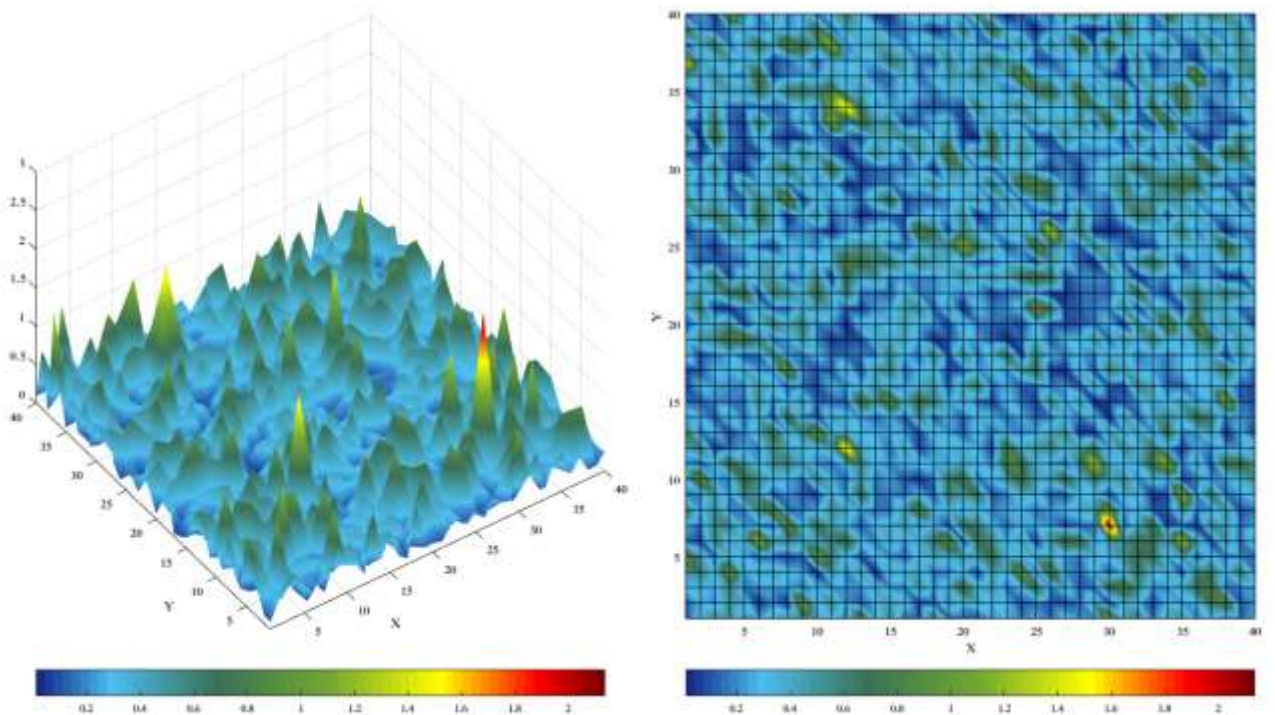


Рисунок 42 – Результат обработки радиолокационного изображения при отношении сигнал/шум $G_{S/N} \cong -4.4$ дБ

Иллюстрации на рис. 41, рис. 42 дают основание сделать заключение, что при отношении сигнал/шум $G_{S/N} < 0$ дБ обнаружение объектов наблюдение становится невозможным или маловероятным без использования каких-либо дополнительных методов.

3.2.4. Определение координат объектов при наличии шумовых искажений в режиме полного поляризационного сканирования

Известно, что большинство объектов наблюдения чувствительны к изменению вида поляризации облучающей их электромагнитной волны [14; 17], т.е. интенсивность отраженной волны меняется от вида поляризации. Выполняя полное поляризационное сканирование (ППС), всегда найдется такой вид поляризации, на которой приемное устройство зафиксирует максимальный сигнал от облучаемой цели. Причем для объектов наблюдения данный максимум будет значительно выше, чем для подстилающей поверхности. Данный факт позволяет говорить о возможности улучшения обнаружения объектов в режиме ППС (визуализация режима на сфере Пуанкаре показана на рисунок 43).

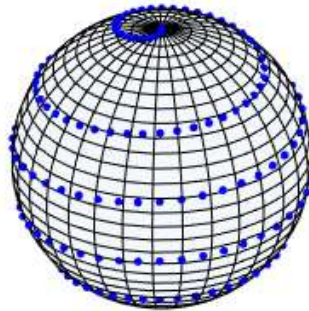


Рисунок 43 – Визуализация режима ППС на сфере Пуанкаре

На рисунке 44 проиллюстрирован результат обработки радиолокационного изображения, полученного в режиме ППС, при отношении сигнал/шум $G_{S/N} \cong 0$ дБ. Обработка производилась путем накопления получаемых радиолокационных изображений на поляризациях, отмеченных синими точками на сфере Пуанкаре (рис. 43) [14, 17]. Параметры γ, φ для каждой поляризации приведены в приложении Д.

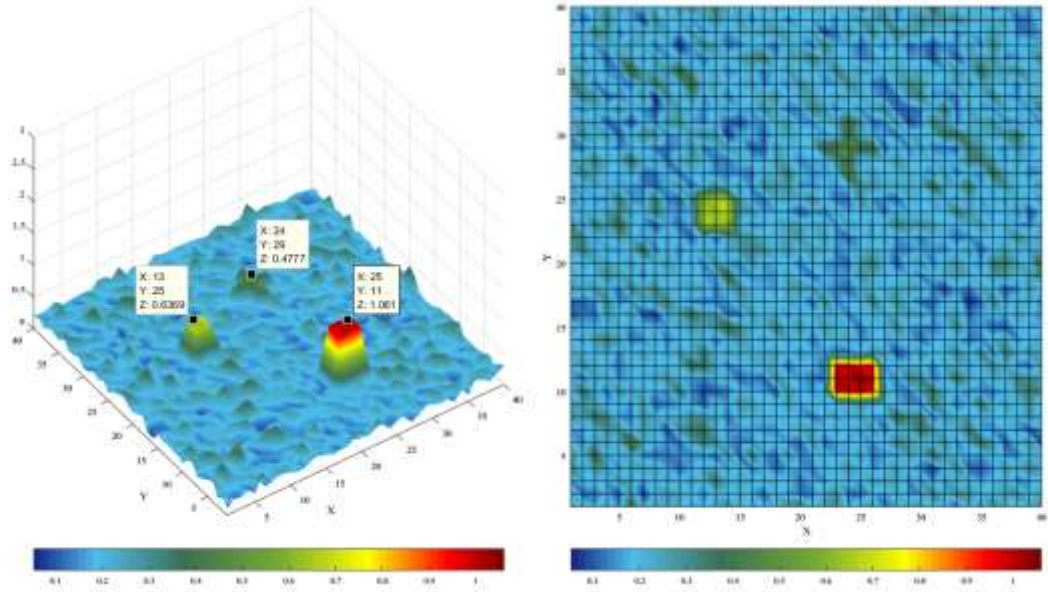


Рисунок 44 – Результат обработки радиолокационного изображения при отношении сигнал/шум $G_{S/N} \cong 0$ дБ в режиме ППС

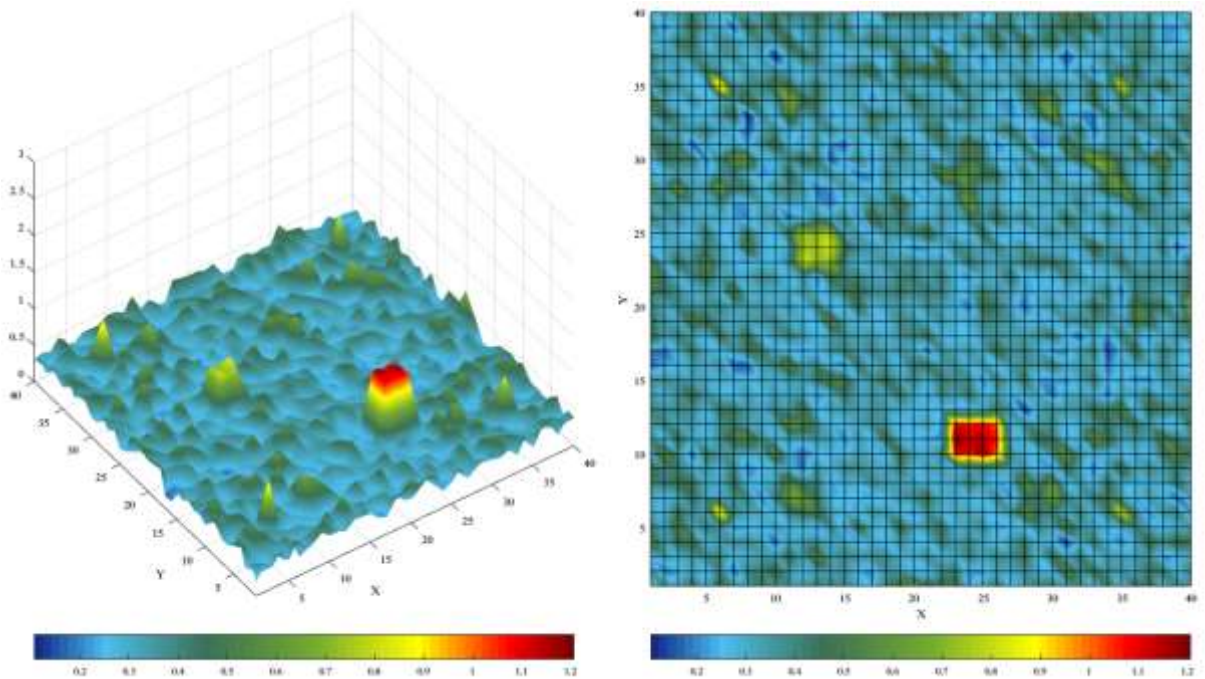


Рисунок 45 – Результат обработки радиолокационного изображения при отношении сигнал/шум $G_{S/N} \cong -4.4$ дБ в режиме ППС

Как видно из рис. 44, рис. 45, режим ППС открывает возможность для дальнейшего обнаружения объектов наблюдения и определению их координат при отношениях сигнал/шум $G_{S/N} < 0$ дБ.

3.3. Определение матриц рассеяния обнаруженных объектов наблюдения

Решение задачи по определению характеристик отраженной радиоволны от подстилающей поверхности сводится к определению матрицы рассеяния и ее зависимости от угла падения. Как известно [13, 17, 57, 58], матрица рассеяния является наиболее общей характеристикой отражательных свойств радиолокационных целей, описываемых тремя комплексными числами.

В работах [13, 17] получены выражения, позволяющие определить матрицы рассеяния в некотором поляризационном базисе, когда в качестве исходного выбран произвольный:

$$\begin{aligned} q_{11} &= s_{11} e^{j(\Psi_{11}-2\varphi)} \cos(\gamma)^2 + s_{22} e^{j(\Psi_{22}+2\varphi)} \sin(\gamma)^2 + s_{12} \exp(\Psi_{12}) \sin(2\gamma) \\ q_{12} &= (-s_{11} e^{j(\Psi_{11}-2\varphi)} + s_{22} e^{j(\Psi_{22}+2\varphi)}) \frac{\sin(2\gamma)}{2} + s_{12} \exp(\Psi_{12}) \cos(2\gamma) \\ q_{22} &= s_{11} e^{j(\Psi_{11}-2\varphi)} \sin(\gamma)^2 + s_{22} e^{j(\Psi_{22}+2\varphi)} \cos(\gamma)^2 - s_{12} \exp(\Psi_{12}) \sin(2\gamma) \end{aligned} \quad (3.10)$$

При $s_{12} = 0$ равенства (3.10) переходят в (3.9).

Матрицы рассеяния имеют два инварианта [17]. Первый инвариант – сумма квадратов модулей элементов:

$$A = |s_{11}|^2 + |s_{22}|^2 + 2|s_{12}|^2 = \lambda_1^2 + \lambda_2^2 \quad (3.11)$$

Второй инвариант – это модуль ее определителя:

$$B = |\det S| = |s_{11}s_{22} - s_{12}^2| = \lambda_1\lambda_2 \quad (3.12)$$

Соотношения (3.10) позволяют по известной в каком-то базисе матрице рассеяния цели находить ее собственные значения:

$$\lambda_1 = \sqrt{\frac{A + \sqrt{A^2 - 4B^2}}{2}}; \quad \lambda_2 = \sqrt{\frac{A - \sqrt{A^2 - 4B^2}}{2}} \quad (3.13)$$

Рассмотрим случай, когда восстанавливаемая поверхность [3.2] разделена на 400 дискретных элементов ($N = 20$). Значения собственных матриц рассеяния для каждого элемента (за исключением тех на которых определены объекты

наблюдения) заданы случайной величиной, распределенной по нормальному закону: $S_{x,y} = \begin{pmatrix} 0.05 \pm 0.03 & 0.05 \pm 0.03 \\ 0.05 \pm 0.03 & 0.05 \pm 0.03 \end{pmatrix}$.

Пусть на восстанавливаемой поверхности находятся три объекта наблюдения. Собственные значения матриц рассеяния данных объектов приведены в таблице 9. Отношение сигнал/шум в исходном поляризационном базисе составляет 15 дБ.

Таблица 9 – Параметры объектов наблюдения

	<i>Координаты</i>	<i>Матрица рассеяния</i>
Объект №1	$x = 5, y = 5$	$S_1 = \begin{pmatrix} 0.5 \pm 0.03 & 0.3 \pm 0.03 \\ 0.3 \pm 0.03 & 0.2 \pm 0.03 \end{pmatrix}$
Объект №2	$x = 12, y = 5$	$S_2 = \begin{pmatrix} 0.3 \pm 0.03 & 0.4 \pm 0.03 \\ 0.4 \pm 0.03 & 0.6 \pm 0.03 \end{pmatrix}$
Объект №3	$x = 15, y = 10$	$S_3 = \begin{pmatrix} 0.45 \pm 0.03 & 0.1 \pm 0.03 \\ 0.1 \pm 0.03 & 0.5 \pm 0.03 \end{pmatrix}$

Восстановленная структура поверхности алгоритмом Гюйгенса – Френеля [3.2] в исходном поляризационном базисе представлена на рисунке 4б.

Задача состоит в том, чтобы по изменению восстанавливаемой поверхности при поляризационном сканировании определять собственные значения матриц рассеяния.

Сформулируем основные положения, позволяющие решить поставленную задачу. Для получения численного решения необходимо:

1. Произвести поляризационное сканирование. Получить массивы значений q_{11}, q_{12}, q_{22} на основе разработанной методики [3.2].
2. Определить вид поляризации $(\varphi_{q_{12_{min}}}, \gamma_{q_{12_{min}}})$ на которой q_{12} минимально ($q_{12} \rightarrow 0$).
3. Получить значения q_{11}, q_{22} на поляризации $(\varphi_{q_{12_{min}}}, \gamma_{q_{12_{min}}})$ и определить инварианты λ_1, λ_2 матриц рассеяния, в соответствии с (3.11 – 3.13).

4. Произвести расчет собственных значений элементов матриц рассеяния, в соответствии с формулами (3.9).

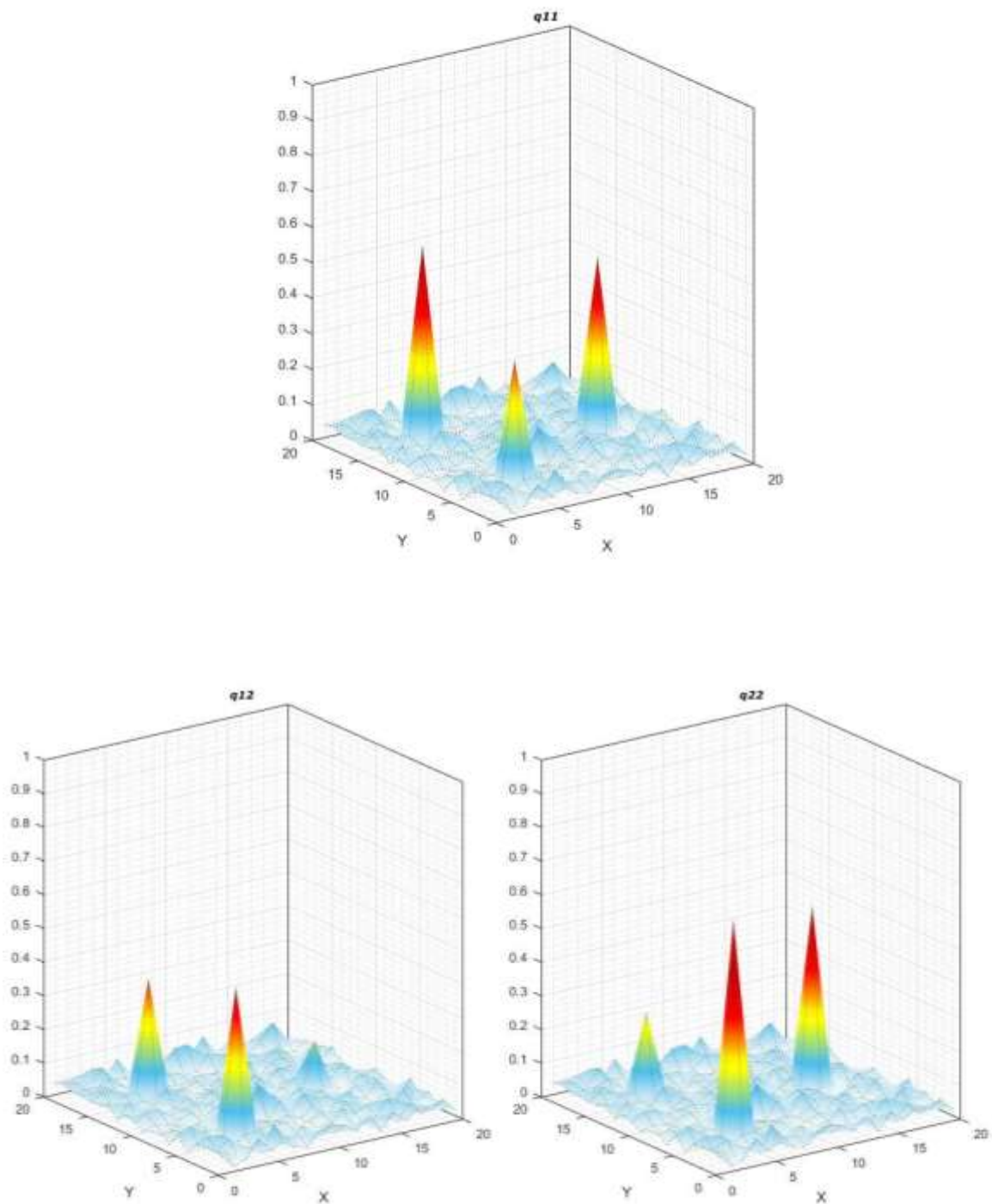


Рисунок 46 – Восстановленная поверхность в исходном поляризационном базисе

В соответствии с приведенными положениями разработана программа на языке Matlab, решающая поставленную задачу (приложение Г). Алгоритм программы представлен на рисунке 47.

На этапах 1 – 3 в программе реализуется алгоритм быстрого численного преобразования Гюйгенса – Френеля:

- выбираются параметры системы d , λ , N , r и в соответствии с ними рассчитывается матрица F (при неизменных параметрах рассчитывается однократно);

- выполняется LU – разложение матрицы, необходимое для решения системы линейных уравнений на 5 этапе (для увеличения быстродействия выполняется однократно при неизменных параметрах системы);

- генерируется матрица P , в соответствии со структурой восстанавливаемой поверхности, элементы которой определены матрицами рассеяния вида $S_{i,j} = \begin{pmatrix} S_{11i,j} & S_{12i,j} \\ S_{12i,j} & S_{22i,j} \end{pmatrix}$, и подвергаются конгруэнтному преобразованию в зависимости от вида поляризации, определяемой параметрами φ , γ ;

- рассчитывается отраженное поле, определяемое матрицей G , и формируются массивы, содержащие значение модуля ($\text{abs}(\dot{E})$) и аргумента ($\text{arg}(\dot{E})$) комплексной напряженности электромагнитного поля;

- решается система линейных уравнений $G = F \cdot P$. Производится преобразование найденной матрицы P в квадратную $N \times N$. Полученный результат сохраняется в буфер;

- после этих шагов изменяется вид поляризации (определяемой номером N_{polrz}) и процесс повторяется, до тех пор, пока не будет закончено поляризационное сканирование ($N_{polrz} = Polrz_{max}$).

На этапе 4, в соответствии с (3.11) – (3.13), определяются инварианты матриц рассеяния для каждого элемента структуры восстановленной поверхности.

На последнем этапе по формулам (3.9) рассчитываются собственные значения элементов матриц рассеяния.

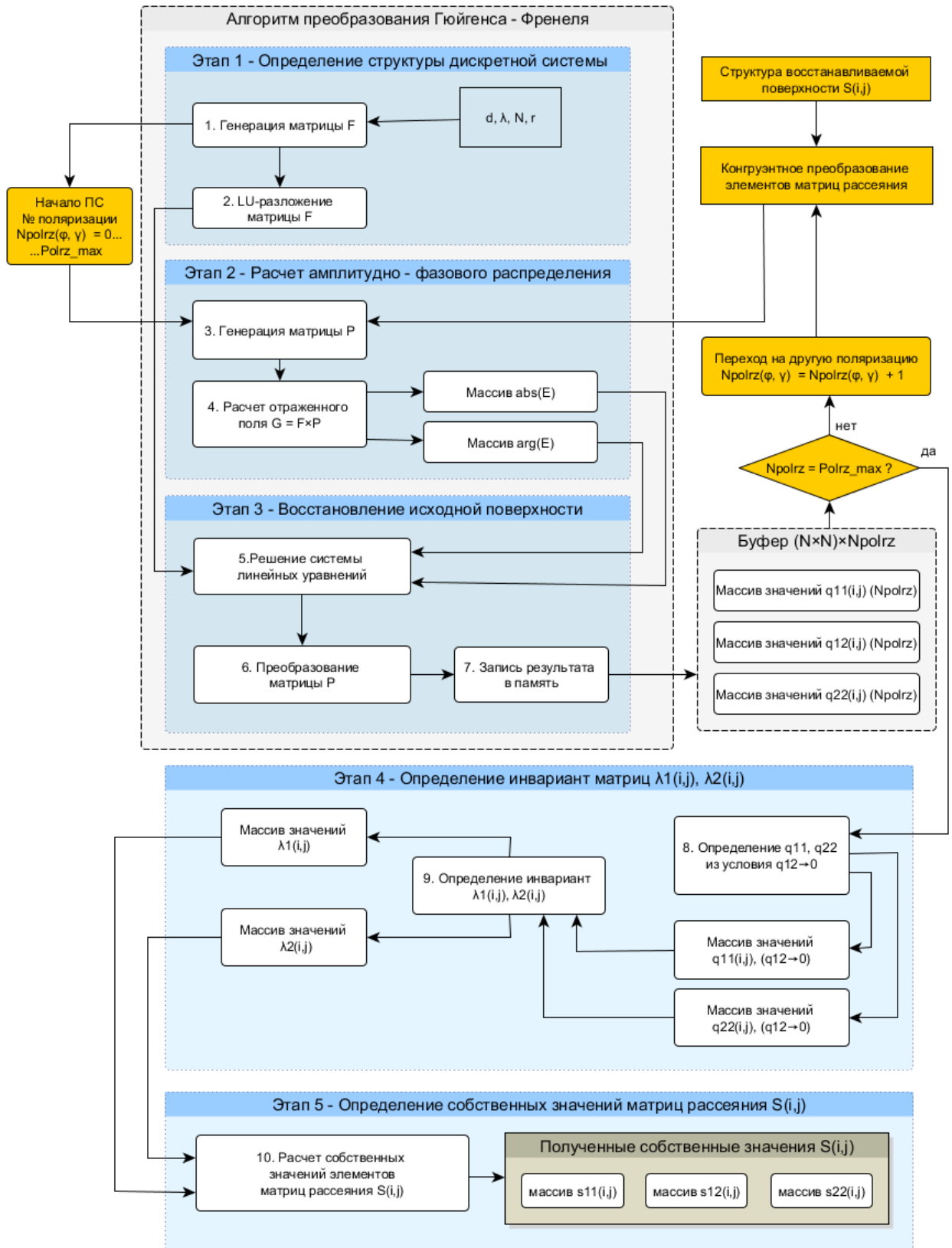


Рисунок 47 – Структурная схема алгоритма определения собственных значений матриц рассеяния

Рассмотрим подробнее процесс определения собственных значений матриц рассеяния на примере конкретного элемента поверхности (объект наблюдения №1).

1. Путем осуществления поляризационного сканирования (виды поляризации приведены в приложении Г) были получены массивы значений q_{11} , q_{12} , q_{22} .
2. Поляризация, на которой значение q_{12} было минимально, определена параметрами $\varphi_{q_{12_{min}}} = 0$, $\gamma_{q_{12_{min}}} = 3.7$ (рисунок 48).
3. Значения $\lambda_1 = 0.685$, $\lambda_2 = 0.015$.
4. Воспользовавшись формулами (3.9) получим:

$$s_{11} = 0.497, s_{12} = 0.301, s_{22} = 0.203.$$

Таким образом, собственная матрица рассеяния для цели №1:

$$S_1 = \begin{pmatrix} 0.497 (\delta = 0.6\%) & 0.301 (\delta = 0.5\%) \\ 0.301 (\delta = 0.5\%) & 0.203 (\delta = 1.4\%) \end{pmatrix},$$

где δ = относительная ошибка.

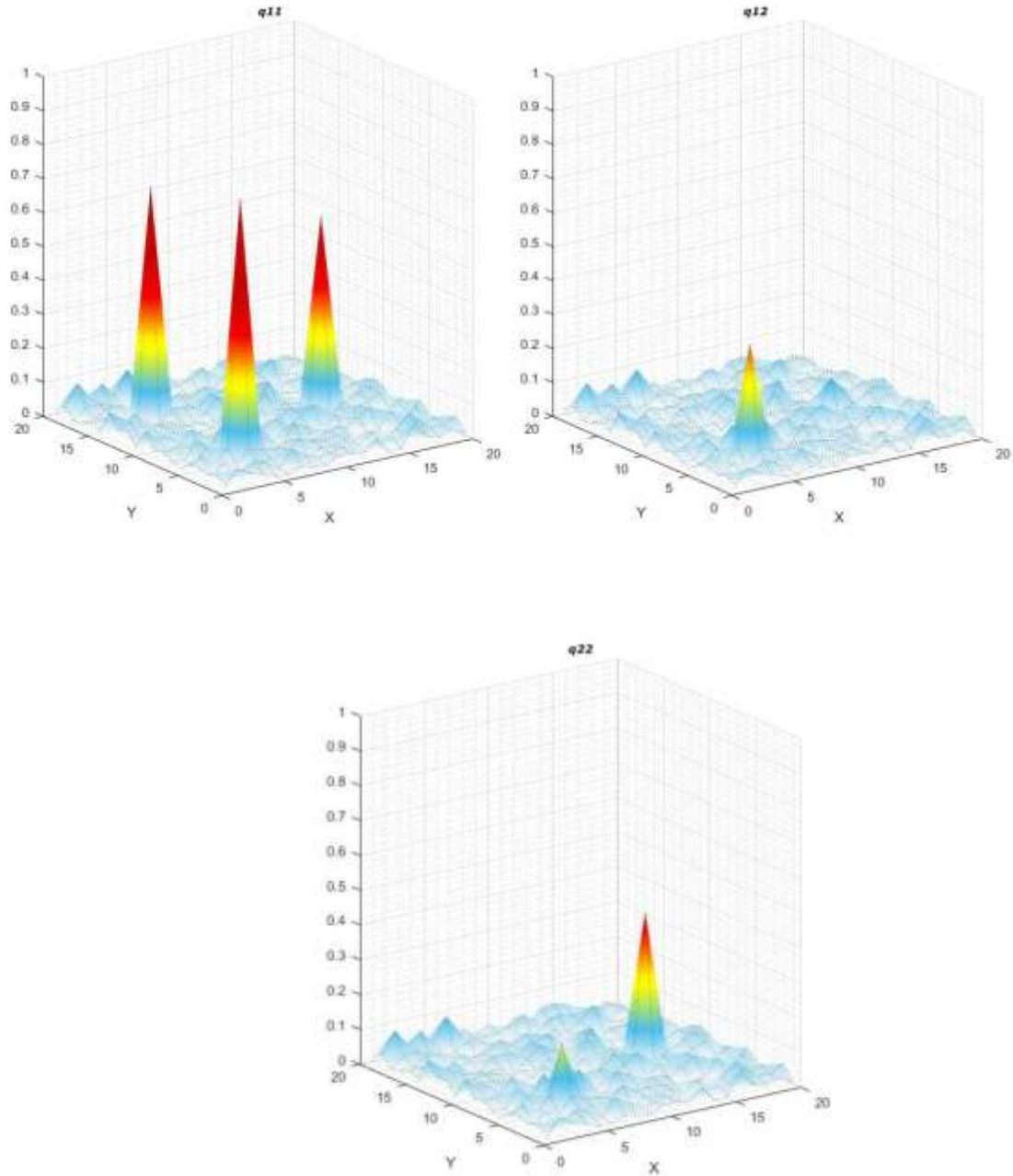
Аналогичным образом матрицы рассеяния могут быть определены для любого элемента структуры восстанавливаемой поверхности.

На рис. 48 показан снимок момента, когда q_{12} минимальна для объекта №2 и №3. Ниже приведены рассчитанные программой значения собственных матриц рассеяния для второй и третьей цели.

$$\text{Объект №2: } S_2 = \begin{pmatrix} 0.305 (\delta = 1.7\%) & 0.402 (\delta = 0.5\%) \\ 0.402 (\delta = 0.5\%) & 0.595 (\delta = 0.9\%) \end{pmatrix};$$

$$\text{Объект №3: } S_3 = \begin{pmatrix} 0.452 (\delta = 0.4\%) & 0.1 (\delta = 0.4\%) \\ 0.1 (\delta = 0.4\%) & 0.498 (\delta = 0.3\%) \end{pmatrix}.$$

В соответствии с полученными результатами, рассматриваемый метод, основанный на восстановлении структуры поверхности алгоритмом быстрого численного преобразования Гюйгенса – Френеля, позволил определить собственные значения матриц рассеяния с погрешностью не более 1.7% (при отношении сигнал/шум 15 дБ).



Цель №1 $\phi = 0^\circ (0)$ $\gamma = 212^\circ (3.7)$

$s_{11} = 0.5$ $s_{12} = 0.3$ $s_{22} = 0.2$	$q_{11} = 0.685$ $q_{12} = 0.003$ $q_{22} = 0.015$	$A_{inv} = 0.47; B_{inv} = 0.01$ $\lambda_1 = 0.685; \lambda_2 = 0.015$
$s_{11} = 0.497$ $s_{12} = 0.301$ $s_{22} = 0.203$	$\delta_{11} = 0.6$ $\delta_{12} = 0.5$ $\delta_{22} = 1.4$	$s_{11} = 0.497$ $s_{12} = 0.301$ $s_{22} = 0.203$
	$\delta_{11} = 0.6$ $\delta_{12} = 0.5$ $\delta_{22} = 1.4$	$\delta_{11} = 0.6$ $\delta_{12} = 0.5$ $\delta_{22} = 1.4$

Рисунок 48 – К вопросу об определении матриц рассеяния для цели №1 ($q_{12} = 0$)

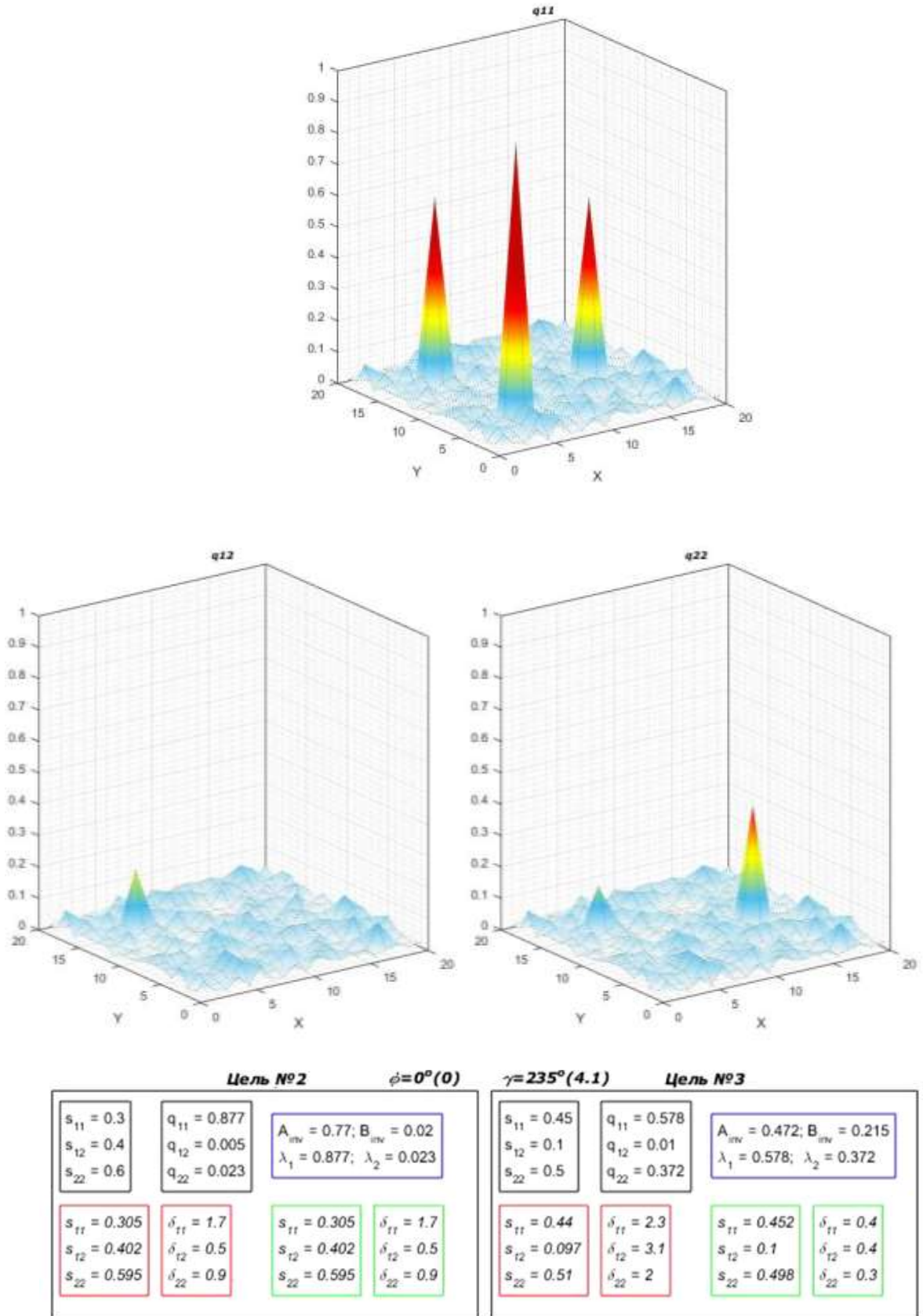


Рисунок 49 - Восстановленная поверхность, наблюдаемая на q_{11}, q_{12}, q_{22} (для целей №2, №3, $q_{12} = 0$)

3.4 Выводы по главе 3

Основные результаты, полученные в главе 3 заключаются в следующем:

1. Разработана *методика* пересчета АФР поля в пределах облучаемого участка поверхности земли в АФР вблизи антенны («Методика пересчета»), опирающуюся на алгоритм Гюйгенса-Френеля, дающая дополнительные *возможности по различению и детализации наземных объектов в пределах элемента разрешения на поверхности земли.*

2. Разработан *метод различения наземных объектов, находящихся в пределах элемента разрешения*, опирающийся на знание амплитудно-фазового распределения, базирующийся на восстановлении облучаемой структуры поверхности алгоритмом быстрого численного преобразования Гюйгенса-Френеля.

3. Разработан *алгоритм определения координат наземных объектов, находящихся внутри элемента разрешения РЛС.*

4. Проведена машинная *экспериментальная проверка возможности определения местоположения объектов наблюдения внутри элемента разрешения.* Показана возможность их обнаружения и определение координат при отношениях сигнал/шум $G_{S/N} > -4$ дБ.

5. Разработана *методика* определения собственных значений матриц рассеяния близко расположенных слабоконтрастных наземных целей, дающий дополнительную возможность для *улучшения их идентификации.*

6. Произведен *машинный эксперимент* по определению собственных значений матриц рассеяния объектов наблюдения, *показавший совпадение определяемых собственных значений матриц рассеяния с фактическими значениями* при относительной погрешности, не превышающей 1,7%.

Полученные результаты позволяют сформулировать следующие **выводы**:

1. Разработанная «Методика пересчета» дает возможность различать и детализировать объекты, линейные размеры которых существенно меньше элемента разрешения.

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 метра.

2. Использование для обнаружения объектов последствия АП на фоне земной поверхности пространственно-временной обработки сигнала в режиме полного поляризационного сканирования дает 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 АП на основе определения инвариантов их матриц рассеяния, вплоть до мелких объектов, таких как детали двигателя, элементы шасси, а также пассажирские кресла и багаж.

3. Применение режима ППС при расследовании авиационных происшествий с целью последующей их классификации и идентификации позволяет **существенно снизить** вероятность ошибки опознавания объекта наблюдения по сравнению с существующими оперативными дистанционными методами зондирования подстилающих покровов, тем самым повышая эффективность работы наземных поисковых бригад.

4. Предложенные методы пространственно-временной обработки сигнала **дают возможность:**

- Различать объекты АП и определять их местоположение в удаленных и труднодоступных местах, типа глухая тайга, болотистая местность, гористая местность.

- Производить идентификацию не ярких слабоконтрастных объектов АП, основанной на определении их собственных значений матриц рассеяния

- Производить классификацию объектов по типичному набору образов, характерных для самолета потерпевшего катастрофу.

ГЛАВА 4. РАЗРАБОТКА МЕТОДОВ И АЛГОРИТМОВ ОБНАРУЖЕНИЯ ОБЪЕКТОВ ПОСЛЕДСТВИЯ АВИАЦИОННОГО ПРОИСШЕСТВИЯ, ИХ ОКОНТУРИВАНИЕ, ДЕТАЛИЗАЦИЯ И КЛАССИФИКАЦИЯ МЕТОДАМИ РАДИОПОЛЯРИМЕТРИИ

4.1. Возможность обнаружения блестящих точек на поверхности объекта последствия авиационного происшествия в режиме полного поляризационного сканирования

В предыдущей главе были показаны возможности обнаружения и различение простейших элементарных объектов наблюдения, находящихся в пределах облучаемой площадки. Рассмотрим возможности предлагаемого метода, когда в качестве объекта последствия авиационного происшествия выступает сложный по структуре одиночный объект. В качестве такого объекта может выступать, например, самолет или некоторая его составная часть, образовавшаяся в результате катастрофы (крыло, обломок фюзеляжа, разрушенное в результате АП здание и т.п).

Рассмотрим случай, когда ОПАП представляет собой некоторую протяженную структуру, описываемую набором блестящих точек (БТ). В качестве исходной модели для контура данной структуры используем контур реального самолета из оптического изображения, приведенного на рисунке 50.

Пусть наблюдаемая поверхность представляет собой набор элементарных облучаемых площадок ($nE = 1...25$), каждая из которых (в соответствии с алгоритмом, рассмотренным в главе 3), разделена на $N \times N$ ($N=40$) равных

дискретных частей. Каждая точка поверхности (всего $nE \times N \times N = 40000$ точек)

характеризуется матрицей рассеяния вида $S_{nE_{x,y}} = \begin{pmatrix} S_{11_{x,y}} & S_{12_{x,y}} \\ S_{12_{x,y}} & S_{22_{x,y}} \end{pmatrix}$.

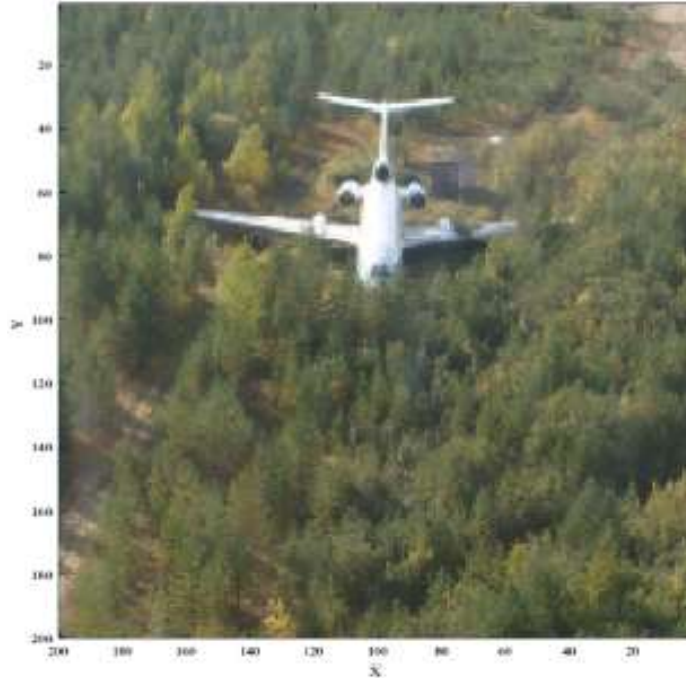


Рисунок 50 – Оптическое изображение самолета

В исходном поляризационном базисе объект последствия авиационного происшествия характеризуется в каждой точке на наблюдаемой поверхности матрицей рассеяния, элементы которой распределены по нормальному закону следующего вида:

$$S_{nE_{x(об),y(об)}} = \begin{pmatrix} 0.6 (\sigma = 0.12) & 0.4 (\sigma = 0.1) \\ 0.4 (\sigma = 0.1) & 0.5 (\sigma = 0.12) \end{pmatrix}.$$

Остальные элементы наблюдаемой поверхности (фон) определены аналогичным образом по нормальному закону распределения:

$$S_{nE_{x(фон),y(фон)}} = \begin{pmatrix} 0.4 (\sigma = 0.1) & 0.3 (\sigma = 0.1) \\ 0.3 (\sigma = 0.1) & 0.4 (\sigma = 0.1) \end{pmatrix}.$$

Элементы поверхности, интенсивность отражения от которых близка к значениям $I = \mu + 3\sigma$, будут представлять собой наиболее «яркие» точки на отражающей поверхности. Такие участки представляют собой, так называемые

«блестящие точки», характерные подавляющему большинству объектов [13, 17]. Блестящие точки позволяют получить максимальное значение интенсивности сигнала отраженной радиоволны при его поляризационном сканировании.

Произведем моделирование (см. листинг программы в приложении Г) режима полного поляризационного сканирования (по аналогии с 3.2). Поляризации, на которых производится наблюдения отмечены точками сфере Пуанкаре (рис. 51).

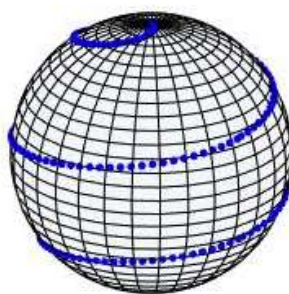


Рисунок 51 – Визуализация режима ППС на сфере Пуанкаре

В качестве порогового значения интенсивности принимаемого сигнала примем $V = 2.5$. Все значения, превышающие данный порог будут выделяться на радиолокационном изображении в градации красного цвета.

На рисунке 52 показан результат сканирования наблюдаемого участка поверхности на поляризации, характеризуемой параметрами $\gamma=0.4$, $\varphi=1.4$. Как видно никаких особых точек на данной поляризации отметить нельзя – структура изображения представляет собой один лишь шум.

На поляризации с параметрами $\gamma=3.3$, $\varphi=0.4$ можно увидеть три точки, превысившие пороговое значение (рис. 53).

Дальнейшее наблюдение позволяет обнаружить еще три блестящие точки (рис. 54). Также можно наблюдать небольшое проявление очертаний некоторого объекта.

На рисунке 55 изображен результат наблюдения на поляризации, характеризуемой параметрами $\gamma=0.6$, $\varphi=0.3$. На изображении отмечены самые яркие из обнаруженных БТ.

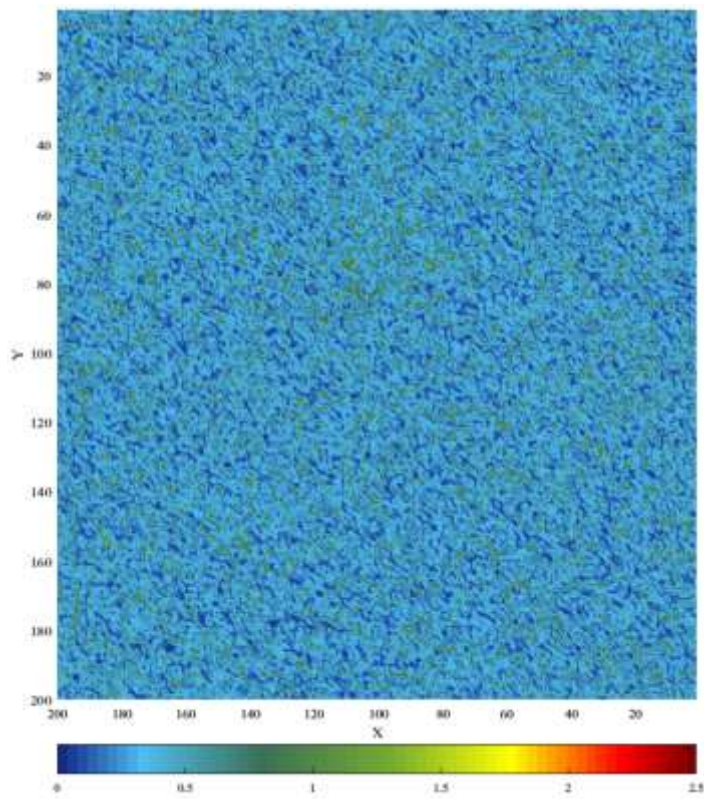


Рисунок 52 – Результат наблюдения на поляризации, с параметрами $\gamma=0.4$,
 $\varphi=1.4$

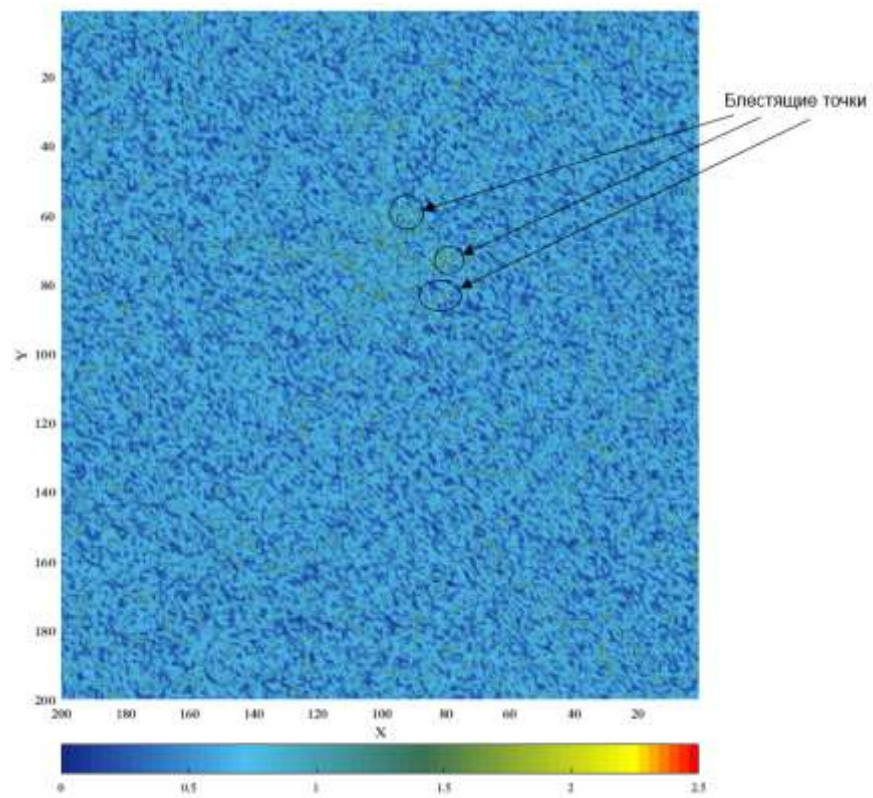


Рисунок 53 – Результат наблюдения на поляризации, с параметрами $\gamma=3.3$,
 $\varphi=0.4$

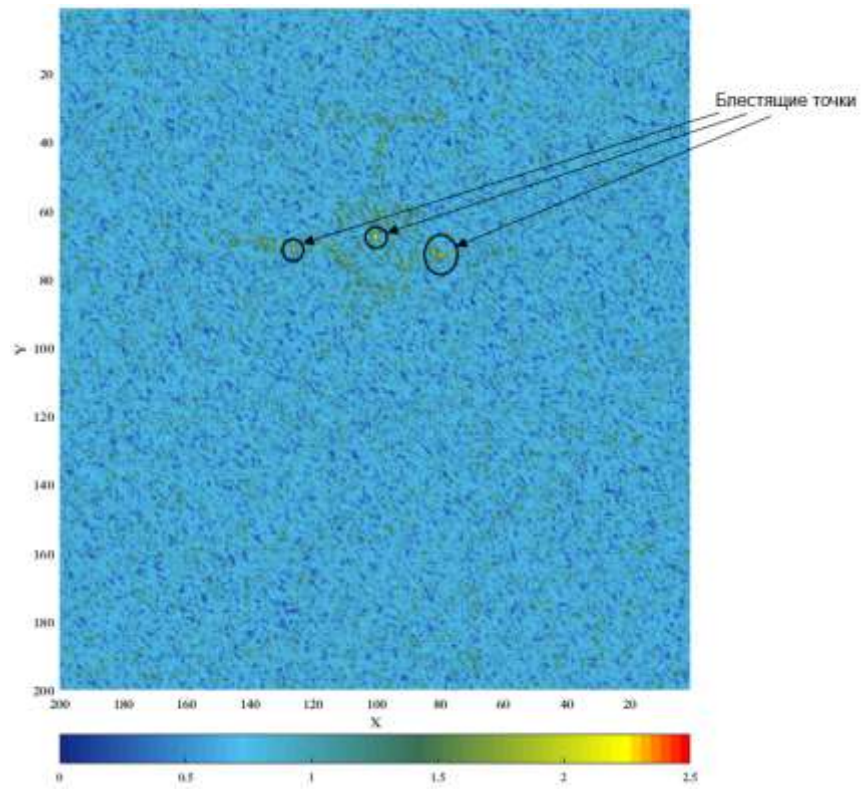


Рисунок 54 – Результат наблюдения на поляризации, с параметрами $\gamma=3.9$,
 $\varphi=0.4$

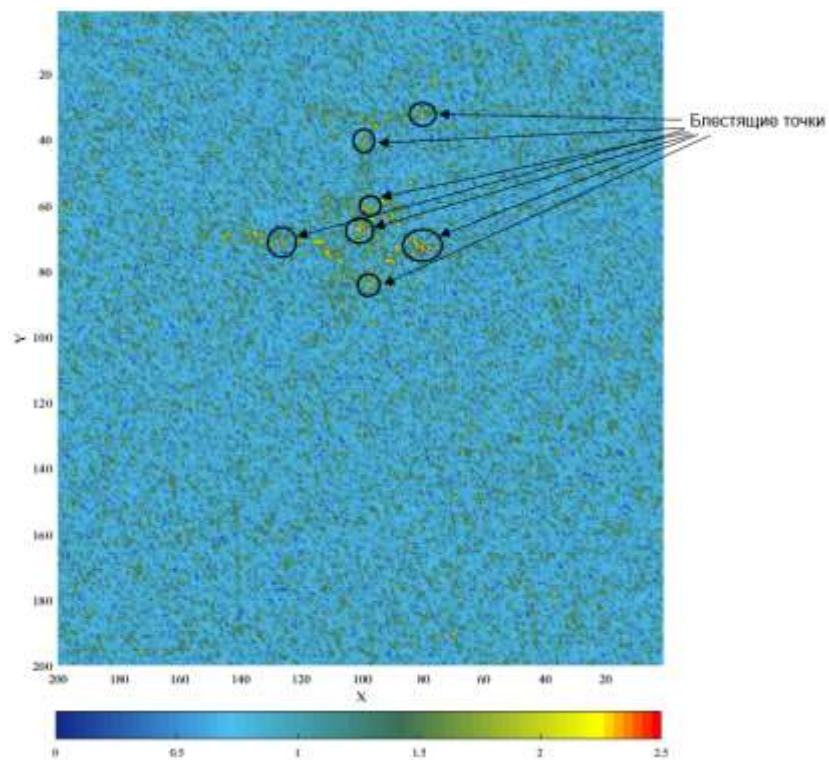


Рисунок 55 – Результат наблюдения на поляризации, с параметрами $\gamma=0.6$,
 $\varphi=0.3$

Наибольшее число БТ было обнаружено на поляризации с параметрами $\gamma=0.7$, $\varphi=0.4$. Результат изображен на рисунке 56, где также отмечен контур объекта последствия авиационного происшествия.

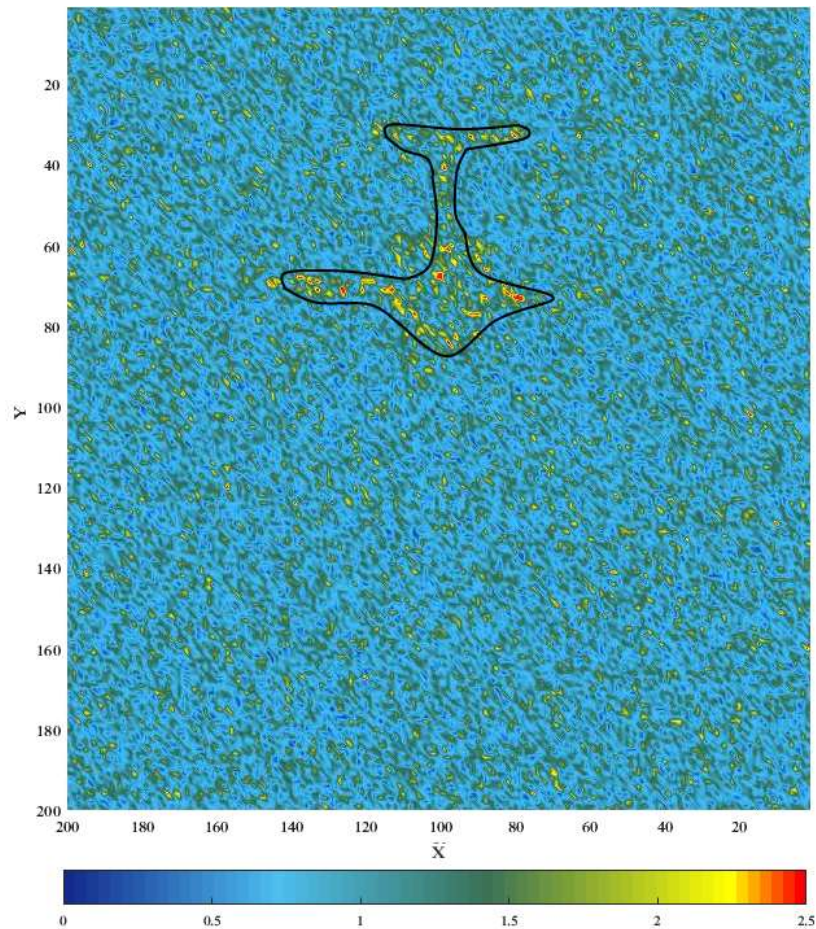
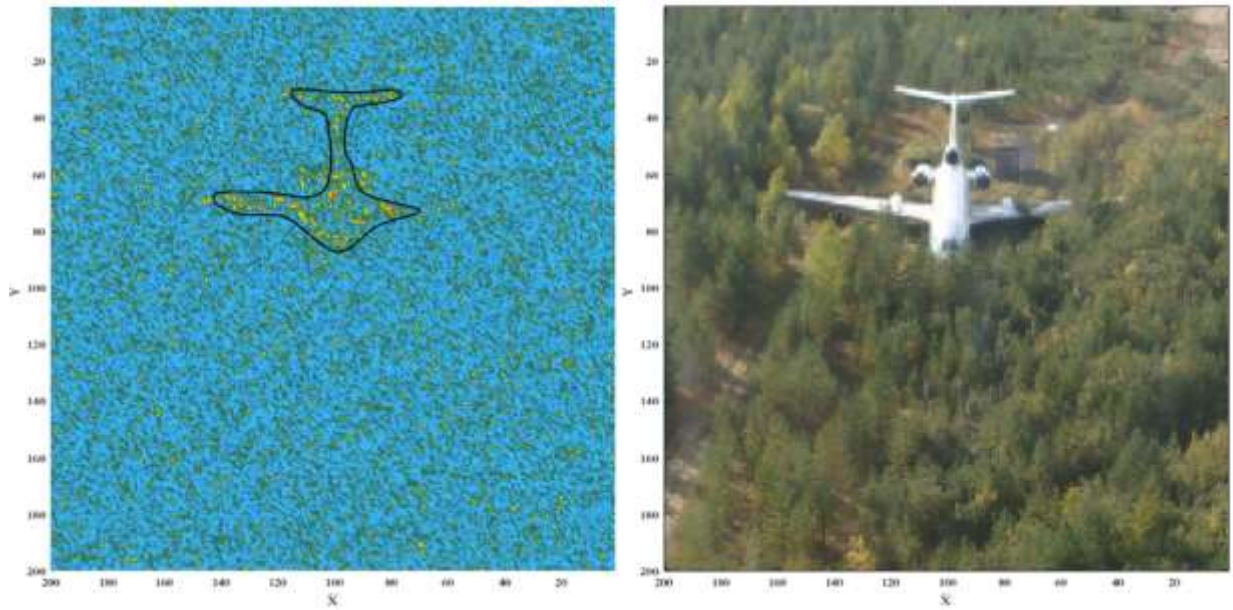


Рисунок 56 – Результат наблюдения на поляризации, с параметрами $\gamma=0.7$,
 $\varphi=0.4$

На рисунке 57 для визуальной оценки приведено изображение, полученное путем построения модели радиолокационного наблюдения в виде набора некоторых «блестящих точек» (а), и изображение объекта в оптическом диапазоне, используемого в качестве исходного. Как видно из рисунка 58, полученный контур ОПАП показывает приемлемое совпадение с исходным контуром на оптическом изображении.



а

б

Рисунок 57 – Радиолокационная модель объекта (в виде набора «блестящих» точек) последствия авиационного происшествия (а) и его вид в оптическом диапазоне (б)



Рисунок 58 – Полученный контур объекта и исходных контур объекта последствия авиационного происшествия

Разработанная методика позволила обнаружить блестящие точки и произвести оконтуривание объекта, в котором может быть опознан объект последствия авиационного происшествия.

4.2 Обнаружение объектов последствия авиационного происшествия на фоне мешающих отражений

Пусть элементы (точки отражения на поверхности) характеризуются матрицами рассеяния вида $S_{nE_{x,y}} = \begin{pmatrix} S_{11_{x,y}} & S_{12_{x,y}} \\ S_{12_{x,y}} & S_{22_{x,y}} \end{pmatrix}$. Запишем выражение для определения инварианта матрицы рассеяния [17]:

$$s_A = |s_{11_{x,y}}|^2 + |s_{22_{x,y}}|^2 + 2|s_{12_{x,y}}|^2 \quad (4.1)$$

Пусть значения элементов матриц рассеяния фона распределены по нормальному закону. Примем $s_{A_{фон}} = 0.2$, $s_{A_{цель}} = 0.5$. Исходя из этого, определим значения элементов матриц рассеяния:

$$S_{nE_{x(фон),y(фон)}} = \begin{pmatrix} 0.11 (\sigma = 0.03) & 0.23 (\sigma = 0.05) \\ 0.23 (\sigma = 0.05) & 0.29 (\sigma = 0.05) \end{pmatrix}$$

$$S_{nE_{x(ОПАП),y(ОПАП)}} = \begin{pmatrix} 0.45 (\sigma = 0.08) & 0.32 (\sigma = 0.08) \\ 0.32 (\sigma = 0.08) & 0.31 (\sigma = 0.08) \end{pmatrix}$$

Сформируем две выборки суммарного объема $N=40000$. Причем 86% (35106) элементов из первой выборки будут принадлежать фону, а 14% элементов (4894) из второй выборки – объекту. Математические ожидания инвариантов матриц рассеяния s_A и среднеквадратические отклонения сформированных выборок приведены в таблице 10. Полученные ПРВ представлены на рисунке 59 и 60.

Таблица 10 – Характеристики сформированных выборок

Параметр	Объект	Фон
Число элементов, N	4894 (14 %)	35106 (86 %)
Математическое ожидание инварианта матриц рассеяния s_{A_m}	0.52	0.21
СКО инварианта матриц рассеяния s_{A_σ}	0.13	0.056

Рассмотрим вопрос выбора порога V , превышение которого будет свидетельствовать об обнаружении цели. В соответствии с критерием идеального наблюдателя примем $V=0.32$ (рис. 59).

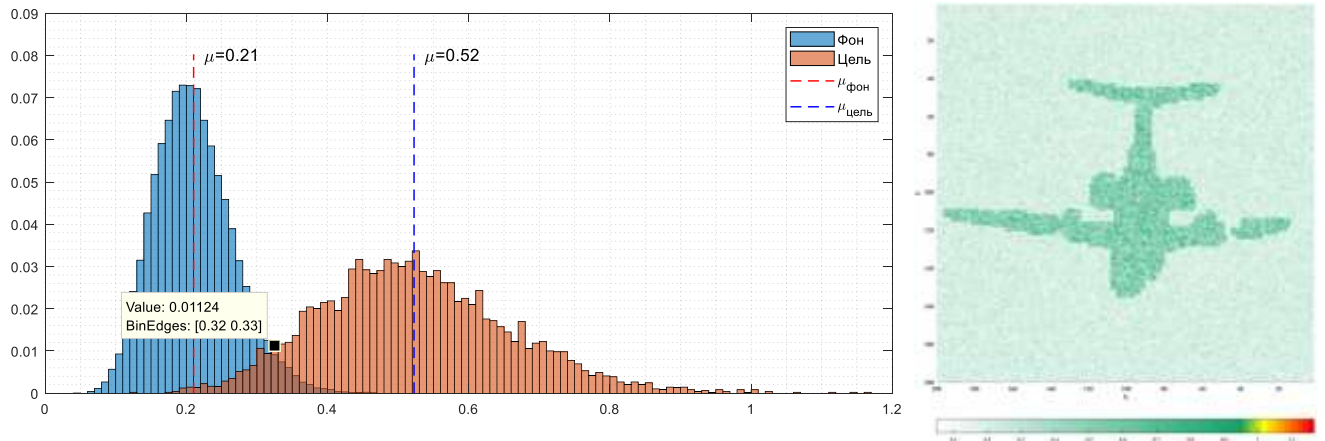


Рисунок 59 – ПРВ инвариантов матриц рассеяния фона и цели, и результат моделирования «радиолокационного» изображения

В таблице 11 приведены параметры наблюдения в исходном поляризационном базисе при разных режимах наблюдения (s_{11} , s_{12} , s_{22}).

Как видно при наблюдении в исходном поляризационном базисе в режимах наблюдения s_{12} и s_{22} объект слабо отличается от фона. В режиме s_{11} можно получить максимальное отношение объект/фон.

Таблица 11 – Параметры в разных режимах наблюдения

Режим	$\mu_{\text{фон}}$	$\sigma_{\text{фон}}$	$\mu_{\text{объект}}$	$\sigma_{\text{объект}}$	Отношение объект/фон
s_A	0.21	0.056	0.52	0.13	2.47
s_{11}	0.11	0.034	0.45	0.08	4.09
s_{12}	0.23	0.052	0.32	0.08	1.39
s_{22}	0.29	0.051	0.31	0.08	1.07

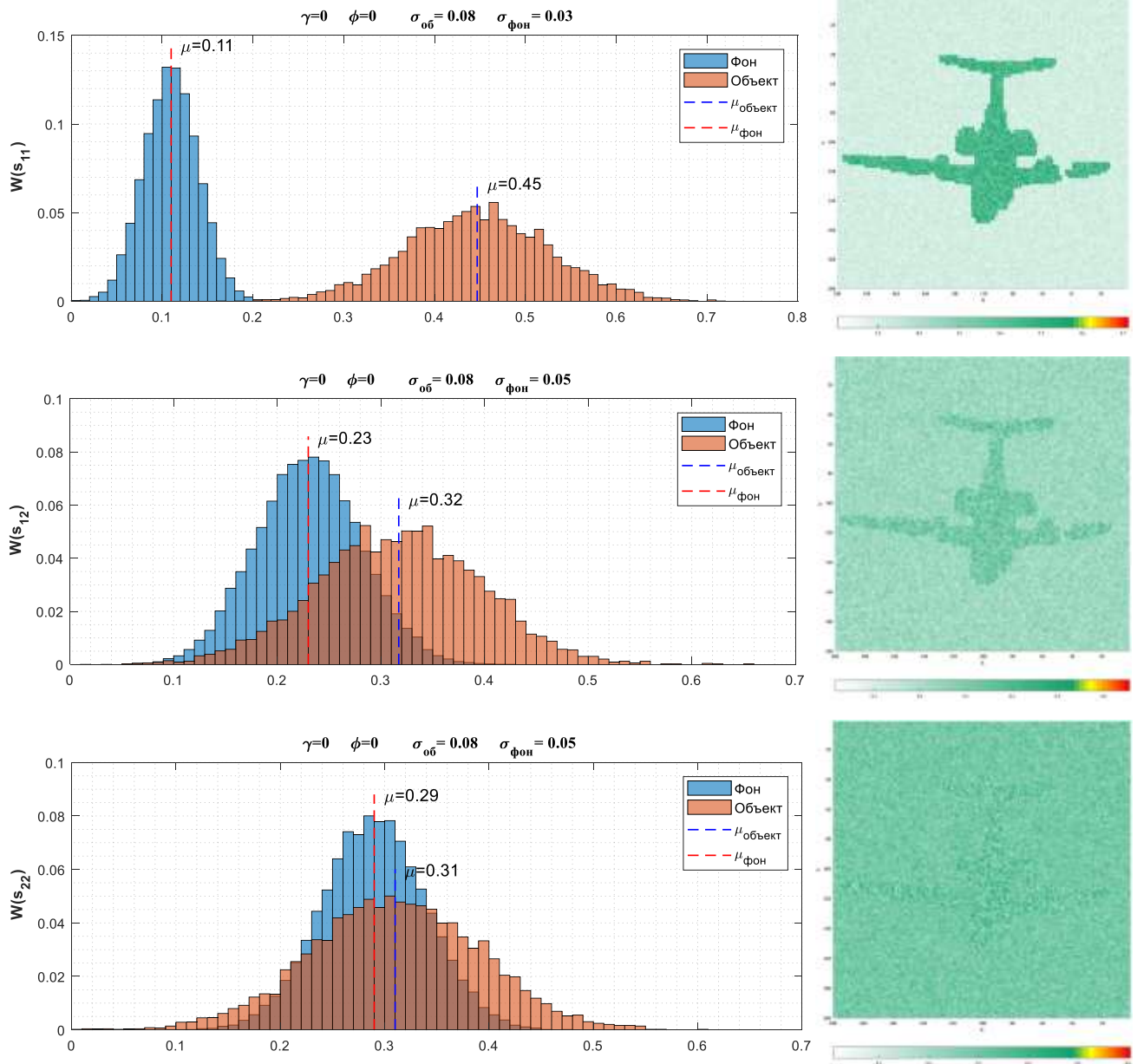


Рисунок 60 – ПРВ элементов матриц рассеяния S_{11} , S_{12} , S_{22} объекта и фона, и результаты моделирования «радиолокационного» изображения

В таблице 12 приведены *характеристики обнаружения*, под которыми понимается следующий перечень величин:

$N_{>V}$ – количество элементов, превысивших порог V ;

$N_{обн}$ – количество правильно обнаруженных элементов;

$N_{лт}$ – количество элементов ложной тревоги. Ошибки первого рода;

$N_{пр}$ – количество пропусков правильного элемента. Ошибки второго рода;

$P_{лт}$ – вероятность ложной тревоги;

$P_{пр}$ – вероятность пропуска;

$P_{по}$ – вероятность правильного обнаружения.

Вероятность ложной тревоги определена как отношение числа ошибок первого рода, к числу элементов, не принадлежащих объекту наблюдения:

$$P_{лт} = \frac{N_{лт}}{N_{фон}}. \quad (4.2)$$

Вероятность пропуска определена как отношение числа ошибок второго рода к числу элементов, принадлежащих объекту:

$$P_{пр} = \frac{N_{пр}}{N_{об}}. \quad (4.3)$$

Вероятность правильного обнаружения:

$$P_{по} = 1 - P_{пр} \quad (4.4)$$

Таблица 12 – Характеристики обнаружения в разных режимах наблюдения

Режим	$N_{>V}$, шт.	$N_{обн}$, шт.	$N_{лт}$, шт.	$N_{пр}$, шт.	$P_{лт}$	$P_{пр}$	$P_{по}$
s_A	5908	4684	1224	210	0.035	0.04	0.96
s_{11}	4656	4656	0	236	0	0.05	0.95
s_{12}	3744	2464	1280	2430	0.036	0.5	0.5
s_{22}	11682	2227	9455	2667	0.269	0.54	0.45

Как видно из таблицы в режиме наблюдения s_A (используя инвариант матриц рассеяния (4.1)) может быть достигнута максимальная вероятность правильного обнаружения ($P_{по} = 0.96$) при вероятности ложной тревоги $P_{лт}=0.035$. Одним из главных недостатков такого режима, будет фактическая необходимость производить наблюдение и в режимах s_{11} , s_{12} , s_{22} .

В режиме наблюдения s_{11} можно получить максимальный контраст цели относительно фона. Однако, это справедливо лишь для данного поляризационного базиса в статичном режиме. Если изменится угол наблюдения, например, объект

или площадка наблюдения изменит свое положение, будут иметь место другие данные. При этом максимальное отношение объект/фон может быть получено в другом режиме, соответственно изменятся и статистические параметры.

Если производить наблюдение не на одной конкретной поляризации, а осуществлять полное поляризационное сканирование, то в режимах наблюдения S_{11} , S_{12} или S_{22} всегда найдется такой вид поляризации, на которой будет определен максимальный контраст объекта относительно фона [13,17]. В режимах наблюдения S_{11} , S_{12} или S_{22} , для максимизации различимости объекта и фона возникает необходимость использования ППС. Однако для выполнения поляризационного сканирования требуется время. Данный факт ограничивает применение режима ППС в системах, например, осуществляющих наблюдение на высоких скоростях движения. Для режима S_A не требуется ППС. Это может играть ключевую роль для систем, в которых нереализуемы методы поляризационного сканирования.

4.3 Использование режима полного поляризационного сканирования для различения объектов последствия авиационного происшествия на фоне подстилающего покрова

Ранее были рассмотрены некоторые режимы наблюдения: S_{11} , S_{12} , S_{22} и S_A . Было замечено, что режим S_A наиболее результативен при работе на конкретной поляризации. Однако использование поляризационного сканирования потенциально позволяет повысить контраст изображения [13, 14, 15]. В данном разделе будет рассмотрен вопрос улучшения возможностей обнаружения в режиме ППС.

В режиме s_A использование ППС никак не скажется на конечном результате, поскольку инвариант матриц рассеяния остается постоянным при изменении вида поляризации [17]. В дальнейшем будем использовать режим s_A как ориентир для оценки эффективности режима ППС.

Элементы матриц рассеяния при изменении вида поляризации подвергаются конгруэнтному преобразованию [13, 17]:

$$\begin{aligned} q_{11} &= s_{11} e^{j(-2\varphi)} \cos(\gamma)^2 + s_{22} e^{j(2\varphi)} \sin(\gamma)^2 + s_{12} \sin(2\gamma); \\ q_{12} &= (-s_{11} e^{j(-2\varphi)} + s_{22} e^{j(2\varphi)}) \frac{\sin(2\gamma)}{2} + s_{12} \cos(2\gamma); \\ q_{22} &= s_{11} e^{j(-2\varphi)} \sin(\gamma)^2 + s_{22} e^{j(2\varphi)} \cos(\gamma)^2 - s_{12} \sin(2\gamma); \end{aligned} \quad (4.5)$$

где γ, φ – параметры, определяющие вид поляризации.

Рассмотрим возможности улучшения обнаружения в режиме наблюдения q_{11} . В соответствии с преобразованием (4.5) интенсивность принимаемой отраженной электромагнитной волны будет изменяться при смене вида поляризации, облучающей цель электромагнитной волны. Причем интенсивность от объекта и фона будет изменяться по разным законам. На рисунке 62 приведен график зависимости интенсивности отраженной радиоволны от вида поляризации, полученный в результате полного поляризационного сканирования в соответствии с законом, визуализированным на сфере Пуанкаре (рисунок 61). В приложении Г представлена таблица со значениями параметров γ, φ для конкретного номера поляризации.

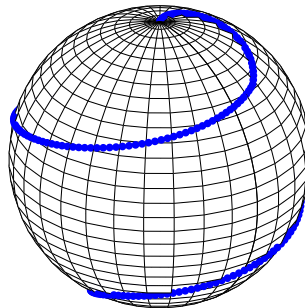


Рисунок 61 – Визуализация режима ППС на сфере Пуанкаре

На рисунке 62 изображен график зависимости отраженного сигнала от вида поляризации. Как видно, интенсивность отражения от объекта и фона при изменении вида поляризации носит различный характер. Следует обратить внимание, что максимальные значения отраженного сигнала, полученные на определенной поляризации, для объекта не совпадают с аналогичными максимумами для фона. Более того, существуют такие поляризации, на которых интенсивности объекта и фона находятся в относительно «противовесном» состоянии (например, на поляризации №188). Также можно отметить поляризации, при которых объект и фон практически неразличимы (№30...40, №80...105, №160...165, №215...220).

Для дальнейшего анализа целесообразно производить оценку отношения уровня отраженного сигнала от объекта к уровню отраженного сигнала от фона (отношение объект/фон). Такое отношение позволит определить поляризацию, на которой объект будет в максимальной степени отличаться от фона. На рисунке 63 (б) изображен график зависимости отношения объект/фон от вида поляризации.

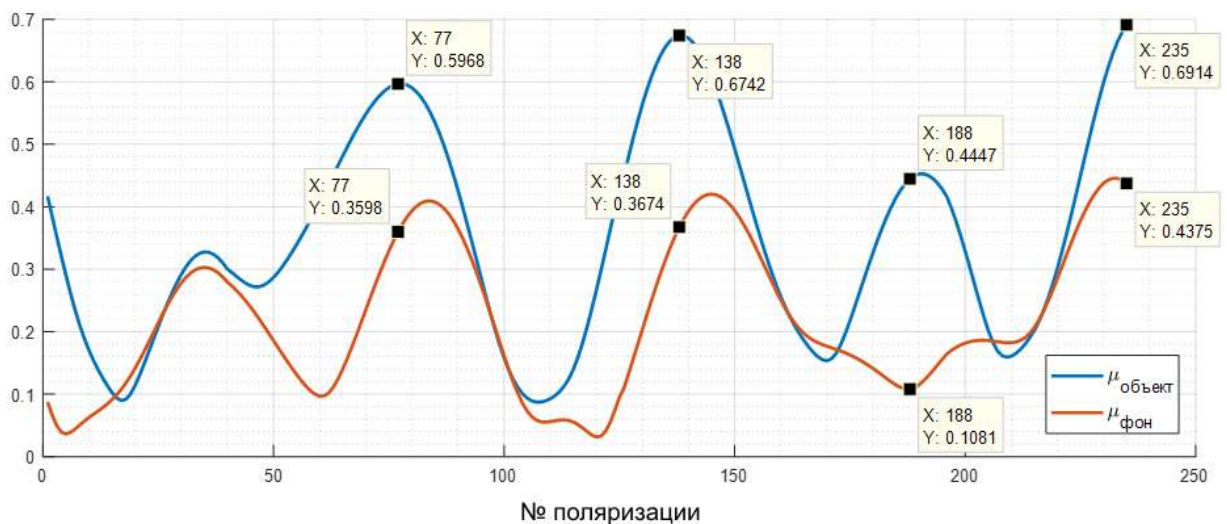


Рисунок 62 – График зависимости уровня принимаемого отраженного сигнала от вида поляризации

Как видно из рисунка 63 (б), на поляризациях №4 и №121 получено максимальное отношение объект/фон. На графике зависимости уровня

отраженного радиосигнала от вида поляризации (рисунок 63, а) визуально определить такие точки не всегда возможно. В таблице 13 приведены параметры наблюдения на четырех разных поляризациях.

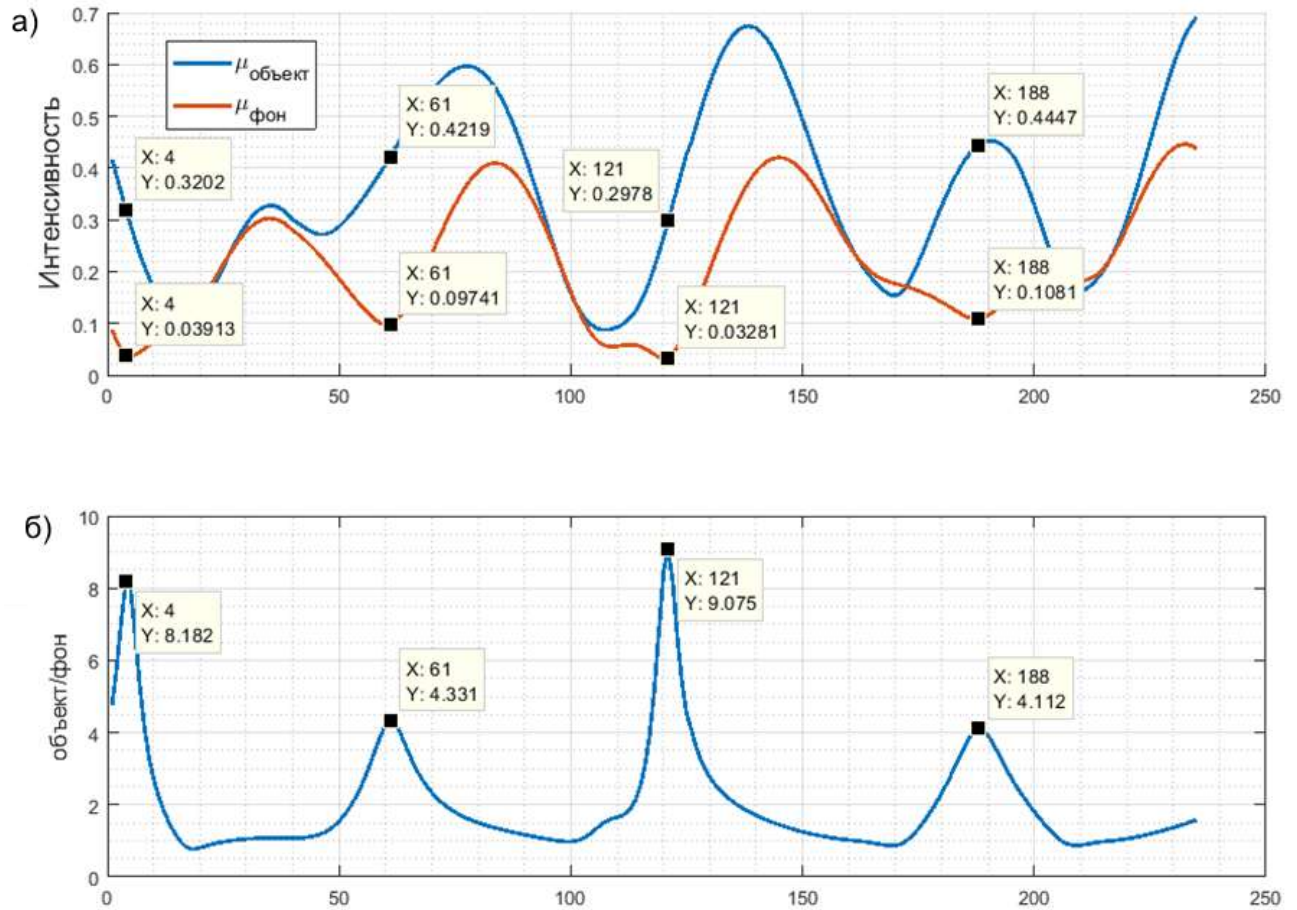


Рисунок 63 – Графики зависимости интенсивности принимаемого сигнала и отношения объект/фон от вида поляризации

Таблица 13 – Параметры наблюдения на разных поляризациях

№ поляризации	Отношение объект/фон	$\mu_{\text{объект}}$	$\mu_{\text{фон}}$	$\sigma_{\text{объект}}$	$\sigma_{\text{фон}}$
121	9.07	0.3	0.03	0.08	0.02
117	3.9	0.18	0.05	0.09	0.03
106	1.39	0.09	0.06	0.06	0.03
97	1.01	0.23	0.23	0.08	0.05

На рисунке 64 изображена плотность распределения вероятностей уровня отражения от объекта и фона, и «радиолокационное» изображение на поляризации №121. Аналогичные графики для более низких значений отношения объект/фон изображены на рисунках 65 – 67.

Необходимо отметить, что в данном разделе под «радиолокационным изображением» понимается изображение, полученное в результате моделирования отражения от некоторого участка наблюдаемой поверхности, ограниченного пределами границ элемента разрешения.

Радиолокационное изображение на поляризациях № 121, 117 (отношение объект/фон > 3.9) позволяет увидеть четкий контур объекта. На графике ПРВ видна существенная разница между распределением элементов объекта и фона.

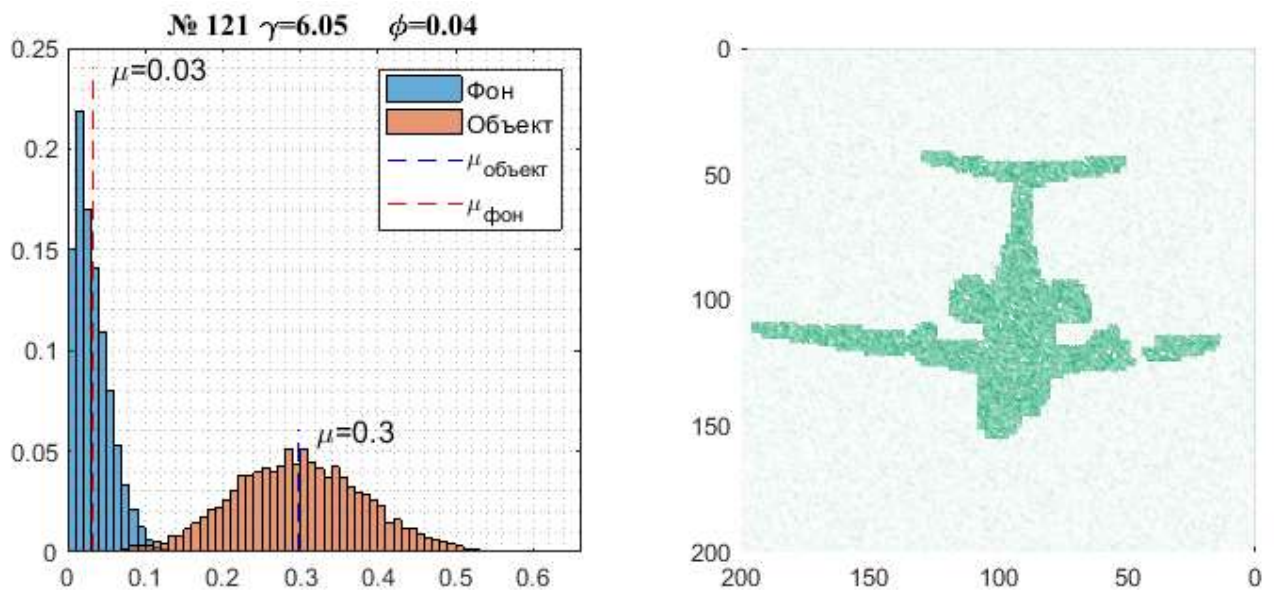


Рисунок 64 – ПРВ интенсивностей отражения от объекта и фона, и радиолокационное изображение на поляризации №121

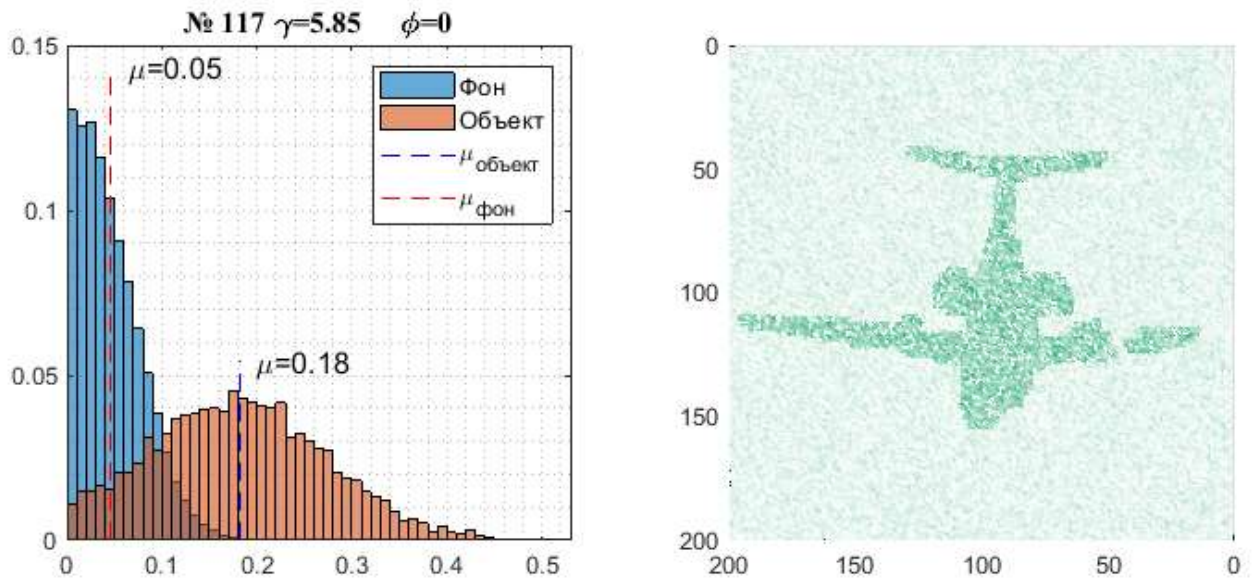


Рисунок 65 – ПРВ интенсивности отражения от объекта и фона, и радиолокационное изображение на поляризации №117

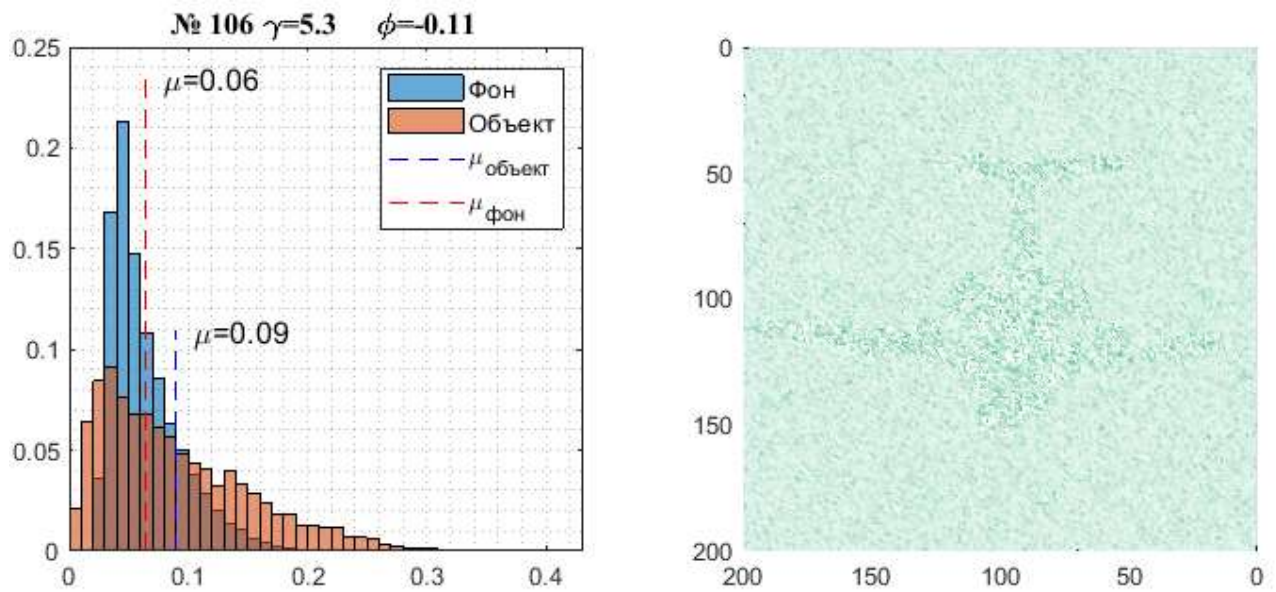


Рисунок 66 – ПРВ интенсивности отражения от объекта и фона, и радиолокационное изображение на поляризации №106

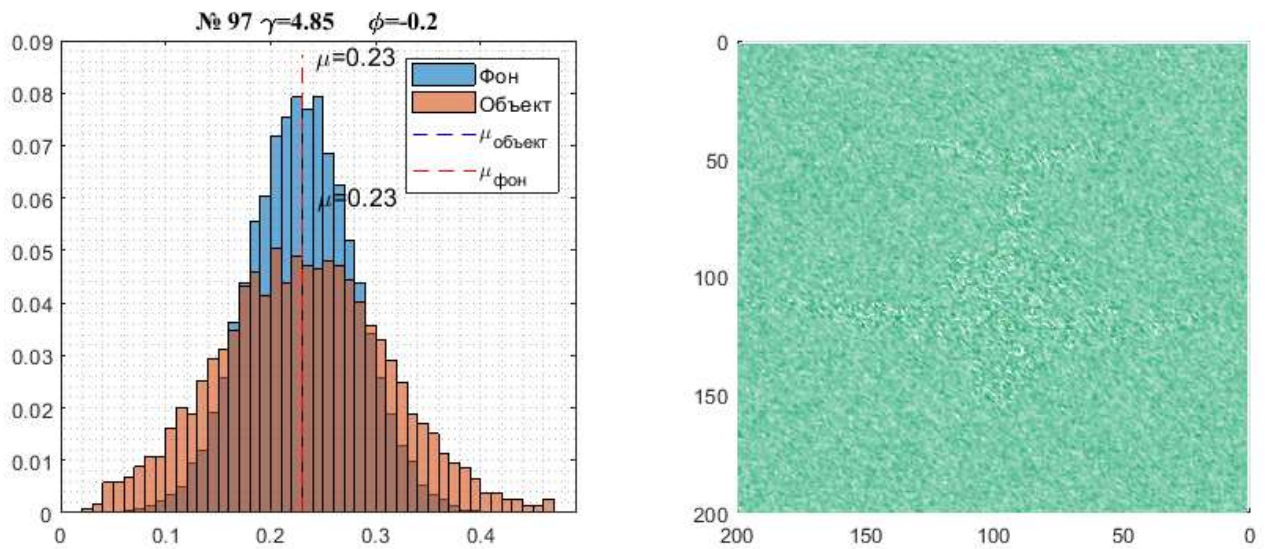


Рисунок 67 – ПРВ интенсивности отражения от объекта и фона, и радиолокационное изображение на поляризации №97. Отношение объект/фон=1

При отношении объект/фон=1.39 на поляризации №106 (рисунок 66) контур объекта едва различим, и практически сливается с фоном. На поляризации №97 (рис. 67) математическое ожидание уровня отражения от объекта совпадает с математическим ожиданием уровня отражения от фона. В данном случае радиолокационное изображение не дает возможности различить практически никакие детали объекта – объект сливается с фоном.

Таким образом, можно сделать вывод, что при отношениях объект/фон менее 1.39 обнаружение объекта становится невозможным.

4.4 Возможности обнаружения объектов последствия авиационного происшествия в режиме полного поляризационного сканирования на фоне подстилающего покрова

Для оценки возможностей обнаружения, а именно ВПО и ВЛТ необходимо задаться некоторым порогом, превышение которого будет сигналом об обнаружении объекта. Примем уровень порога $V = 0.32$. Оценим эффективность использования такого порогового значения в режиме ППС. На рисунке 68 изображен график изменения уровня отраженного сигнала от объекта и фона при изменении вида поляризации.

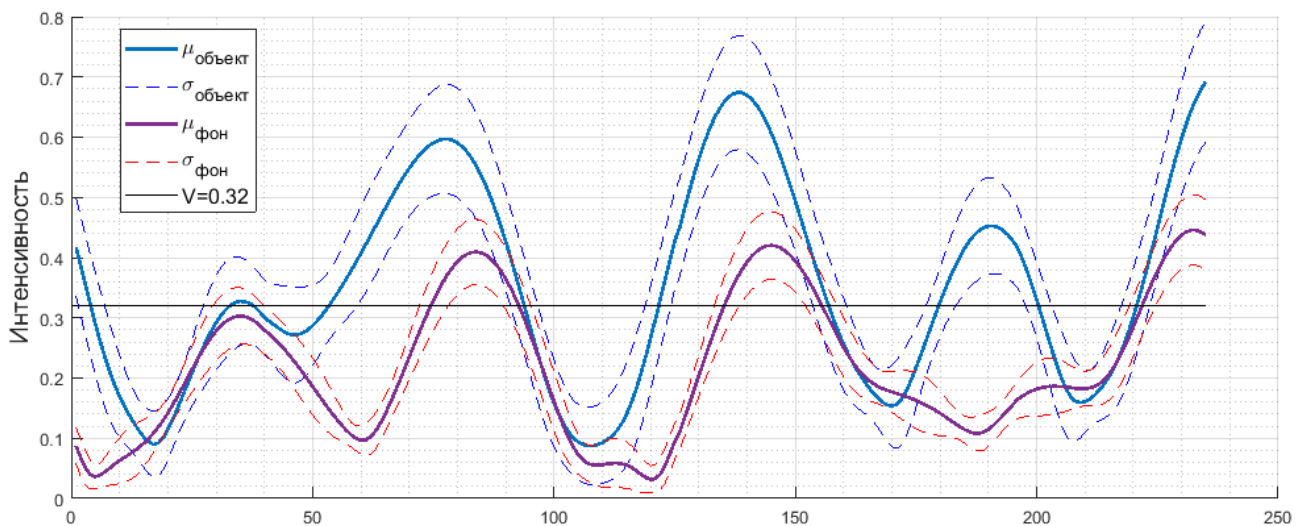


Рисунок 68 – График зависимости интенсивности отражения от объекта и фона от вида поляризации, и отношение объект/фон

Как видно из рисунка 68, превышение порогового значения интенсивности обусловлено отражением не только от объекта. Проанализируем полученный результат. Обозначим области правильного обнаружения и области, на которых объект перекрывается фоном. На рисунке 69 (а) такие области обозначены на графике зависимости уровня отраженной волны от вида поляризации, а на рисунке

69 (б) они отмечены на графике зависимости отношения объект/фон от вида поляризации.

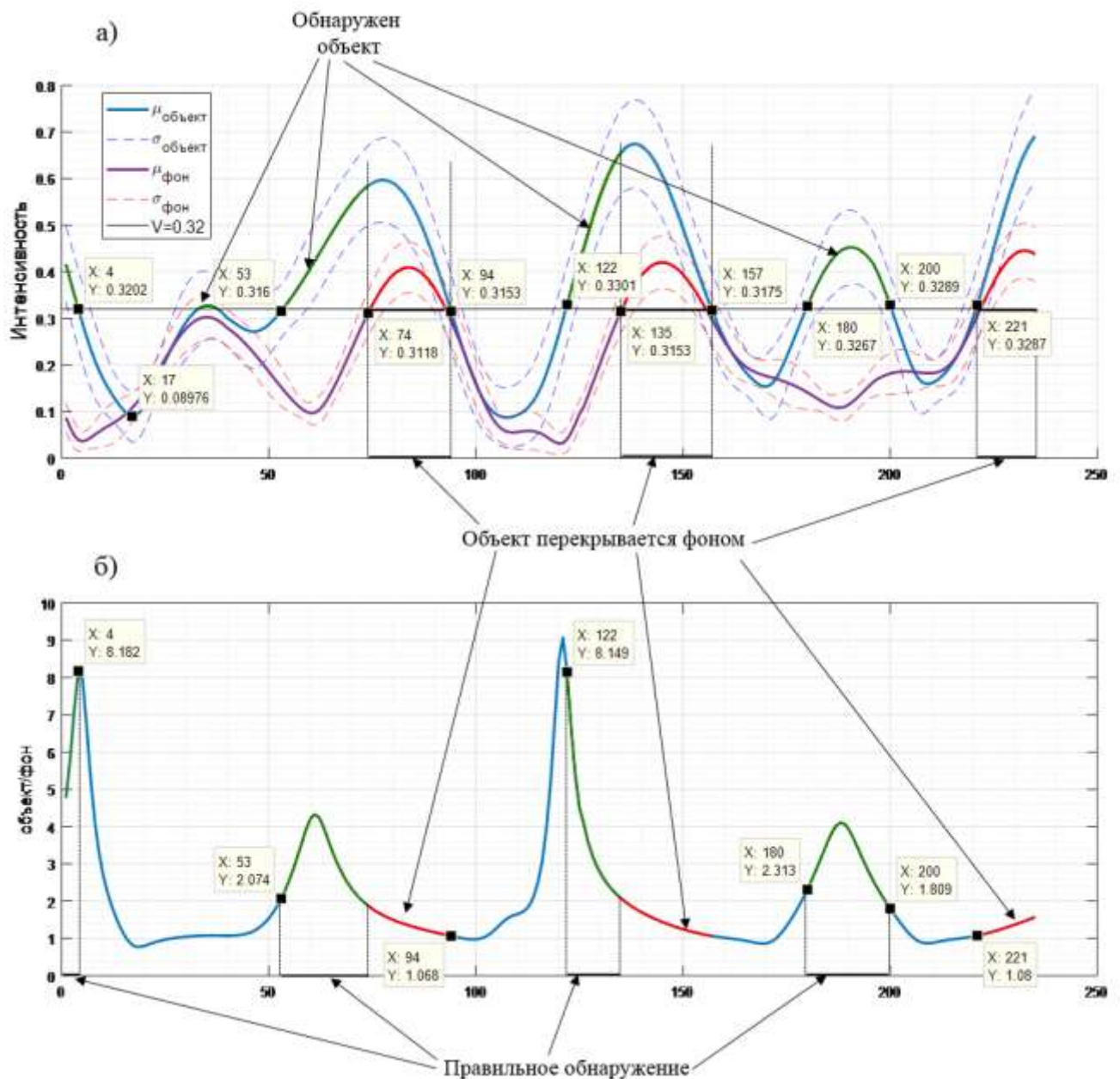


Рисунок 69 – Анализ возможностей обнаружения

Общее количество поляризаций, на которых интенсивность отражения от объекта превысила пороговый уровень, составило 119. Из них на 55 (46%) поляризациях элементы фона будут трактоваться как объект, т.е. обнаружение окажется ложным.

Фиксирование элементов, для которых по результатам поляризационного сканирования было превышено пороговое значение, не будет достаточно эффективным при подобном уровне порога. Из приведенных результатов видно, что повышение уровня порога позволит улучшить различимость объекта. Повысим пороговый уровень до величины $V = \mu_{\text{фон}} + \sigma_{\text{фон}}$. На рисунке 70 изображен график зависимости отраженного сигнала от объекта и фона в режиме ППС при уровне порога $V = 0.5$.

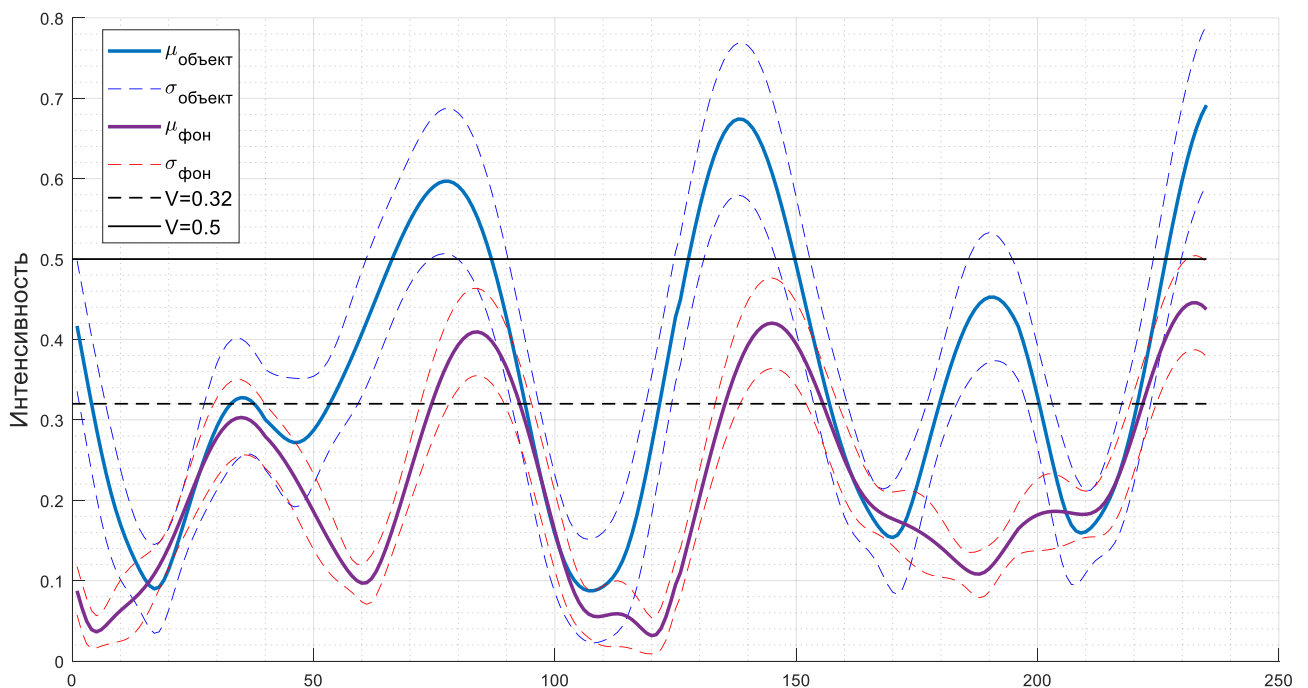


Рисунок 70 – Зависимость уровня отраженного сигнала от объекта и фона при ППС

На рисунке 71 приведены зависимости характеристик обнаружения от вида поляризации.

На поляризации №138 получено максимальное значение вероятности правильного обнаружения ($P_{\text{впо}}=0.96$), при этом вероятность ложной тревоги составила $P_{\text{влт}}=0.005$. Наибольшее значение ВЛТ на поляризации №232 ($P_{\text{влт}}=0.17$), при этом $P_{\text{впо}}=0.93$.

Произведем специальную обработку, заключающуюся в фиксировании элементов, для которых при поляризационном сканировании будет превышено пороговое значение. Результат такой обработки приведен на рисунке 72.

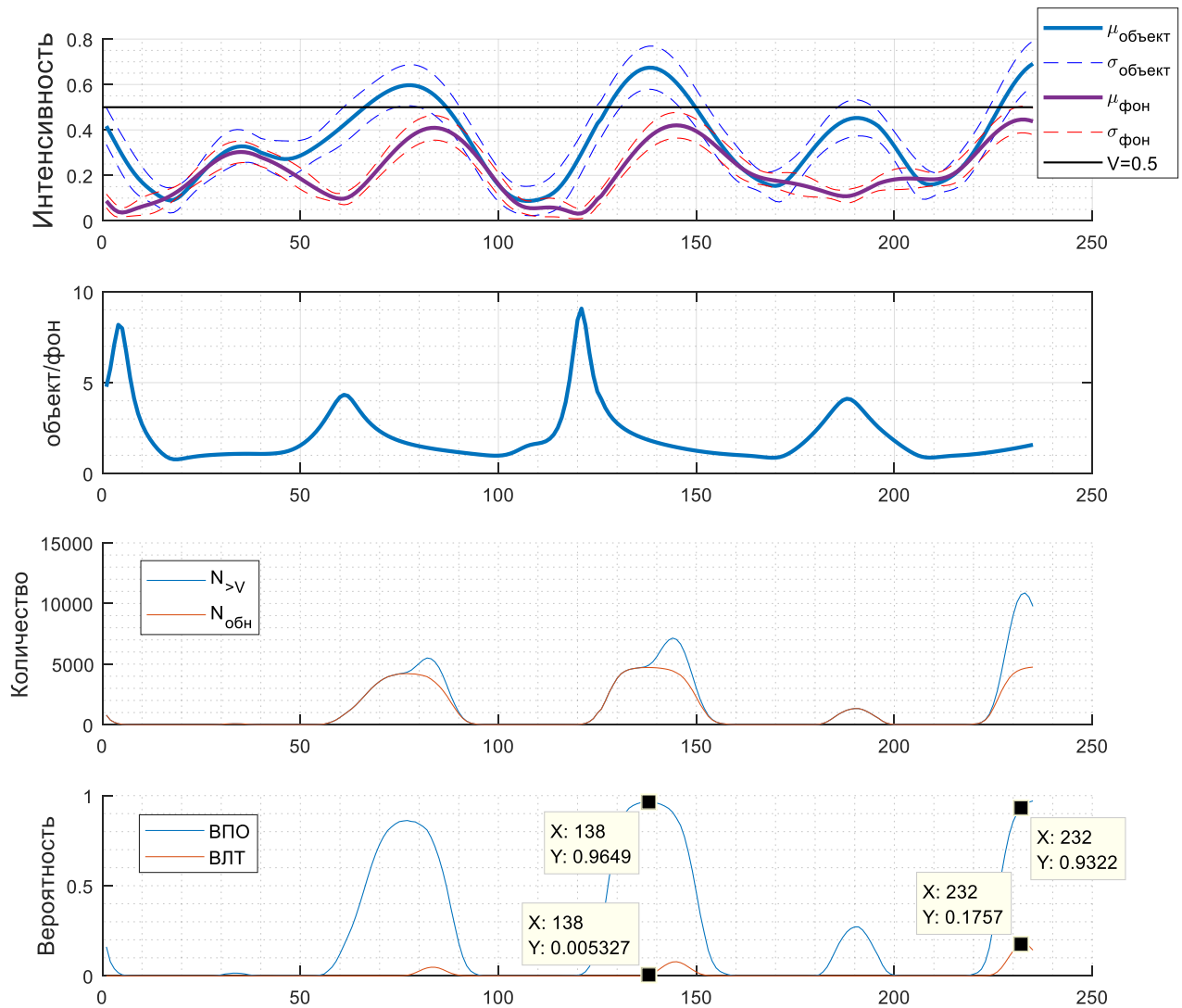


Рисунок 71 – Зависимость характеристик обнаружения от вида поляризации

Из графиков на рисунке 72 видно, что ВПО увеличивается с ростом числа поляризаций, на которых производится фиксирование элементов превысивших порог и в результате полного поляризационного сканирования достигает уровня $P_{\text{ВПО}} = 0.97$. Однако, аналогичным образом ведет себя и ВЛТ, достигая предельного значения $P_{\text{ВЛТ}} = 0.18$. На рисунке 73 представлено радиолокационное изображение,

полученное в результате полного поляризационного сканирования и специальной обработки.

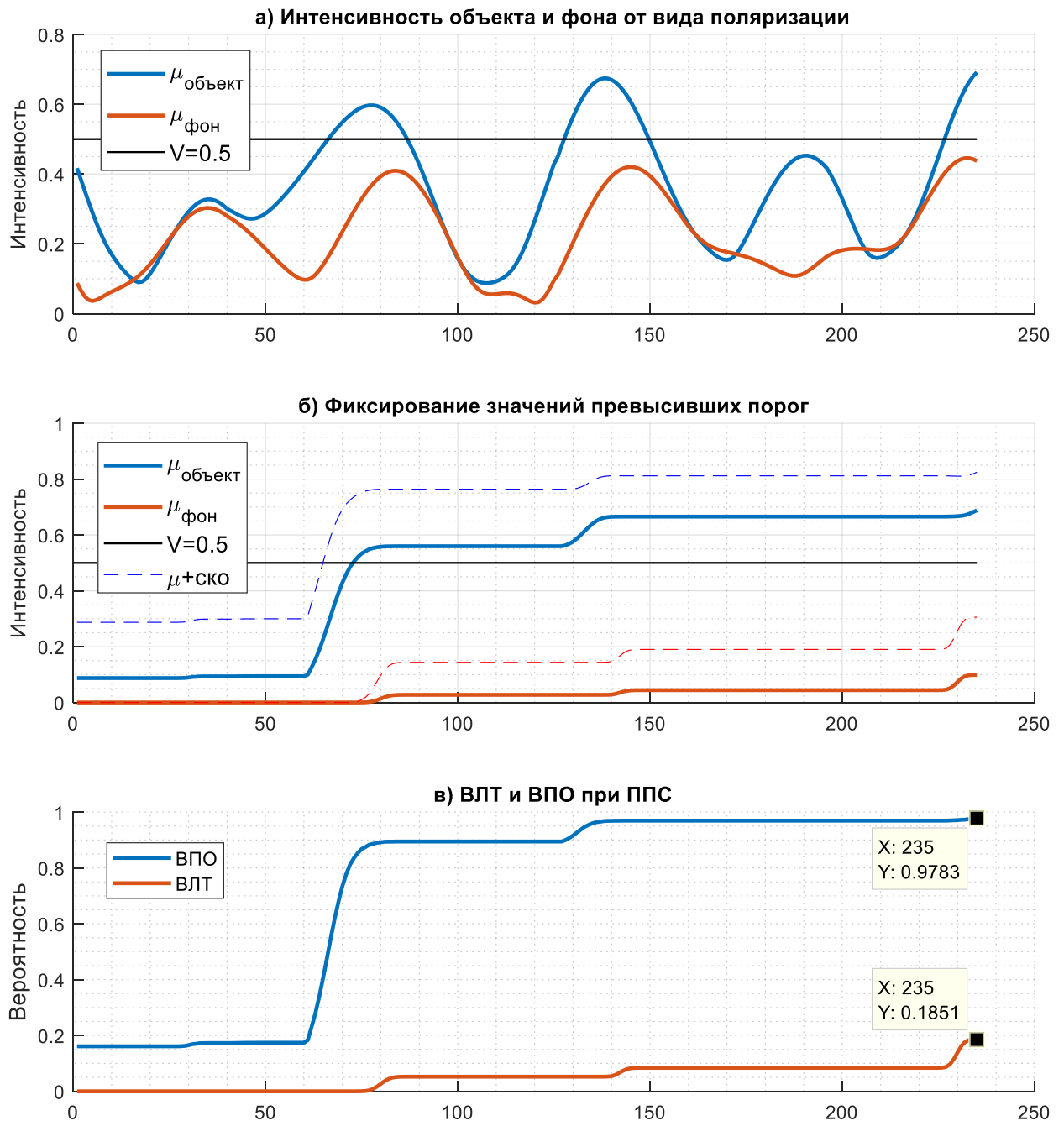


Рисунок 72 – Характеристики обнаружения в режиме ППС при $V=0.5$

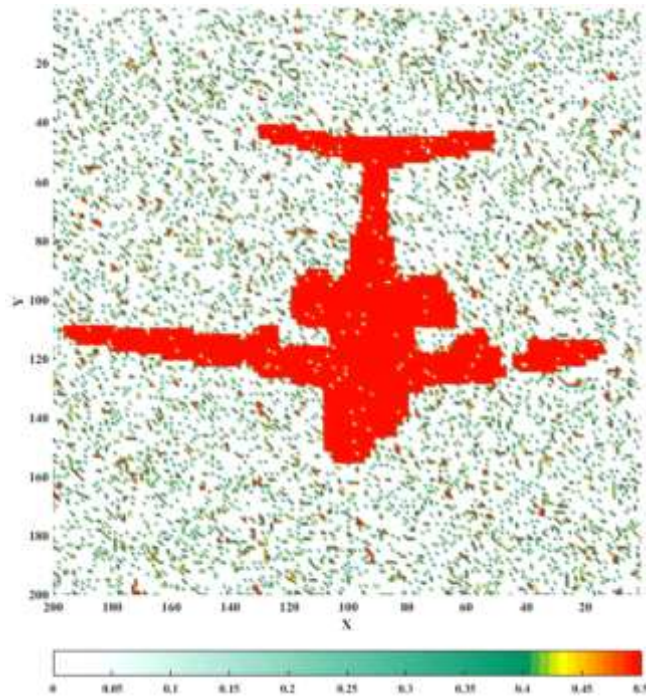


Рисунок 73 – «Радиолокационное» изображение в режиме ППС при величине порога $V=0.5$

Как видно из рисунка, объект имеет четкие границы и практически не имеет «провалов» в пределах своего контура. Однако за пределами объекта (на месте фона) обнаруживаются множественные «ложные» элементы.

Теперь рассмотрим вопросы обнаружения при других пороговых уровнях. В таблице 14 приведены характеристики обнаружения в режиме ППС при разных уровнях порога, где приняты обозначения:

$N_{>V}$ – количество элементов превысивших порог V ;

$N_{\text{обн}}$ – количество правильно обнаруженных элементов;

$N_{\text{лт}}$ – количество элементов ложной тревоги. Ошибки первого рода;

$N_{\text{пр}}$ – количество пропусков правильного элемента. Ошибки второго рода;

$P_{\text{лт}}$ – вероятность ложной тревоги;

$P_{\text{пр}}$ – вероятность пропуска;

$P_{\text{по}}$ – вероятность правильного обнаружения.

Таблица 14 – Характеристики обнаружения в режиме ППС при наблюдении на S_{11}

V	$N_{>V}$, шт.	$N_{\text{обн}}$, шт.	$N_{\text{лт}}$, шт.	$N_{\text{пр}}$, шт.	$P_{\text{лт}}$	$P_{\text{пр}}$	$P_{\text{по}}$
0.35	38378	4894	33484	0	0.95	0	1
0.45	21863	4874	16989	20	0.48	0.004	0.996
0.5	11287	4788	6499	106	0.18	0.02	0.98
0.6	4309	4158	151	736	0.004	0.15	0.85
0.7	2416	2416	0	2478	0	0.51	0.49
0.8	695	695	0	4199	0	0.86	0.14
0.9	96	96	0	4798	0	0.98	0.02
1	6	6	0	4888	0	1	0

На рисунке 74 изображен график зависимости ВПО и ВЛТ от уровня порога.

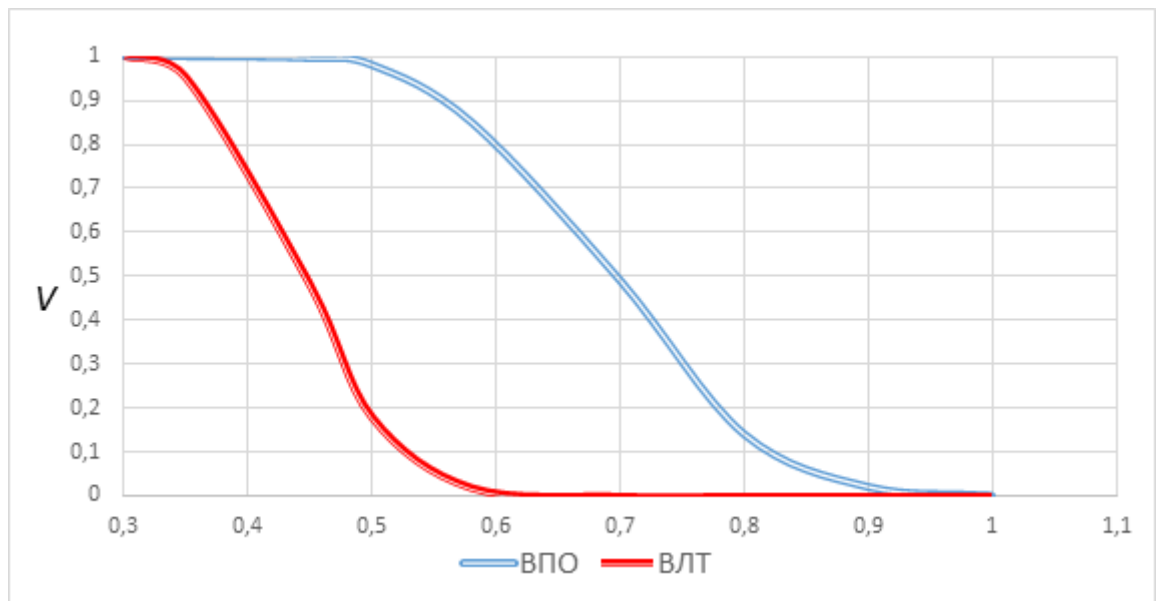
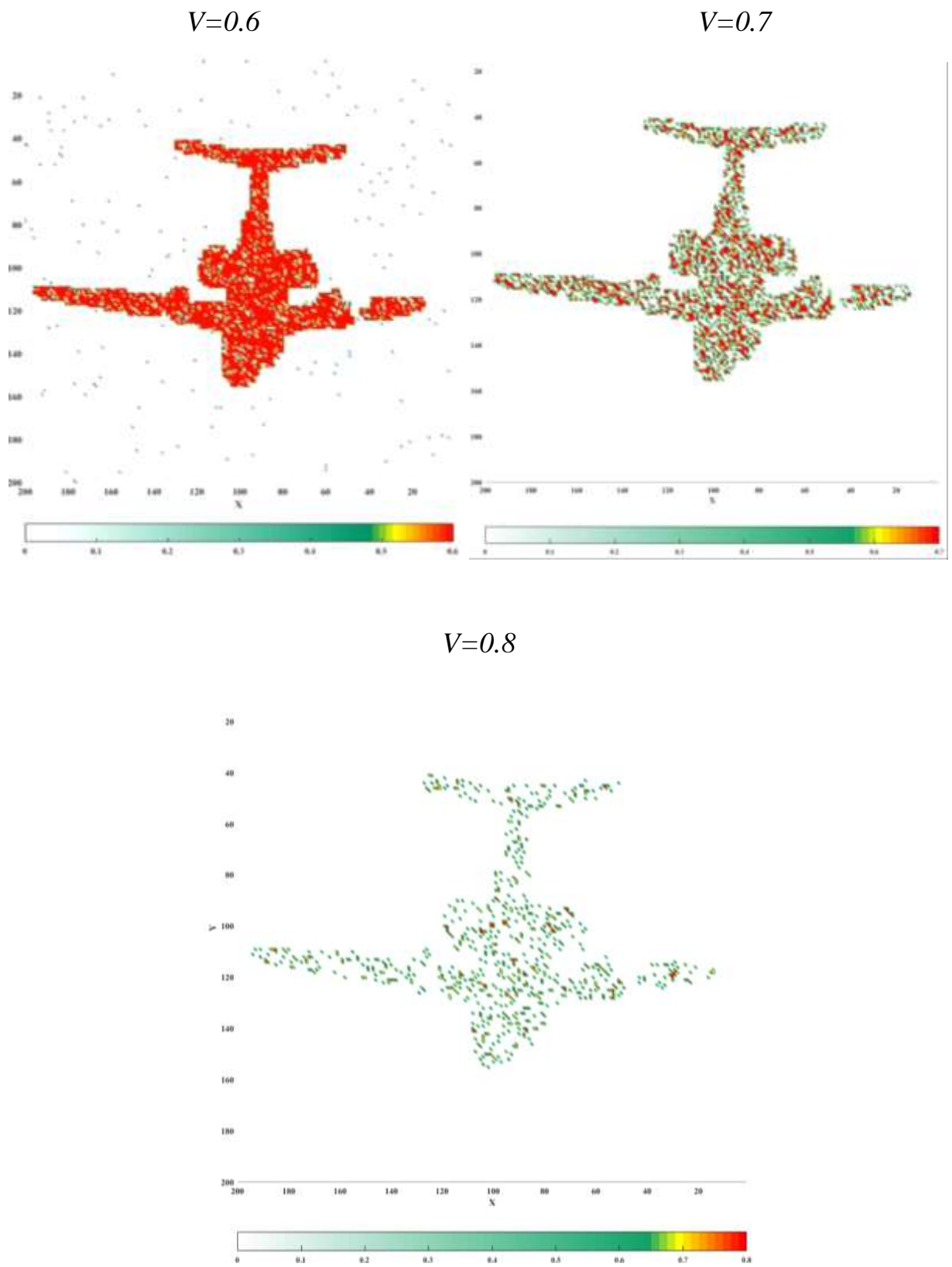


Рисунок 74 – Зависимость ВПО и ВЛТ от уровня порога

На рисунке 75 приведены радиолокационные изображения для наиболее значимых уровней порога. Рисунки 76, 77, 78 показывают динамику изменения ВЛТ и ВПО при поляризационном сканировании.



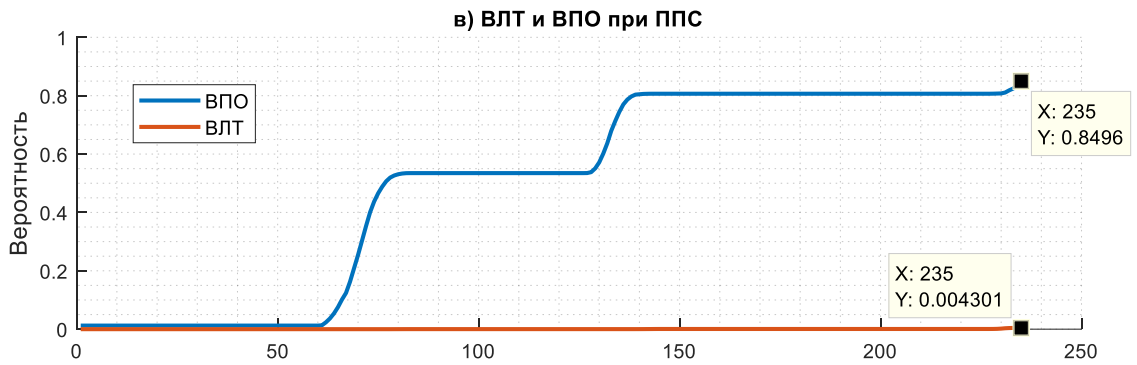
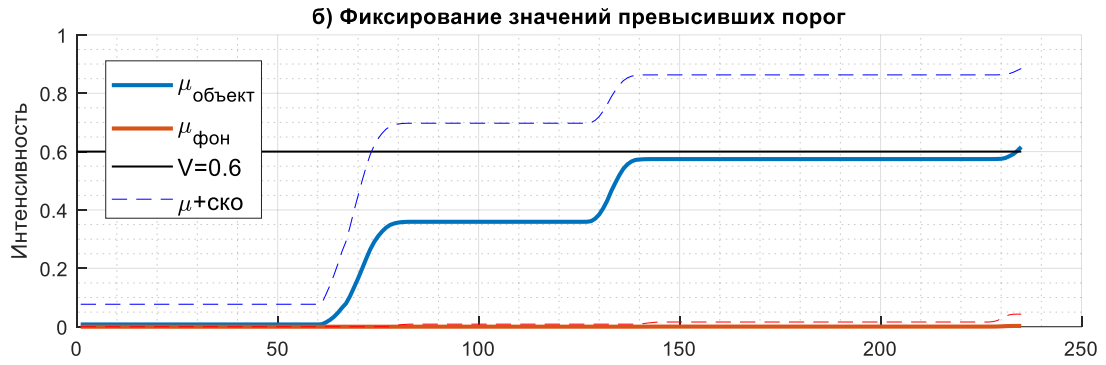


Рисунок 76 – Динамика изменения ВПО и ВЛТ в режиме ППС при $V=0.6$

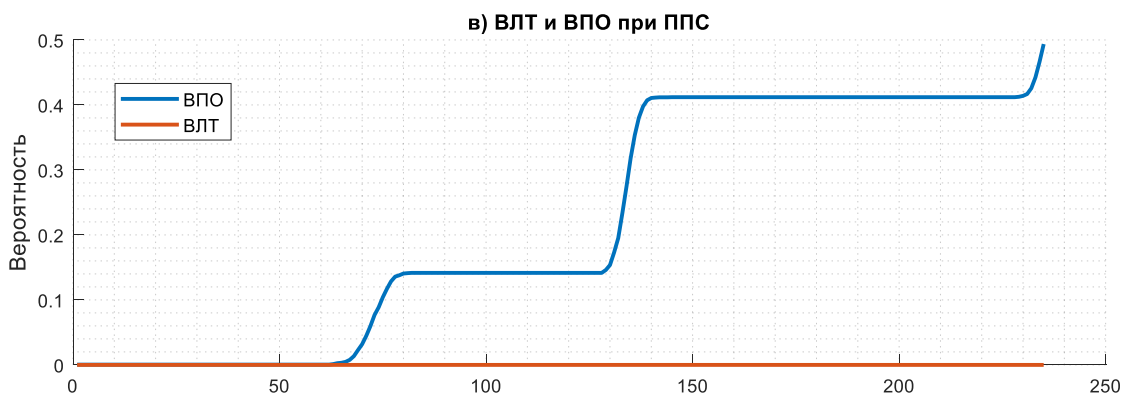
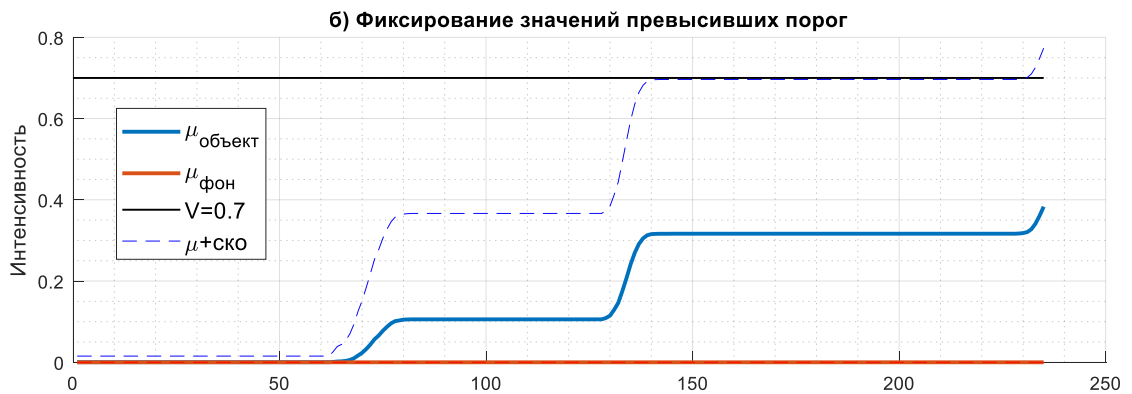


Рисунок 77 – Динамика изменения ВПО и ВЛТ в режиме ППС при $V=0.7$

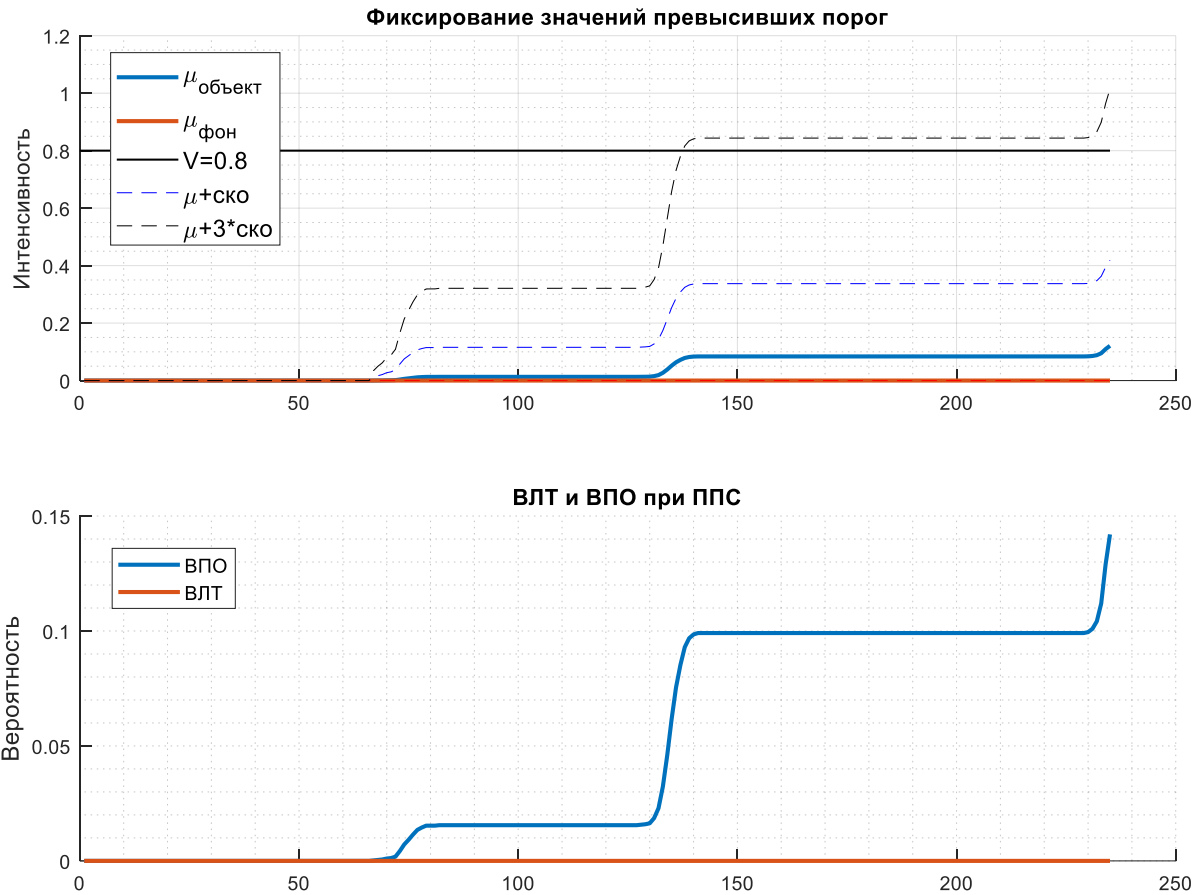


Рисунок 78 – Динамика изменения ВПО и ВЛТ в режиме ППС при $V=0.8$

В таблицах 15, 16 приведены характеристики обнаружения в режиме ППС при наблюдении на s_{12} и s_{22} .

Таблица 15 – Характеристики обнаружения в режиме ППС при наблюдении на s_{12}

V	$N_{>V}$, шт.	$N_{\text{обн}}$, шт.	$N_{\text{лт}}$, шт.	$N_{\text{пр}}$, шт.	$P_{\text{лт}}$	$P_{\text{пр}}$	$P_{\text{по}}$
0.3	9675	4755	4720	139	0.14	0.03	0.97
0.35	4495	3916	579	978	0.015	0.2	0.8
0.4	2254	2232	22	2662	0	0.55	0.45
0.5	162	162	0	4732	0	0.97	0.03

Таблица 16 – Характеристики обнаружения в режиме ППС при наблюдении на s_{22}

V	$N_{>V}$, шт.	$N_{\text{обн}}$, шт.	$N_{\text{лт}}$, шт.	$N_{\text{пр}}$, шт.	$P_{\text{лт}}$	$P_{\text{пр}}$	$P_{\text{по}}$
0.35	38422	4894	33528	0	0.95	0	1
0.5	11418	4800	6618	94	0.19	0.02	0.98
0.6	4391	4234	157	660	0.004	0.14	0.86
0.7	2604	2604	0	2290	0	0.47	0.53

Из таблиц 14, 15 и 16 видно, что при наблюдении на s_{11} и s_{22} эффективность обнаружения обеспечивается приблизительно при одном и том же уровне порога, тогда как наблюдение на s_{12} требуется снижение уровня порога. В режиме s_{12} аналогичные характеристики обнаружения достигаются при уровне порога в два раза ниже.

В соответствии с приведенными положениями можно сделать вывод, что наиболее приемлемое значение уровня порога при наблюдении на s_{11} лежит в пределах $V = 0.5 \dots 0.7$. Данные значения приблизительно в два раза выше величины порога ($V = 0.32$), определенного в соответствии с критерием идеального наблюдателя. Для осуществления обнаружения объекта наблюдения в режиме ППС потребовалось увеличить уровень порога в 1.56...2.5 раза. При этом ВПО составила $P_{\text{по}}=0.85$, а ВЛТ $P_{\text{лт}}=0.04$.

Полученные в результате моделирования радиолокационные изображения позволяют распознать объект последствия авиационного происшествия.

В ходе поляризационного сканирования было установлено, что максимальное отношение объект/фон достигает значение $\xi_{o/\phi} \cong 9$. Однако, уровень отраженного сигнала при данном показателе, оказывается ниже уровня порога. Данный факт ограничивает потенциал режима ППС и показывает неэффективность классического подхода к определению уровня порога.

4.5 Разработка методов улучшения обнаружения объектов последствия авиационного происшествия в режиме полного поляризационного сканирования

В соответствии с полученными в 4.4 результатами было установлено, что использование классического уровня порога для обнаружения ОПАП не раскрывает весь потенциал режима ППС. Рассмотрим возможность связи порогового уровня с отношением объект/фон. На рисунке 79 приведены зависимости уровня отраженного сигнала, отношения объект/фон и СКО от вида поляризации.

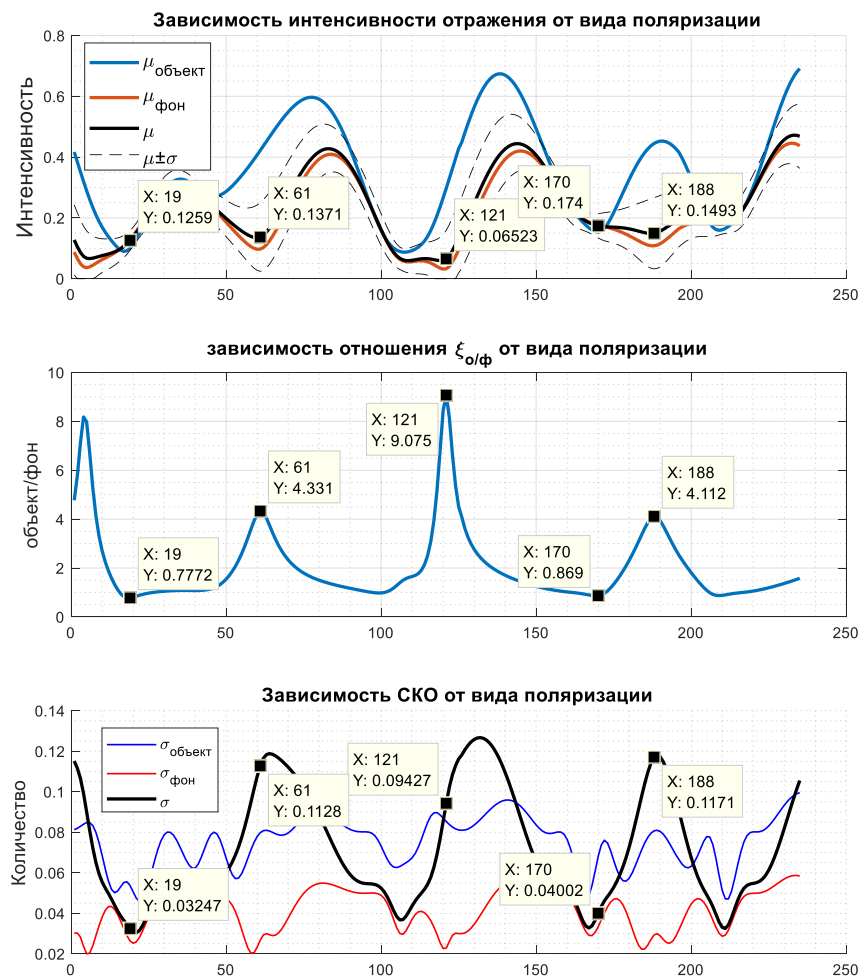


Рисунок 79 – Зависимость математического ожидания и СКО отраженного сигнала от вида поляризации

В соответствии с приведенными графиками (рисунок 79), прослеживается связь между динамикой изменения СКО и отношением объект/фон. На рисунке 80 приведены плотности распределения вероятностей отраженного сигнала от объекта и фона на поляризациях, при которых получено максимальное отношение объект/фон.

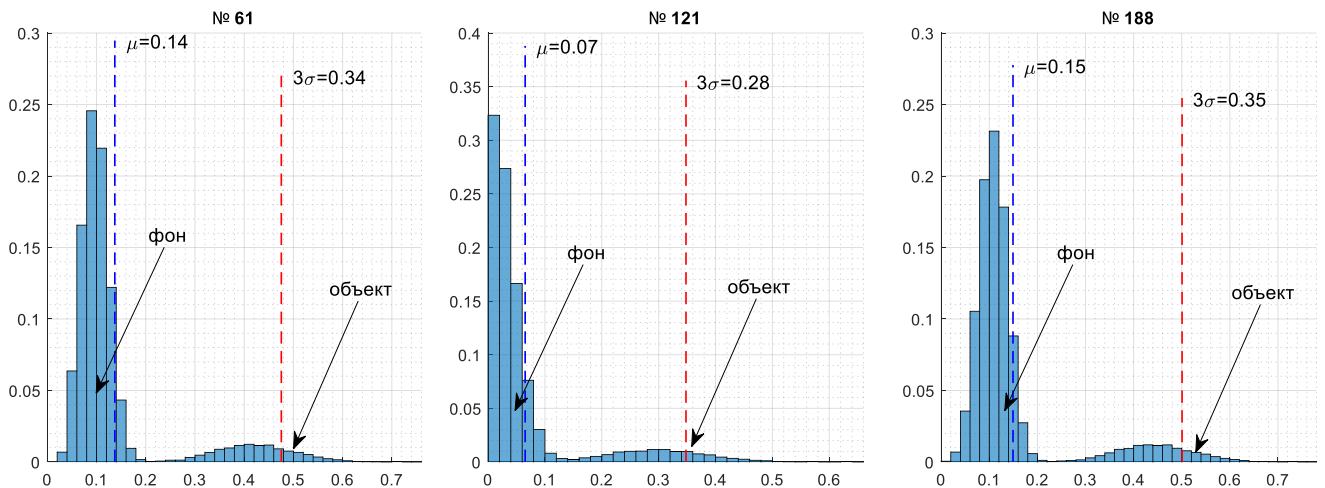


Рисунок 80 – ПРВ на поляризациях с максимальным отношением объект/фон

На гистограммах видно, что математическое ожидание смещено от максимума распределения в сторону «побочного» максимума, находящегося в области величины 3σ . В соответствии с правилом трех сигм, в случае, если распределение случайной величины подчиняется нормальному закону, ее выход за эти пределы является крайне маловероятным событием [51]. Поэтому можно сделать заключение, что элементы, превышающие это значение, с большой долей вероятности будут принадлежать не фону (распределение фона является нормальным), а наблюдаемому объекту. На рисунке 81 изображены ПРВ на поляризациях, которым соответствуют минимальные значения отношений объект/фон.

На поляризациях с минимальным отношением объект/фон наблюдается совершенно другая картина. Математическое ожидание соответствует максимуму распределения, а количество величин, превосходящих значение 3σ , составляет не более 1%.

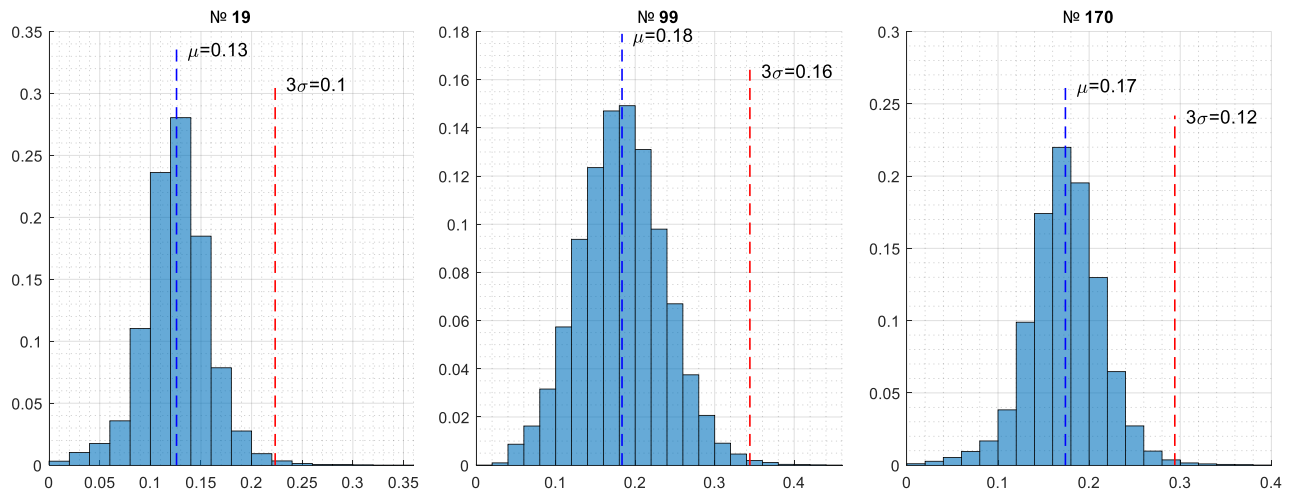


Рисунок 81 – ПРВ на поляризациях с минимальным отношением объект/фон

В соответствии со сказанным выше, будем вычислять уровень порога V каждый раз при изменении вида поляризации, в соответствии со следующим соотношением:

$$V_{pl} = \mu_{pl} + 3\sigma_{pl} \quad (4.6)$$

где μ_{pl} – математическое ожидание интенсивности всех элементов радиолокационного изображения на некоторой поляризации, а σ_{pl} – СКО.

В соответствии с (4.6) реализуется динамическое изменение уровня порога, в результате которого получена «кривая порога», изображенная на рисунке 82.

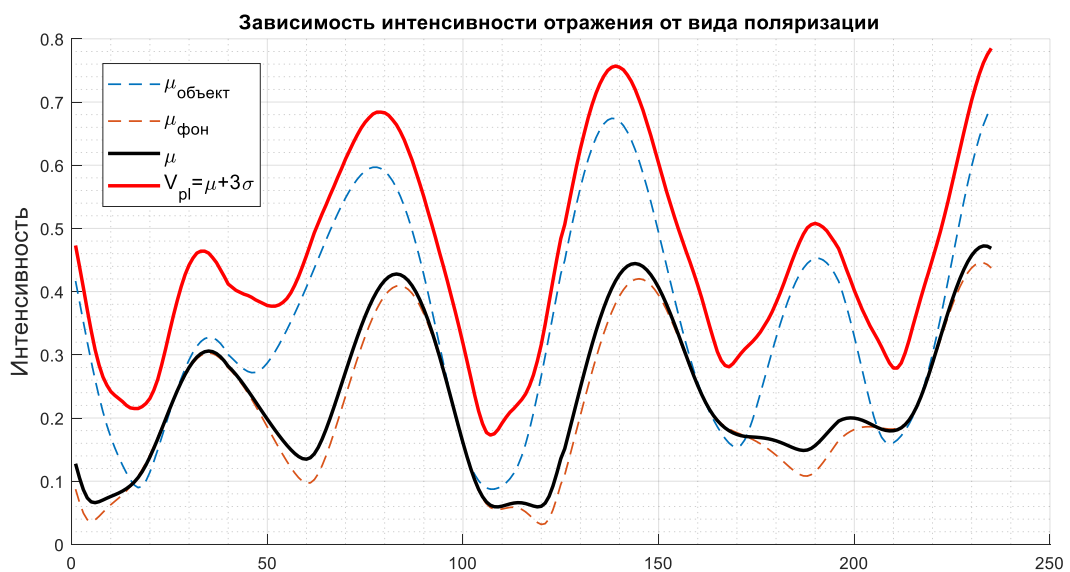


Рисунок 82 – Динамическое изменение уровня порога при ППС

Как видно из рисунка, кривая порога проходит выше значений математического ожидания уровня отражения для объекта. Наиболее эффективным будет такой уровень порога, который даст кривую, ограниченную кривой объекта и фона. Рассмотрим варианты динамического порога $V_{pl} = \mu_{pl} + 2\sigma_{pl}$ и $V_{pl} = \mu_{pl} + 1.5\sigma_{pl}$. Графики на рисунке 83 и 84 показывают полученный результат.

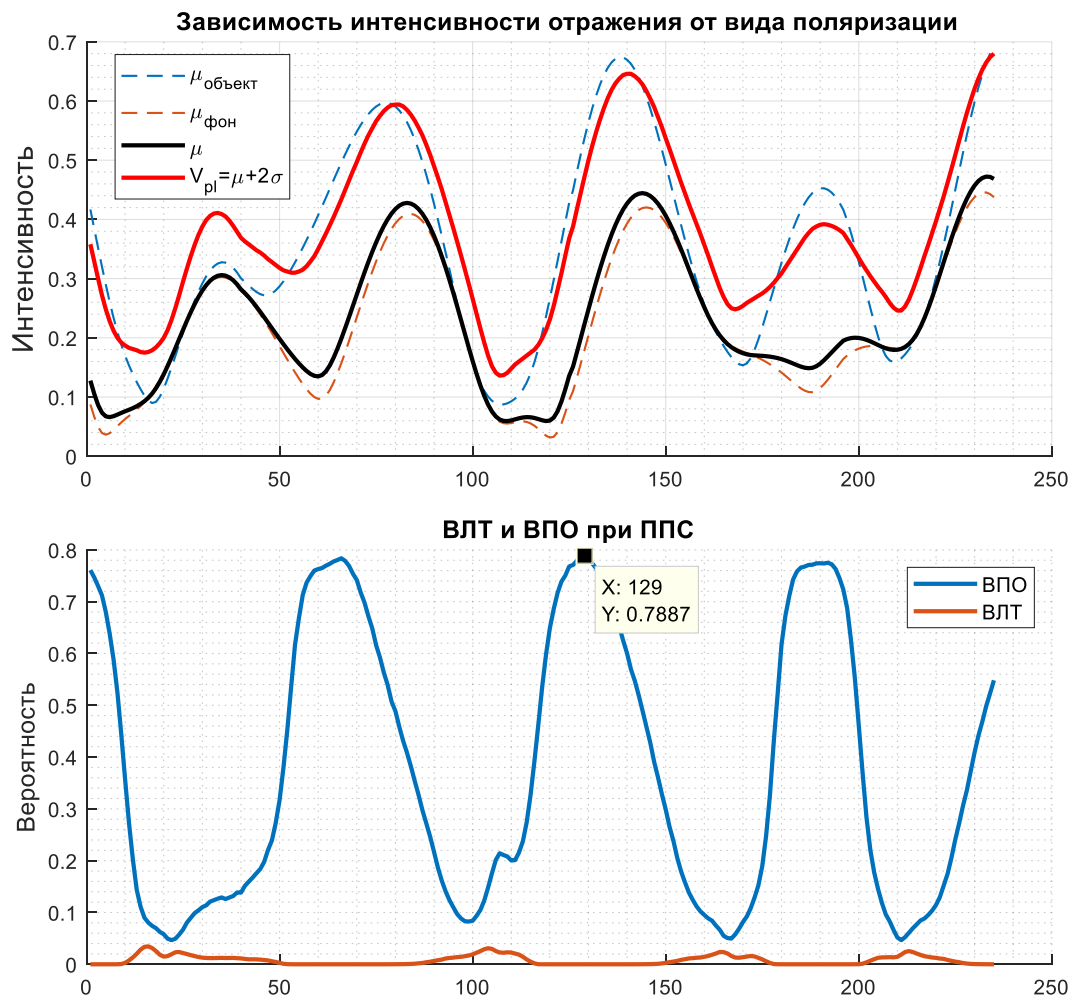


Рисунок 83 – Динамика изменение уровня порога « 2σ », ВПО и ВЛТ в режиме ППС

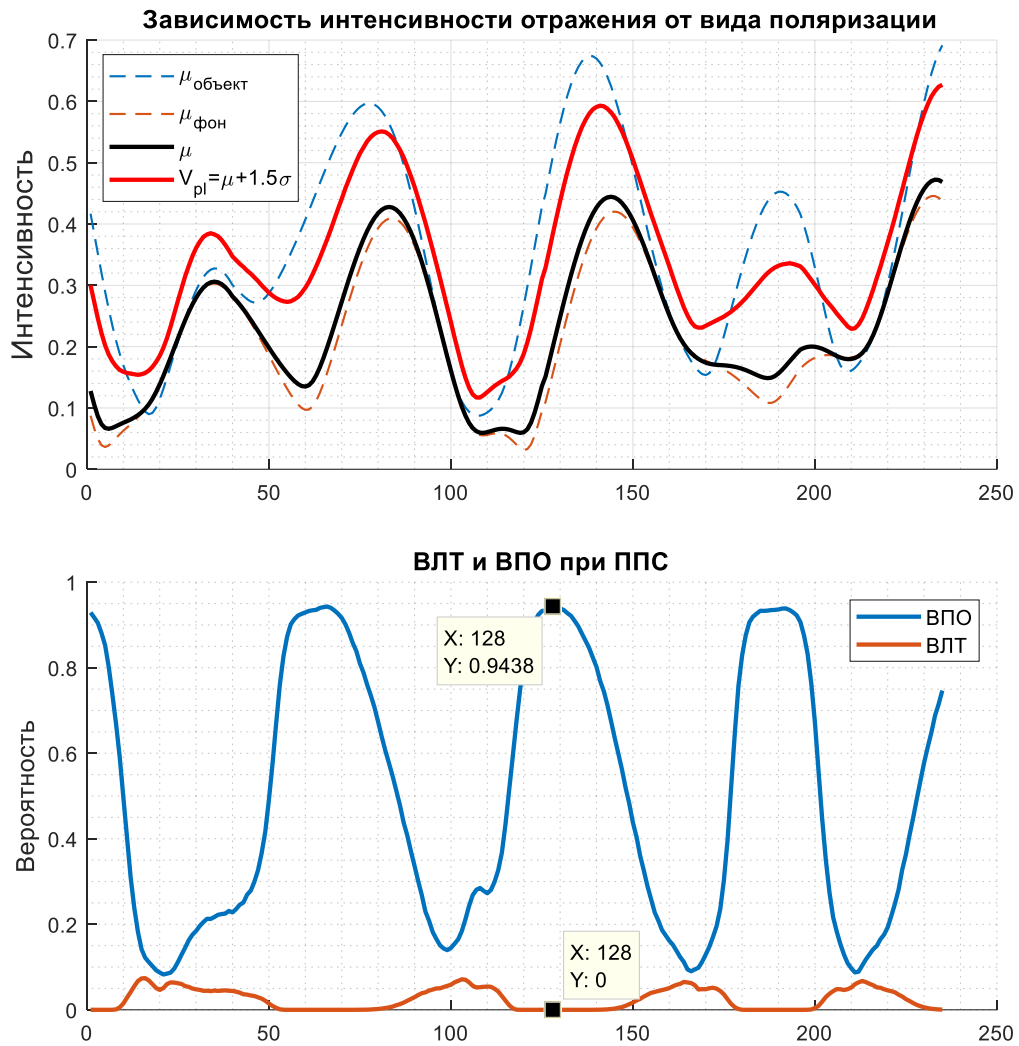


Рисунок 84 – Динамика изменение уровня порога « 1.5σ », ВПО и ВЛТ в режиме ППС

В результате моделирования режима ППС, при уровне порога $2\sigma_{pl}$, ВПО составила 0.79, ВЛТ менее 0.001. При уровне порога $1.5\sigma_{pl}$, ВПО составила 0.93, ВЛТ=0.02.

Таким образом, была рассмотрена возможность использования динамического порога, выраженного через математическое ожидание и СКО. Результаты, полученные в ходе моделирования, показывают эффективность разрабатываемого метода. Применение динамического уровня порога, определяемого в соответствии с соотношением $V_{pl} = \mu_{pl} + 1.5\sigma_{pl}$, позволяет увеличить ВПО со значения $P_{\text{по}}=0.85$ до $P_{\text{по}}=0.93$, и снизить ВЛТ со значения $P_{\text{лт}} = 0.04$ до $P_{\text{лт}} = 0.02$. Необходимо отметить, что СКО показывает абсолютную

меру разброса значений в статистической совокупности. Данный факт, вероятно, будет ограничивать применение данного подхода, соответственно, требуется дальнейшая проработка рассматриваемого вопроса.

4.5.1. Коэффициент вариации и отражающие характеристики объектов последствия авиационного происшествия

Рассмотрим возможность связать отношение объект/фон через меру, выраженную в относительных единицах. В качестве такой меры может выступать коэффициент вариации, который определен как отношение среднеквадратического отклонения к математическому ожиданию [51]:

$$k_v = \frac{\sigma}{\mu}. \quad (4.7)$$

На рисунке 85 изображены графики, показывающие динамику изменения интенсивности отражения от объекта и фона, отношения объект/фон и коэффициента вариации (4.7) при поляризационном сканировании. Из рисунка видно, что график изменения коэффициента вариации практически в точности повторяет график изменения отношения объект/фон. Все поляризации, на которых получено максимальное отношение объект/фон, соответствуют поляризациям, на которых получено максимальное значение коэффициента вариации.

Таким образом, установлена взаимосвязь с отношением объект/фон через коэффициент вариации. Рассмотрим возможность оценки отношения объект/фон $\xi_{o/\phi}$ через коэффициент вариации. Для этого выразим $\xi_{o/\phi}$ через некоторый коэффициент g :

$$\xi_{o/\phi} = g \cdot k_v \quad (4.8)$$

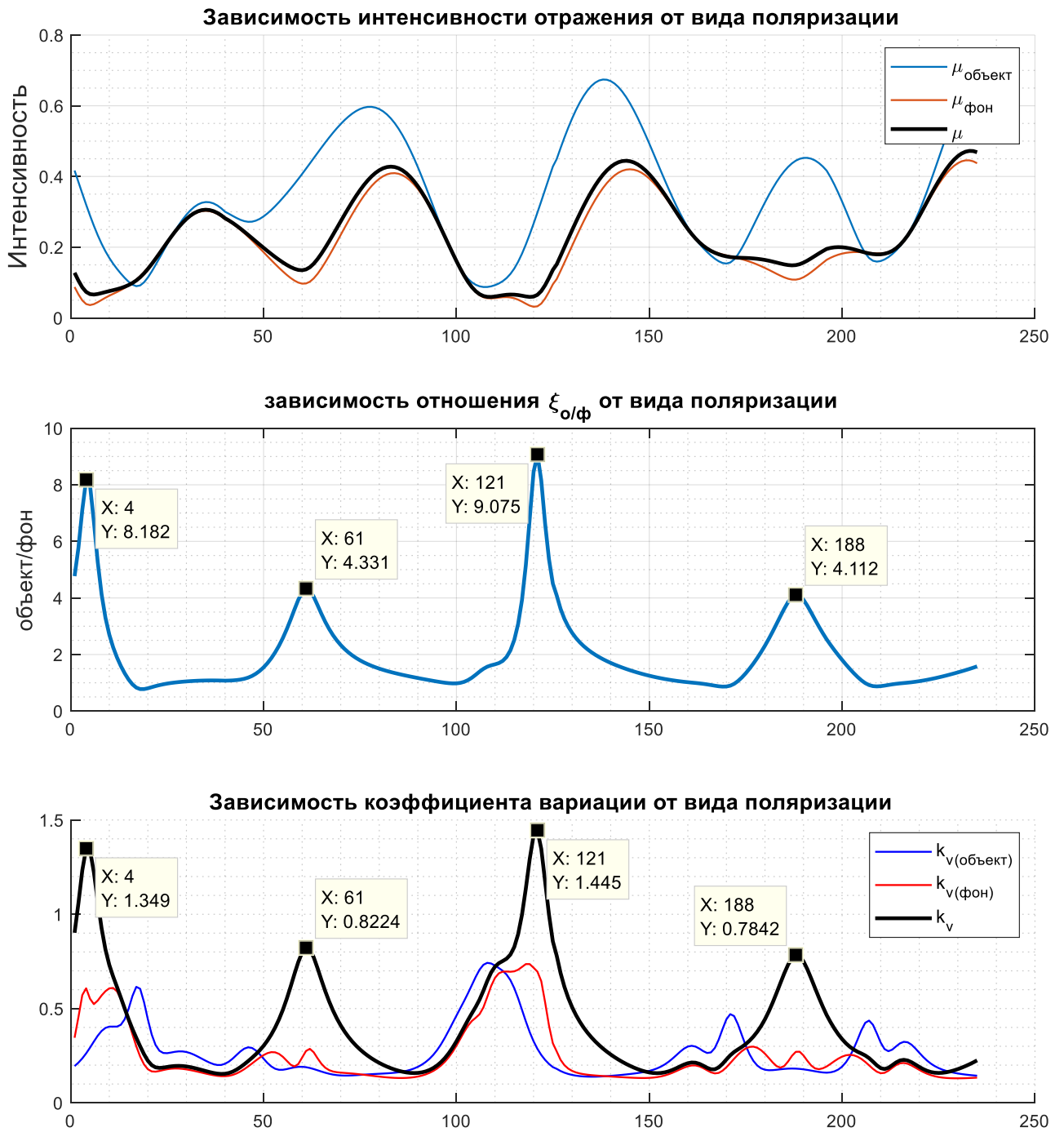


Рисунок 85 – Динамика изменения уровня отражения от объекта и фона, отношения объект/фон и коэффициента вариации при ППС

Для численной оценки отношения объект/фон произведем приближенное вычисление коэффициента g . На рисунке 86 приведен график зависимости коэффициента g от вида поляризации, определенный в соответствии с формулой 4.8.

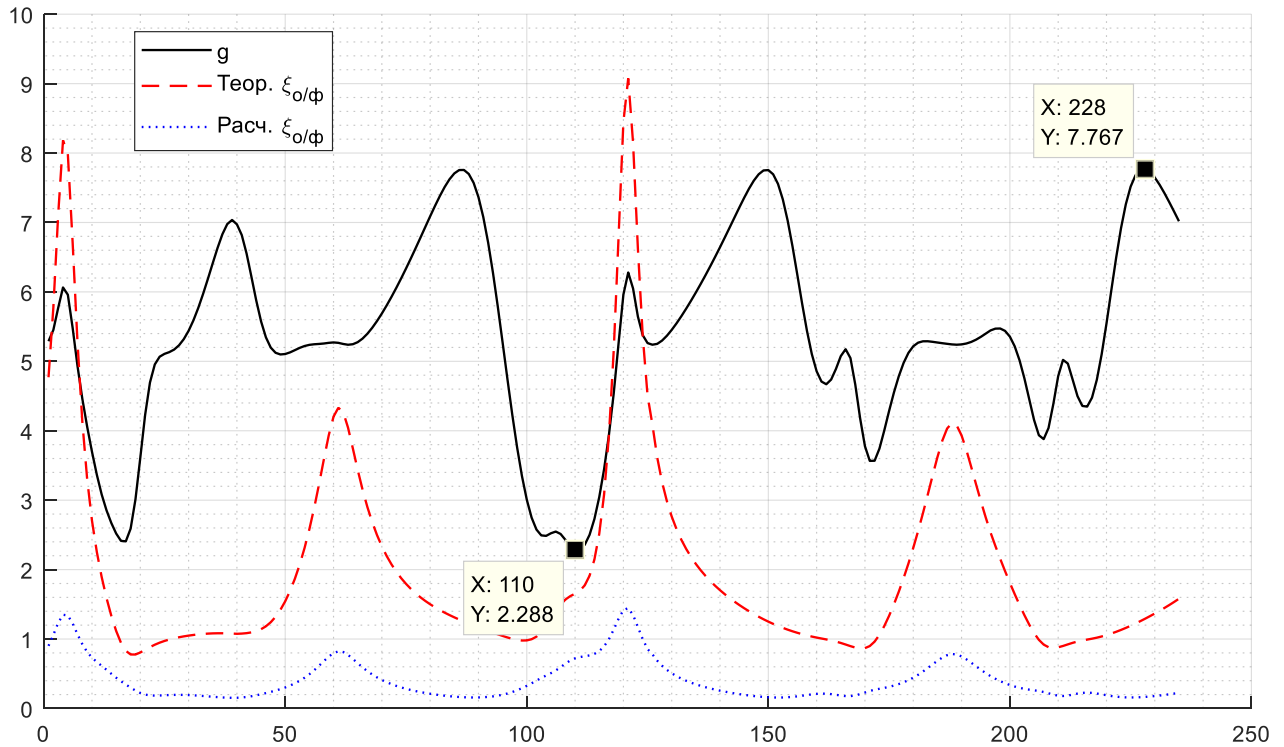


Рисунок 86 – Зависимость коэффициента пропорциональности от вида поляризации

Из графика видно, что коэффициент g лежит в пределах от 2.2 ... 7.7. Примем усредненное значение $g \cong 5.36$. На рисунке 87 приведен график зависимости относительной ошибки определения $\xi_{0/\phi}$ от вида поляризации при расчете по следующей формуле:

$$\delta_{\xi} = \frac{\Delta_{\xi}}{\xi_0} \cdot 100, \quad (4.9)$$

где $\Delta_{\xi} = |\xi_p - \xi_0|$ – абсолютная ошибка, ξ_p – расчетное значение объект/фон, ξ_0 – фактическое значение отношения объект/фон.

Как видно из графика, изображенного на рисунке, максимальное значение ошибки составляет 134.4% на поляризации №110. Среднее значение ошибки составляет 25.1%.

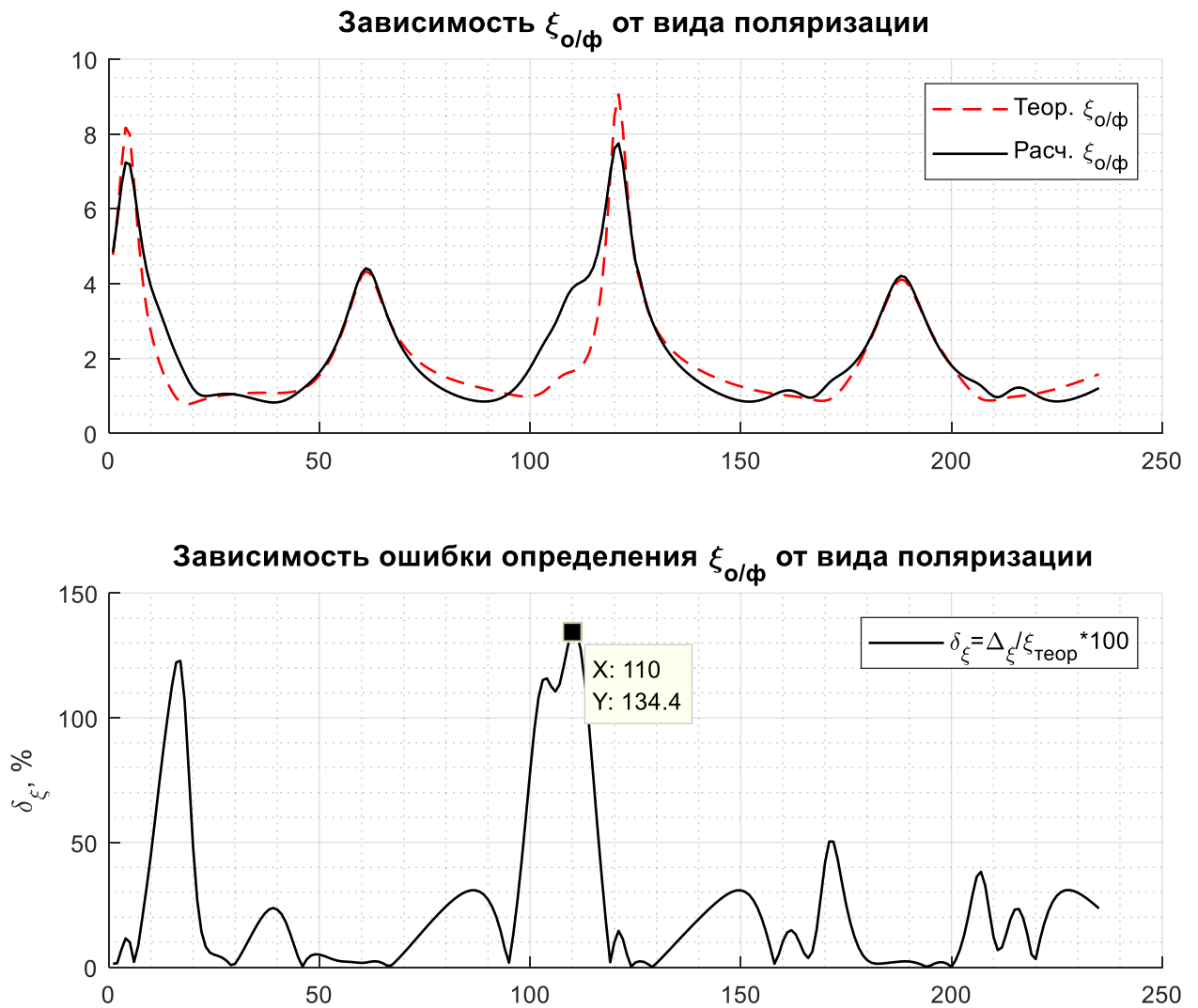


Рисунок 87 – Зависимость ошибки определения отношения объект/фон от вида поляризации

Примем допущение, что площадь, занимаемая объектом наблюдения, будет намного меньше площади, занимаемой фоном. В связи с этим математическое ожидание интенсивности смеси объект + фон будет приближаться к интенсивности фона:

$$\mu_o + \mu_\phi \rightarrow \mu_\phi \quad (4.10)$$

С учетом (4.10) $\mu_o \rightarrow 0$ математическое ожидание уровня отраженного сигнала в каждом элементе наблюдаемой дискретной площадки стремиться к математическому ожиданию интенсивности отражения от фона ($\mu \rightarrow \mu_\phi$). Тогда будем считать, что

$$\mu \cong \mu_{\phi} \quad (4.11)$$

Приняв приближения (4.10) и (4.11), определим математическое ожидание интенсивности отражения от объекта:

$$\mu_o \cong \xi_{o/\phi} \cdot \mu \quad (4.12)$$

В соответствии с выражением (4.12) определим интенсивность отражения от объекта наблюдения на каждой выбранной рабочей поляризации режима ППС. На рисунке 88 изображен график динамики изменения математического ожидания интенсивности отражения от объекта при поляризационном сканировании и график ошибки определения μ_o .

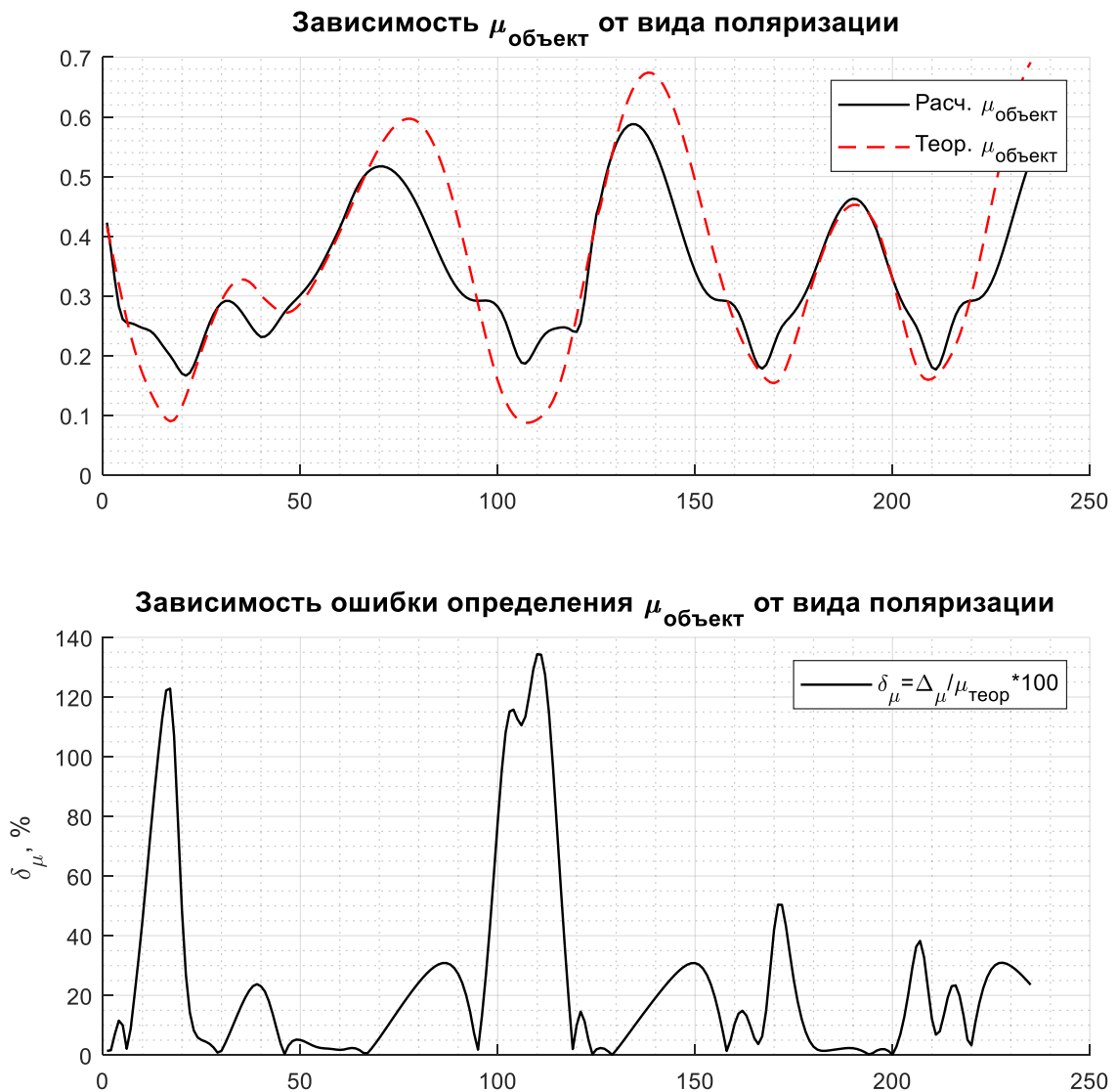


Рисунок 88 – Зависимость $\mu_{\text{объект}}$ от вида поляризации

Как видно из рисунка, ошибка определения μ_0 напрямую связана с ошибкой определения отношения объект/фон (рисунок 87). Соответственно для повышения точности определения μ_0 необходимо повысить точность вычисления $\xi_{o/f}$.

Для повышения точности определения отношения объект/фон необходимо уменьшить степень зависимости коэффициента пропорциональности от вида поляризации. Выразим $\xi_{o/f}$ исходя из следующей формулы для коэффициента g :

$$g \cong \sqrt{\frac{(\xi_{o/f}^2 - k_v^2)}{(\xi_{o/f}^2 + k_v^2)}} \quad (4.13)$$

На рисунке 89 приведена зависимость коэффициента g от вида поляризации.

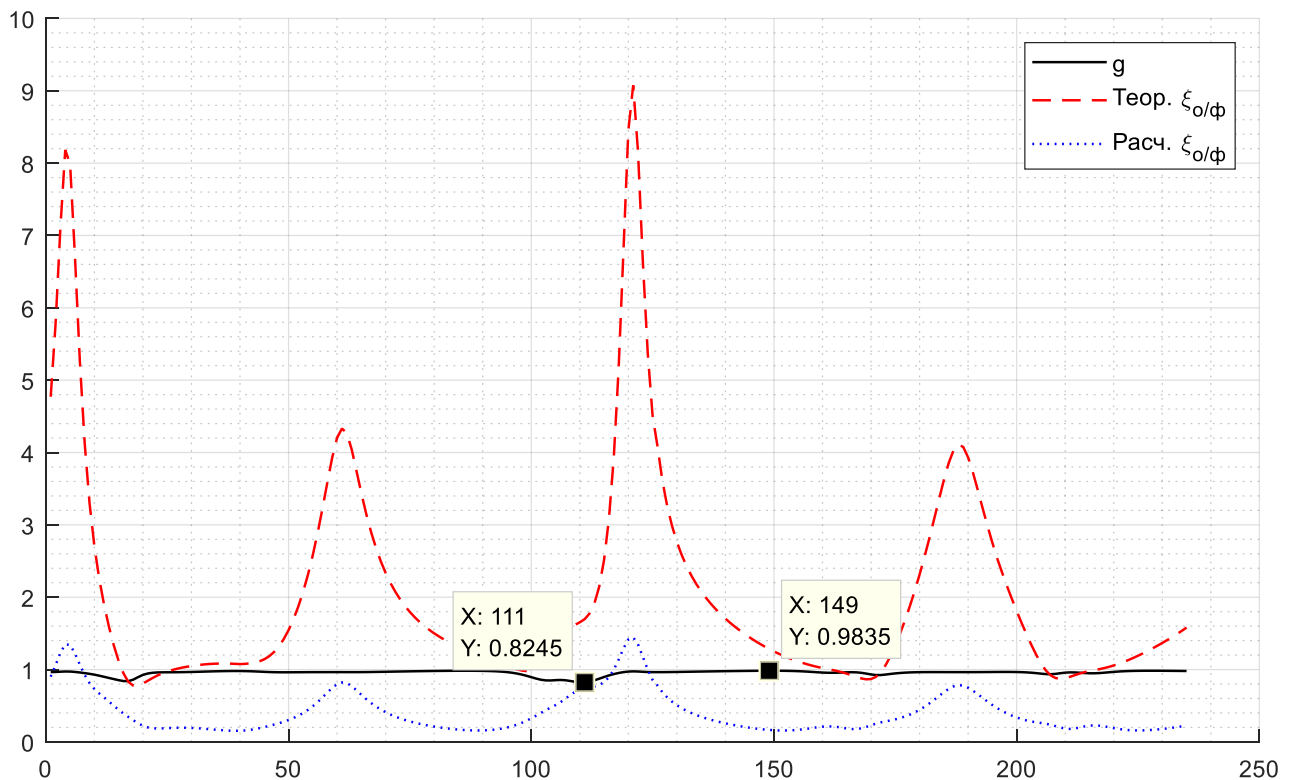


Рисунок 89 – Зависимость коэффициента g от вида поляризации

Коэффициент g , рассчитанный по формуле (4.13) в значительно меньшей степени зависит от вида поляризации (в сравнении с коэффициентом, определенным по формуле (4.8)) и лежит в пределах $g = 0.824 \dots 0.983$. Зададимся усредненным значением коэффициента g :

$$g \cong 0.955 \quad (4.14)$$

Исходя из (4.14) запишем выражение для определения отношения объект/фон:

$$\xi_{o/\phi} = \sqrt{\frac{k_v^2(1+g^2)}{1-g^2}} \quad (4.15)$$

На рисунке 90 приведена зависимость рассчитанного по формуле (4.15) отношения объект/фон от вида поляризации. Максимальное значение относительной ошибки составило 103.7% на поляризации № 110. Среднее значение ошибки 25.3%.

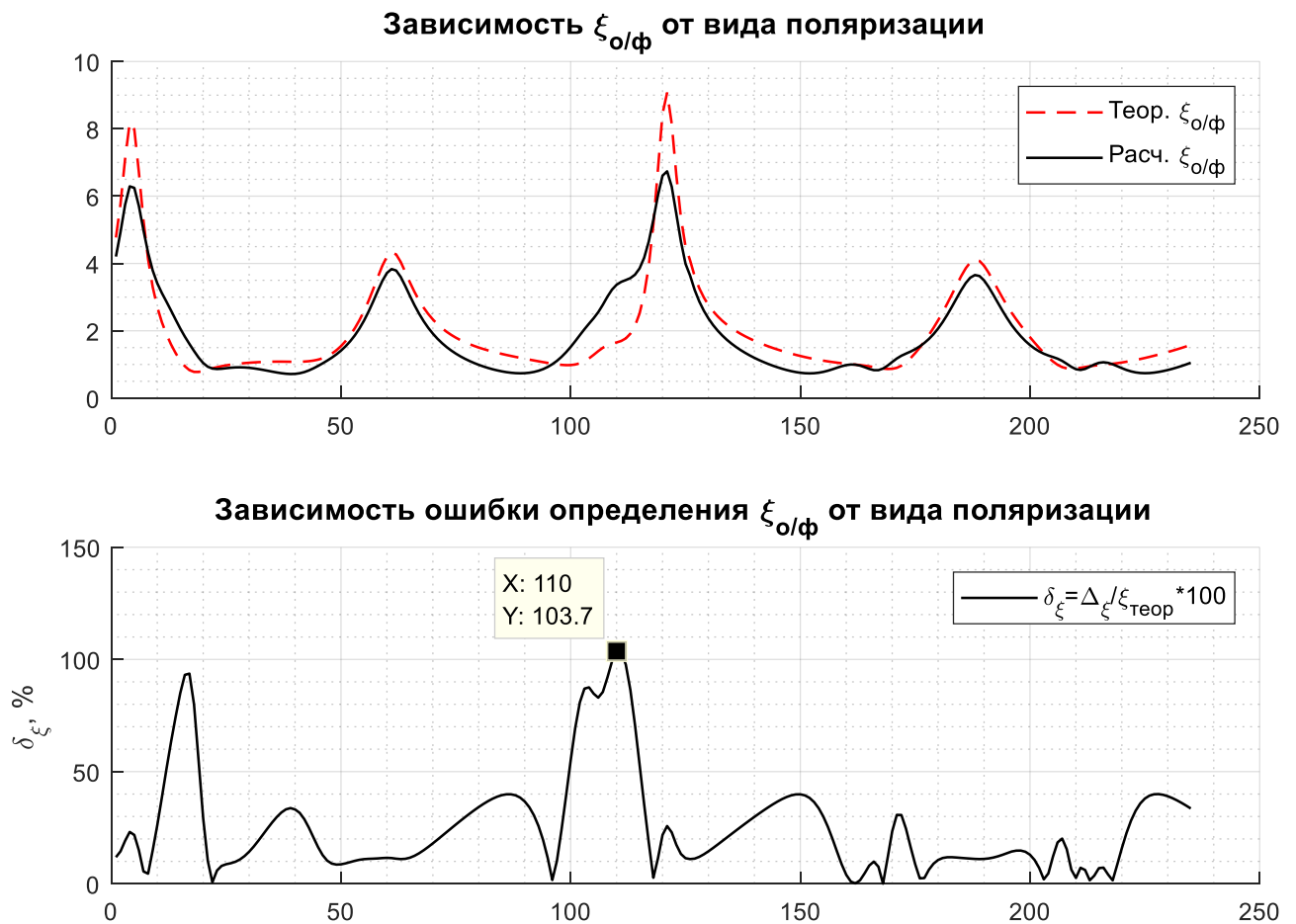


Рисунок 90 – Зависимость отношения объект/фон от вида поляризации

Расчет отношения объект/фон по формуле (4.15) позволил уменьшить максимальную ошибку на 33%. Средняя ошибка осталась фактически на том же уровне. Поскольку при таком подходе коэффициент g в минимальной степени

зависит от вида поляризации, данная ошибка обусловлена методической ошибкой определения отношения объект/фон.

4.5.2 Динамическое управление уровнем порога в режиме полного поляризационного сканирования

Ранее была показана возможность оценки отношения объект/фон через коэффициент вариации. Определим критерии выбора уровня порогового значения, опираясь на вычисляемое значение отношения объект/фон.

В качестве величины порога используем параметр V_ξ , выраженный через некоторое относительное значение отношения объект/фон, удовлетворяющее критериям обнаружения. Достаточная интенсивность отраженного сигнала будет выражена следующим соотношением:

$$I_{n,p}(N_p) > V_\xi \cdot \mu + \frac{\mu}{\mu_0} = V_\xi \cdot \mu + \frac{1}{\xi_{o/\phi}} \quad (4.16)$$

где $\mu_0 = \xi_{o/\phi} \cdot \mu$ – математическое ожидание интенсивности отражения от объекта, μ – математическое ожидание интенсивности отражения на всей площадке наблюдения, $\xi_{o/\phi}$ – отношение объект/фон.

На рисунке 91 приведен график зависимости уровня порога от вида поляризации при параметре $V_\xi = 0.5$. Из рисунка видно, что уровень порога всегда превышает математическое ожидание интенсивности отражения от фона и при достаточном отношении объект/фон «подхватывает» объект наблюдения.

На рисунке 92 изображен график зависимости уровня порога от вида поляризации при различных параметрах V_ξ .

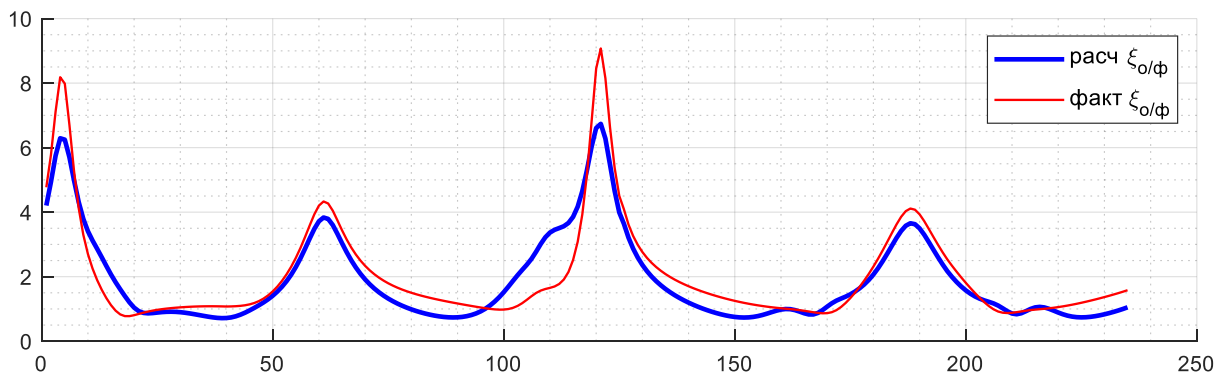
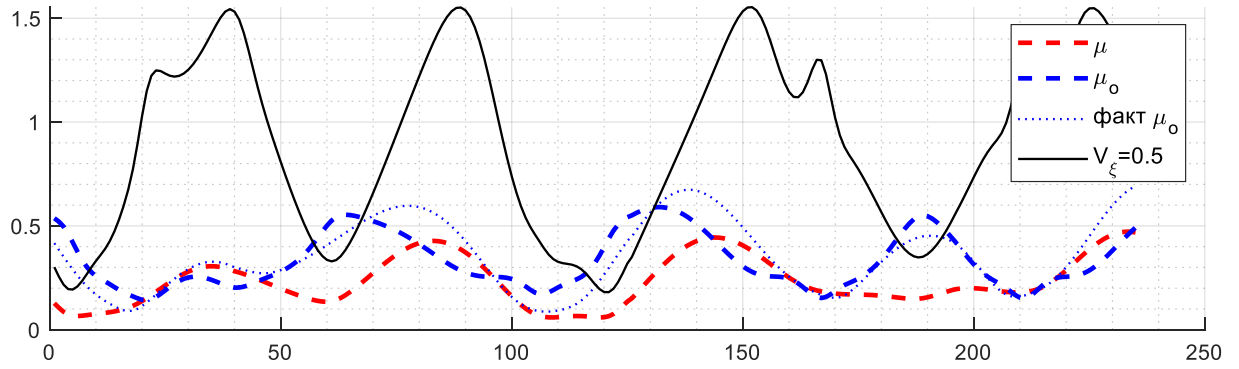


Рисунок 91 – График зависимости уровня порога от вида поляризации при $V_{\xi} = 1$

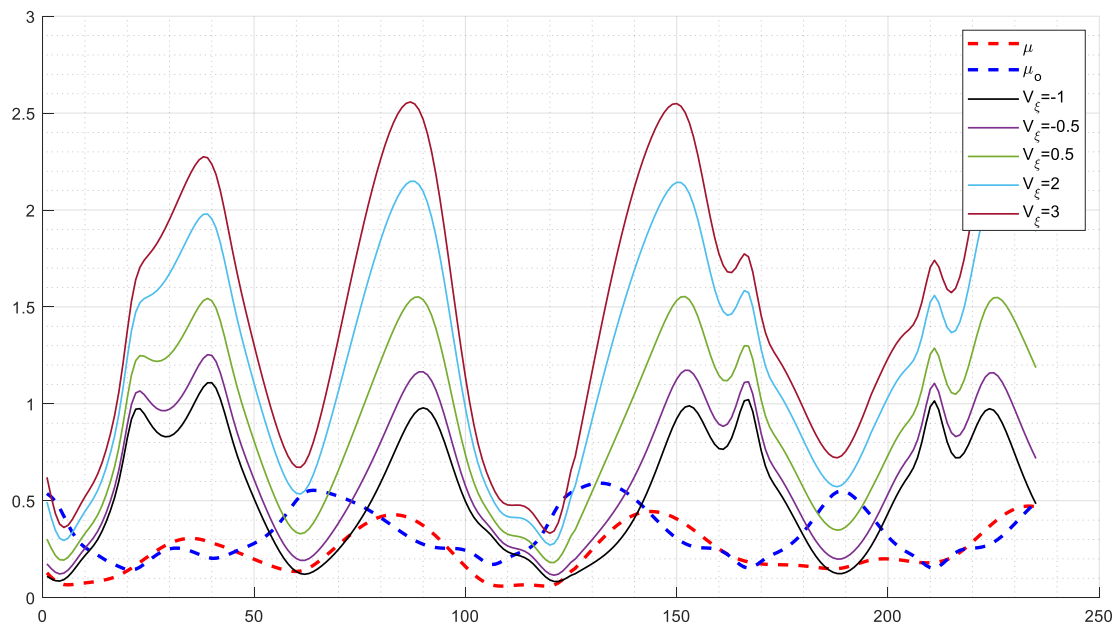


Рисунок 92 – График зависимости уровня порога от вида поляризации при различных параметрах V_{ξ}

В таблице 17 приведены параметры обнаружения в режиме ППС при разных параметрах V_ξ .

Таблица 17 – Характеристики обнаружения в режиме ППС

V_ξ	$P_{лт}$	$P_{пр}$	$P_{по}$	μ_o	μ	ξ_o/ϕ
-1	0.92	0	1	0.8	0.4	2
-0.5	0.01	0	1	1.07	0.09	12.2
0	0.0001	0.005	0.995	1.02	0.08	12.8
0.1	0.00001	0.01	0.99	1	0.08	12.9
0.5	0	0.05	0.95	0.65	0.05	13.1
1	0	0.13	0.87	0.74	0.05	14.1
2	0	0.39	0.61	0.55	0.03	17

Как видно из таблицы, наибольшая вероятность правильного обнаружения ($P_{по} = 1$) обеспечивается при параметре порога $V_\xi = -0.5$, при этом вероятность ложной тревоги составляет 0.01. С увеличением параметра порога вероятность правильного обнаружения снижается, как и вероятность ложной тревоги. На рисунке 93 изображен график зависимости ВПО и ВЛТ от параметра порога.



Рисунок 93 – График зависимости ВПО и ВЛТ от параметра порога V_ξ

На рисунках 94 - 96 изображены графики, полученные при различных параметрах порога в результате моделирования режима полного поляризационного сканирования, на которых показана динамика изменения интенсивности отражения от объекта и фона, параметра порога, отношения объект/фон, ВПО и ВЛТ.

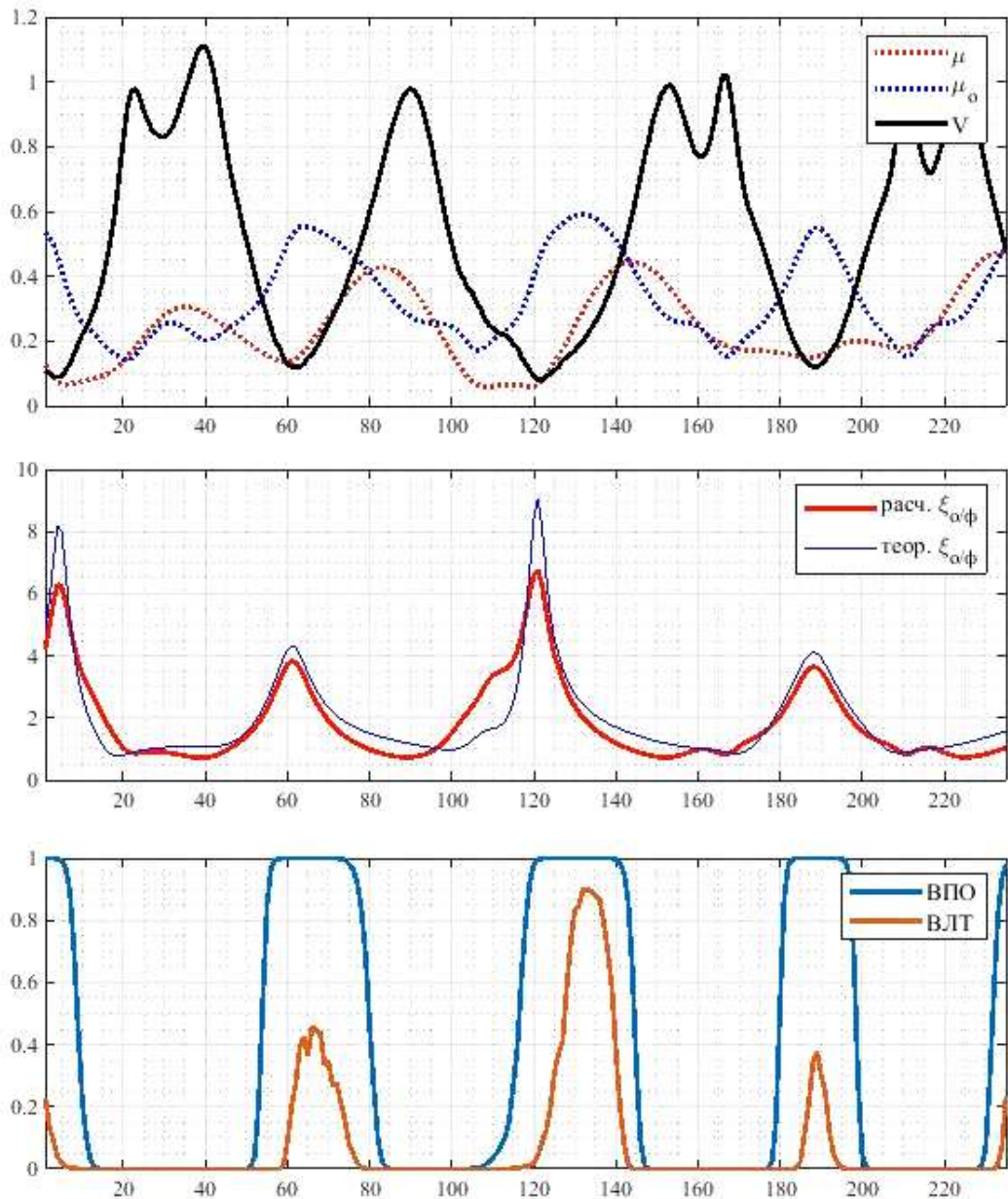


Рисунок 94 – Динамика изменения параметров обнаружения при ППС, параметр порога $V_{\xi} = -1$

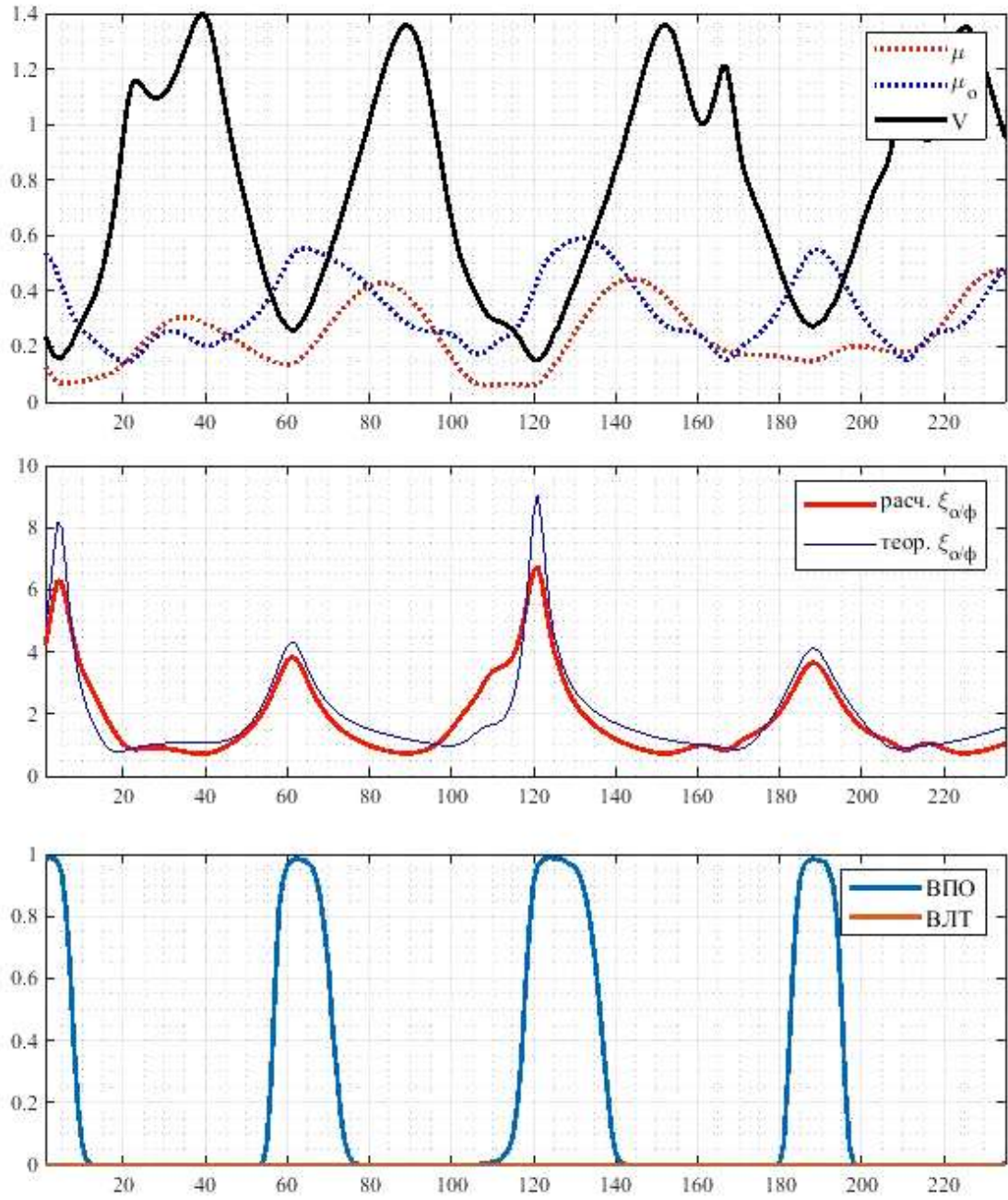


Рисунок 95 – Динамика изменения параметров обнаружения при ППС, параметр порога $V_\xi = 0$

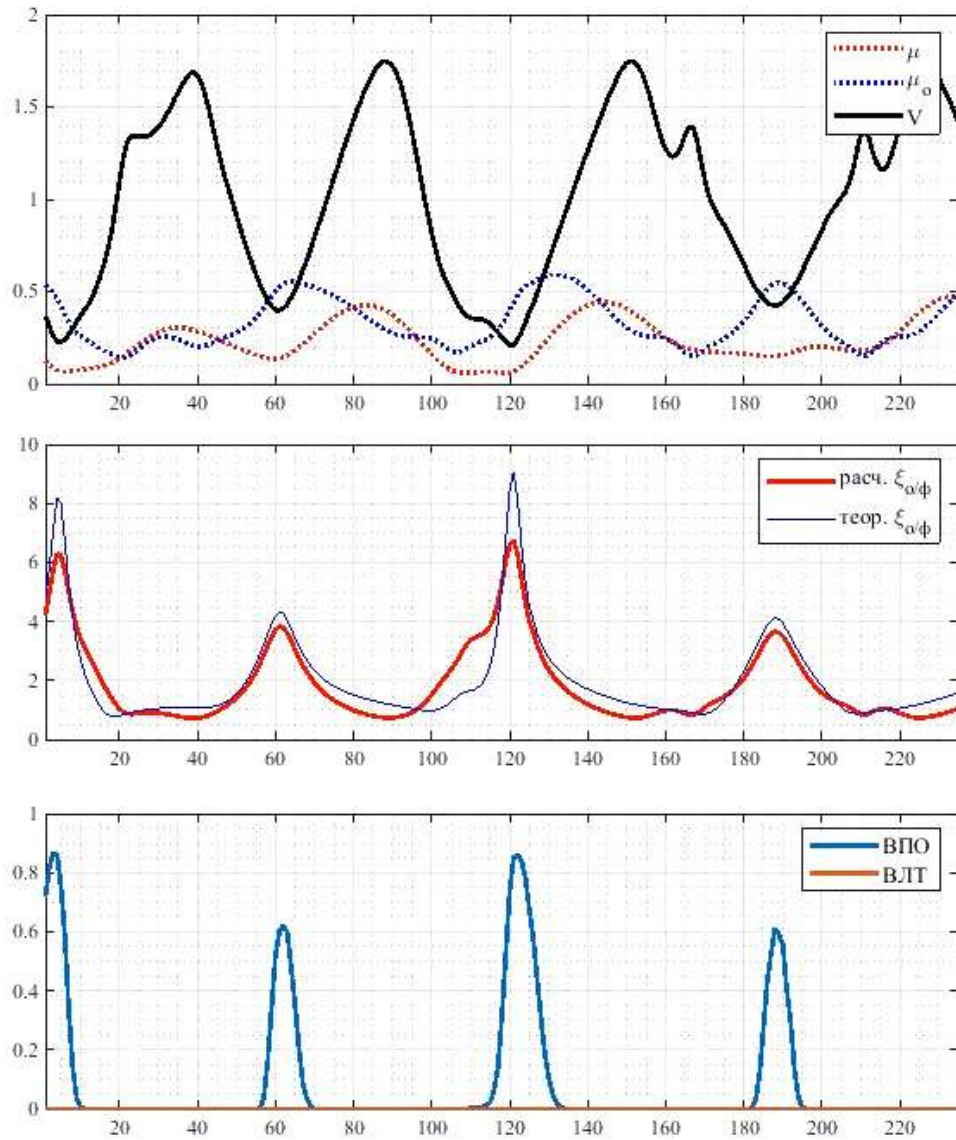


Рисунок 96 – Динамика изменения параметров обнаружения при ППС, параметр порога $V_{\xi} = 1$

На рисунке 97 приведены полученные радиолокационные изображения при разных значениях параметра порога.

Полученные результаты показывают, что наиболее приемлемые значения параметра порога лежат в диапазоне $V_{\xi} = -0.5 \dots 0.1$. При значении $V_{\xi} = 0$ достигается максимальная вероятность правильного обнаружения ($P_{\text{по}} = 0.995$) при минимальном значении ВЛТ (< 0.0001). Данные параметры значительно превосходят аналогичные показатели, полученные в «классическом» режиме наблюдения.

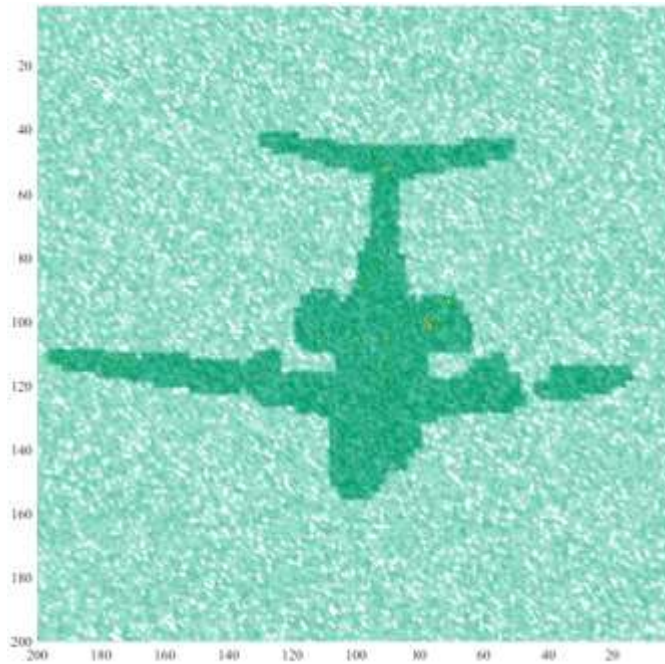
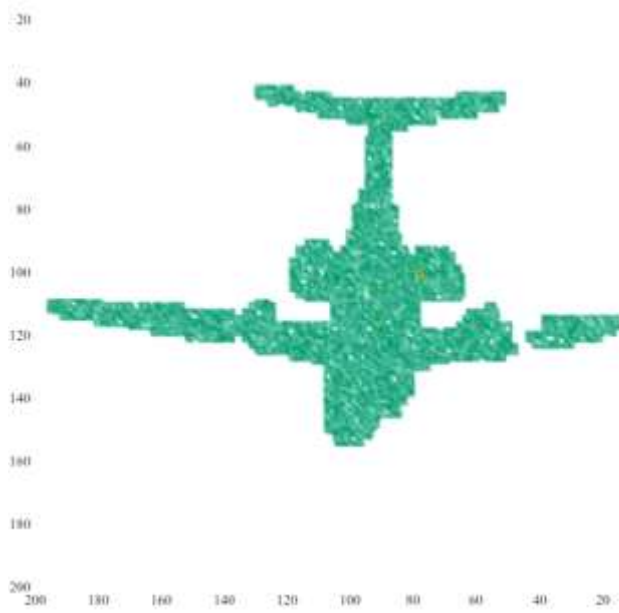
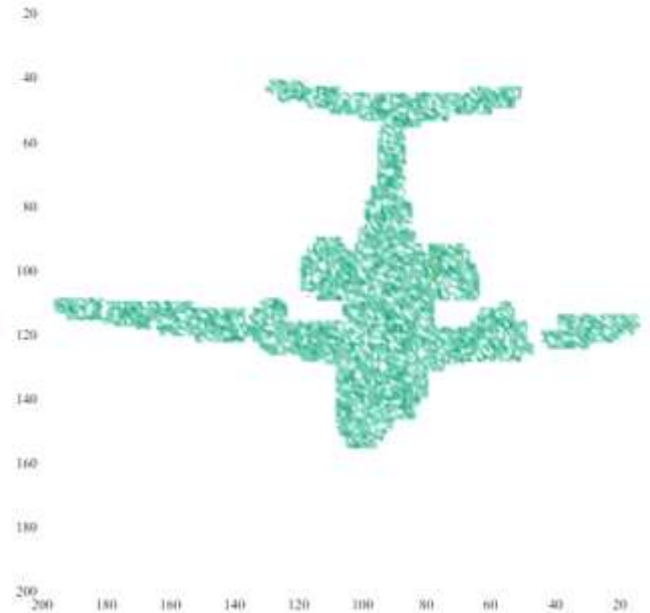
а) $V_{\xi} = -1$ б) $V_{\xi} = 0$ в) $V_{\xi} = 1$ 

Рисунок 97 – Радиолокационные изображения, полученные в режиме ППС при разных значениях параметра порога

Уровень порога, определяемый по формуле (4.16) не будет универсальным для различных типов подстилающих поверхностей (фона). Если интенсивность отраженной волны будет изменяться на другом уровне, для получения аналогичных характеристик обнаружения необходимо реализовать непрерывный подбор параметра порога V_ξ в зависимости от типа подстилающего покрова.

Для иного подхода выразим уровень порога, исходя из отношения элемент/фон. Воспользуемся следующим соотношением:

$$\frac{I_{n,p}(N_p)}{\mu} > V_\xi. \quad (4.17)$$

Интенсивность отражения будет выражена следующим образом:

$$I_{n,p}(N_p) > V_\xi \cdot \mu, \quad (4.18)$$

где $I_{n,p}(N_p)$ – интенсивность отражения в некотором конкретном элементе поверхности; V_ξ – параметр порога; μ – математическое ожидание интенсивности отражения на рассматриваемом участке поверхности.

Такой подход будет более универсальным, и позволит получить характеристики обнаружения, независимые от конкретных значений интенсивности отражения от объекта и фона.

На рисунке 98 изображен график зависимости ВПО и ВЛТ от параметра порога при подходе, опирающемся на выражение (4.18).

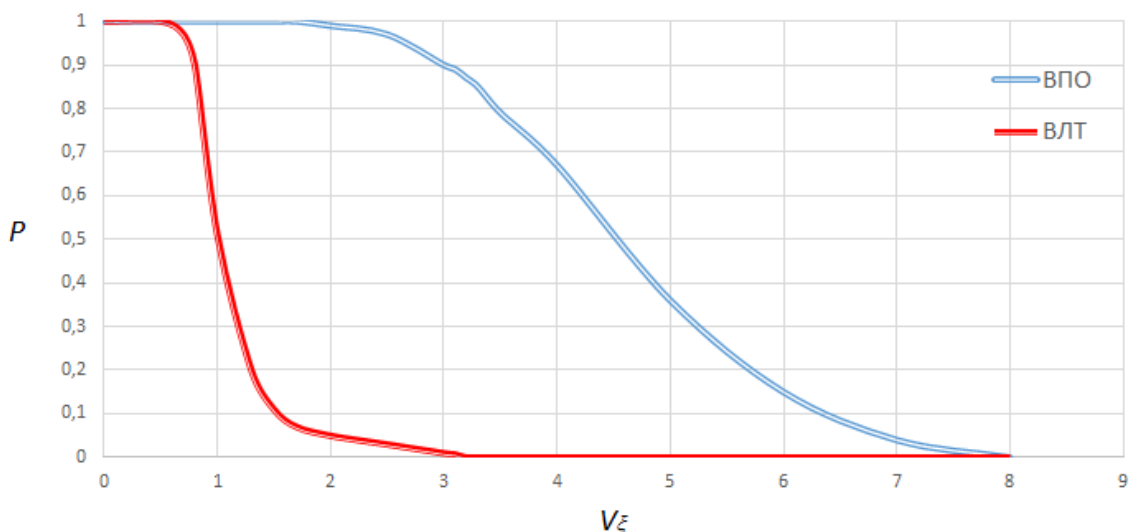


Рисунок 98 – График зависимости ВПО и ВЛТ от параметра порога V_ξ

На рисунке 99 показан график изменения уровня порога, определяемого в соответствии с соотношением (4.18) при различных параметрах V_ξ .

В таблице 18 приведены характеристики обнаружения, полученные при различных значениях параметра порога V_ξ .

На рисунках 100 – 104 показаны графики зависимости параметров обнаружения от вида поляризации и радиолокационные изображения для различных значений параметров порога.

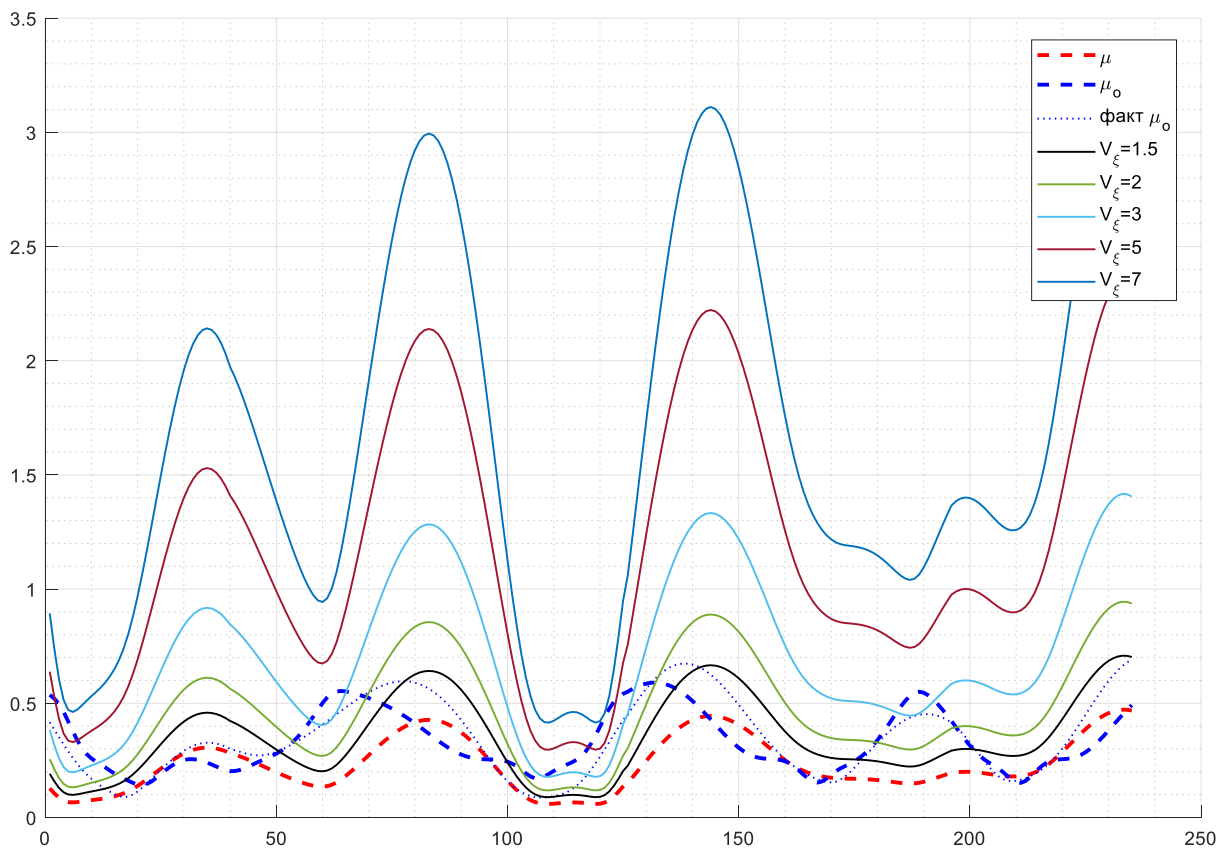
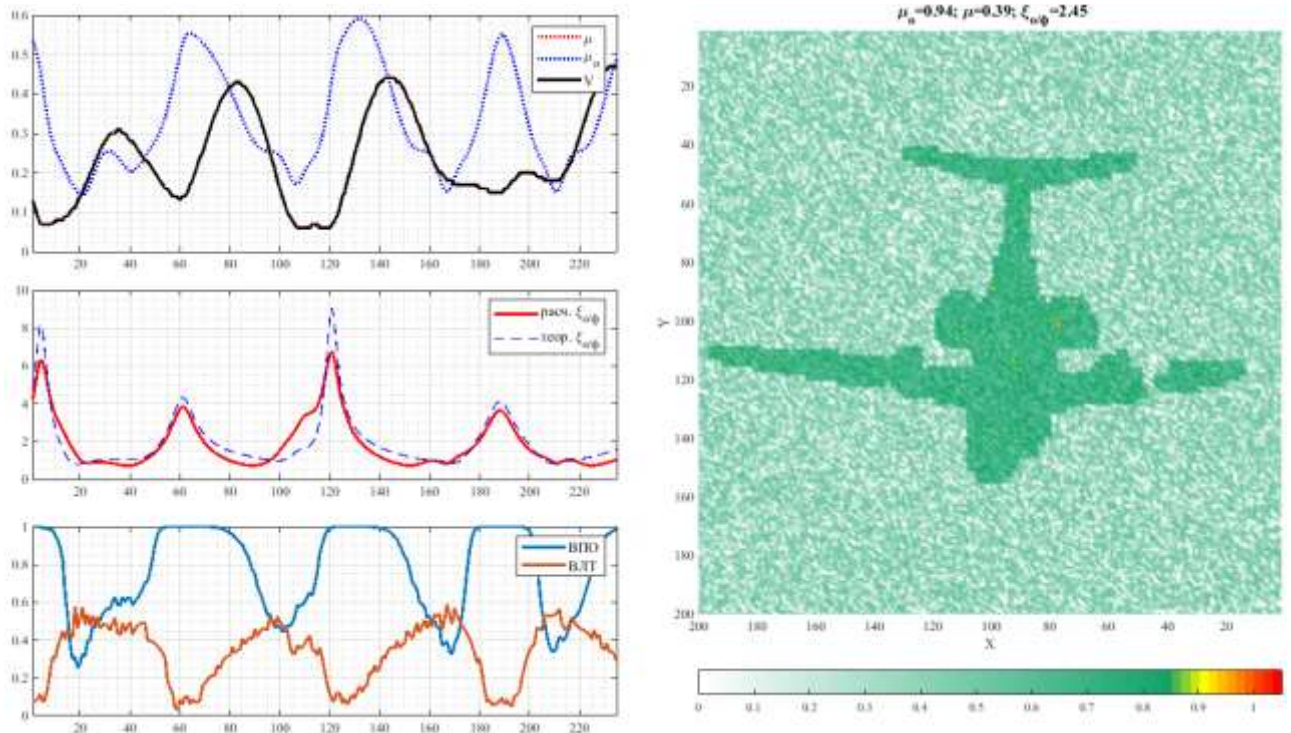


Рисунок 99 – График зависимости уровня порога от вида поляризации при различных параметрах V_ξ

Таблица 18 – Характеристики обнаружения в режиме ППС

V_{ξ}	$P_{\text{лт}}$	$P_{\text{пр}}$	$P_{\text{по}}$	μ_0	μ	$\xi_{0/\phi}$
1	0.51	0	1	0.94	0.39	2.45
1.3	0.2	0	1	1.07	0.19	5.66
1.5	0.11	0	1	1.06	0.14	7.54
1.7	0.07	0	1	1.03	0.11	9.36
2	0.05	0.01	0.99	0.96	0.09	10.51
2.5	0.03	0.03	0.97	0.81	0.07	12.37
3	0.01	0.1	0.9	0.7	0.05	13.54
3.1	0	0.11	0.89	0.68	0.05	13.7
3.2	0	0.13	0.87	0.66	0.05	13.87
3.3	0	0.15	0.85	0.65	0.05	14.13
3.5	0	0.21	0.79	0.61	0.04	14.67
4	0	0.33	0.67	0.55	0.03	16.05

Рисунок 100 – Динамика изменения характеристик наблюдения и радиолокационное изображение при $V_{\xi} = 1$

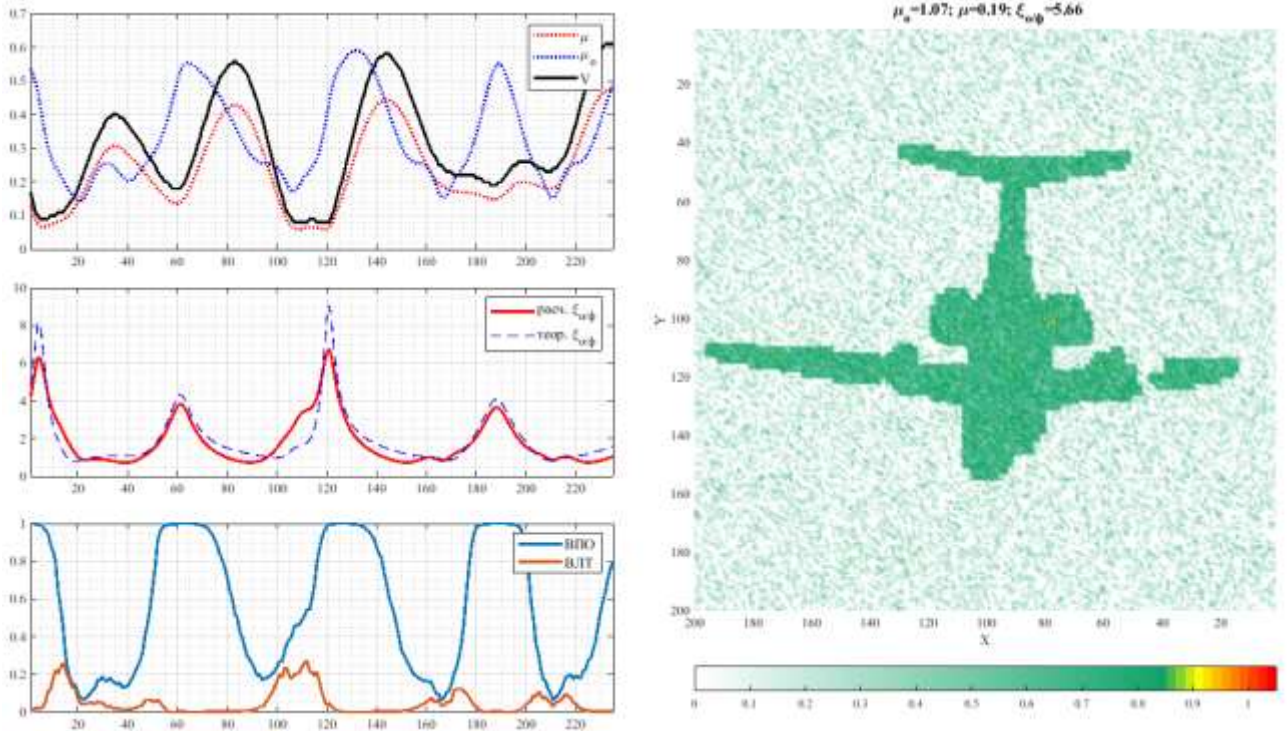


Рисунок 101 – Динамика изменения характеристик наблюдения и радиолокационное изображение при $V_{\xi} = 1.3$

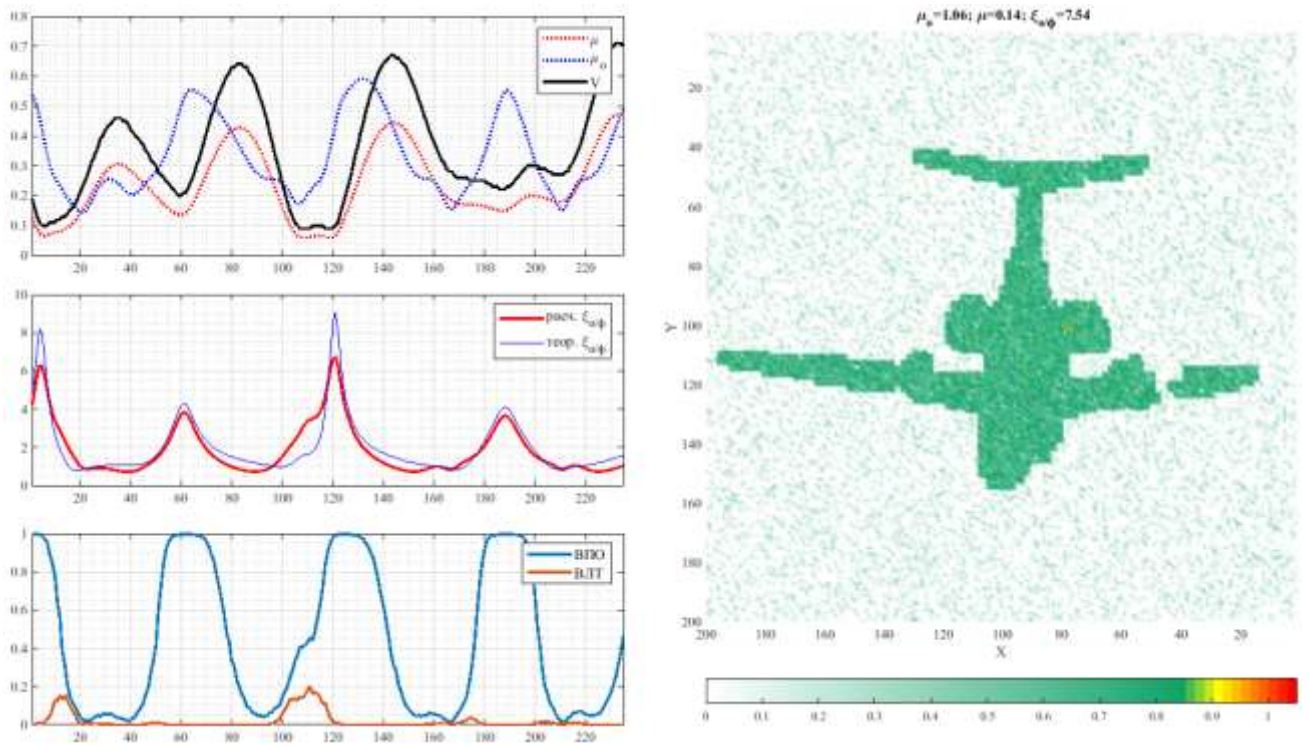


Рисунок 102 – Динамика изменения характеристик наблюдения и радиолокационное изображение при $V_{\xi} = 1.5$

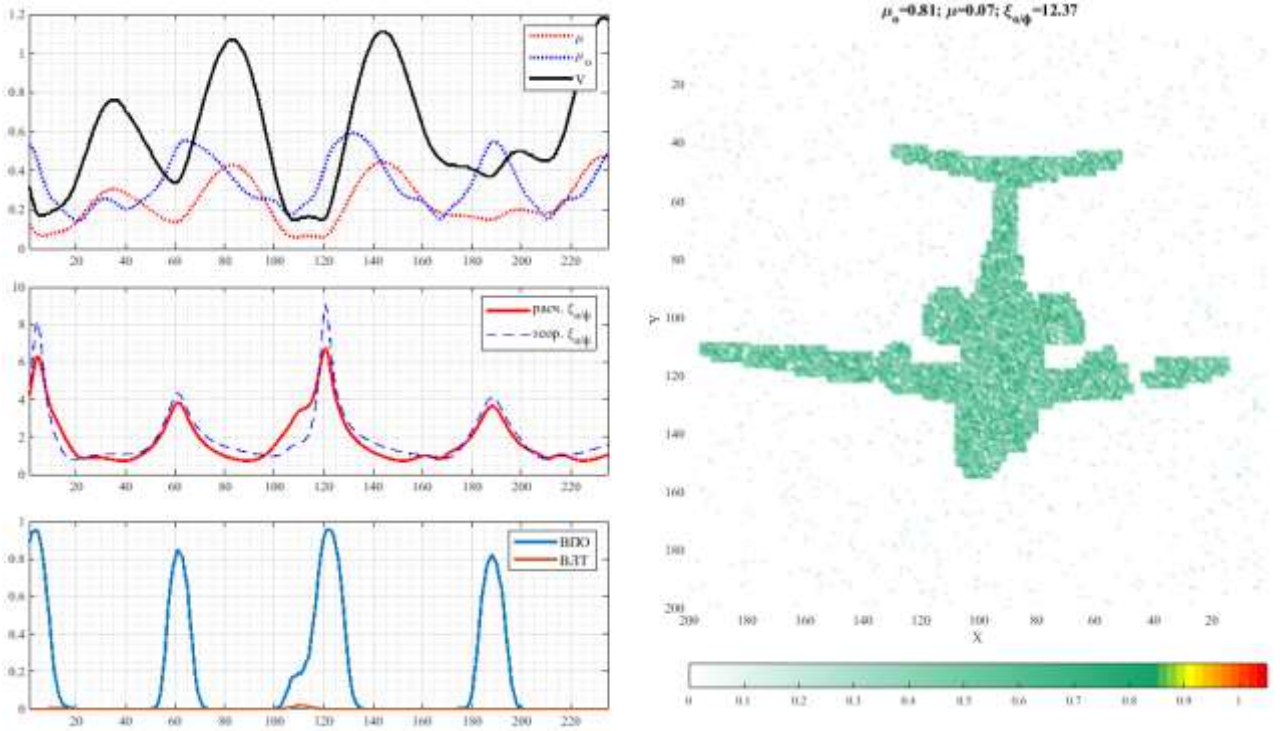


Рисунок 103 – Динамика изменения характеристик наблюдения и радиолокационное изображение при $V_{\xi} = 2.5$

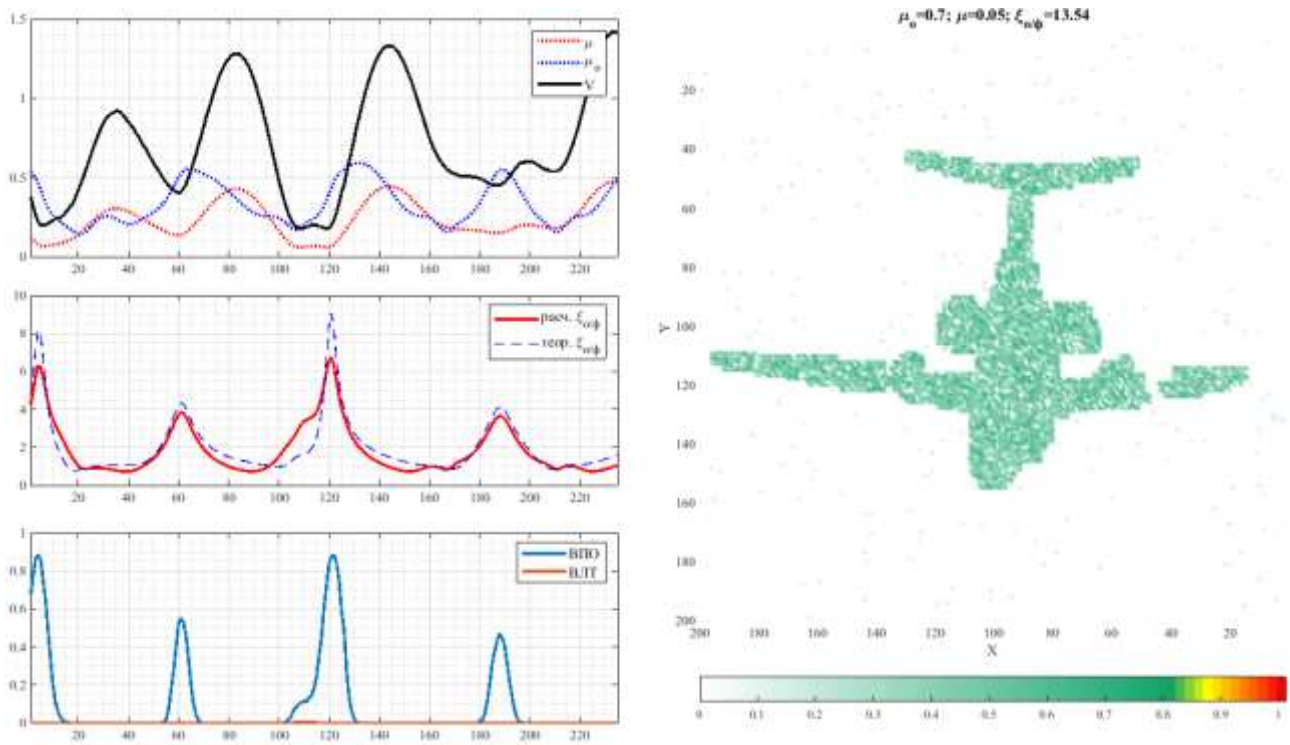


Рисунок 104 – Динамика изменения характеристик наблюдения и радиолокационное изображение при $V_{\xi} = 3$

Результаты моделирования показали, что наиболее приемлемые значения параметра порога лежат в пределах $V_{\xi} = 1.5 \dots 3.1$. Уровень порога $V_{\xi} = 2.5$ обеспечивает вероятность правильного обнаружения $P_{ПО}=0.97$ и $P_{ЛТ}=0.03$. Данные показатели несколько хуже аналогичных показателей, полученных выше. Соответственно, данный подход проигрывает подходу, опирающемуся на выражение для уровня порога (4.16). Однако, все равно представляет интерес, благодаря слабой зависимости характеристик обнаружения от типа подстилающего покрова.

Таким образом, динамическое управление уровнем порога позволяет значительно улучшить обнаружение объектов последствия авиационного происшествия в режиме ППС. Для уточнения количественных показателей, а также определения минимального отношения объект/фон достаточного для обнаружения объектов, требуется провести дополнительное моделирование с различными объектами наблюдения.

4.5.3 Обнаружение слабоконтрастных объектов последствия авиационного происшествия в режиме полного поляризационного сканирования

Ранее была рассмотрена и доказана возможность обнаружения объектов наблюдения при отношении интенсивности отражения от объекта к интенсивности отражения от фона $\xi_{s_A} = \frac{s_{A_{\text{объект}}}}{s_{A_{\text{фон}}}} = \frac{0.5}{0.2} = 2.5$. Теперь рассмотрим возможность различения менее контрастных целей.

Примем инвариант матриц рассеяния объекта последствия авиационного происшествия $s_{A_{\text{объект}}} = 2.5$, а инвариант матриц рассеяния фона $s_{A_{\text{фон}}} = 2$, т.е. отношение инвариантов матриц рассеяния $\xi_{s_A} = 1.25$. Элементы матриц рассеяния распределены по нормальному закону. Рассмотрим семь случаев с различными ОПАП, находящимися на неизвестных подстилающих поверхностях.

ОПАП №1. Отношение объект/фон = 1.25

Матрицы рассеяния ОПАП и фона заданы следующим образом:

$$S_{nE_{x(\text{фон}),y(\text{фон})}} = \begin{pmatrix} 0.34 (\sigma = 0.05) & 0.18(\sigma = 0.05) \\ 0.18 (\sigma = 0.05) & 0.14 (\sigma = 0.05) \end{pmatrix}$$

$$S_{nE_{x(\text{объект}),y(\text{объект})}} = \begin{pmatrix} 0.48 (\sigma = 0.05) & 0.03(\sigma = 0.01) \\ 0.03 (\sigma = 0.01) & 0.14 (\sigma = 0.05) \end{pmatrix}$$

Плотность распределения вероятностей сформированных выборок приведена на рисунке 105.

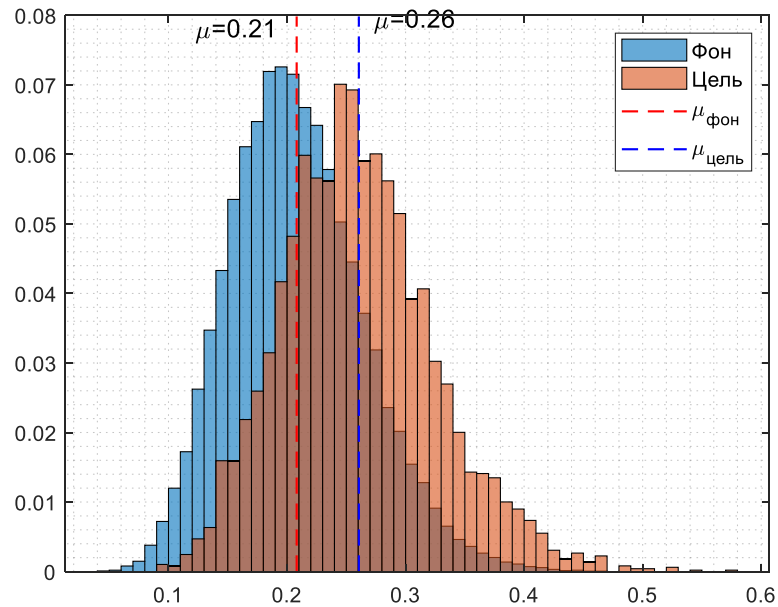


Рисунок 105 – ПРВ инвариантов матриц рассеяния сформированных выборок ОПАП и фона

В таблице 19 приведены характеристики наблюдения при различных уровнях параметрах порога.

Таблица 19 – ОПАП №1. Характеристики наблюдения в режиме ППС

V_{ξ}	$P_{лт}$	$P_{пр}$	$P_{по}$	μ_o	μ	$\xi_{o/\phi}$
2	0.08	0	1	0.64	0.06	10.24
2.3	0.03	0.05	0.95	0.56	0.05	11.83
2.5	0.02	0.13	0.87	0.51	0.04	12.98
3	0	0.52	0.48	0.36	0.02	18.58

На рисунке 106 проиллюстрирована динамика изменения характеристик наблюдения в режиме ППС при параметре поляризации $V_{\xi} = 2.5$ и полученное радиолокационное изображение.

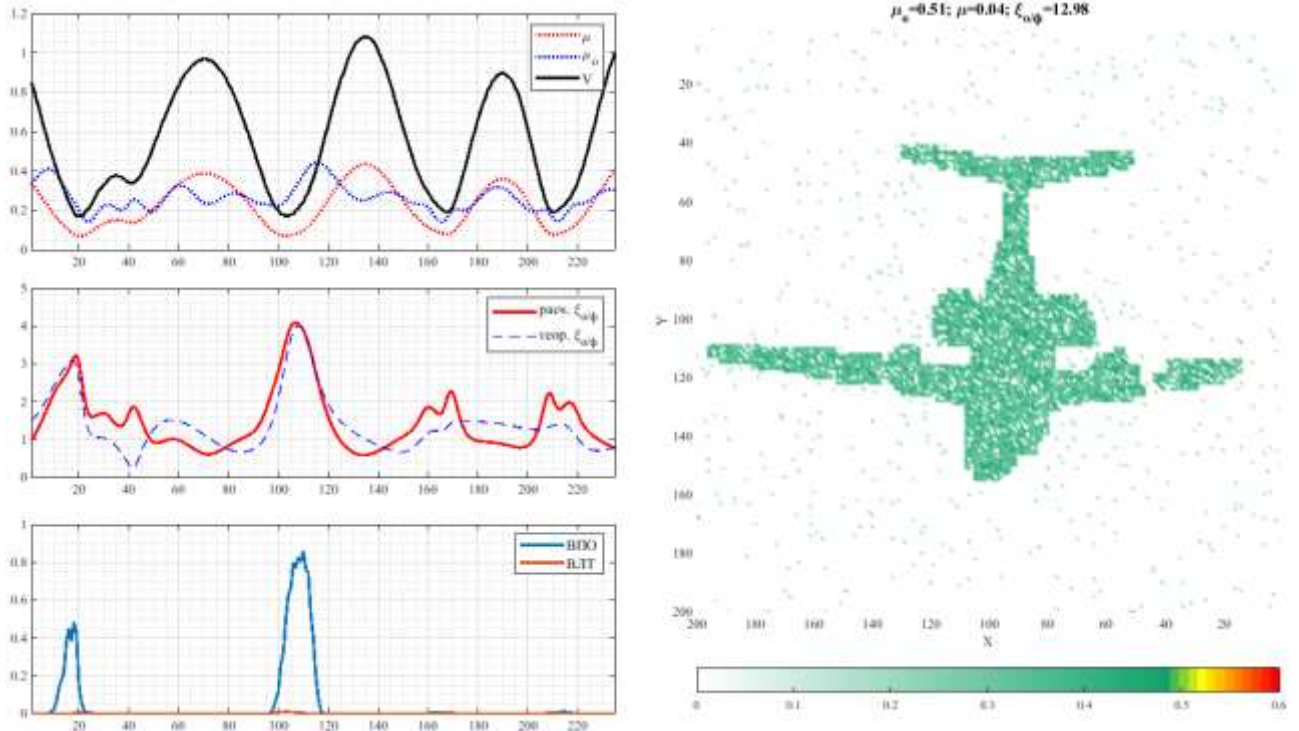


Рисунок 106 – ОПАП №1. Динамика изменения характеристик наблюдения и радиолокационное изображение при $V_{\xi} = 2.5$

ОПАП №2. Отношение объект/фон = 1.25

Матрицы рассеяния ОПАП и фона заданы следующим образом:

$$S_{nE_{x(\text{фон})}, y(\text{фон})} = \begin{pmatrix} 0.22 (\sigma = 0.05) & 0.06 (\sigma = 0.05) \\ 0.06 (\sigma = 0.05) & 0.38 (\sigma = 0.05) \end{pmatrix}$$

$$S_{nE_{x(\text{объект})}, y(\text{объект})} = \begin{pmatrix} 0.23 (\sigma = 0.05) & 0.29 (\sigma = 0.01) \\ 0.29 (\sigma = 0.01) & 0.17 (\sigma = 0.05) \end{pmatrix}$$

На рисунке 107 проиллюстрирована динамика изменения характеристик наблюдения в режиме ППС при параметре поляризации $V_\xi = 2.5$ и полученное радиолокационное изображение. В таблице 20 приведены характеристики наблюдения при различных уровнях параметрах порога.

Таблица 20 – ОПАП №2. Характеристики наблюдения в режиме ППС

V_ξ	$P_{лт}$	$P_{пр}$	$P_{по}$	μ_0	μ	ξ_0/ϕ
2	0.01	0.01	0.99	0.45	0.04	12.54
2.5	0	0.04	0.96	0.41	0.03	13.12
3	0	0.25	0.75	0.38	0.03	14.82

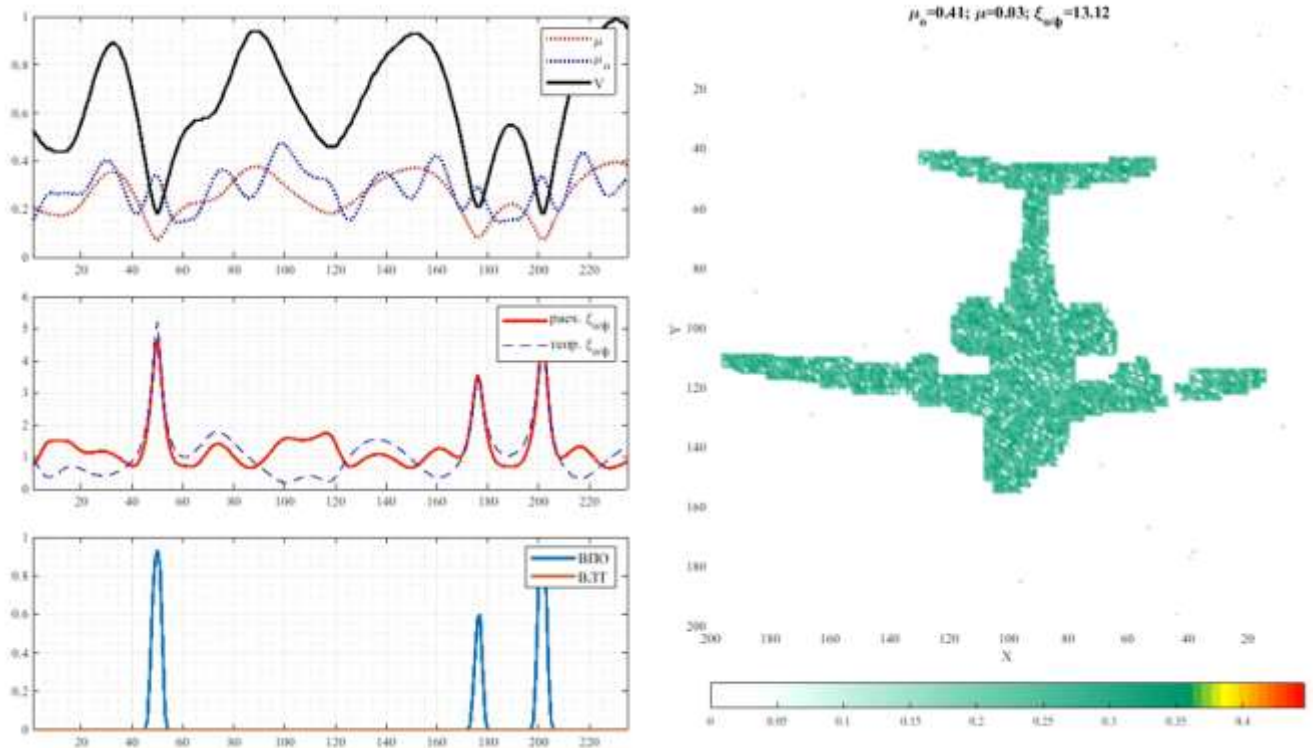


Рисунок 107 – ОПАП №2. Динамика изменения характеристик наблюдения и радиолокационное изображение при $V_\xi = 2.5$

ОПАП №3. Отношение объект/фон = 1.25

Матрицы рассеяния заданы следующим образом:

$$S_{nE_{x(\text{фон}),y(\text{фон})}} = \begin{pmatrix} 0.28 (\sigma = 0.05) & 0.24 (\sigma = 0.05) \\ 0.24 (\sigma = 0.05) & 0.08 (\sigma = 0.05) \end{pmatrix}$$

$$S_{nE_{x(\text{объект}),y(\text{объект})}} = \begin{pmatrix} 0.33 (\sigma = 0.05) & 0.15 (\sigma = 0.01) \\ 0.15 (\sigma = 0.01) & 0.31 (\sigma = 0.05) \end{pmatrix}$$

На рисунке 108 проиллюстрирована динамика изменения характеристик наблюдения в режиме ППС при параметре поляризации $V_\xi = 2.5$ и полученное радиолокационное изображение. В таблице 21 приведены характеристики наблюдения при различных уровнях параметрах порога.

Таблица 21– ОПАП №3. Характеристики наблюдения в режиме ППС

V_ξ	$P_{\text{лт}}$	$P_{\text{пр}}$	$P_{\text{по}}$	μ_o	μ	ξ_o/ϕ
2	0.07	0	1	0.57	0.05	10.47
2.5	0.01	0.06	0.94	0.51	0.04	12.44
3	0	0.19	0.81	0.46	0.03	14.12

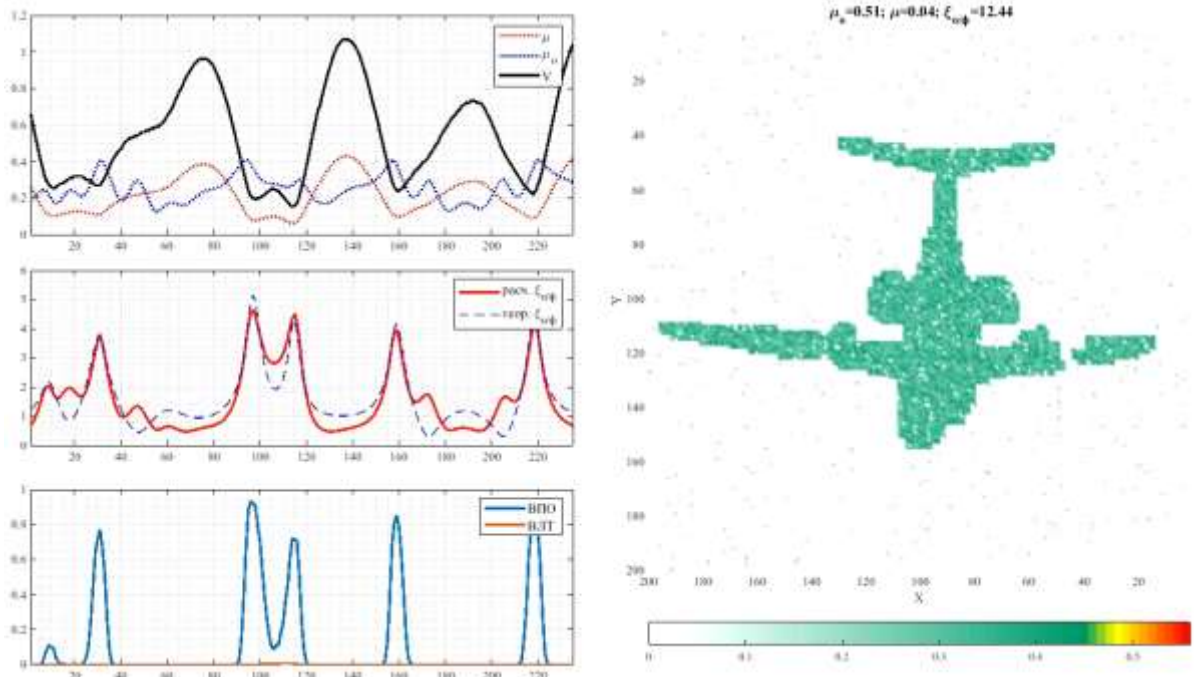


Рисунок 108 – ОПАП №3. Динамика изменения характеристик наблюдения и радиолокационное изображение при $V_\xi = 2.5$

Из полученных результатов видно, что во всех трех случаях ОПАП обнаружены. При этом ВПО лежит в пределах 0.94 – 0.96, а ВЛТ не превышает значение 0.02.

Далее рассмотрим случаи обнаружения ОПАП с меньшим отношением объект/фон.

ОПАП №4. Отношение объект/фон = 1.05

Матрицы рассеяния заданы следующим образом:

$$S_{nE_{x(\text{фон}),y(\text{фон})}} = \begin{pmatrix} 0.34 (\sigma = 0.05) & 0.18 (\sigma = 0.05) \\ 0.18 (\sigma = 0.05) & 0.14 (\sigma = 0.05) \end{pmatrix}, S_{A_{\text{фон}}} = 2;$$

$$S_{nE_{x(\text{объект}),y(\text{объект})}} = \begin{pmatrix} 0.03 (\sigma = 0.05) & 0.11 (\sigma = 0.01) \\ 0.11 (\sigma = 0.01) & 0.43 (\sigma = 0.05) \end{pmatrix}, S_{A_{\text{объект}}} = 2.1.$$

Плотность распределения вероятностей сформированных выборок изображена на рисунке 109.

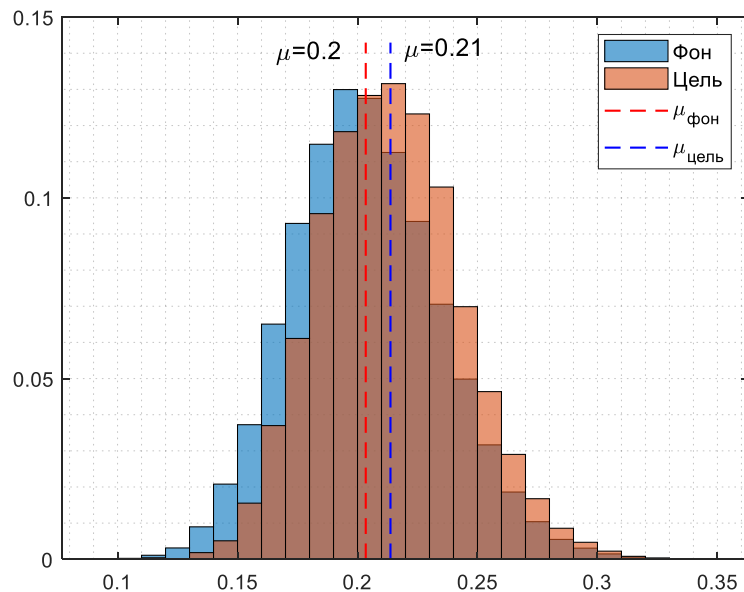


Рисунок 109 – ПРВ инвариантов матриц рассеяния сформированных выборок ОПАП и фона при $\xi_{S_A} = 1.05$

На рисунке 110 проиллюстрирована динамика изменения характеристик наблюдения в режиме ППС при параметре поляризации $V_\xi = 2.5$ и полученное

радиолокационное изображение. В таблице 22 приведены характеристики наблюдения при различных уровнях параметрах порога.

Таблица 22 – ОПАП №4. Характеристики наблюдения в режиме ППС

V_{ξ}	$P_{лт}$	$P_{пр}$	$P_{по}$	μ_0	μ	ξ_0/ϕ
2	0.02	0	1	0.69	0.06	11.96
2.5	0	0	1	0.65	0.05	12.52
3	0	0.01	0.99	0.59	0.05	12.67

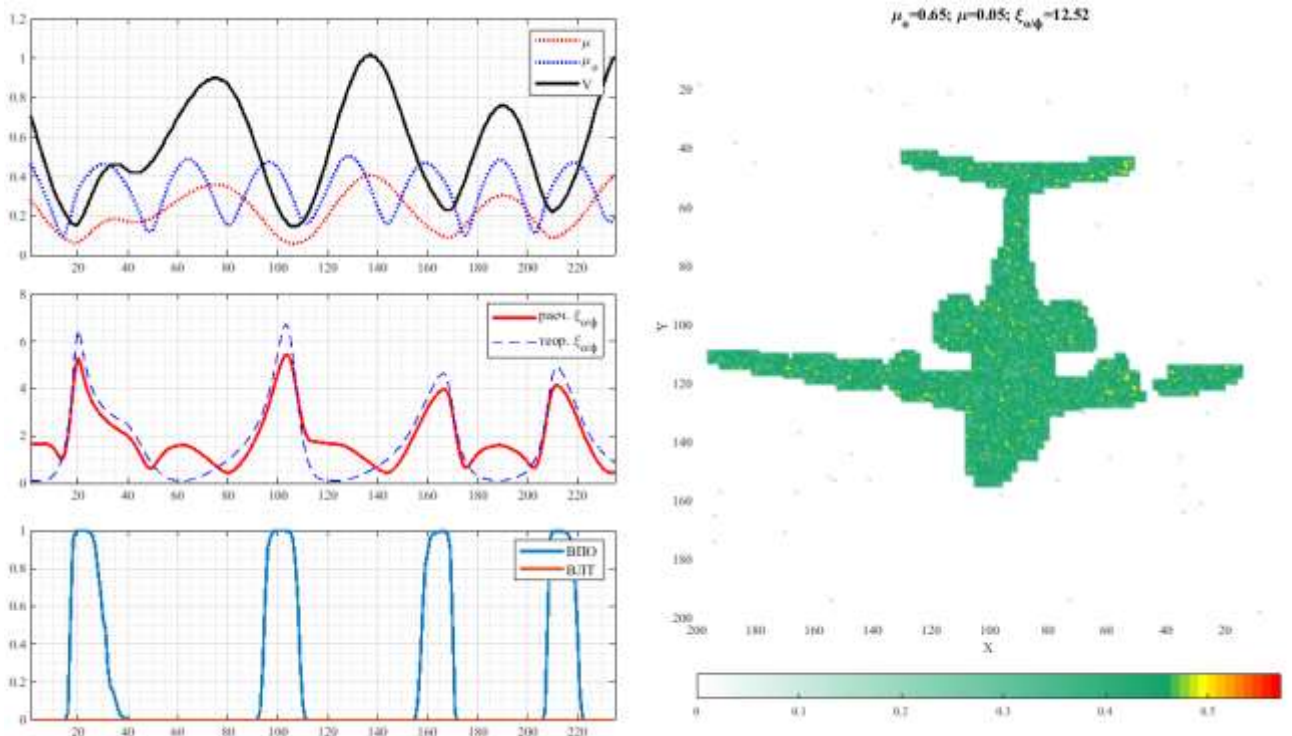


Рисунок 110 – ОПАП №4. Динамика изменения характеристик наблюдения и радиолокационное изображение при $V_{\xi} = 2.5$

ОПАП №5. Отношение объект/фон = 1.05

Матрицы рассеяния заданы следующим образом:

$$S_{nE_{x(фон),y(фон)}} = \begin{pmatrix} 0.34 (\sigma = 0.05) & 0.18(\sigma = 0.05) \\ 0.18 (\sigma = 0.05) & 0.14 (\sigma = 0.05) \end{pmatrix}; S_{A_{фон}} = 2$$

$$S_{nE_{x(объект),y(объект)}} = \begin{pmatrix} 0.48 (\sigma = 0.05) & 0.03(\sigma = 0.01) \\ 0.03 (\sigma = 0.01) & 0.14 (\sigma = 0.05) \end{pmatrix}; S_{A_{объект}} = 2.1$$

На рисунке 111 проиллюстрирована динамика изменения характеристик наблюдения в режиме ППС при параметре поляризации $V_\xi = 2.5$ и полученное радиолокационное изображение. В таблице 23 приведены характеристики наблюдения при различных уровнях параметрах порога.

Таблица 23 – ОПАП №5. Характеристики наблюдения в режиме ППС

V_ξ	$P_{лт}$	$P_{пр}$	$P_{по}$	μ_0	μ	ξ_0/ϕ
2	0.04	0	1	0.59	0.06	10.61
2.5	0.01	0	1	0.54	0.04	12.08
3	0	0	1	0.5	0.04	12.5

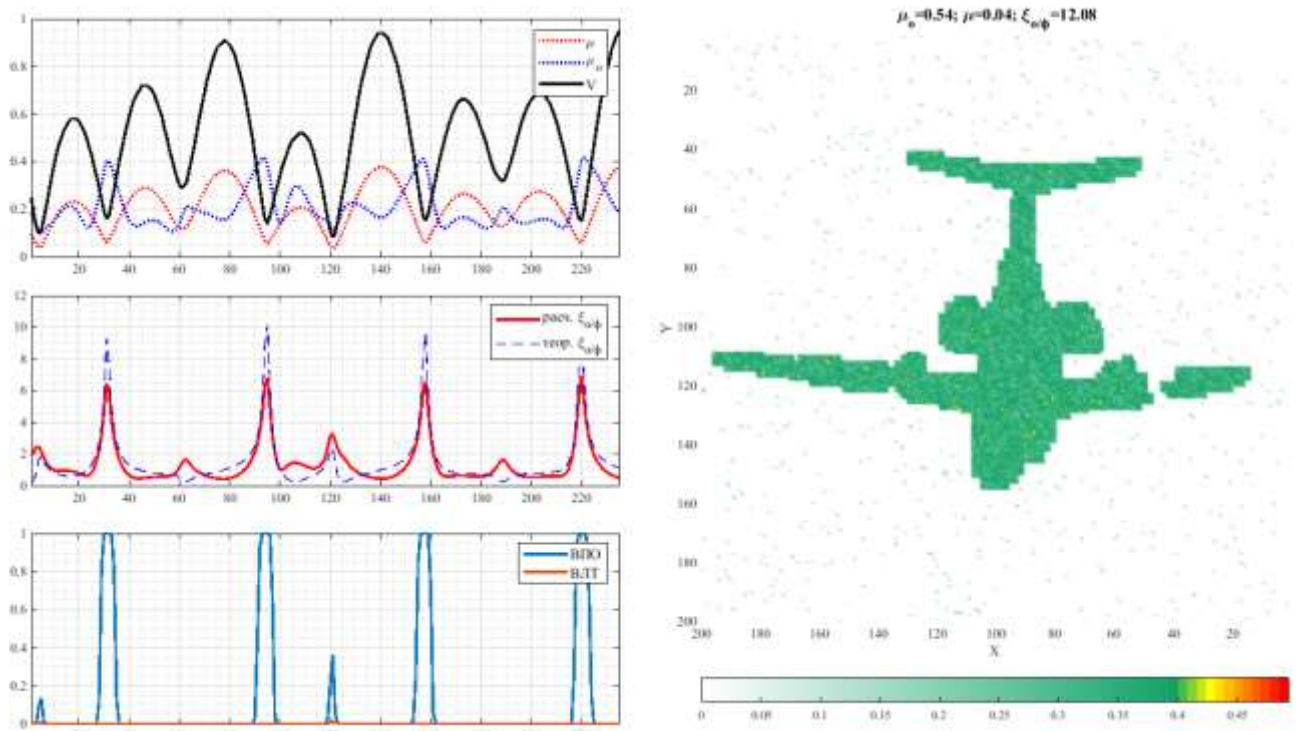


Рисунок 111 – ОПАП №5. Динамика изменения характеристик наблюдения и радиолокационное изображение при $V_\xi = 2.5$

ОПАП №6. Отношение объект/фон = 1

Матрицы рассеяния заданы следующим образом:

$$S_{nE_{x(\text{фон}),y(\text{фон})}} = \begin{pmatrix} 0.38 (\sigma = 0.05) & 0.06 (\sigma = 0.05) \\ 0.06 (\sigma = 0.05) & 0.22 (\sigma = 0.05) \end{pmatrix}; S_{A_{\text{фон}}} = 2$$

$$S_{nE_{x(\text{объект}),y(\text{объект})}} = \begin{pmatrix} 0.02 (\sigma = 0.05) & 0.3 (\sigma = 0.01) \\ 0.3 (\sigma = 0.01) & 0.14 (\sigma = 0.05) \end{pmatrix}; S_{A_{\text{объект}}} = 2$$

На рисунке 112 проиллюстрирована динамика изменения характеристик наблюдения в режиме ППС при параметре поляризации $V_{\xi} = 2.5$ и полученное радиолокационное изображение. В таблице 24 приведены характеристики наблюдения.

Таблица 24 – ОПАП №5. Характеристики наблюдения в режиме ППС

V_{ξ}	$P_{\text{лт}}$	$P_{\text{пр}}$	$P_{\text{по}}$	μ_0	μ	ξ_0/ϕ
2.5	0	0	1	0.45	0.04	12.56

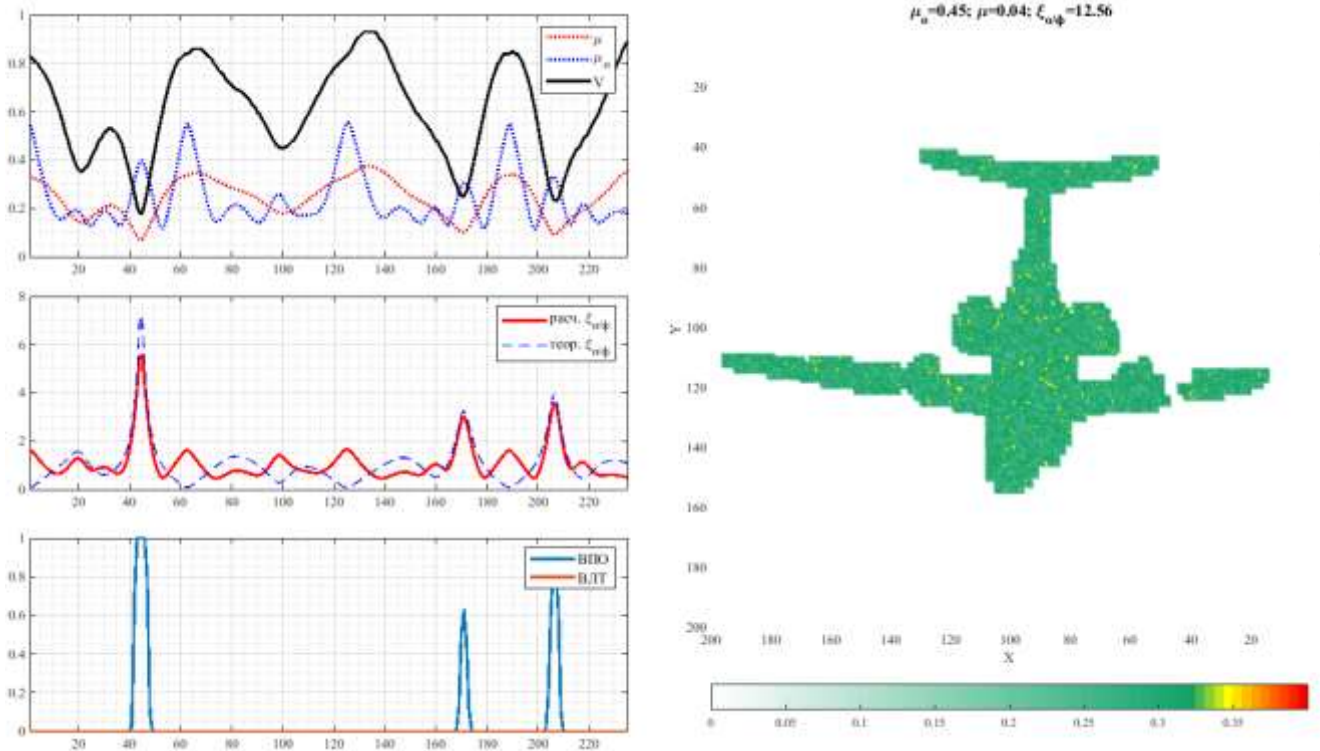


Рисунок 112 – ОПАП №6. Динамика изменения характеристик наблюдения и радиолокационное изображение при $V_{\xi} = 2.5$

ОПАП №7. Отношение объект/фон = 1

Матрицы рассеяния заданы следующим образом:

$$S_{nE_{x(\text{фон}),y(\text{фон})}} = \begin{pmatrix} 0.14 (\sigma = 0.05) & 0.3 (\sigma = 0.05) \\ 0.3 (\sigma = 0.05) & 0.02 (\sigma = 0.05) \end{pmatrix}, S_{A_{\text{фон}}} = 2;$$

$$S_{nE_{x(\text{объект}),y(\text{объект})}} = \begin{pmatrix} 0.18 (\sigma = 0.05) & 0.26 (\sigma = 0.01) \\ 0.26 (\sigma = 0.01) & 0.18 (\sigma = 0.05) \end{pmatrix}, S_{A_{\text{объект}}} = 2.$$

На рисунке 113 проиллюстрирована динамика изменения характеристик наблюдения в режиме ППС при параметре поляризации $V_{\xi} = 2.5$ и полученное радиолокационное изображение. В таблице 25 приведены характеристики наблюдения.

Таблица 25 – ОПАП №5. Характеристики наблюдения в режиме ППС

V_{ξ}	$P_{\text{лт}}$	$P_{\text{пр}}$	$P_{\text{по}}$	μ_0	μ	ξ_0/ϕ
2.5	0.02	0.01	0.99	0.34	0.03	11.97

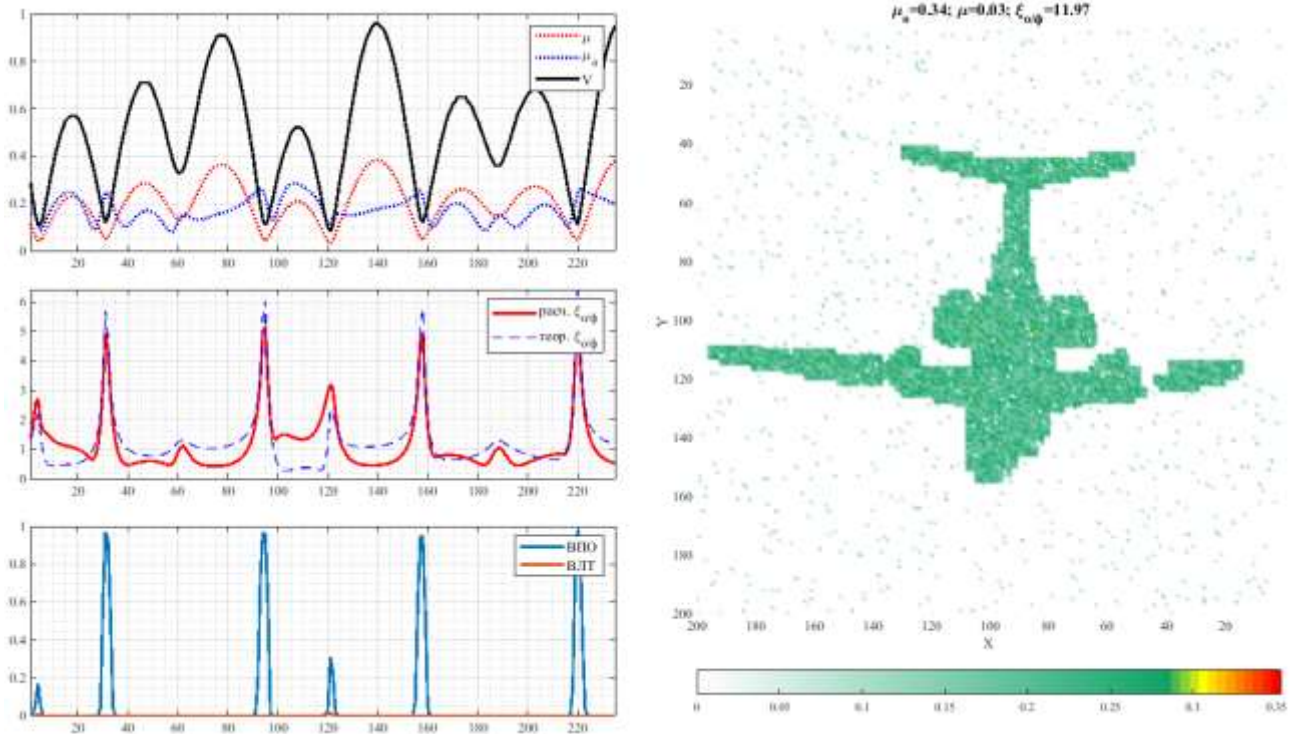


Рисунок 113 – ОПАП №7. Динамика изменения характеристик наблюдения и радиолокационное изображение при $V_{\xi} = 2.5$

Из полученных результатов видно, что в каждом рассмотренном случае динамика изменения характеристик наблюдения в процессе полного поляризационного сканирования носит различный характер. На рисунке 114 приведены зависимости фактической интенсивности отражения от объекта и фона, и зависимость отношения объект/фон от вида поляризации для рассматриваемых случаев обнаружения ОПАП. В таблице 26 приведены характеристики наблюдения в режиме ППС.

В случаях обнаружения ОПАП №1, №2 и №3 было получено наиболее низкое значение ВПО. Из графиков на рисунке видно, что в этих случаях тенденция изменения интенсивности отражения от объекта в сильной степени связана с изменением интенсивности отражения от фона при изменении вида поляризации. В свою очередь данная связь неблагоприятно сказывается на отношении объект/фон, что и определяет более низкие показатели обнаружения.

Таблица 26 – Характеристики наблюдения в режиме ППС для рассмотренных ОПАП

№	ξ_{sA}	$S_{\text{фон}}$	$S_{\text{об}}$	V_{ξ}	$P_{\text{лт}}$	$P_{\text{по}}$	μ_0	δ_{μ_0}	δ_{μ}
1	1.25	$\begin{bmatrix} 0.34 & 0.18 \\ 0.18 & 0.14 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 0.48 & 0 \\ 0 & 0.14 \end{bmatrix}$	2.5	0.02	0.87	0.37	0.62	0.06
2	1.25	$\begin{bmatrix} 0.22 & 0.06 \\ 0.06 & 0.38 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 0.23 & 0.29 \\ 0.29 & 0.17 \end{bmatrix}$	2.5	0	0.96	0.18	0.77	0.05
3	1.25	$\begin{bmatrix} 0.28 & 0.24 \\ 0.08 & 0.14 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 0.33 & 0.15 \\ 0.15 & 0.31 \end{bmatrix}$	2.5	0.01	0.94	0.51	0.93	0.09
4	1.05	$\begin{bmatrix} 0.34 & 0.18 \\ 0.18 & 0.14 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 0.03 & 0.11 \\ 0.11 & 0.43 \end{bmatrix}$	2.5	0	1	0.65	2.5	0.16
5	1.05	$\begin{bmatrix} 0.14 & 0.3 \\ 0.3 & 0.02 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 0.03 & 0.25 \\ 0.25 & 0.29 \end{bmatrix}$	2.5	0.01	1	0.54	0.99	0.11
6	1	$\begin{bmatrix} 0.38 & 0.06 \\ 0.06 & 0.22 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 0.02 & 0.3 \\ 0.3 & 0.14 \end{bmatrix}$	2.5	0	1	0.45	1.65	0.07
7	1	$\begin{bmatrix} 0.14 & 0.3 \\ 0.3 & 0.02 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 0.18 & 0.26 \\ 0.26 & 0.18 \end{bmatrix}$	2.5	0.02	0.99	0.34	0.79	0.07

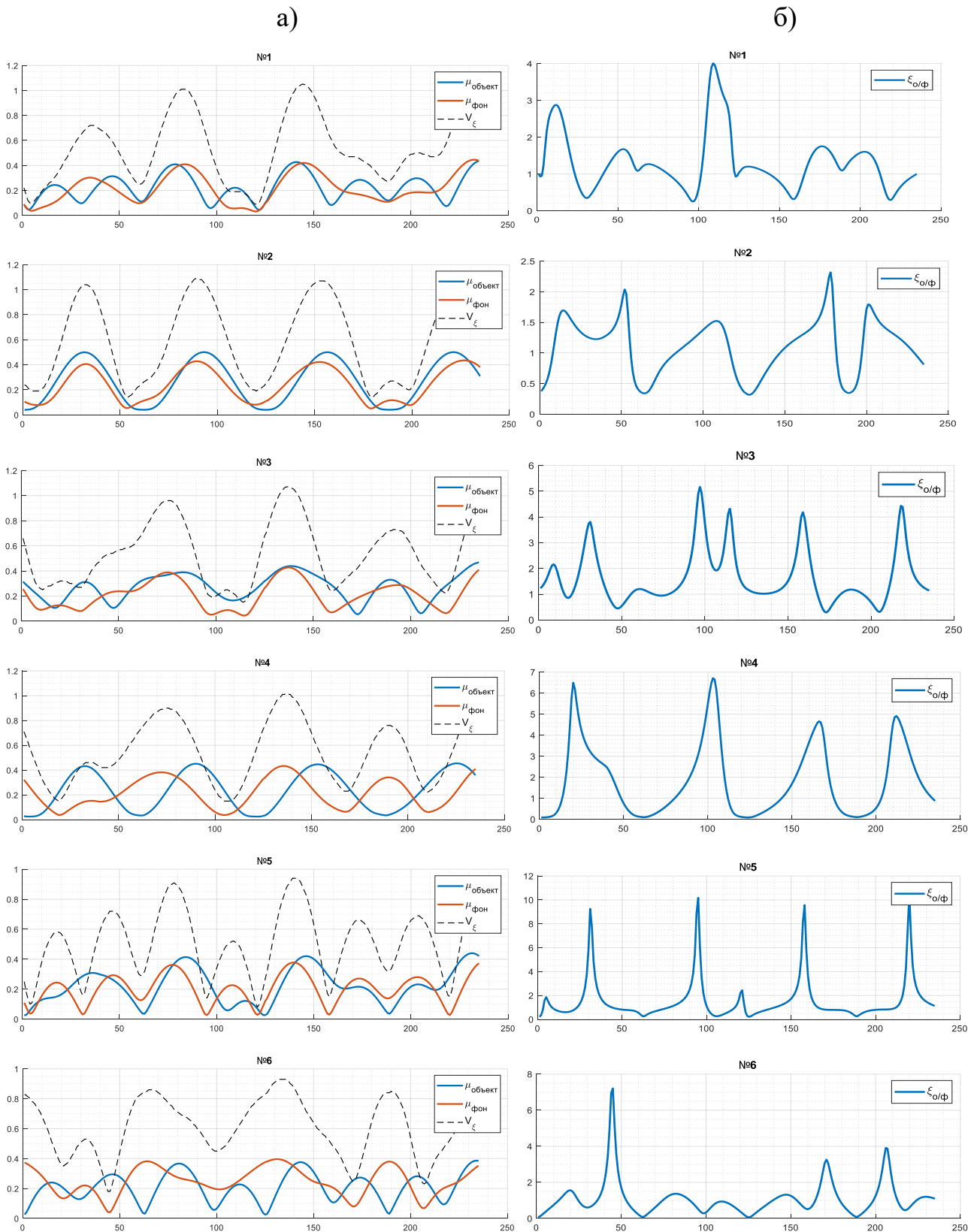


Рисунок 114 – Зависимости интенсивности отраженной волны и уровня порога от вида поляризации (а) и зависимость отношения объект/фон от вида поляризации (б)

На рисунке 115 изображена зависимость вероятности правильного и ложного распознавания наблюдаемых ОПАП от отношения сигнал/шум. В таблице 27 приводятся значения минимального отношения сигнал/шум, обеспечивающее вероятность правильного распознавания (ВПР) ОПАП ($P=0.99$), при заданной вероятности ложного распознавания (ВЛР).

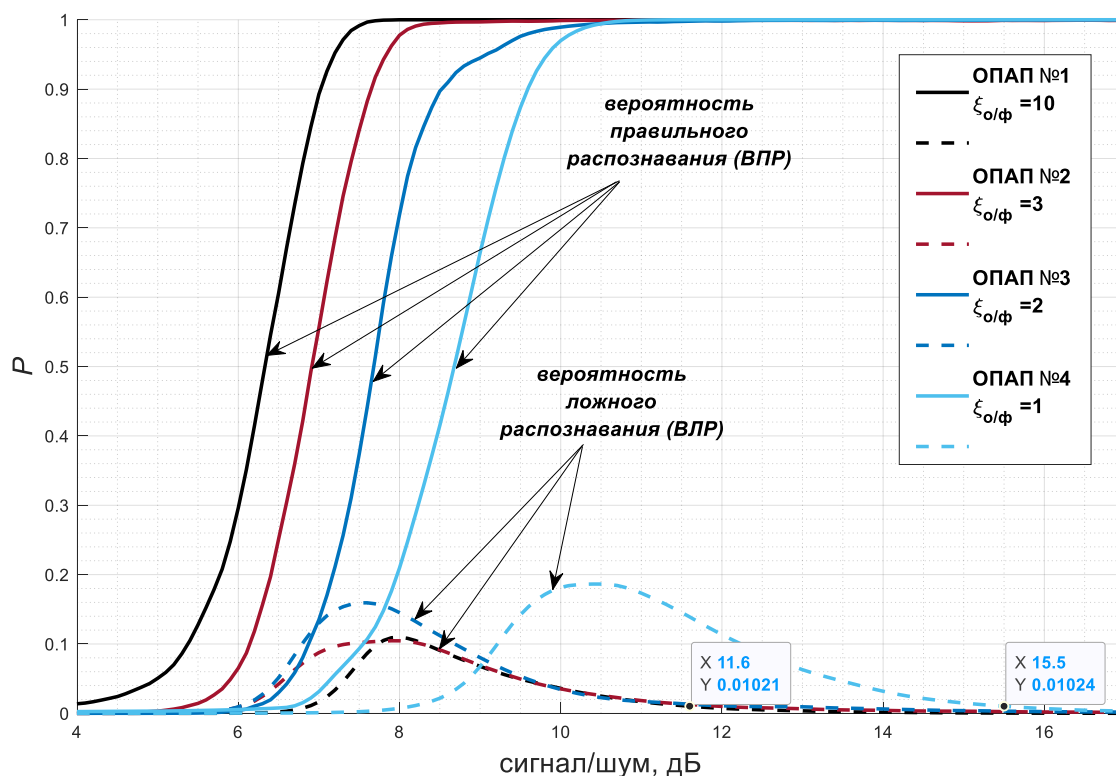


Рисунок 115 – Зависимость правильного и ложного распознавания ОПАП от отношения сигнал/шум

Таблица 27 – Минимальное отношение сигнал/шум, обеспечивающее ВПР ($P=0.99$), при заданной ВЛР

Объект	Отношение объект/фон ($\xi_{о/ф}$)	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

Полученные результаты показывают, что важную роль в процессе обнаружения ОПАП играет степень взаимосвязи интенсивности отражения от объекта с интенсивностью отражения от фона, что, в свою очередь, определяется различием матриц рассеяния объекта и фона. Иными словами, чем сильнее различаются элементы матриц рассеяния ОПАП и соответствующие элементы матриц рассеяния фона, тем лучше будет возможность различения ОПАП и фона.

Использование предложенного метода позволяет путем управления уровнем порога принятия решения обеспечивать существенное повышение вероятности обнаружения ОПАП при заданной вероятности ошибочного решения. Использование динамического уровня порога в режиме ППС дает возможность повышения различимости объектов последствия авиационного происшествия более чем в 10 раз.

4.6 Разработка методов и алгоритмов определения при расследовании авиационных происшествий внешнего контура объекта с целью его идентификации путем сравнения со стандартным набором элементов воздушных судов

4.6.1 Разработка алгоритма идентификации объектов последствия авиационного происшествия

После того, как был обнаружен некоторый объект последствия авиационного происшествия возникает задача его идентификации. Для этого требуется разработка алгоритма, решающего данную задачу. Рассмотрим алгоритм, основанный на определении степени корреляции полученного радиополяриметрического изображения обнаруженного ОПАП со стандартными изображениями известных объектов.

Определим последовательность необходимых этапов алгоритма (рисунок 116).

Полученное радиополяриметрическое изображение обнаруженного объекта представим в виде двумерного массива размерностью $n \times n$ (n – целое число). Стандартные изображения известных объектов могут быть представлены в виде двумерного логического массива размерностью $n_s \times n_s$. Размерность стандартных изображений может меняться в зависимости от типа объекта.

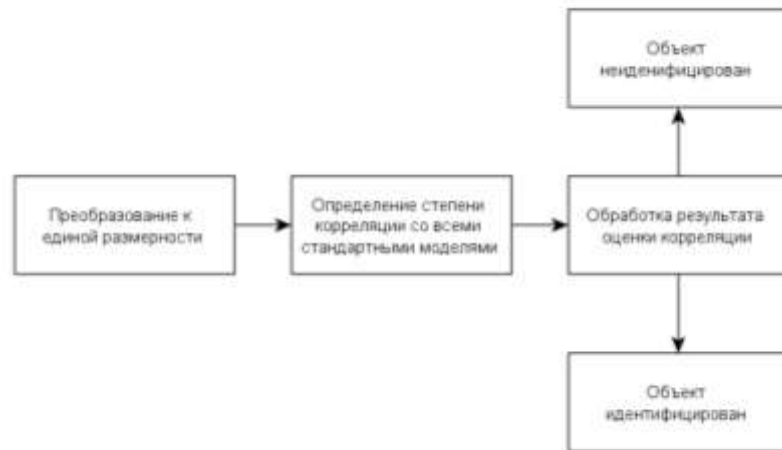


Рисунок 116 – Основные этапы алгоритма идентификации

На первом этапе необходимо привести стандартное и радиополяриметрическое изображение к единому размеру, например, при помощи бикубической интерполяции.

На втором этапе необходимо определить степень корреляции полученного изображения со всеми стандартными изображениями. Для определения коэффициента корреляции воспользуемся следующей известной формулой:

$$K_{cr} = \frac{\sum_m \sum_n (B_{m,n} - \bar{B})(J_{m,n} - \bar{J})}{\sqrt{(\sum_m \sum_n (B_{m,n} - \bar{B})^2) (\sum_m \sum_n (J_{m,n} - \bar{J})^2)}}, \quad (4.19)$$

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


















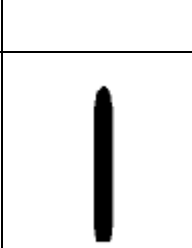
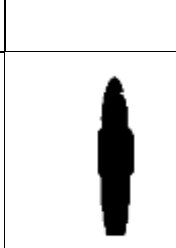
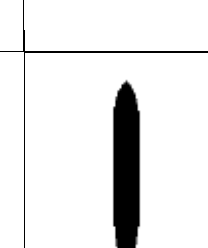



$J_{m,n}$ – двумерный массив, содержащий стандартное изображение;

\bar{J} – математическое ожидание массива $J_{m,n}$.

На третьем этапе проводится сравнение полученных значений коэффициента корреляции с минимальным уровнем порога. Известный объект, стандартное изображение которого обеспечило максимальный коэффициент корреляции, принимается как наиболее вероятный ОПАП. Листинг программы реализующий разработанный алгоритм приведен в приложении Е.

В таблице 28 приведены наборы стандартных радиолокационных изображений для различных потенциально возможных ОПАП. Размерность изображений составляет $n_s \times n_s = 200 \times 200$.

Таблица 28 – Набор стандартных радиолокационных изображений

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

Рассмотрим случай, когда в качестве радиолокационного изображения ОПАП используется стандартное эталонное изображение № 1.1 (рисунок 117) из банка (размерность радиолокационного изображения $n \times n = 200 \times 200$).



Рисунок 117 – Стандартное изображение ОПАП из банка № 1.1

Определим максимально возможные значения коэффициента корреляции изображения № 1.1 со всеми эталонными изображениями в соответствии со схемой, изображенной на рисунке 118. Полученный результат приведен в таблице 29.

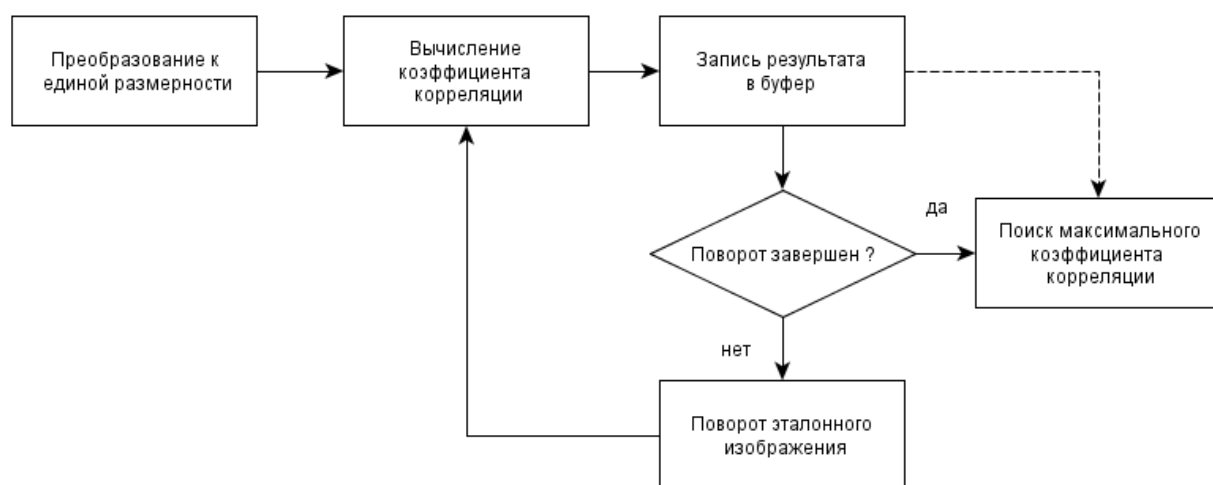


Рисунок 118 – Структурная схема алгоритма определения корреляции радиолокационных изображений

Из таблицы видно, что корреляция изображения объекта «самого с собой» составляет 100%. С объектом типа «Воздушное судно» №5 корреляция составляет 81.7%. Значительно слабее степень корреляции с объектом типа «Фюзеляж» №3. Производя усреднение коэффициентов корреляции в рамках каждого типа объекта можно получить более общую оценку (M_{corr}). В соответствии с данной оценкой

идентифицируемый объект принадлежит к типу «Воздушное судно» с вероятностью 69,26%.

Таблица 29 – Корреляция изображения № 1.1 со стандартными эталонными изображениями

№ объекта / № изобр.	1	2	3	4	5	M_{corr}
1	100%	51,9%	50,7%	61,8%	81,7%	69,26%
2	51,1%	49,8%	47,2%	39,7%	44,2%	46,4%
3	46,3%	45%	43,7%	35,4%	39,2%	41,95%
4	58,2%	50,8%	60,1%	55,7%	57,3%	56,4%
5	43,9%	39,7%	46,8%	-	-	43,5%

Рассмотрим влияние случайного белого гауссовского шума. На рисунке 119 изображен график зависимости степени корреляции радиолокационного изображения объекта типа самолет с его стандартным изображением из банка №1.1 от отношения сигнал/шум.

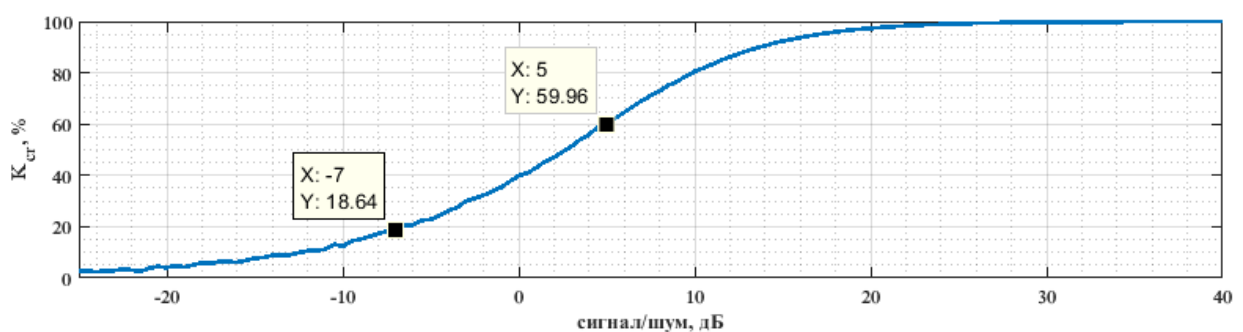


Рисунок 119 – График зависимости коэффициента корреляции от отношения сигнал/шум (с изображением № 1.1)

На рисунке 120 изображены радиолокационные изображения при отношениях сигнал/шум 5 дБ и -7 дБ. Значение коэффициента корреляции при отношении сигнал/шум 5 дБ составляет 59.96%, а при -7 дБ – 18.64%.

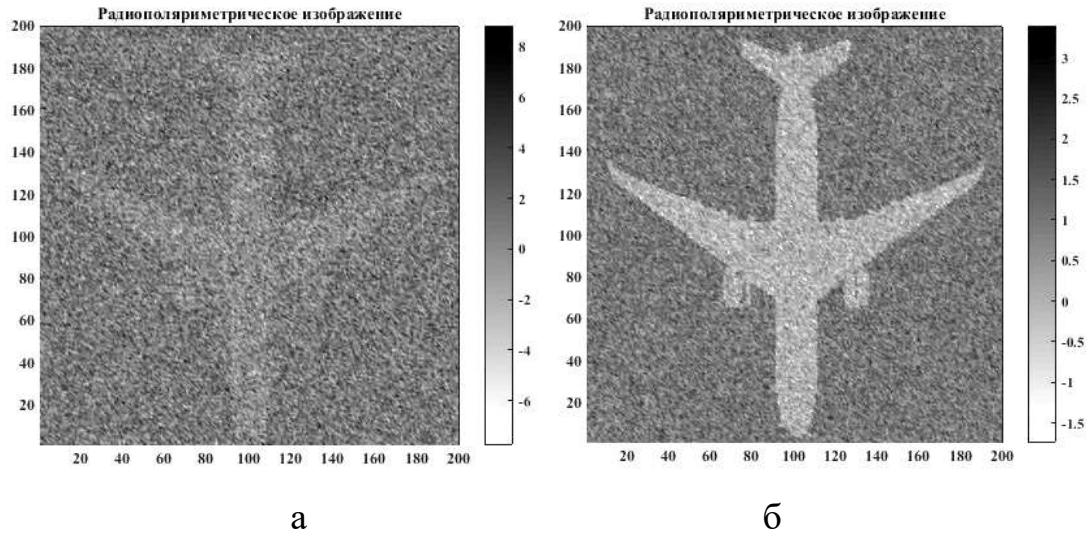


Рисунок 120 – Радиополяриметрическое изображение идентифицируемого объекта при отношении сигнал/шум -7 дБ (а), 5 дБ (б)

На рисунках 121 – 124 изображены графики зависимости степени корреляции радиолокационного изображения объекта типа самолет (рисунок 117) со стандартными радиолокационными изображением из банка №2.1, №3.1, №4.1, №5.1.

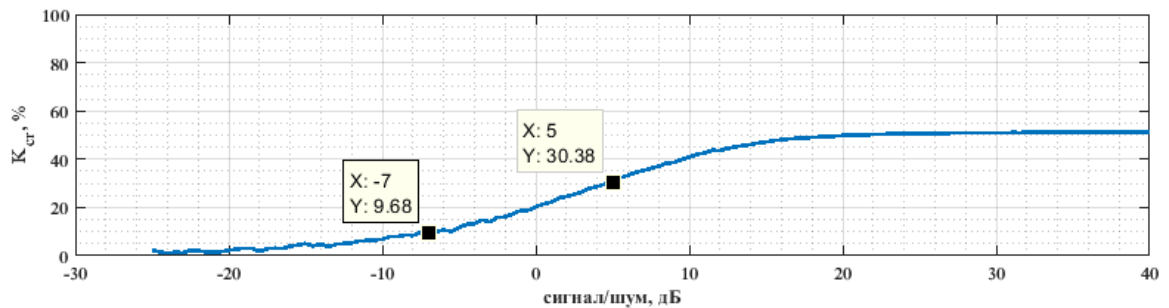


Рисунок 121 – График зависимости коэффициента корреляции от отношения сигнал/шум (с изображением № 2.1)

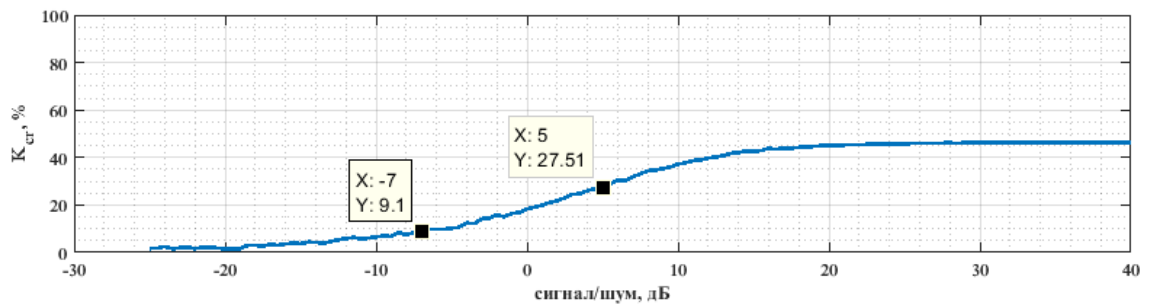


Рисунок 122 – График зависимости коэффициента корреляции от отношения сигнал/шум (с изображением № 3.1)

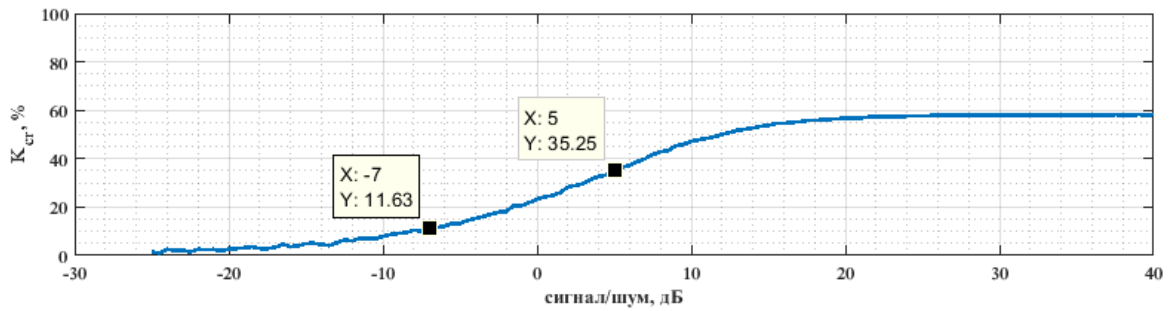


Рисунок 123 – График зависимости коэффициента корреляции от отношения сигнал/шум (с изображением № 4.1)

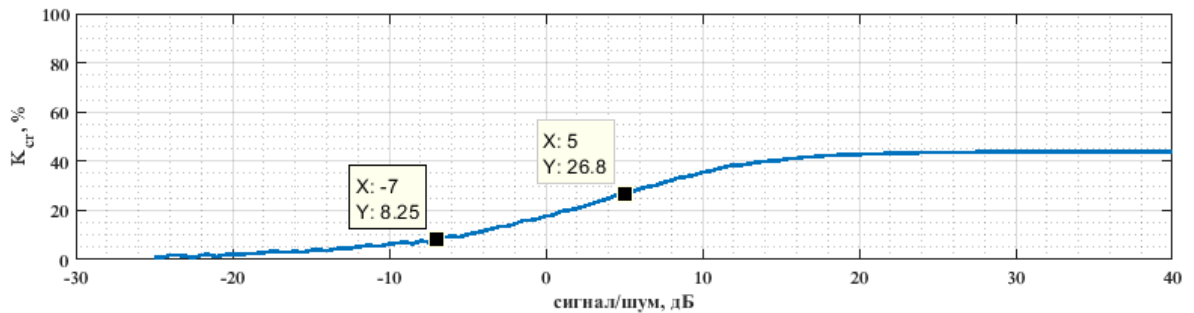


Рисунок 124 – График зависимости коэффициента корреляции от отношения сигнал/шум (с изображением № 5.1)

В таблицах 30, 31 приведены значения коэффициента корреляции для всех стандартных эталонных изображений при наложении белого гауссовского шума на радиолокационное изображение. Поскольку случайный шум некоррелирован с детерминированными объектами, рассматриваемое радиолокационное изображение теряет коррелированность равномерно со всеми стандартными эталонами из банка изображений по мере уменьшения отношения сигнал/шум.

Таблица 30 – Корреляция радиолокационного изображения со стандартными эталонными изображениями при отношении сигнал/шум 5 дБ

№ объекта / № изобр.	1	2	3	4	5	M_{corr}
1	60	30.9	30.2	36.4	48.6	41.23
2	30.3	29.5	28.1	23.9	26.9	27.78
3	27.6	26.9	25.7	21.5	23.8	25.11
4	34.7	30.5	36	32.9	34.1	33.67
5	26.3	24.1	27.6	-	-	26.04

Таблица 31 – Корреляция радиолокационного изображения со стандартными эталонными изображениями при отношении сигнал/шум -5 дБ

№ объекта / № изобр.	1	2	3	4	5	M_{corr}
1	23.6	12.2	12.4	15.1	19	16.49
2	12.2	11.7	11.1	9.3	10.1	10.9
3	10.5	10	10.6	8.3	9.3	9.7
4	13.6	11.2	14.1	13.1	13.4	13.1
5	10.1	9.4	11.21	-	-	10.22

На рисунке 125 приведена структурная схема разработанного алгоритма идентификации объектов последствия авиационного происшествия.

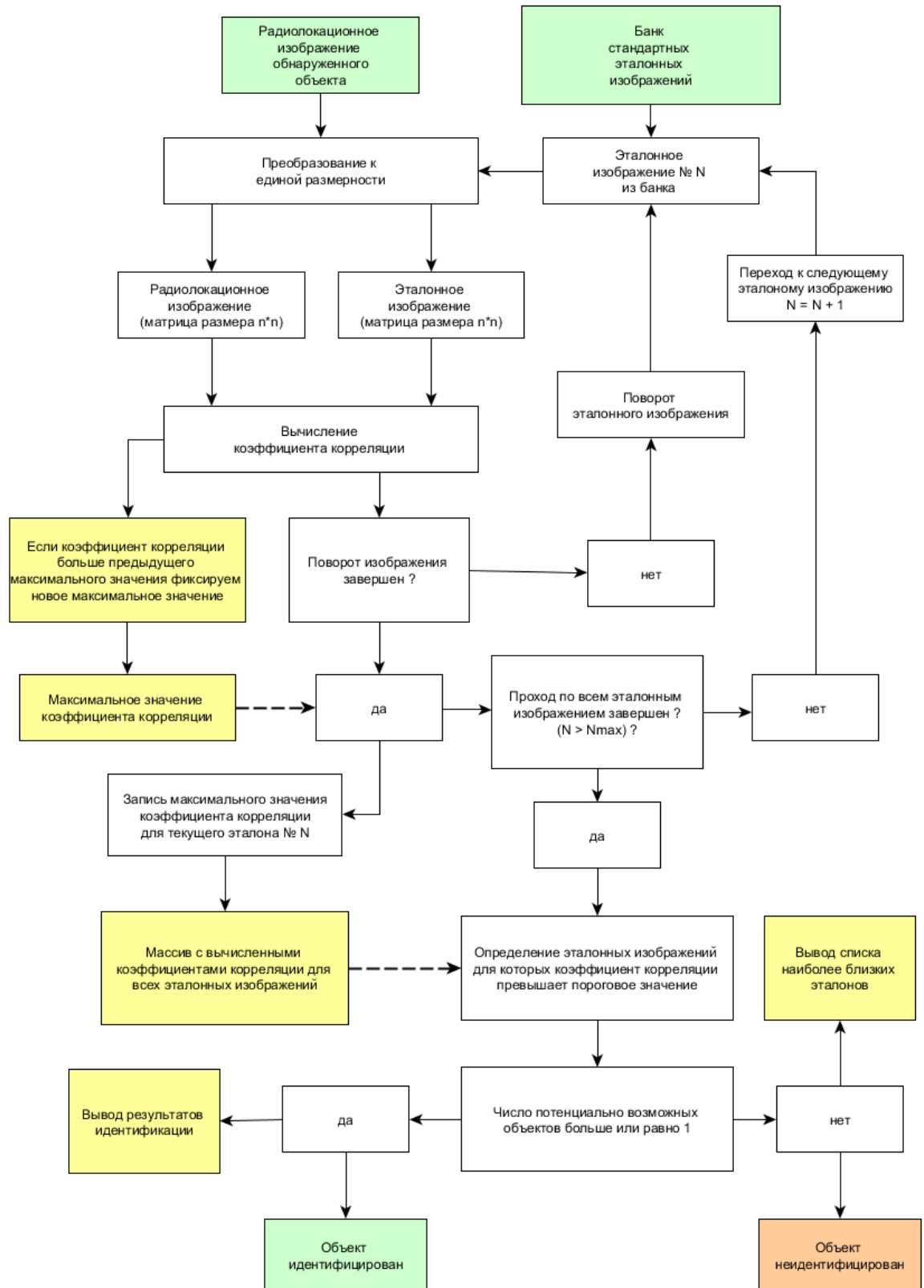


Рисунок 125 – Алгоритм идентификации ОПАП

4.6.2 Оценка вероятности правильной и ошибочной идентификации

Произведем оценку эффективности разработанного алгоритма. Для оценки правильной и ошибочной идентификации была произведена серия опытов (объем выборки 100 ... 1000) при отношениях сигнал/шум менее 0 дБ. В качестве радиополяриметрического изображения использовалось эталонное изображение № 1.1 из банка изображений. Далее на него накладывался белый гауссовский шум и производилась идентификация в соответствии с алгоритмом, схема которого изображена на рисунке 125. Радиополяриметрические изображения, полученные при отношении сигнал/шум 0 дБ, -10 дБ и -20 дБ проиллюстрированы на рисунке 126. В таблице 32 приведены полученные значения вероятности правильной и ошибочной идентификации в зависимости от отношения сигнал/шум

Таблица 32 – Вероятность правильной и ошибочной идентификации в зависимости от отношения сигнал/шум

Сигнал/шум, дБ	Вероятность правильной идентификации	Вероятность ошибки	Мат. ожидание коэффициента корреляции, %	Объем выборки
0	1	0	39.2	100
-5	1	0	22.97	100
-10	1	0	13.65	100
-15	1	0	7.73	500
-20	0.99	0.01	5.26	1000
-22	0.96	0.04	2.84	1000
-25	0.82	0.23	2.71	1000
-27	0.61	0.39	2.22	1000
-30	0.33	0.77	1.58	1000

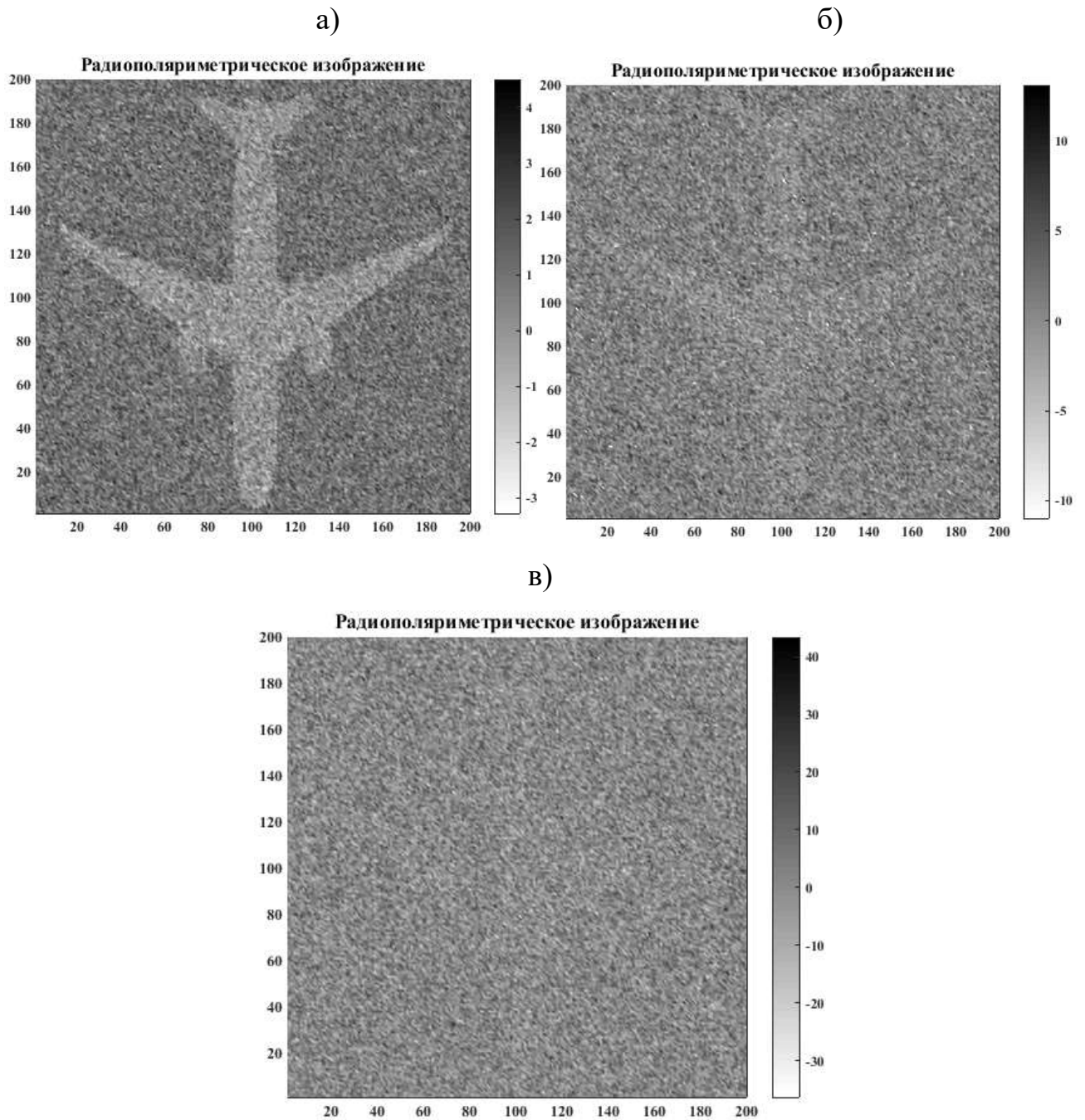


Рисунок 126 – Радиополяриметрические изображения при отношении сигнал/шум 0 дБ (а), -10 дБ (б) и -20 дБ (в)

На рисунке 127 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.

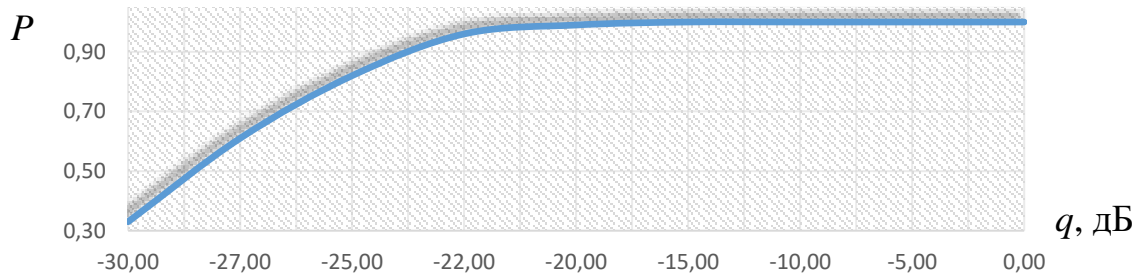


Рисунок 127 – Зависимость вероятности правильной идентификации от отношения сигнал/шум

Таким образом, разработанный алгоритм дает возможность производить идентификацию обнаруженных объектов последствия авиационного происшествия вплоть до отношения объект/шум -22 дБ с вероятностью 0.96.

4.7 Выводы по главе 4

Основные результаты, полученные в главе 4 заключаются в следующем:

1. Показана возможность обнаружения блестящих точек (БТ) на сложном объекте авиационного происшествия при восстановлении облучаемой поверхности алгоритмом Гюйгенса-Френеля в режиме ППС.
2. Показана возможность оконтуривания объекта авиационного происшествия, базирующееся на обнаруживаемых блестящих точках.
3. Разработаны рекомендации о целесообразности использования режима ППС.
4. Установлена зависимость интенсивности отражения от объекта и фона в режиме ППС.
5. Доказана неэффективность использования постоянного уровня порога в режиме ППС.

6. Установлена взаимосвязь коэффициента вариации с некоторыми параметрами объекта.

7. Получено соотношение, связывающее значение уровня порога в зависимости от отношения объект/фон.

8. Получено соотношение, позволяющее оценить отношение объект/фон, опираясь на статистические характеристики наблюдаемого участка поверхности.

9. Разработан алгоритм определения динамического уровня порога.

10. Определен параметр уровня динамического порога.

11. Показана эффективность использования динамического уровня порога в режиме ППС.

Полученные результаты позволяют сформулировать следующие **выводы**:

– Использование предложенного статистического метода обработки массивов данных, полученных в режиме ППС, позволяет путем управления уровнем порога принятия решения обеспечивать существенное повышение вероятности обнаружения ОПАП при заданной вероятности ошибочного решения.

– Использование динамического уровня порога в режиме ППС дает возможность качественно повысить различимость объектов последствия авиационного происшествия, при этом в отдельных случаях свыше 10 раз.

– Применение алгоритма сравнения радиополяриметрического изображения участка земной поверхности со стандартными изображениями элементов конструкции летательных аппаратов позволяет соотнести исследуемый объект с одним из 25 предложенных классов идентификации, с вероятностью ошибки не более 4%.

Применение режима ППС в задачах обнаружения объектов ПАП **позволило**:

- 1) Повысить различимость объектов АП.
- 2) Увеличить вероятность правильного обнаружения объектов АП.
- 3) Снизить вероятность ложного обнаружения объектов АП.
- 4) Улучшить возможность идентификации объектов АП по геометрическим параметрам.

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. Экспериментальная 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. Разработанные 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.

Изложенное выше дает возможность утверждать, что поставленная цель работы достигнута

СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ И УСЛОВНЫХ ОБОЗНАЧЕНИЙ

АФР – амплитудно-фазовое распределение

ФЦ – фазовый центр

МР – матрица рассеяния

РЛС – радиолокационная станция

БРЛС – бортовая радиолокационная станция

ППК – пространственно-поляризационный контур

АП – авиационное происшествие

ОПАП – объект(ы) последствия авиационного происшествия

ЛА – летательный аппарат

ППС – полное поляризационное сканирование

ВЛТ – вероятность ложной тревоги

ВПр – вероятность пропуска

ВПО – вероятность правильного обнаружения

ПРВ – плотность распределения вероятностей

ФРВ – функция распределения вероятностей

ЭПР – эффективная площадь рассеяния

ПРВ – плотность распределения вероятностей

БТ – блестящая точка

ЭР – элемент разрешения

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Автин, И.В. Об обнаружении и разрешении слабоконтрастных малоподвижных радиолокационных целей, находящихся в пределах элемента разрешения / И.В. Автин, А.В. Трушин // Научный Вестник МГТУ ГА. - 2015. - №222. С. 80-84. – ISSN 2079-0619.

2. Затучный, Д.А. Различение объектов наблюдения, находящихся в пределах облучаемого участка поверхности / Д.А. Затучный, А.И. Козлов, А.В. Трушин // Информатизация и связь №5'2018. С.12-21. – ISSN 2078-8320

3. Трушин, А.В. Траектория фазового центра отражения от сложной радиолокационной цели при её поляризационном сканировании / А.В. Трушин // 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.

4. Автин, И.В. К построению поляризационного образа радиолокационной цели / И.В. Автин, А.В. Трушин // 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.

5. Трушин, А.В. О возможности различения близко расположенных целей / А.В. Трушин, И.В. Автин // 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. – ISBN 978-985-7235-31-5

6. Автин, И.В. Об обнаружении и распознавании слабоконтрастных малоподвижных целей на фоне подстилающих покровов методами радиополяриметрии / И.В. Автин, А.В. Трушин // *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. – ISBN 978-985-7235-31-5

7. Козлов, А.И. Возможность определения матриц рассеяния и местоположения радиолокационных целей, находящихся в одном элементе разрешения, методами радиополяриметрии / А.И. Козлов, А.В. Трушин, И.В. Автин // *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.

8. Козлов, А.И. О повышении детализации радиолокационного изображения методами радиополяриметрии / А.И. Козлов, А.В. Трушин, И.В. Автин // *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.

9. Козлов, А.И. Об определении комплексной диэлектрической проницаемости методами радиополяриметрии / А.И. Козлов, И.В. Автин, А.В. Трушин // *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.

10. Немченко, М.В. Повышение точности наземных радионавигационных систем методом коррекции навигационных параметров. Результаты статистической обработки полетных данных / М.В. Немченко, А.В. Трушин // Новости навигации. М: Научно-технический центр современных навигационных технологий "Интернавигация", 2018. № 4. С. 23-26. – ISSN 2223-0475

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

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

13. Козлов, А.И. Поляризация радиоволн. Книга 3. Радиополяриметрия сложных по структуре сигналов / А.И. Козлов, А.И. Логвин, В.А. Сарычев – М.: Радиотехника, 2008. – 696 С. – ISBN 978-5-88070-194-0

14. Козлов, А.И. Поляризация радиоволн. Поляризационная структура радиолокационных сигналов / А.И. Козлов, А.И. Логвин, В.А. Сарычев. – М.: Радиотехника, 2005. – 704 С. – ISBN 5-93108-074-0

15. Козлов, А.И. Поляризация радиоволн. Радиолокационная поляриметрия / А.И. Козлов, А.И. Логвин, В.А. Сарычев. – М.: Радиотехника, 2007. – 640 С. – ISBN 978-5-88070-148-3

16. Козлов, А.И. Численный метод решения трехмерной обратной задачи рассеяния электромагнитных волн на препятствии / А.И. Козлов, В.Ю. Маслов // Научный Вестник МГТУ ГА. – 2012. – №179. С. 135-139. – ISSN 2079-0619.

17. Богородский, В.В. Поляризация рассеянного и собственного радиоизлучения земных покровов / В.В. Богородский, Д.Б. Канарейкин, А.И. Козлов. – Л.: Гидрометеиздат, 1981 – 280 С.

18. Сколник, М.И. Справочник по радиолокации. Книга 1 / М.И. Сколник. – М., Техносфера, 2014. 672 с. – ISBN 978-0-07-148547-0
19. Сколник, М.И. Справочник по радиолокации. Книга 2 / М.И. Сколник – М., Техносфера, 2014. 680 с. – ISBN 978-5-94836-381-3
20. Козлов, А.И. Восстановление формы поверхности объекта по поляризационной структуре поля отраженной электромагнитной волны / А.И. Козлов, В.Ю. Маслов // Научный Вестник МГТУ ГА. – 2016. Том 19, № 05. – С. 45-53. – ISSN 2079-0619.
21. Татаринов, В.Н. Введение в современную теорию поляризации радиолокационных сигналов / В.Н. Татаринов, С.В. Татаринов, Л.П. Лигтхарт. – Томск: Изд-во Томского государственного университета, 2006. – 380 С. – ISBN 5-7511-1995-5.
22. Рытов, С.М. Введение в статистическую радиофизику. Часть 1. Случайные процессы / С.М. Рытов. – М.: Наука, Главная редакция физико-математической литературы, 1976. – 484 С.
23. Рытов, С.М. Введение в статистическую радиофизику. Часть 2. Случайные поля / С.М. Рытов, Ю.А. Кравцов, В.И. Татарский. – М.: Наука, Главная редакция физико-математической литературы, 1978. – 463 С.
24. Stratton, J.A. Electromagnetic Theory / J.A. Stratton. – IEEE Press, 2007. – 649 С.
25. Doc 9859. Руководство по управлению безопасностью полетов (РУБП). 3-е изд. – Монреаль: ИКАО, 2013. – 300 С.
26. Приложение 19 к Чикагской конвенции. Управление безопасностью полетов. 1-е изд. – Монреаль: ИКАО, 2013. – 41 С.
27. Приложение 13 к Чикагской конвенции. Расследование авиационных происшествий и инцидентов. 11-е изд. – Монреаль: ИКАО, 2016. – 74 С.
28. Правила расследования авиационных происшествий и инцидентов с гражданскими воздушными судами в Российской Федерации. Постановление правительства российской федерации от 18 июня 1998 г. N 609.

29. Дос 9756. Руководство по расследованию авиационных происшествий и инцидентов. Часть I. Организация и планирование. 1-е изд. – Монреаль: ИКАО, 2000. – 64 С.

30. Дос 9756. Руководство по расследованию авиационных происшествий и инцидентов. Часть II. Процедуры и контрольные карты. 1-е изд. – Монреаль: ИКАО, 2012. – 194 С.

31. Дос 9756. Руководство по расследованию авиационных происшествий и инцидентов. Часть IV. Представление отчетов. 1-е изд. – Монреаль: ИКАО, 2003. – 44 С.

32. Елисеев, Б.П. Процедуры расследования авиационных происшествий / Б.П. Елисеев, В.А. Санников, А.Д. Филин, А.Ю. Шатраков // Научный Вестник МГТУ ГА. 2015. № 217. – С.7-14. – ISSN 2079-0619.

33. Шойгу, С.К. Учебник спасателя. МЧС России / С.К. Шойгу, М.И. Фалеев, Г.Н. Кириллов и др.; под общ. ред. Ю. Л. Воробьева. – Краснодар: «Сов. Кубань», 2002. – 528 с. – ISBN 5-7221-0506-6.

34. Верба, В.С. Радиолокационные системы землеобзора космического базирования / В.С. Верба, Л.Б. Неронский, И.Г. Осипов, В.Э. Турук – М.: Радиотехника, 2010. – 680 с. – ISBN 978-5-88070-263-3.

35. Веремеенко, К.К. Современные информационные технологии в задачах навигации и наведения беспилотных маневренных летательных аппаратов / К.К. Веремеенко, С.Ю. Желтов, Н.В. Ким и др. – М.: ФИЗМАТЛИТ. 2009. – 556 с. – ISBN 978-5-9221-1168-3.

36. Кофман, В.Д. Расследование и предупреждение авиационных происшествий / В.Д. Кофман, М.С. Лодысев, Э.К. Саулевич, В.Е. Эминов; отв. ред. Н. В. Жогин. – М.: ВИППИ, 1977. – 222 с.

37. Дворкин, А. И. Осмотр места происшествия: практическое пособие / под ред. А. И. Дворкина. – М.: Юристъ, 2000. – 336 с. – ISBN 5-7975-0332-8.

38. Головин, М. В. Организационно-тактические особенности проведения осмотра места авиационного происшествия / М. В. Головин, Н. М. Шпак // Научный журнал КубГАУ. – 2017. №132. С. 818-830.

39. Особенности осмотра места авиационного происшествия: методические рекомендации, подготовленные Генеральной прокуратурой РФ от 20 апр. 2007. 10 с.

40. Ищенко, Е.П. Расследование и предупреждение дорожно-транспортных происшествий, крушений железнодорожного транспорта и авиационных катастроф: науч.-практ. пособие / Е.П. Ищенко и др.. – М.: Юрлитинформ, 2014. – 224 с. – ISBN 978-5-4396-0594-1.

41. Болдарян, А. А. Тактика следственно-экспертных действий на месте авиационного происшествия / А. А. Болдарян; под общ. ред. С. И. Воронова, А. М. Сироты, В. И. Толмосова // Военно-юридический вестник Приволжского региона: сб. науч. тр. – Самара, 2005. Вып. 3. Ч. I. С. 42–45.

42. Сафонов, А. А. Специфика организации и производства осмотра места авиационного происшествия / А. А. Сафонов, С. М. Колотушкин // Проблемы раскрытия и расследования преступлений: сб. материалов межвузовского «круглого стола», г. Хабаровск, 22 октября 2010 г. – Хабаровск, 2011. С. 123–132.

43. Китаева, В. Н. Актуальные проблемы осмотра места происшествия при расследовании авиакатастроф / В. Н. Китаева, А. А. Митрофанова // Известия ИГЭА, № 4, – Иркутск, 2011, С. 163-166.

44. Илья Бер. Места и жертвы трагедий принадлежат мародерам // Би-би-си (2010). URL: https://www.bbc.com/russian/life/2010/07/100708_looting_worldwide (дата обращения: 19.11.2019).

45. Качалкин, М. В. Определения положения фазового центра многоточечных моделей радиолокационных целей в случае когерентного отражения / М. В. Качалкин, Д. В. Колядов // Научный Вестник МГТУ ГА. – 2006. № 107. С. 78-86. – ISSN 2079-0619.

46. Козлов, А. И. Определение положения фазового центра радиолокационной цели для случая когерентного отражения / А. И. Козлов, М. В. Качалкин, Д. В. Колядов // Научный Вестник МГТУ ГА. – 2006. № 107. С. 73-77. – ISSN 2079-0619.

47. Козлов, А. И. Оконтуривание радиолокационных целей и возможность оценки их геометрических размеров путем управления поляризационными характеристиками излучаемых электромагнитных волн (случай когерентного рассеяния) / А. И. Козлов, А. И. Логвин, Д. В. Колядов, М. В. Качалкин // Научный Вестник МГТУ ГА, – 2005. №96. С. 7-12. – ISSN 2079-0619.

48. Козлов, А. И., Оконтуривание радиолокационных целей и возможность оценки их геометрических размеров путем управления поляризационными характеристиками излучаемых электромагнитных волн (случай некогерентного рассеяния) / А. И. Козлов, А. И. Логвин, Д. В. Колядов, М. В. Качалкин // Научный Вестник МГТУ ГА. – 2005. №93. С. 7-12. – ISSN 2079-0619.

49. Качалкин, М. В. Определение положения фазового центра и конфигурации комбинированной модели радиолокационной цели / М. В. Качалкин, Д. В. Колядов // Научный вестник МГТУ ГА. – 2006. №107. С. 91-95. – ISSN 2079-0619.

50. N.Wiener. Journ. Math. Phys., 1928, v.7, – p. 109.

51. Крамер, Г. Математические методы статистики / Г. Крамер; пер. с англ. под ред. А.Н.Колмогорова. – М.: Иностранная литература, 1948, – 632 с.

52. G. Sinclair. The transmission and reception of elliptically polarized waves. – Proc. IRE, 1950, v.38, – p.148-151.

53. Kennaugh, E.M.. Effects of the type of polarization on echo characteristics / E.M. Kennaugh. Ohio State University, Antenna Laboratory, Columbus, OH, Reports 389-4; 35 p., and 389-9; 39 p.

54. Saillard, J. Proc. Radar polarimetry / J. Saillard, E. Pottier, W.M. Boerner, JIPR-1. University of Nantes, France, March 1990.

55. Saillard, J. Proc. Radar polarimetry / J. Saillard, E. Pottier, W.M. Boerner. – JIPR-2, University of Nantes, France, March 1992. – Pp. 272–288.

56. Saillard, J. Proc. Radar polarimetry / J. Saillard, E. Pottier, S.R. Cloude. – JIPR-3, University of Nantes, France, March 1995.

57. Czyz, Z.H.. Polarization properties of non-symmetrical scattering matrix – a geometrical interpretation / Z.H. Czyz. – IEEE Trans. AES, 1991, v. 27(5), p. 771-783

58. Grawes, D.. Radar polarization matrix of power scattering / D.Grawes. – Proc. IRE, v. 44, № 2, 1956, – p. 248-252

59. Г. Е, Глухов. Нормативное обеспечение и функционал системы информационного мониторинга безопасности авиационной деятельности / Г. Е. Глухов, И. Г. Кирпичев, П. Е. Черников // Научный вестник МГТУ ГА. – 2015. №218 (8). С.34-38. – ISSN 2079-0619.

60. Бордунов, В.Д. Стратегия правовой политики применения Приложения 19 «Управление безопасностью полетов» / В.Д. Бордунов, Б.П. Елисеев // Научный вестник МГТУ ГА. – 2015;(216):5-10. – ISSN 2079-0619.

**Листинг разработанной программы по управлению положением ФЦ
отражения (язык Matlab)**

```

function varargout = SPC_BTx3(varargin)
gui_Singleton = 1;
gui_State = struct('gui_Name',       mfilename, ...
                  'gui_Singleton',   gui_Singleton, ...
                  'gui_OpeningFcn',  @SPC_BTx3_OpeningFcn, ...
                  'gui_OutputFcn',   @SPC_BTx3_OutputFcn, ...
                  'gui_LayoutFcn',   [], ...
                  'gui_Callback',    []);
if nargin && ischar(varargin{1})
    gui_State.gui_Callback = str2func(varargin{1});
end

if nargout
    [varargout{1:nargout}] = gui_mainfcn(gui_State, varargin{:});
else
    gui_mainfcn(gui_State, varargin{:});
end

function SPC_BTx3_OpeningFcn(hObject, eventdata, handles, varargin)
handles.output = hObject;

guidata(hObject, handles);

function varargout = SPC_BTx3_OutputFcn(hObject, eventdata, handles)

varargout{1} = handles.output;

function fi_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

function s11_1_Callback(hObject, eventdata, handles)

function s11_1_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

function s12_1_Callback(hObject, eventdata, handles)

function s12_1_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

function s22_1_Callback(hObject, eventdata, handles)

function s22_1_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))

```

```

        set(hObject, 'BackgroundColor', 'white');
    end

function s11_2_Callback(hObject, eventdata, handles)

function s11_2_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
if ispc && isequal(get(hObject, 'BackgroundColor'),
get(0, 'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject, 'BackgroundColor', 'white');
end

function s12_2_Callback(hObject, eventdata, handles)

function s12_2_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
if ispc && isequal(get(hObject, 'BackgroundColor'),
get(0, 'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject, 'BackgroundColor', 'white');
end

function s22_2_Callback(hObject, eventdata, handles)
function s22_2_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
if ispc && isequal(get(hObject, 'BackgroundColor'),
get(0, 'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject, 'BackgroundColor', 'white');
end

function s11_3_Callback(hObject, eventdata, handles)
function s11_3_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
if ispc && isequal(get(hObject, 'BackgroundColor'),
get(0, 'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject, 'BackgroundColor', 'white');
end

function s12_3_Callback(hObject, eventdata, handles)

function s12_3_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
if ispc && isequal(get(hObject, 'BackgroundColor'),
get(0, 'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject, 'BackgroundColor', 'white');
end

function s22_3_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to s22_3 (see GCBO)
function s22_3_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
if ispc && isequal(get(hObject, 'BackgroundColor'),
get(0, 'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject, 'BackgroundColor', 'white');
end

function y1_Callback(hObject, eventdata, handles)

function y1_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)

if ispc && isequal(get(hObject, 'BackgroundColor'),
get(0, 'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject, 'BackgroundColor', 'white');
end

function x1_Callback(hObject, eventdata, handles)

function x1_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)

```

```

if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

function y2_Callback(hObject, eventdata, handles)

function y2_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

function x2_Callback(hObject, eventdata, handles)

function x2_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

function y3_Callback(hObject, eventdata, handles)

function y3_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

function x3_Callback(hObject, eventdata, handles)

function x3_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)

if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

function sx1_Callback(hObject, eventdata, handles)

function sx1_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

function sx2_Callback(hObject, eventdata, handles)

function sx2_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)

if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

function sy2_Callback(hObject, eventdata, handles)

function sy2_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

```

```

end

function syl_Callback(hObject, eventdata, handles)

function syl_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end
function strfx_Callback(hObject, eventdata, handles)

function strfx_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

function strfy_Callback(hObject, eventdata, handles)

function strfy_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

function box1_KeyPressFcn(hObject, eventdata, handles)

function push1_Callback(hObject, eventdata, handles)
y1 = str2num(get(handles.y1,'String'));
x1 = str2num(get(handles.x1,'String'));
%y1 = 1;
%x1 = 0;
s11_1=str2num(get(handles.s11_1,'String'));
s12_1 = str2num(get(handles.s12_1,'String'));
s22_1 = str2num(get(handles.s22_1,'String'));
y2 = str2num(get(handles.y2,'String'));
x2 = str2num(get(handles.x2,'String'));
%y2 = 0;
%x2 = 0.5;
s11_2 = str2num(get(handles.s11_2,'String'));
s12_2 = str2num(get(handles.s12_2,'String'));
s22_2 = str2num(get(handles.s22_2,'String'));
y3 = str2num(get(handles.y3,'String'));
x3 = str2num(get(handles.x3,'String'));
%y3 = 0;
%x3 = -0.5;
s11_3 = str2num(get(handles.s11_3,'String'));
s12_3 = str2num(get(handles.s12_3,'String'));
s22_3 = str2num(get(handles.s22_3,'String'));
gamma=(0:0.01:pi);
f = str2num(get(handles.fi,'String'))

VideoWriter('video.avi'); % ОТКРЫВАЕМ ПОТОК
for fi=f:0.04:pi;

fX = (x1.*abs(s11_1.*cos(gamma).^2+s12_1.*sin(2.*gamma).*exp(i.*fi)+s22_1.*exp(-
i.*2.*fi).*sin(gamma).^2).^2 +
x2.*abs(s11_2.*cos(gamma).^2+s12_2.*sin(2.*gamma).*exp(i.*fi)+s22_2.*exp(-
i.*2.*fi).*sin(gamma).^2).^2 +
x3.*abs(s11_3.*cos(gamma).^2+s12_3.*sin(2.*gamma).*exp(i.*fi)+s22_3.*exp(i.*2.*fi)
.*sin(gamma).^2)...

```

```

        ./ (abs(s11_1.*cos(gamma).^2+s12_1.*sin(2.*gamma).*exp(i.*fi)+s22_1.*exp(-
i.*2.*fi).*sin(gamma).^2).^2 +
abs(s11_2.*cos(gamma).^2+s12_2.*sin(2.*gamma).*exp(i.*fi)+s22_2.*exp(-
i.*2.*fi).*sin(gamma).^2).^2 +
abs(s11_3.*cos(gamma).^2+s12_3.*sin(2.*gamma).*exp(i.*fi)+s22_3.*exp(i.*2.*fi).*si
n(gamma).^2);
fY = (y1.*abs(s11_1.*cos(gamma).^2+s12_1.*sin(2.*gamma).*exp(i.*fi)+s22_1.*exp(-
i.*2.*fi).*sin(gamma).^2).^2 +
y2.*abs(s11_2.*cos(gamma).^2+s12_2.*sin(2.*gamma).*exp(i.*fi)+s22_2.*exp(-
i.*2.*fi).*sin(gamma).^2).^2 +
y3.*abs(s11_3.*cos(gamma).^2+s12_3.*sin(2.*gamma).*exp(i.*fi)+s22_3.*exp(i.*2.*fi)
.*sin(gamma).^2)...
        ./ (abs(s11_1.*cos(gamma).^2+s12_1.*sin(2.*gamma).*exp(i.*fi)+s22_1.*exp(-
i.*2.*fi).*sin(gamma).^2).^2 +
abs(s11_2.*cos(gamma).^2+s12_2.*sin(2.*gamma).*exp(i.*fi)+s22_2.*exp(-
i.*2.*fi).*sin(gamma).^2).^2 +
abs(s11_3.*cos(gamma).^2+s12_3.*sin(2.*gamma).*exp(i.*fi)+s22_3.*exp(i.*2.*fi).*si
n(gamma).^2);

plot(fX,fY,'R',x1,y1,'O R',x2,y2,'O R',x3,y3,'O R');
sx1 = str2num(get(handles.sx1,'String'));
sx2 = str2num(get(handles.sx2,'String'));
strfx = str2num(get(handles.strfx,'String'));
sy1 = str2num(get(handles.sy1,'String'));
sy2 = str2num(get(handles.sy2,'String'));
strfy = str2num(get(handles.strfy,'String'));
set(gca, 'XTick', sx1:strfx:sx2);
set(gca, 'YTick', sy1:strfy:sy2);
grid on;
F=getframe(gcf); % захват кадра
end
BT1=[s11_1 s12_1; s12_1 s22_1];
BT2=[s11_2 s12_2; s12_2 s22_2];
BT3=[s11_3 s12_3; s12_3 s22_3];

function fplot_ButtonDownFcn(hObject, eventdata, handles)

function box1_Callback(hObject, eventdata, handles)

function fi_Callback(hObject, eventdata, handles)

function push3dficonst_Callback(hObject, eventdata, handles)
y1 = str2num(get(handles.y1,'String'));
x1 = str2num(get(handles.x1,'String'));
s11_1=str2num(get(handles.s11_1,'String'));
s12_1 = str2num(get(handles.s12_1,'String'));
s22_1 = str2num(get(handles.s22_1,'String'));
y2 = str2num(get(handles.y2,'String'));
x2 = str2num(get(handles.x2,'String'));
s11_2 = str2num(get(handles.s11_2,'String'));
s12_2 = str2num(get(handles.s12_2,'String'));
s22_2 = str2num(get(handles.s22_2,'String'));
y3 = str2num(get(handles.y3,'String'));
x3 = str2num(get(handles.x3,'String'));
s11_3 = str2num(get(handles.s11_3,'String'));
s12_3 = str2num(get(handles.s12_3,'String'));
s22_3 = str2num(get(handles.s22_3,'String'));
gamma2d = 0:0.1:pi;
%fi = 0:0.001:pi;
[gamma] = meshgrid(0:0.01:pi);

```

```

fi = str2num(get(handles.fi, 'String'));

%VideoWriter('vvvidtest.avi'); % открываем поток
cla;
%for fi=f:0.05:pi;
hold 'on';
%function
fX = (x1.*abs(s11_1.*cos(gamma).^2+s12_1.*sin(2.*gamma).*exp(i.*fi)+s22_1.*exp(-
i.*2.*fi).*sin(gamma).^2).^2 +
x2.*abs(s11_2.*cos(gamma).^2+s12_2.*sin(2.*gamma).*exp(i.*fi)+s22_2.*exp(-
i.*2.*fi).*sin(gamma).^2).^2 +
x3.*abs(s11_3.*cos(gamma).^2+s12_3.*sin(2.*gamma).*exp(i.*fi)+s22_3.*exp(i.*2.*fi)
.*sin(gamma).^2)...
./ (abs(s11_1.*cos(gamma).^2+s12_1.*sin(2.*gamma).*exp(i.*fi)+s22_1.*exp(-
i.*2.*fi).*sin(gamma).^2).^2 +
abs(s11_2.*cos(gamma).^2+s12_2.*sin(2.*gamma).*exp(i.*fi)+s22_2.*exp(-
i.*2.*fi).*sin(gamma).^2).^2 +
abs(s11_3.*cos(gamma).^2+s12_3.*sin(2.*gamma).*exp(i.*fi)+s22_3.*exp(i.*2.*fi).*si
n(gamma).^2);
fY = (y1.*abs(s11_1.*cos(gamma).^2+s12_1.*sin(2.*gamma).*exp(i.*fi)+s22_1.*exp(-
i.*2.*fi).*sin(gamma).^2).^2 +
y2.*abs(s11_2.*cos(gamma).^2+s12_2.*sin(2.*gamma).*exp(i.*fi)+s22_2.*exp(-
i.*2.*fi).*sin(gamma).^2).^2 +
y3.*abs(s11_3.*cos(gamma).^2+s12_3.*sin(2.*gamma).*exp(i.*fi)+s22_3.*exp(i.*2.*fi)
.*sin(gamma).^2)...
./ (abs(s11_1.*cos(gamma).^2+s12_1.*sin(2.*gamma).*exp(i.*fi)+s22_1.*exp(-
i.*2.*fi).*sin(gamma).^2).^2 +
abs(s11_2.*cos(gamma).^2+s12_2.*sin(2.*gamma).*exp(i.*fi)+s22_2.*exp(-
i.*2.*fi).*sin(gamma).^2).^2 +
abs(s11_3.*cos(gamma).^2+s12_3.*sin(2.*gamma).*exp(i.*fi)+s22_3.*exp(i.*2.*fi).*si
n(gamma).^2);

fP = abs(s11_1.*cos(gamma).^2+s12_1.*sin(2.*gamma).*exp(i.*fi)+s22_1.*exp(-
i.*2.*fi).*sin(gamma).^2).^2 +
abs(s11_2.*cos(gamma).^2+s12_2.*sin(2.*gamma).*exp(i.*fi)+s22_2.*exp(-
i.*2.*fi).*sin(gamma).^2).^2 +
abs(s11_3.*cos(gamma).^2+s12_3.*sin(2.*gamma).*exp(i.*fi)+s22_3.*exp(i.*2.*fi).*si
n(gamma).^2);

fX2d =
(x1.*abs(s11_1.*cos(gamma2d).^2+s12_1.*sin(2.*gamma2d).*exp(i.*fi)+s22_1.*exp(-
i.*2.*fi).*sin(gamma2d).^2).^2 +
x2.*abs(s11_2.*cos(gamma2d).^2+s12_2.*sin(2.*gamma2d).*exp(i.*fi)+s22_2.*exp(-
i.*2.*fi).*sin(gamma2d).^2).^2 +
x3.*abs(s11_3.*cos(gamma2d).^2+s12_3.*sin(2.*gamma2d).*exp(i.*fi)+s22_3.*exp(i.*2.
*fi).*sin(gamma2d).^2)...
./ (abs(s11_1.*cos(gamma2d).^2+s12_1.*sin(2.*gamma2d).*exp(i.*fi)+s22_1.*exp(-
i.*2.*fi).*sin(gamma2d).^2).^2 +
abs(s11_2.*cos(gamma2d).^2+s12_2.*sin(2.*gamma2d).*exp(i.*fi)+s22_2.*exp(-
i.*2.*fi).*sin(gamma2d).^2).^2 +
abs(s11_3.*cos(gamma2d).^2+s12_3.*sin(2.*gamma2d).*exp(i.*fi)+s22_3.*exp(i.*2.*fi)
.*sin(gamma2d).^2);
fY2d =
(y1.*abs(s11_1.*cos(gamma2d).^2+s12_1.*sin(2.*gamma2d).*exp(i.*fi)+s22_1.*exp(-
i.*2.*fi).*sin(gamma2d).^2).^2 +
y2.*abs(s11_2.*cos(gamma2d).^2+s12_2.*sin(2.*gamma2d).*exp(i.*fi)+s22_2.*exp(-
i.*2.*fi).*sin(gamma2d).^2).^2 +
y3.*abs(s11_3.*cos(gamma2d).^2+s12_3.*sin(2.*gamma2d).*exp(i.*fi)+s22_3.*exp(i.*2.
*fi).*sin(gamma2d).^2)...
./ (abs(s11_1.*cos(gamma2d).^2+s12_1.*sin(2.*gamma2d).*exp(i.*fi)+s22_1.*exp(-
i.*2.*fi).*sin(gamma2d).^2).^2 +
abs(s11_2.*cos(gamma2d).^2+s12_2.*sin(2.*gamma2d).*exp(i.*fi)+s22_2.*exp(-

```

```

i.*2.*fi).*sin(gamma2d).^2).^2 +
abs(s11_3.*cos(gamma2d).^2+s12_3.*sin(2.*gamma2d).*exp(i.*fi)+s22_3.*exp(i.*2.*fi)
.*sin(gamma2d).^2);

set(0,'DefaultAxesFontSize',12,'DefaultAxesFontName','Times New Roman');
set(0,'DefaultTextFontSize',12,'DefaultTextFontName','Times New Roman');
%cla;
colormap('jet');
%Create axes
sx1 = str2num(get(handles.sx1,'String'));
sx2 = str2num(get(handles.sx2,'String'));
strfx = str2num(get(handles.strfx,'String'));
sy1 = str2num(get(handles.sy1,'String'));
sy2 = str2num(get(handles.sy2,'String'));
strfy = str2num(get(handles.strfy,'String'));
set(gca,'XTick',sx1:strfx:sx2);
set(gca,'YTick',sy1:strfy:sy2);
grid 'on';
%Create graphic
plot3(x1,y1,0,'MarkerSize',10,'Marker','diamond','LineWidth',2,...
'LineStyle','none','Color',[1 0 0]);
plot3(x2,y2,0,'MarkerSize',10,'Marker','diamond','LineWidth',2,...
'LineStyle','none','Color',[1 0 0]);
plot3(x3,y3,0,'MarkerSize',10,'Marker','diamond','LineWidth',2,...
'LineStyle','none','Color',[1 0 0]);
colorbar('vert');
hP1=meshz(fX,fY,fP);
set(hP1,'FaceLighting','none',...
'EdgeLighting','flat',...
'MarkerFaceColor',[1 0 1],...
'MarkerEdgeColor','none',...
'MarkerSize',0.5,...
'LineStyle',':',...
'FaceColor','none',...
'EdgeColor',[0.831372559070587 0.815686285495758 0.7843137383461]);
hP2=mesh(fX,fY,fP,'LineWidth',4);
hold 'off';

function push3dP_Callback(hObject, eventdata, handles)
y1 = str2num(get(handles.y1,'String'));
x1 = str2num(get(handles.x1,'String'));
s11_1=str2num(get(handles.s11_1,'String'));
s12_1 = str2num(get(handles.s12_1,'String'));
s22_1 = str2num(get(handles.s22_1,'String'));
y2 = str2num(get(handles.y2,'String'));
x2 = str2num(get(handles.x2,'String'));
s11_2 = str2num(get(handles.s11_2,'String'));
s12_2 = str2num(get(handles.s12_2,'String'));
s22_2 = str2num(get(handles.s22_2,'String'));
y3 = str2num(get(handles.y3,'String'));
x3 = str2num(get(handles.x3,'String'));
s11_3 = str2num(get(handles.s11_3,'String'));
s12_3 = str2num(get(handles.s12_3,'String'));
s22_3 = str2num(get(handles.s22_3,'String'));
%gamma = 0:0.001:pi;
%fi = 0:0.001:pi;
[gamma,fi] = meshgrid(0:0.01:pi,0:0.01:pi);
%fi = str2num(get(handles.fi,'String'));
%function
fX = (x1.*abs(s11_1.*cos(gamma).^2+s12_1.*sin(2.*gamma).*exp(i.*fi)+s22_1.*exp(-
i.*2.*fi).*sin(gamma).^2).^2 +
x2.*abs(s11_2.*cos(gamma).^2+s12_2.*sin(2.*gamma).*exp(i.*fi)+s22_2.*exp(-

```

```

i.*2.*fi).*sin(gamma).^2).^2 +
x3.*abs(s11_3.*cos(gamma).^2+s12_3.*sin(2.*gamma).*exp(i.*fi)+s22_3.*exp(i.*2.*fi)
.*sin(gamma)).^2)...
./ (abs(s11_1.*cos(gamma).^2+s12_1.*sin(2.*gamma).*exp(i.*fi)+s22_1.*exp(-
i.*2.*fi).*sin(gamma).^2).^2 +
abs(s11_2.*cos(gamma).^2+s12_2.*sin(2.*gamma).*exp(i.*fi)+s22_2.*exp(-
i.*2.*fi).*sin(gamma).^2).^2 +
abs(s11_3.*cos(gamma).^2+s12_3.*sin(2.*gamma).*exp(i.*fi)+s22_3.*exp(i.*2.*fi).*si
n(gamma)).^2);
fY = (y1.*abs(s11_1.*cos(gamma).^2+s12_1.*sin(2.*gamma).*exp(i.*fi)+s22_1.*exp(-
i.*2.*fi).*sin(gamma).^2).^2 +
y2.*abs(s11_2.*cos(gamma).^2+s12_2.*sin(2.*gamma).*exp(i.*fi)+s22_2.*exp(-
i.*2.*fi).*sin(gamma).^2).^2 +
y3.*abs(s11_3.*cos(gamma).^2+s12_3.*sin(2.*gamma).*exp(i.*fi)+s22_3.*exp(i.*2.*fi)
.*sin(gamma)).^2)...
./ (abs(s11_1.*cos(gamma).^2+s12_1.*sin(2.*gamma).*exp(i.*fi)+s22_1.*exp(-
i.*2.*fi).*sin(gamma).^2).^2 +
abs(s11_2.*cos(gamma).^2+s12_2.*sin(2.*gamma).*exp(i.*fi)+s22_2.*exp(-
i.*2.*fi).*sin(gamma).^2).^2 +
abs(s11_3.*cos(gamma).^2+s12_3.*sin(2.*gamma).*exp(i.*fi)+s22_3.*exp(i.*2.*fi).*si
n(gamma)).^2);
fP = abs(s11_1.*cos(gamma).^2+s12_1.*sin(2.*gamma).*exp(i.*fi)+s22_1.*exp(-
i.*2.*fi).*sin(gamma).^2).^2 +
abs(s11_2.*cos(gamma).^2+s12_2.*sin(2.*gamma).*exp(i.*fi)+s22_2.*exp(-
i.*2.*fi).*sin(gamma).^2).^2 +
abs(s11_3.*cos(gamma).^2+s12_3.*sin(2.*gamma).*exp(i.*fi)+s22_3.*exp(i.*2.*fi).*si
n(gamma)).^2;

set(0,'DefaultAxesFontSize',12,'DefaultAxesFontName','Times New Roman');
set(0,'DefaultTextFontSize',12,'DefaultTextFontName','Times New Roman');

%figure1 = figure('Color',[0.941176474094391 0.941176474094391
0.941176474094391]);
colormap('jet');
%Create axes
%axes1 = axes('Parent',figure1,'DataAspectRatio',[2.5 2.5 1]);
%view(axes1,[0.5 90]);
cla;
sx1 = str2num(get(handles.sx1,'String'));
sx2 = str2num(get(handles.sx2,'String'));
strfx = str2num(get(handles.strfx,'String'));
sy1 = str2num(get(handles.sy1,'String'));
sy2 = str2num(get(handles.sy2,'String'));
strfy = str2num(get(handles.strfy,'String'));
set(gca, 'XTick', sx1:strfx:sx2);
set(gca, 'YTick', sy1:strfy:sy2);
grid 'on';
hold 'on';
colorbar('vert');
%Create surf
mesh(fX,fY,fP);
plot3(x1,y1,0,'MarkerSize',10,'Marker','diamond','LineWidth',2,...
'LineStyle','none','Color',[1 0 0]);
plot3(x2,y2,0,'MarkerSize',10,'Marker','diamond','LineWidth',2,...
'LineStyle','none','Color',[1 0 0]);
plot3(x3,y3,0,'MarkerSize',10,'Marker','diamond','LineWidth',2,...
'LineStyle','none','Color',[1 0 0]);
%Create xlabel
xlabel({'X'});
%Create ylabel
ylabel({'Y'});
%Create zlabel

```

```

%zlabel({'\phi'});
hold 'off'
%set(hP2,'LineWidth',1);

function push3dPnew_Callback(hObject, eventdata, handles)
y1 = str2num(get(handles.y1,'String'));
x1 = str2num(get(handles.x1,'String'));
s11_1=str2num(get(handles.s11_1,'String'));
s12_1 = str2num(get(handles.s12_1,'String'));
s22_1 = str2num(get(handles.s22_1,'String'));
y2 = str2num(get(handles.y2,'String'));
x2 = str2num(get(handles.x2,'String'));
s11_2 = str2num(get(handles.s11_2,'String'));
s12_2 = str2num(get(handles.s12_2,'String'));
s22_2 = str2num(get(handles.s22_2,'String'));
y3 = str2num(get(handles.y3,'String'));
x3 = str2num(get(handles.x3,'String'));
s11_3 = str2num(get(handles.s11_3,'String'));
s12_3 = str2num(get(handles.s12_3,'String'));
s22_3 = str2num(get(handles.s22_3,'String'));
%gamma = 0:0.001:pi;
%fi = 0:0.001:pi;
[gamma,fi] = meshgrid(0:0.01:pi,0:0.01:pi);
%fi = str2num(get(handles.fi,'String'));
%function
fX = (x1.*abs(s11_1.*cos(gamma).^2+s12_1.*sin(2.*gamma).*exp(i.*fi)+s22_1.*exp(-
i.*2.*fi).*sin(gamma).^2).^2 +
x2.*abs(s11_2.*cos(gamma).^2+s12_2.*sin(2.*gamma).*exp(i.*fi)+s22_2.*exp(-
i.*2.*fi).*sin(gamma).^2).^2 +
x3.*abs(s11_3.*cos(gamma).^2+s12_3.*sin(2.*gamma).*exp(i.*fi)+s22_3.*exp(i.*2.*fi)
.*sin(gamma).^2)...
./ (abs(s11_1.*cos(gamma).^2+s12_1.*sin(2.*gamma).*exp(i.*fi)+s22_1.*exp(-
i.*2.*fi).*sin(gamma).^2).^2 +
abs(s11_2.*cos(gamma).^2+s12_2.*sin(2.*gamma).*exp(i.*fi)+s22_2.*exp(-
i.*2.*fi).*sin(gamma).^2).^2 +
abs(s11_3.*cos(gamma).^2+s12_3.*sin(2.*gamma).*exp(i.*fi)+s22_3.*exp(i.*2.*fi).*si
n(gamma).^2);
fY = (y1.*abs(s11_1.*cos(gamma).^2+s12_1.*sin(2.*gamma).*exp(i.*fi)+s22_1.*exp(-
i.*2.*fi).*sin(gamma).^2).^2 +
y2.*abs(s11_2.*cos(gamma).^2+s12_2.*sin(2.*gamma).*exp(i.*fi)+s22_2.*exp(-
i.*2.*fi).*sin(gamma).^2).^2 +
y3.*abs(s11_3.*cos(gamma).^2+s12_3.*sin(2.*gamma).*exp(i.*fi)+s22_3.*exp(i.*2.*fi)
.*sin(gamma).^2)...
./ (abs(s11_1.*cos(gamma).^2+s12_1.*sin(2.*gamma).*exp(i.*fi)+s22_1.*exp(-
i.*2.*fi).*sin(gamma).^2).^2 +
abs(s11_2.*cos(gamma).^2+s12_2.*sin(2.*gamma).*exp(i.*fi)+s22_2.*exp(-
i.*2.*fi).*sin(gamma).^2).^2 +
abs(s11_3.*cos(gamma).^2+s12_3.*sin(2.*gamma).*exp(i.*fi)+s22_3.*exp(i.*2.*fi).*si
n(gamma).^2);
fP = abs(s11_1.*cos(gamma).^2+s12_1.*sin(2.*gamma).*exp(i.*fi)+s22_1.*exp(-
i.*2.*fi).*sin(gamma).^2).^2 +
abs(s11_2.*cos(gamma).^2+s12_2.*sin(2.*gamma).*exp(i.*fi)+s22_2.*exp(-
i.*2.*fi).*sin(gamma).^2).^2 +
abs(s11_3.*cos(gamma).^2+s12_3.*sin(2.*gamma).*exp(i.*fi)+s22_3.*exp(i.*2.*fi).*si
n(gamma).^2;

set(0,'DefaultAxesFontSize',12,'DefaultAxesFontName','Times New Roman');
set(0,'DefaultTextFontSize',12,'DefaultTextFontName','Times New Roman');

figure1 = figure('Color',[0.941176474094391 0.941176474094391 0.941176474094391]);
colormap('jet');
%Create axes

```

```

axes1 = axes('Parent',figure1); %,'DataAspectRatio',[2.5 2.5 1]);
view(axes1,[0.5 90]);
grid(axes1,'on');
hold(axes1,'on');
hold 'on';
%set(gca, 'XTick', x3:0.2:x2);
%set(gca, 'YTick', 0:0.2:1);
%set(gca, 'ZTick', 0:0.5:4);
%Create surf
mesh(fX,fY,fP);
plot3(x1,y1,0,'MarkerSize',10,'Marker','diamond','LineWidth',2,...
      'LineStyle','none','Color',[1 0 0]);
plot3(x2,y2,0,'MarkerSize',10,'Marker','diamond','LineWidth',2,...
      'LineStyle','none','Color',[1 0 0]);
plot3(x3,y3,0,'MarkerSize',10,'Marker','diamond','LineWidth',2,...
      'LineStyle','none','Color',[1 0 0]);
%Create xlabel
xlabel({'X'});
%Create ylabel
ylabel({'Y'});
%Create zlabel
zlabel({'P'});
hold 'off'
%set(hP2,'LineWidth',1);
%-----animation-----
function pushanimation_Callback(hObject, eventdata, handles)
y1 = str2num(get(handles.y1,'String'));
x1 = str2num(get(handles.x1,'String'));
s11_1=str2num(get(handles.s11_1,'String'));
s12_1 = str2num(get(handles.s12_1,'String'));
s22_1 = str2num(get(handles.s22_1,'String'));
y2 = str2num(get(handles.y2,'String'));
x2 = str2num(get(handles.x2,'String'));
s11_2 = str2num(get(handles.s11_2,'String'));
s12_2 = str2num(get(handles.s12_2,'String'));
s22_2 = str2num(get(handles.s22_2,'String'));
y3 = str2num(get(handles.y3,'String'));
x3 = str2num(get(handles.x3,'String'));
s11_3 = str2num(get(handles.s11_3,'String'));
s12_3 = str2num(get(handles.s12_3,'String'));
s22_3 = str2num(get(handles.s22_3,'String'));
gamma,fi] = meshgrid(0:0.01:pi,0:0.01:pi);

set(0,'DefaultAxesFontSize',12,'DefaultAxesFontName','Times New Roman');
set(0,'DefaultTextFontSize',12,'DefaultTextFontName','Times New Roman');

figure1 = figure('Units','normalized','OuterPosition',[0 0.1 0.7 0.9]);
colormap('jet');
axes1 = axes('Parent',figure1,'Position',[0.0603728880350722 0.0950780157393537
0.664666456957653 0.784679710991297],'FontSize',10); %,'DataAspectRatio',[2.5 2.5
1]);
set(axes1,'YTick',0:0.2:1);
set(axes1,'XTick',-0.5:0.2:0.5);
set(axes1,'ZTick',0);
view(axes1,[-30 38]);
grid(axes1,'on');
set(axes1,'Zgrid','off')
hold(axes1,'on');
box(axes1,'on');
xlabel(axes1,{'X'});
ylabel(axes1,{'Y'});
zlabel(axes1,{'P'});

```

```

%ylabel(axes1,{'\Phi'});

annotation(figure1,'textbox',...
    [0.2492276082791 0.420110445894244 0.0171210177184257 0.0414304785669358],...
    'String','BT1',...
    'LineStyle','none',...
    'FontSize',12,...
    'FontAngle','italic',...
    'FitBoxToText','off');
% Create textbox
annotation(figure1,'textbox',...
    [0.724059823044201 0.236525132719296 0.0171210177184258
0.0414304785669357],...
    'String','BT2',...
    'LineStyle','none',...
    'FontSize',12,...
    'FontAngle','italic',...
    'FitBoxToText','off');
% Create textbox
annotation(figure1,'textbox',...
    [0.274395393513998 0.0906412282104181 0.0171210177184257
0.0414304785669359],...
    'String','BT3',...
    'LineStyle','none',...
    'FontSize',12,...
    'FontAngle','italic',...
    'FitBoxToText','off');

s11_1=0; s12_1=0; s22_1=0; s22_2=0; s11_3=0.8;
%animation
v = VideoWriter('peaks.avi');
v.FrameRate=30;
open(v);
%axis tight manual
set(gca,'nextplot','replacechildren');

fX = (x1.*abs(s11_1.*cos(gamma).^2+s12_1.*sin(2.*gamma).*exp(i.*fi)+s22_1.*exp(-
i.*2.*fi).*sin(gamma).^2).^2 +
x2.*abs(s11_2.*cos(gamma).^2+s12_2.*sin(2.*gamma).*exp(i.*fi)+s22_2.*exp(-
i.*2.*fi).*sin(gamma).^2).^2 +
x3.*abs(s11_3.*cos(gamma).^2+s12_3.*sin(2.*gamma).*exp(i.*fi)+s22_3.*exp(i.*2.*fi)
.*sin(gamma).^2)...
./ (abs(s11_1.*cos(gamma).^2+s12_1.*sin(2.*gamma).*exp(i.*fi)+s22_1.*exp(-
i.*2.*fi).*sin(gamma).^2).^2 +
abs(s11_2.*cos(gamma).^2+s12_2.*sin(2.*gamma).*exp(i.*fi)+s22_2.*exp(-
i.*2.*fi).*sin(gamma).^2).^2 +
abs(s11_3.*cos(gamma).^2+s12_3.*sin(2.*gamma).*exp(i.*fi)+s22_3.*exp(i.*2.*fi).*si
n(gamma).^2);
fY = (y1.*abs(s11_1.*cos(gamma).^2+s12_1.*sin(2.*gamma).*exp(i.*fi)+s22_1.*exp(-
i.*2.*fi).*sin(gamma).^2).^2 +
y2.*abs(s11_2.*cos(gamma).^2+s12_2.*sin(2.*gamma).*exp(i.*fi)+s22_2.*exp(-
i.*2.*fi).*sin(gamma).^2).^2 +
y3.*abs(s11_3.*cos(gamma).^2+s12_3.*sin(2.*gamma).*exp(i.*fi)+s22_3.*exp(i.*2.*fi)
.*sin(gamma).^2)...
./ (abs(s11_1.*cos(gamma).^2+s12_1.*sin(2.*gamma).*exp(i.*fi)+s22_1.*exp(-
i.*2.*fi).*sin(gamma).^2).^2 +
abs(s11_2.*cos(gamma).^2+s12_2.*sin(2.*gamma).*exp(i.*fi)+s22_2.*exp(-
i.*2.*fi).*sin(gamma).^2).^2 +
abs(s11_3.*cos(gamma).^2+s12_3.*sin(2.*gamma).*exp(i.*fi)+s22_3.*exp(i.*2.*fi).*si
n(gamma).^2);
fP = abs(s11_1.*cos(gamma).^2+s12_1.*sin(2.*gamma).*exp(i.*fi)+s22_1.*exp(-
i.*2.*fi).*sin(gamma).^2).^2 +

```

```

abs(s11_2.*cos(gamma).^2+s12_2.*sin(2.*gamma).*exp(i.*fi)+s22_2.*exp(-
i.*2.*fi).*sin(gamma).^2).^2 +
abs(s11_3.*cos(gamma).^2+s12_3.*sin(2.*gamma).*exp(i.*fi)+s22_3.*exp(i.*2.*fi).*si
n(gamma)).^2;

h=plot3(x1,y1,0,'MarkerSize',10,'Marker','diamond','LineWidth',2,...
'LineStyle','none','Color',[1 0 0]);
h=plot3(x2,y2,0,'MarkerSize',10,'Marker','diamond','LineWidth',2,...
'LineStyle','none','Color',[1 0 0]);
h=plot3(x3,y3,0,'MarkerSize',10,'Marker','diamond','LineWidth',2,...
'LineStyle','none','Color',[1 0 0]);
h = mesh(fX,fY,fP);

title(['s11_1 = ' num2str(s11_1), ', s12_1=' num2str(s12_1), ', s22_1='
num2str(s22_1), ...
sprintf('\n'), 's11_2 = ' num2str(s11_2), ', s12_2=' num2str(s12_2), ',
s22_2=' num2str(s22_2), ...
sprintf('\n'), 's11_3 = ' num2str(s11_3), ', s12_3=' num2str(s12_3), ',
s22_3=' num2str(s22_3)], 'FontSize',14,...
'HorizontalAlignment','left', 'FontAngle','normal');
frame = getframe(figure1);
writeVideo(v,frame);
end
close(v);

function File_Callback(hObject, eventdata, handles)

function resetbtn_Callback(hObject, eventdata, handles)
set(handles.s11_1,'string',num2str(0.7));
set(handles.s12_1,'string',num2str(0.1));
set(handles.s22_1,'string',num2str(0.1));
set(handles.s11_2,'string',num2str(0.5));
set(handles.s12_2,'string',num2str(0.2));
set(handles.s22_2,'string',num2str(0.05));
set(handles.s11_3,'string',num2str(0.7));
set(handles.s12_3,'string',num2str(0.2));
set(handles.s22_3,'string',num2str(0.1));
set(handles.sx1,'string',num2str(-1));
set(handles.sx2,'string',num2str(1));
set(handles.sy1,'string',num2str(0));
set(handles.sy2,'string',num2str(1));
cla

function rnd1_Callback(hObject, eventdata, handles)
set(handles.s11_1,'string',num2str(rand));
set(handles.s12_1,'string',num2str(rand));
set(handles.s22_1,'string',num2str(rand));

function rnd2_Callback(hObject, eventdata, handles)
set(handles.s11_2,'string',num2str(rand));
set(handles.s12_2,'string',num2str(rand));
set(handles.s22_2,'string',num2str(rand));

function rnd3_Callback(hObject, eventdata, handles)
set(handles.s11_3,'string',num2str(rand));
set(handles.s12_3,'string',num2str(rand));
set(handles.s22_3,'string',num2str(rand));

```

Решение системы нелинейных уравнений (программная среда Mathcad 15)

элементы матриц рассеяния целей			координаты целей		
<i>цель №1</i>	<i>цель №2</i>	<i>цель №3</i>	<i>цель №1</i>	<i>цель №2</i>	<i>цель №3</i>
$s_{11_1} = 0.7$	$s_{11_2} = 0.5$	$s_{11_3} = 0.7$	$x_1 = 0.6$	$x_2 = 1.1$	$x_3 = 0.1$
$s_{12_1} = 0.1$	$s_{12_2} = 0.2$	$s_{12_3} = 0.2$	$y_1 = 0.99$	$y_2 = 0.01$	$y_3 = 0.01$
$s_{22_1} = 0.1$	$s_{22_2} = 0.01$	$s_{22_3} = 0.1$			

Построение ППК

$$i = 1..51 \quad \gamma_i = 0.0615 \cdot i \quad \varphi = 0$$

$$k_i = \cos(\gamma_i) \quad a = \sin(\varphi)$$

$$z_i = \sin(\gamma_i) \quad b = \cos(\varphi)$$

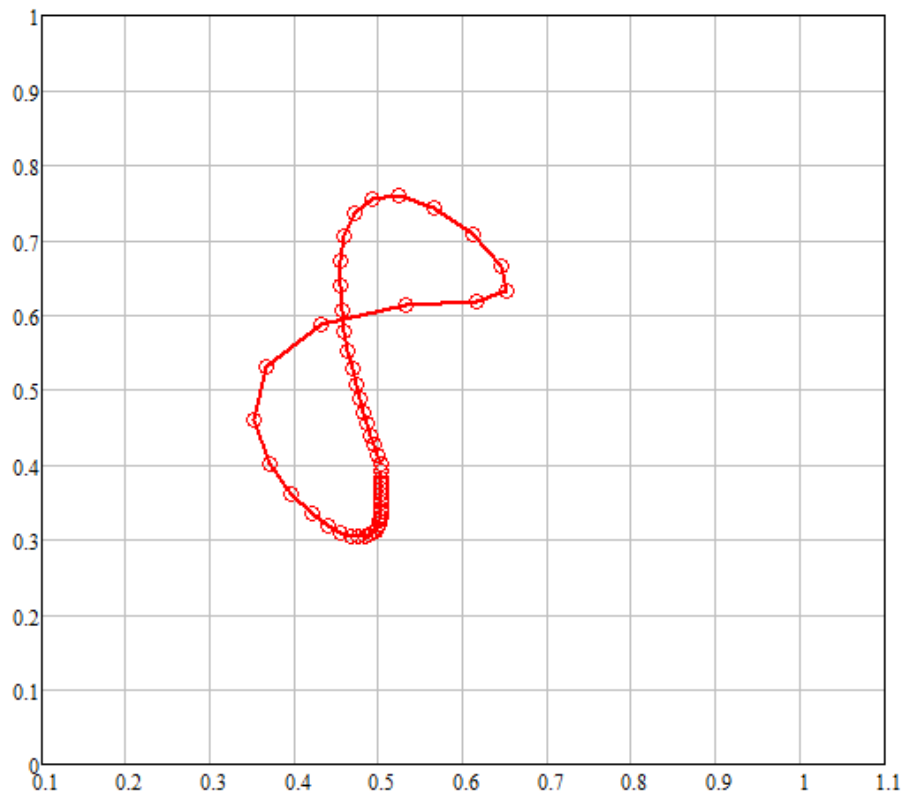
$$A1_i = \left[s_{11_1} \cdot (k_i)^2 + s_{12_1} \cdot 2 \cdot z_i \cdot k_i \cdot b + s_{22_1} \cdot z_i \cdot (b^2 - a^2) \right]^2 + (s_{12_1} \cdot 2 \cdot z_i \cdot k_i \cdot a + s_{22_1} \cdot z_i \cdot 2 \cdot a \cdot b)^2$$

$$A2_i = \left[s_{11_2} \cdot (k_i)^2 + s_{12_2} \cdot 2 \cdot z_i \cdot k_i \cdot b + s_{22_2} \cdot z_i \cdot (b^2 - a^2) \right]^2 + (s_{12_2} \cdot 2 \cdot z_i \cdot k_i \cdot a + s_{22_2} \cdot z_i \cdot 2 \cdot a \cdot b)^2$$

$$A3_i = \left[s_{11_3} \cdot (k_i)^2 + s_{12_3} \cdot 2 \cdot z_i \cdot k_i \cdot b + s_{22_3} \cdot z_i \cdot (b^2 - a^2) \right]^2 + (s_{12_3} \cdot 2 \cdot z_i \cdot k_i \cdot a + s_{22_3} \cdot z_i \cdot 2 \cdot a \cdot b)^2$$

$$X_i = \frac{x_1 \cdot A1_i + x_2 \cdot A2_i + x_3 \cdot A3_i}{A1_i + A2_i + A3_i}$$

$$Y_i = \frac{y_1 \cdot A1_i + y_2 \cdot A2_i + y_3 \cdot A3_i}{A1_i + A2_i + A3_i}$$



Исходные данные для расчета

i - № поляризации, на которой производится наблюдение

γ_i - параметр, определяющий конкретный вид поляризации на которой производится наблюдение

X_i - "x" координата фазового центра

Y_i - "y" координата фазового центра

$i =$	$\gamma_i =$	$X_i =$	$Y_i =$
1	0.062	0.503	0.391
2	0.123	0.503	0.383
3	0.185	0.503	0.375
4	0.246	0.503	0.368
5	0.308	0.503	0.361
6	0.369	0.503	0.354
7	0.43	0.503	0.348
8	0.492	0.503	0.342
9	0.554	0.502	0.336
10	0.615	0.502	0.331
11	0.676	0.501	0.326
12	0.738	0.499	0.321
13	0.8	0.498	0.316
14	0.861	0.495	0.312
15	0.922	0.492	0.308
16	0.984	0.488	0.306
17	1.046	0.483	0.304
18	1.107	0.476	0.303
19	1.168	0.467	0.305
20	1.23	0.455	0.31
21	1.292	0.44	0.319
22	1.353	0.42	0.335
23	1.414	0.396	0.361
24	1.476	0.37	0.402
25	1.538	0.352	0.46
26	1.599	0.365	0.53
27	1.66	0.431	0.588
28	1.722	0.533	0.613
29	1.784	0.616	0.618
30	1.845	0.652	0.632
31	1.906	0.645	0.665
32	1.968	0.611	0.708
33	2.03	0.566	0.743
34	2.091	0.524	0.76
35	2.152	0.491	0.756
36	2.214	0.47	0.735
37	2.276	0.458	0.705
38	2.337	0.454	0.672
39	2.398	0.453	0.638
40	2.46	0.455	0.607
41	2.522	0.459	0.578
42	2.583	0.463	0.552
43	2.644	0.468	0.528
44	2.706	0.473	0.507
45	2.768	0.477	0.488
46	2.829	0.482	0.47
47	2.89	0.486	0.454
48	2.952	0.49	0.44
49	3.014	0.494	0.426
50	3.075	0.498	0.413
51	3.136	0.502	0.401

...

$$\begin{aligned}
 X_{51} &= \frac{x_1 \cdot \left[s_{11_1} \cdot (k_{51})^2 + s_{12_1} \cdot 2 \cdot z_{51} \cdot k_{51} \cdot b + s_{22_1} \cdot z_{51} \cdot (b^2 - a^2) \right]^2 + (s_{12_1} \cdot 2 \cdot z_{51} \cdot k_{51} \cdot a + s_{22_1} \cdot z_{51} \cdot 2 \cdot a \cdot b)^2 \dots}{x_2 \cdot \left[s_{11_2} \cdot (k_{51})^2 + s_{12_2} \cdot 2 \cdot z_{51} \cdot k_{51} \cdot b + s_{22_2} \cdot z_{51} \cdot (b^2 - a^2) \right]^2 + (s_{12_2} \cdot 2 \cdot z_{51} \cdot k_{51} \cdot a + s_{22_2} \cdot z_{51} \cdot 2 \cdot a \cdot b)^2 \dots} \\
 &+ \frac{x_3 \cdot \left[s_{11_3} \cdot (k_{51})^2 + s_{12_3} \cdot 2 \cdot z_{51} \cdot k_{51} \cdot b + s_{22_3} \cdot z_{51} \cdot (b^2 - a^2) \right]^2 + (s_{12_3} \cdot 2 \cdot z_{51} \cdot k_{51} \cdot a + s_{22_3} \cdot z_{51} \cdot 2 \cdot a \cdot b)^2}{\left[s_{11_1} \cdot (k_{51})^2 + s_{12_1} \cdot 2 \cdot z_{51} \cdot k_{51} \cdot b + s_{22_1} \cdot z_{51} \cdot (b^2 - a^2) \right]^2 + (s_{12_1} \cdot 2 \cdot z_{51} \cdot k_{51} \cdot a + s_{22_1} \cdot z_{51} \cdot 2 \cdot a \cdot b)^2 \dots} \\
 &+ \frac{\left[s_{11_2} \cdot (k_{51})^2 + s_{12_2} \cdot 2 \cdot z_{51} \cdot k_{51} \cdot b + s_{22_2} \cdot z_{51} \cdot (b^2 - a^2) \right]^2 + (s_{12_2} \cdot 2 \cdot z_{51} \cdot k_{51} \cdot a + s_{22_2} \cdot z_{51} \cdot 2 \cdot a \cdot b)^2 \dots}{\left[s_{11_3} \cdot (k_{51})^2 + s_{12_3} \cdot 2 \cdot z_{51} \cdot k_{51} \cdot b + s_{22_3} \cdot z_{51} \cdot (b^2 - a^2) \right]^2 + (s_{12_3} \cdot 2 \cdot z_{51} \cdot k_{51} \cdot a + s_{22_3} \cdot z_{51} \cdot 2 \cdot a \cdot b)^2} \\
 Y_{51} &= \frac{y_1 \cdot \left[s_{11_1} \cdot (k_{51})^2 + s_{12_1} \cdot 2 \cdot z_{51} \cdot k_{51} \cdot b + s_{22_1} \cdot z_{51} \cdot (b^2 - a^2) \right]^2 + (s_{12_1} \cdot 2 \cdot z_{51} \cdot k_{51} \cdot a + s_{22_1} \cdot z_{51} \cdot 2 \cdot a \cdot b)^2 \dots}{y_2 \cdot \left[s_{11_2} \cdot (k_{51})^2 + s_{12_2} \cdot 2 \cdot z_{51} \cdot k_{51} \cdot b + s_{22_2} \cdot z_{51} \cdot (b^2 - a^2) \right]^2 + (s_{12_2} \cdot 2 \cdot z_{51} \cdot k_{51} \cdot a + s_{22_2} \cdot z_{51} \cdot 2 \cdot a \cdot b)^2 \dots} \\
 &+ \frac{y_3 \cdot \left[s_{11_3} \cdot (k_{51})^2 + s_{12_3} \cdot 2 \cdot z_{51} \cdot k_{51} \cdot b + s_{22_3} \cdot z_{51} \cdot (b^2 - a^2) \right]^2 + (s_{12_3} \cdot 2 \cdot z_{51} \cdot k_{51} \cdot a + s_{22_3} \cdot z_{51} \cdot 2 \cdot a \cdot b)^2}{\left[s_{11_1} \cdot (k_{51})^2 + s_{12_1} \cdot 2 \cdot z_{51} \cdot k_{51} \cdot b + s_{22_1} \cdot z_{51} \cdot (b^2 - a^2) \right]^2 + (s_{12_1} \cdot 2 \cdot z_{51} \cdot k_{51} \cdot a + s_{22_1} \cdot z_{51} \cdot 2 \cdot a \cdot b)^2 \dots} \\
 &+ \frac{\left[s_{11_2} \cdot (k_{51})^2 + s_{12_2} \cdot 2 \cdot z_{51} \cdot k_{51} \cdot b + s_{22_2} \cdot z_{51} \cdot (b^2 - a^2) \right]^2 + (s_{12_2} \cdot 2 \cdot z_{51} \cdot k_{51} \cdot a + s_{22_2} \cdot z_{51} \cdot 2 \cdot a \cdot b)^2 \dots}{\left[s_{11_3} \cdot (k_{51})^2 + s_{12_3} \cdot 2 \cdot z_{51} \cdot k_{51} \cdot b + s_{22_3} \cdot z_{51} \cdot (b^2 - a^2) \right]^2 + (s_{12_3} \cdot 2 \cdot z_{51} \cdot k_{51} \cdot a + s_{22_3} \cdot z_{51} \cdot 2 \cdot a \cdot b)^2}
 \end{aligned}$$

Поиск решений методом Левенберга-Марквардта

$$ANS = \text{Minerr}(x_1, x_2, x_3, y_1, y_2, y_3, s_{11_1}, s_{12_1}, s_{22_1}, s_{11_2}, s_{12_2}, s_{22_2}, s_{11_3}, s_{12_3}, s_{22_3})$$

$$\begin{aligned}
 x_1 &= ANS_1 & y_1 &= ANS_4 & s_{11_1} &= |ANS_7| & s_{11_2} &= |ANS_{10}| & s_{11_3} &= |ANS_{13}| \\
 x_2 &= ANS_2 & y_2 &= ANS_5 & s_{12_1} &= |ANS_8| & s_{12_2} &= |ANS_{11}| & s_{12_3} &= |ANS_{14}| \\
 x_3 &= ANS_3 & y_3 &= ANS_6 & s_{22_1} &= |ANS_9| & s_{22_2} &= |ANS_{12}| & s_{22_3} &= |ANS_{15}|
 \end{aligned}$$

Относительные погрешности определения координаты "x", "y"

$$\delta_{x1} = \frac{|x_1 - x_1|}{|x_1|} \cdot 100$$

$$\delta_{y1} = \frac{|y_1 - y_1|}{|y_1|} \cdot 100$$

$$\delta_{x2} = \frac{|x_2 - x_2|}{|x_2|} \cdot 100$$

$$\delta_{y2} = \frac{|y_2 - y_2|}{|y_2|} \cdot 100$$

$$\delta_{x3} = \frac{|x_3 - x_3|}{|x_3|} \cdot 100$$

$$\delta_{y3} = \frac{|y_3 - y_3|}{|y_3|} \cdot 100$$

Относительные погрешности определения матриц рассеяния

$$\delta_{s_{11_1}} = \frac{|s_{11_1} - s_{11_1}|}{s_{11_1}} \cdot 100 \quad \delta_{s_{11_2}} = \frac{|s_{11_2} - s_{11_2}|}{s_{11_2}} \cdot 100$$

$$\delta_{s_{12_1}} = \frac{|s_{12_1} - s_{12_1}|}{s_{12_1}} \cdot 100 \quad \delta_{s_{12_2}} = \frac{|s_{12_2} - s_{12_2}|}{s_{12_2}} \cdot 100$$

$$\delta_{s_{22_1}} = \frac{|s_{22_1} - s_{22_1}|}{s_{22_1}} \cdot 100 \quad \delta_{s_{22_2}} = \frac{|s_{22_2} - s_{22_2}|}{s_{22_2}} \cdot 100$$

$$\delta_{s_{11_3}} = \frac{|s_{11_3} - s_{11_3}|}{s_{11_3}} \cdot 100$$

$$\delta_{s_{12_3}} = \frac{|s_{12_3} - s_{12_3}|}{s_{12_3}} \cdot 100$$

$$\delta_{s_{22_3}} = \frac{|s_{22_3} - s_{22_3}|}{s_{22_3}} \cdot 100$$

Цель №1

<p>Найденные координаты цели</p> $x_1 = 0.6$ $y_1 = 0.99$	<p>Реальные координаты цели</p> $x_1 = 0.6$ $y_1 = 0.99$	<p>Относительная ошибка определения координат, %</p> $\delta_{x1} = 19 \times 10^{-15}$ $\delta_{y1} = 22.43 \times 10^{-15}$
<p>Найденные элементы матрицы рассеяния</p> $s_{11_1} = 0.672$ $s_{12_1} = 0.096$ $s_{22_1} = 0.096$	<p>Реальные элементы матрицы рассеяния</p> $s_{11_1} = 0.7$ $s_{12_1} = 0.1$ $s_{22_1} = 0.1$	<p>Относительная ошибка определения элементов матриц рассеяния, %</p> $\delta_{s11_1} = 4$ $\delta_{s12_1} = 4$ $\delta_{s22_1} = 4$

Цель №2

<p>Найденные координаты цели</p> $x_2 = 1.1$ $y_2 = 0.01$	<p>Реальные координаты цели</p> $x_2 = 1.1$ $y_2 = 0.01$	<p>Относительная ошибка определения координат, %</p> $\delta_{x2} = 121.1 \times 10^{-15}$ $\delta_{y2} = 8.6 \times 10^{-12}$
<p>Найденные элементы матрицы рассеяния</p> $s_{11_2} = 0.48$ $s_{12_2} = 0.192$ $s_{22_2} = 0.01$	<p>Реальные элементы матрицы рассеяния</p> $s_{11_2} = 0.5$ $s_{12_2} = 0.2$ $s_{22_2} = 0.01$	<p>Относительная ошибка определения элементов матриц рассеяния, %</p> $\delta_{s11_2} = 4.03$ $\delta_{s12_2} = 4.03$ $\delta_{s22_2} = 4.03$

Цель №3

<p>Найденные координаты цели</p> $x_3 = 0.1$ $y_3 = 0.01$	<p>Реальные координаты цели</p> $x_3 = 0.1$ $y_3 = 0.01$	<p>Относительная ошибка определения координат, %</p> $\delta_{x3} = 1.5 \times 10^{-12}$ $\delta_{y3} = 28 \times 10^{-12}$
<p>Найденные элементы матрицы рассеяния</p> $s_{11_3} = 0.672$ $s_{12_3} = 0.192$ $s_{22_3} = 0.096$	<p>Реальные элементы матрицы рассеяния</p> $s_{11_3} = 0.7$ $s_{12_3} = 0.2$ $s_{22_3} = 0.1$	<p>Относительная ошибка определения элементов матриц рассеяния, %</p> $\delta_{s11_3} = 4.03$ $\delta_{s12_3} = 4.03$ $\delta_{s22_3} = 4.03$

Результаты натурального эксперимента по различению объектов, находящихся в пределах элемента разрешения

1. Определение диаграммы направленности рупора

Поскольку поставленная задача решается внутри элемента разрешения, важно точно знать, что исследуемые цели располагаются внутри этого элемента. Поэтому необходимо достаточно точно знать диаграмму направленности (ДН) приемной антенны.

1) ДН в горизонтальной плоскости

С целью минимизации погрешности измерений была произведена серия из десяти однотипных экспериментов, результаты которых записаны в таблицу В1, где приняты обозначения:

α – угол поворота рупора (градусы);

P – интенсивность принимаемого сигнала;

M – математическое ожидание;

D – исправленная дисперсия;

$P_{\text{норм}}$ – нормированное значение интенсивности принимаемого сигнала.

Полученная диаграмма направленности изображена на (рис. В1, В2).

Таблица В1

№	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	M	D	$P_{\text{норм}}$
α	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P			
-35	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,00	0,000
-30	0	0,2	0,3	0,2	0,4	0,2	0,2	0,1	0,1	0,1	0,18	0,01	0,026
-25	1,5	1,1	0,7	0,9	1,2	0,8	0,7	0,7	1,5	1,3	1,04	0,10	0,149
-20	2	1,7	2	1,7	1,9	2	1,9	1,7	1,6	1,6	1,81	0,02	0,259
-15	4,9	4,1	4,2	4,3	3,9	4,7	4,3	3,6	3,6	4,7	4,23	0,20	0,604
-10	2,8	3,3	3,4	3,2	2,7	2,9	3,1	3	3,4	3,1	3,09	0,05	0,441
-5	6,5	6,2	6,1	6	6,4	6,1	6,5	6,2	6,5	6,1	6,26	0,03	0,894
0	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	0,00	1,000
5	5,8	5,6	5,7	5,5	5,9	5,8	5,6	5,8	5,9	5,7	5,73	0,01	0,819
10	3,6	4	3,6	3,6	4	3,6	3,8	3,7	3,7	3,5	3,71	0,03	0,530
15	1,1	1,8	1,4	2	1,5	1,1	1,9	2	1,9	1,2	1,59	0,13	0,227
20	2,7	2,7	2,2	2,5	2,5	2,2	2,2	2,5	2,5	2,5	2,45	0,03	0,350
25	0,8	0,6	0,6	0,6	0,8	0,7	0,8	0,5	0,7	0,8	0,69	0,01	0,099
30	0,1	0	0,3	0,3	0,5	0,4	0,3	0,4	0,1	0	0,24	0,03	0,034
35	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,00	0,000

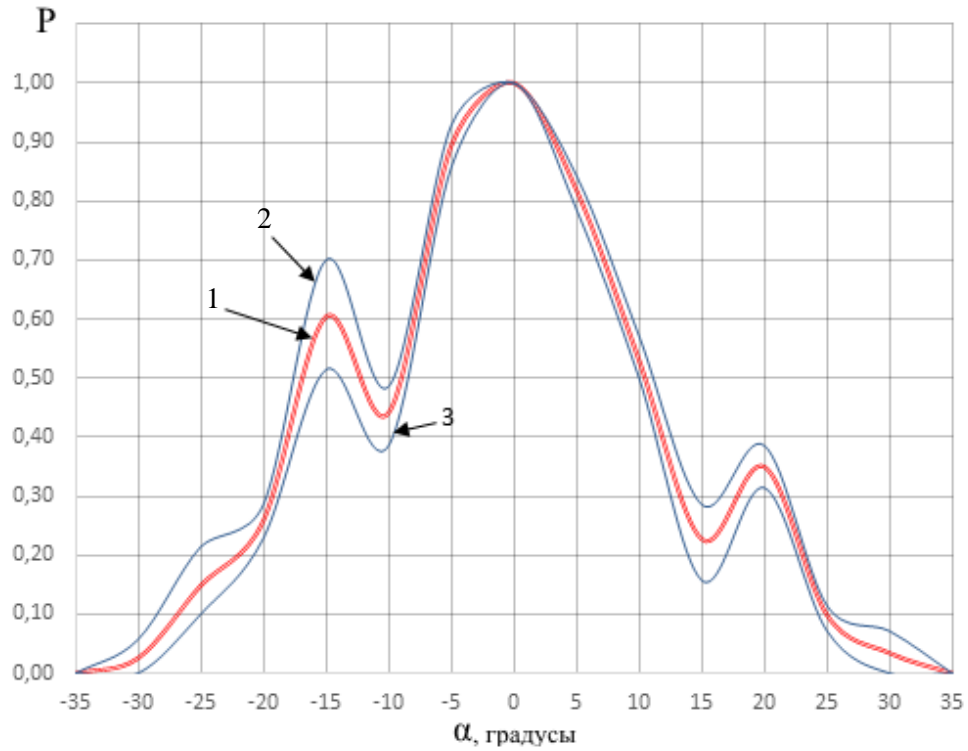


Рис. В1 – ДН рупора в горизонтальной плоскости в декартовых координатах, где

- 1 – ДН, построенная по средним значениям;
- 2 – ДН, построенная по максимальным значениям;
- 3 – ДН, построенная по минимальным значениям

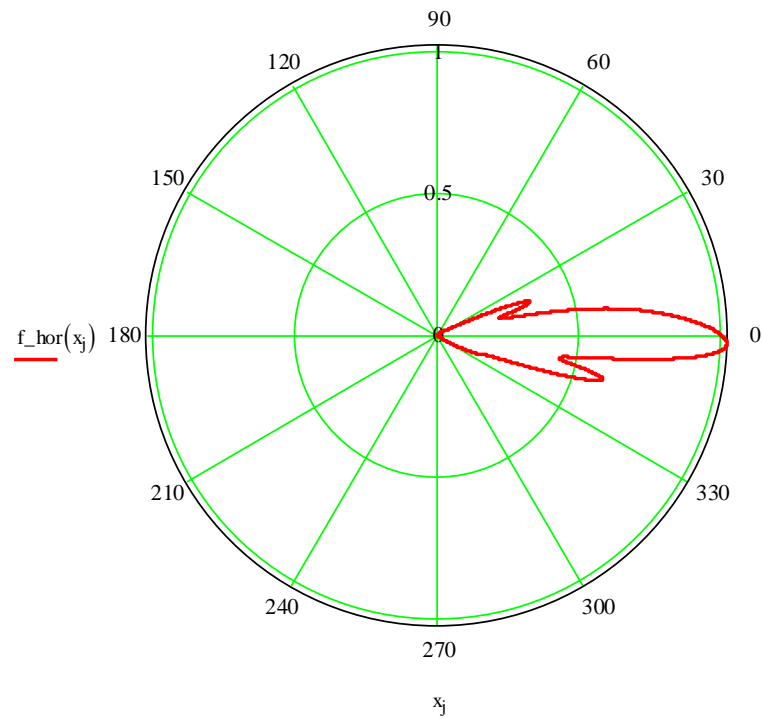


Рис. В2 – ДН рупора в горизонтальной плоскости в полярных координатах

Ширина ДН по уровню 0,5 определится следующим выражением:

$$\Delta\theta_{hor_{0,5}} = 10.388 + (360 - (360 - 17.101)) = 27.489^{\circ} \quad (B1)$$

Зная расстояние между передающей и приемной частями установки ($R=3.6$ метра), можно определить величину соответствующего элемента разрешения в горизонтальной плоскости:

$$\delta_h = R \frac{\Delta\theta_{hor_{0,5}}}{180} = 3.6 \frac{27.489}{180} = 1.727 \text{ метра} \quad (B2)$$

2) ДН в вертикальной плоскости

С целью минимизации погрешности измерений, как и в пункте 1, была произведена серия из десяти однотипных экспериментов, результаты которых записаны в таблице B2,

где α – угол поворота рупора (градусы);

P – интенсивность принимаемого сигнала;

M – математическое ожидание;

D – исправленная дисперсия;

$P_{норм}$ – нормированное значение интенсивности принимаемого сигнала.

Полученная диаграмма направленности изображена на рисунках B3, B4.

Таблица B2

№ α	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	M	D	$P_{норм}$
	P												
-40	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,000	0,000
-35	0,3	0,8	0,8	0,8	0,4	0,2	0,9	0,1	0,6	0,3	0,52	0,086	0,087
-30	0,6	0,9	1,4	1,1	0,7	1,3	0,7	0,9	0,6	0,9	0,91	0,079	0,152
-25	0,6	0,8	0,3	0,3	0,4	0,1	0,9	0,2	0,9	0,5	0,5	0,084	0,083
-20	1,5	0,8	1,2	1,1	0,9	1,2	0,7	1,1	0,5	0,7	0,97	0,091	0,162
-15	1,7	1,7	1,9	2,2	2,4	2,1	2,4	1,8	1,8	1,7	1,97	0,080	0,328
-10	4,8	4,8	5	4,4	4,5	4,7	4,7	4,3	4,7	4,3	4,62	0,055	0,770
-5	5,1	5,4	5,2	5,1	5	5,4	5,5	5,2	5,3	5,2	5,24	0,025	0,873
0	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	0,000	1,000
5	5,6	5,8	5,7	5,4	5,5	5,3	5,4	5,2	5,9	5,3	5,51	0,054	0,918
10	3,9	3,2	3,9	3,3	3,9	3,1	3,9	3,5	3,5	3,7	3,59	0,099	0,598
15	2,9	3,1	2,9	2,6	2,8	2,7	3	3,1	3,2	3,1	2,94	0,038	0,490
20	1,1	1,3	1,2	1,5	1,3	1,4	1,3	1,1	1,2	1,5	1,29	0,021	0,215
25	0,5	0,8	0,9	0,7	0,9	0,6	0,8	0,9	1	0,9	0,8	0,024	0,133
30	0,1	0,3	0,4	0,2	0,2	0,1	0,1	0,3	0,3	0,3	0,23	0,011	0,038
35	0,1	0	0,1	0	0	0,1	0	0,1	0	0	0,04	0,003	0,007
40	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,000	0,000

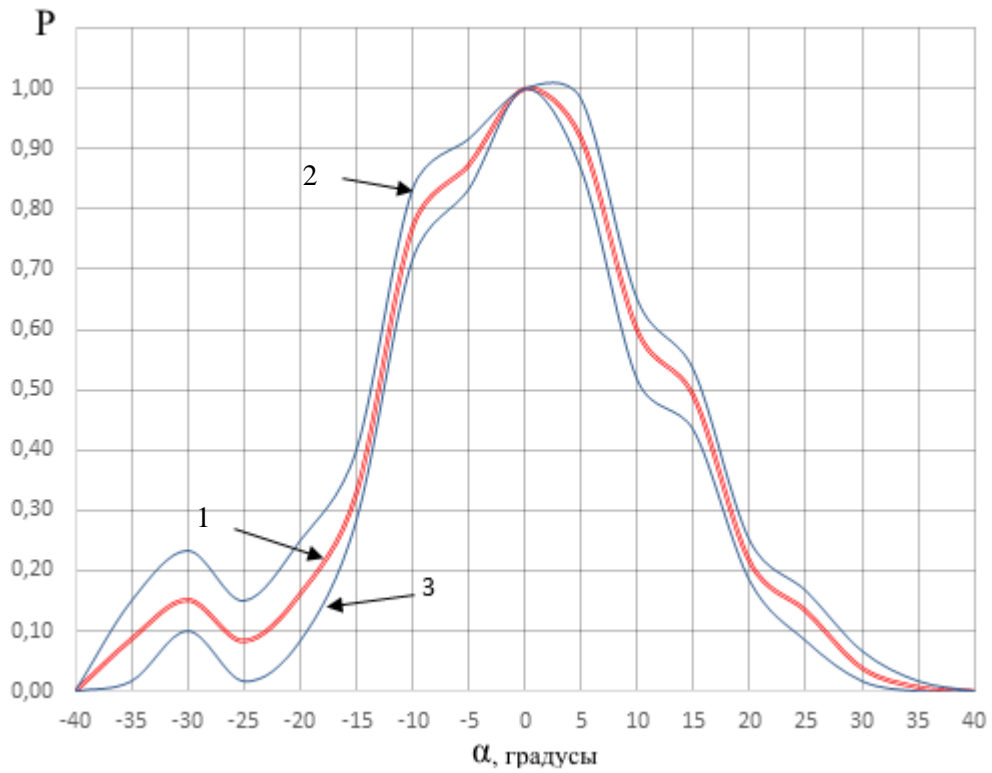


Рис. В3 ДН рупора в вертикальной плоскости в декартовых координатах, где
 1 – ДН, построенная по средним значениям;
 2 – ДН, построенная по максимальным значениям;
 3 – ДН, построенная по минимальным значениям.

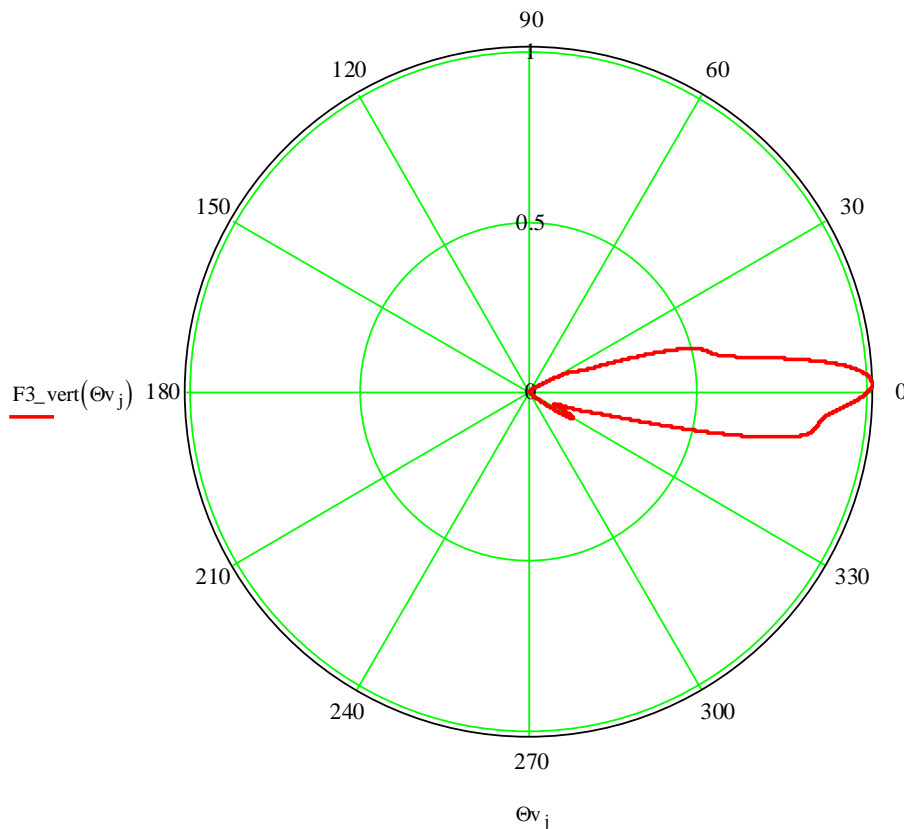


Рис. В4 – ДН рупора в вертикальной плоскости в полярных координатах

Ширина ДН по уровню 0,5 определится следующим выражением:

$$\Delta\theta_{vert0.5} = 14.704 + (360 - (360 - 13.056)) = 27.76^\circ \quad (B3)$$

Зная расстояние между передающей и приемной частями установки ($R=3.6$ метра), можно определить величину соответствующего элемента разрешения в вертикальной плоскости:

$$\delta_h = R \frac{\Delta\theta_{vert0.5}}{180} = 3.6 \frac{27.76}{180} = 1.744 \text{ метра} \quad (B4)$$

Полученные экспериментальные данные для случая двух объектов наблюдения приведены в таблице В3.

В таблице В4 приведены полученные экспериментальные данные для случая двух объектов наблюдения.

Приняты следующие обозначения:

γ – угол поворота рупора вокруг своей оси;

α – угловое положение измерительной антенны по азимуту;

P – интенсивность принимаемого сигнала;

$P_{\text{норм}}$ – нормированное значение интенсивности принимаемого сигнала, рассчитанное из соотношения текущего значения интенсивности P , к максимальному значению P в конкретном эксперименте:

$$P_{\text{норм}} = \frac{P}{\max P} \quad (B5)$$

Таблица В3 – Полученные экспериментальные данные для случая двух объектов

№	1			2			3			4			5		
	$\gamma, ^\circ$	$\alpha, ^\circ$	P	$P_{\text{норм}}$	$\alpha, ^\circ$	P	$P_{\text{норм}}$	$\alpha, ^\circ$	P	$P_{\text{норм}}$	$\alpha, ^\circ$	P	$P_{\text{норм}}$	$\alpha, ^\circ$	P
0	0	3,5	1,00	0,5	4	1,00	0,5	4,1	1,00	1	3,4	0,97	0,5	3,5	1,00
10	1	3,3	0,94	1	3,2	0,80	1	3,1	0,76	0,5	3,2	0,91	2	3,1	0,89
20	1	3	0,86	1,5	3	0,75	2,5	3,4	0,83	2	3,3	0,94	1,5	2,9	0,83
30	0,5	2,5	0,71	1	2,4	0,60	1,5	2,5	0,61	1	2,7	0,77	0,5	2,6	0,74
40	-1	2	0,57	-1	2,2	0,55	-2	1,9	0,46	-1,5	2,1	0,60	-2	2,3	0,66
50	5	1,5	0,43	6	1,6	0,40	5	1,6	0,39	5	1,4	0,40	4,5	1,5	0,43
60	9	1	0,29	9,5	1,1	0,28	8	1,1	0,27	9	1	0,29	8	1,1	0,31
70	4	0,6	0,17	5	0,6	0,15	4	0,6	0,15	5,5	0,6	0,17	3,5	0,6	0,17
80	3	0,2	0,06	3,5	0,2	0,05	3,5	0,2	0,05	4	0,2	0,06	5	0,2	0,06
90	-7	0,5	0,14	-8	0,6	0,15	-6	0,5	0,12	-8	0,5	0,14	-6,5	0,5	0,14
100	3	1	0,29	2,5	1	0,25	3	1	0,24	3,5	1	0,29	3	1	0,29
110	2	0,8	0,23	2	0,9	0,23	2,5	0,9	0,22	2	0,8	0,23	3	0,8	0,23
120	-2,5	2	0,57	-2	2,2	0,55	-3	2,1	0,51	-2	2,3	0,66	-3	2,1	0,60
130	-5	2	0,57	-6	2,3	0,58	-4	2,2	0,54	-5,5	1,9	0,54	-4	2,2	0,63
140	-3	2,8	0,80	-4	3,2	0,80	-3,5	2,7	0,66	-3	3,1	0,89	-3,5	3,1	0,89
150	-2	3	0,86	-4	3,2	0,80	-4	3,5	0,85	-4,5	3,5	1,00	-4	2,7	0,77
160	-1	3	0,86	-2	3,6	0,90	-1	3,1	0,76	-1	3,3	0,94	-0,5	3,2	0,91
170	-0,5	2,4	0,69	0	2,6	0,65	-0,5	2,7	0,66	-0,5	2,4	0,69	-1	2,5	0,71
180	0	2,8	0,80	0	3	0,75	1	2,9	0,71	1	2,7	0,77	1,5	3,3	0,94
190	1	2	0,57	1	2,2	0,55	1,5	2,1	0,51	1,5	2,1	0,60	2	2,4	0,69
200	2	1,8	0,51	2	1,6	0,40	2	1,8	0,44	1	1,7	0,49	1,5	2,1	0,60
210	1,5	1,5	0,43	1,5	1,6	0,40	2	1,8	0,44	2	1,6	0,46	2	1,4	0,40
220	2	2	0,57	2,5	2,1	0,53	3	2,1	0,51	2	2,3	0,66	2	1,8	0,51
230	2,5	2,5	0,71	3	2,3	0,58	3,5	2,6	0,63	2	2,7	0,77	3,5	2,7	0,77
240	5	2,1	0,60	5,5	2,2	0,55	5	2,3	0,56	5	2,4	0,69	6	2,1	0,60
250	4	2	0,57	5	2,3	0,58	5	2,3	0,56	4,5	1,9	0,54	5	1,9	0,54
260	6	1,5	0,43	5	1,5	0,38	5,5	1,5	0,37	5	1,5	0,43	7	1,8	0,51
270	5	1	0,29	5,5	1,1	0,28	5	1	0,24	5,5	1,1	0,31	5	1	0,29
280	6	1,1	0,31	6	1,2	0,30	7	1	0,24	7	1,2	0,34	6,5	1,3	0,37
290	9	0,5	0,14	9,5	0,5	0,13	10,5	0,5	0,12	10	0,6	0,17	10,5	0,6	0,17
300	8	0,6	0,17	9	0,7	0,18	8	0,6	0,15	7	0,7	0,20	9	0,7	0,20
310	10	0,4	0,11	10	0,4	0,10	11	0,5	0,12	10	0,4	0,11	9,5	0,4	0,11
320	9	0,3	0,09	11	0,3	0,08	8,5	0,3	0,07	9	0,3	0,09	8,5	0,3	0,09
330	10	0,5	0,14	11	0,5	0,13	12	0,5	0,12	9	0,6	0,17	9,5	0,5	0,14
340	11	0,6	0,17	10	0,7	0,18	10	0,7	0,17	10	0,6	0,17	10,5	0,6	0,17
350	-3	0,7	0,20	-4,5	0,7	0,18	-2	0,7	0,17	-2,5	0,7	0,20	-4	0,8	0,23

Таблица В3 (продолжение)

№	6			7			8			9			10		
	$\gamma,^\circ$	$\alpha,^\circ$	P	$P_{\text{норм}}$	$\alpha,^\circ$	P	$P_{\text{норм}}$	$\alpha,^\circ$	P	$P_{\text{норм}}$	$\alpha,^\circ$	P	$P_{\text{норм}}$	$\alpha,^\circ$	P
0	1	3,2	0,89	0	3,2	0,89	1	3,3	0,85	1	4,1	1,00	0,5	3,3	0,85
10	0,5	3,6	1,00	2	3,3	0,92	1,5	3,9	1,00	2	3,4	0,83	1	3,9	1,00
20	1	3,6	1,00	1	3,2	0,89	2,5	3,5	0,90	2,5	2,9	0,71	1,5	3	0,77
30	0,5	3	0,83	1	2,4	0,67	0	2,7	0,69	0,5	3	0,73	1	2,3	0,59
40	-1	1,9	0,53	-1,5	1,9	0,53	-1,5	2	0,51	-1	2	0,49	-2,5	2,1	0,54
50	4,5	1,5	0,42	5	1,8	0,50	6	1,6	0,41	4,5	1,7	0,41	4	1,6	0,41
60	9	1,2	0,33	8	1,1	0,31	10	1	0,26	10	1,2	0,29	9	1,2	0,31
70	5,5	0,7	0,19	6,5	0,7	0,19	5,5	0,7	0,18	3,5	0,7	0,17	5,5	0,6	0,15
80	4	0,2	0,06	3	0,2	0,06	2	0,2	0,05	3	0,2	0,05	3	0,2	0,05
90	-7	0,5	0,14	-7,5	0,5	0,14	-6,5	0,5	0,13	-7	0,5	0,12	-6,5	0,6	0,15
100	4,5	1,1	0,31	4,5	1,2	0,33	3,5	1,1	0,28	4	1,1	0,27	4	1,1	0,28
110	1	1	0,28	2,5	0,7	0,19	2	0,9	0,23	3	0,9	0,22	2,5	0,8	0,21
120	-2	2	0,56	-3	2,3	0,64	-2,5	2	0,51	-1,5	1,8	0,44	-1,5	2	0,51
130	-5	1,8	0,50	-5	2,1	0,58	-5	2	0,51	-6	2	0,49	-5	2	0,51
140	-4	3,1	0,86	-3	2,7	0,75	-3,5	2,8	0,72	-3,5	2,7	0,66	-3,5	2,5	0,64
150	-4,5	3,5	0,97	-4	2,7	0,75	-4	3,5	0,90	-3	3,3	0,80	-4	3,1	0,79
160	-2	3	0,83	-1,5	3,6	1,00	-1	3	0,77	-0,5	3	0,73	-2	3,5	0,90
170	-0,5	2,7	0,75	-0,5	2,4	0,67	-1,5	2,3	0,59	0	2,9	0,71	-1	2,8	0,72
180	0,5	3	0,83	1	2,6	0,72	1,5	3,3	0,85	0,5	2,8	0,68	0,5	2,8	0,72
190	0,5	1,8	0,50	2	1,8	0,50	2	2,3	0,59	0,5	2	0,49	1	2,3	0,59
200	2	1,9	0,53	2,5	1,8	0,50	3	1,7	0,44	2,5	1,6	0,39	2,5	2,1	0,54
210	2	1,6	0,44	2	1,5	0,42	2,5	1,6	0,41	2	1,5	0,37	2	1,8	0,46
220	1,5	2,2	0,61	2,5	1,9	0,53	2,5	1,8	0,46	1,5	2,1	0,51	1,5	2,3	0,59
230	2,5	2,3	0,64	3	2,3	0,64	3	2,9	0,74	2	2,3	0,56	2,5	2,5	0,64
240	5	2,2	0,61	5,5	2	0,56	5,5	2	0,51	6	1,9	0,46	6	2,4	0,62
250	5,5	2,1	0,58	4	1,9	0,53	4	2,3	0,59	4,5	1,9	0,46	5	2,4	0,62
260	5	1,6	0,44	6,5	1,7	0,47	6,5	1,6	0,41	7	1,4	0,34	5	1,4	0,36
270	4,5	1	0,28	5	1	0,28	6	1,1	0,28	5	1,1	0,27	4,5	1,2	0,31
280	6	1,1	0,31	5,5	1	0,28	7	1,2	0,31	6,5	1,1	0,27	7	1,2	0,31
290	9	0,6	0,17	10	0,5	0,14	10	0,5	0,13	8	0,5	0,12	9,5	0,5	0,13
300	8	0,6	0,17	7	0,6	0,17	8	0,6	0,15	9	0,6	0,15	9	0,7	0,18
310	10	0,4	0,11	9	0,4	0,11	9,5	0,4	0,10	8,5	0,4	0,10	10	0,4	0,10
320	13,5	0,3	0,08	8,5	0,3	0,08	13	0,3	0,08	8	0,3	0,07	8	0,3	0,08
330	11,5	0,5	0,14	10	0,6	0,17	10	0,6	0,15	9,5	0,5	0,12	11	0,5	0,13
340	12	0,7	0,19	10	0,7	0,19	10,5	0,6	0,15	12	0,5	0,12	12	0,6	0,15
350	-2,5	0,8	0,22	-3	0,7	0,19	-3,5	0,8	0,21	-3	0,7	0,17	-1,5	0,8	0,21

Таблица В4 – Полученные экспериментальные данные для случая трех объектов

№	1				2				3			
	$\gamma, ^\circ$	$\alpha, ^\circ$	$\beta, ^\circ$	P	$P_{\text{норм}}$	$\alpha, ^\circ$	$\beta, ^\circ$	P	$P_{\text{норм}}$	$\alpha, ^\circ$	$\beta, ^\circ$	P
0	6	1	5	1,00	4,5	1	3,3	0,92	5	1	3,8	1,00
10	4	1,5	4,8	0,96	6	2	3,6	1,00	4	2	3	0,79
20	2,5	2	4,5	0,90	2	2,5	3,3	0,92	2,5	2	3,4	0,89
30	2	3,5	4,1	0,82	2	4	2,8	0,78	2	4,5	3,3	0,87
40	2	5	3,5	0,70	2,5	4	3,1	0,86	1,5	4	2,6	0,68
50	-0,5	7	3,1	0,62	-1	5,5	2,3	0,64	-1	7	2,8	0,74
60	-1	8	2,5	0,50	-1	6	1,8	0,50	-1,5	7	1,6	0,42
70	-1	8,5	2	0,40	-1	7,5	1,6	0,44	-0,5	7	1,4	0,37
80	0	9	1,5	0,30	0	8	1,1	0,31	0,5	8,5	1	0,26
90	3	7,5	0,7	0,14	2	5,5	0,5	0,14	4	7	0,4	0,11
100	6	8	0,5	0,10	6,5	8,5	0,3	0,08	6	9,5	0,3	0,08
110	2	7	0,7	0,14	2	7	0,4	0,11	1,5	9	0,5	0,13
120	1	10	1,5	0,30	0,5	8,5	1,2	0,33	1	8,5	0,9	0,24
130	1	11	2	0,40	2,5	11	1,3	0,36	1,5	10	1,6	0,42
140	2	12	2,5	0,50	3	13,5	1,6	0,44	2,5	12	1,8	0,47
150	5	13	3	0,60	4,5	13	2,4	0,67	3	13	2,7	0,71
160	5	15	3	0,60	5	14,5	2,2	0,61	6	14,5	2,5	0,66
170	7	16	3,2	0,64	8,5	14	2,2	0,61	9	14	2,8	0,74
180	9	16	3	0,60	10	15	2,9	0,81	10	16	2,5	0,66
190	11	14	3,3	0,66	9	14	2,4	0,67	8,5	14	2,9	0,76
200	12	15	3,5	0,70	11,5	14	2,7	0,75	11	15,5	2,6	0,68
210	13	15	3,1	0,62	12	14,5	2,9	0,81	13	15	2,8	0,74
220	14	16	3	0,60	13	14	2,6	0,72	13,5	13	2,6	0,68
230	15	12	2,2	0,44	16,5	12	2,2	0,61	14	11,5	1,8	0,47
240	16	10	1,3	0,26	15	10	1,4	0,39	14,5	10,5	1,5	0,39
250	13	7	0,5	0,10	14	9	0,6	0,17	15	7,5	0,6	0,16
260	13	2	0,2	0,04	17	2,5	0,1	0,03	15	2,5	0,2	0,05
270	20	-1,5	0,2	0,04	21	-1,5	0,1	0,03	19	-1	0,2	0,05
280	15	-1	0,5	0,10	16,5	-1	0,3	0,08	14	0	0,3	0,08
290	14	-1	1	0,20	14	-1	0,6	0,17	14,5	-1	0,8	0,21
300	13	0,5	1,5	0,30	14	-0,5	1,2	0,33	14	-1	1,1	0,29
310	11	0	2	0,40	13	2	1,8	0,50	13	1	1,5	0,39
320	9	-0,5	2	0,40	10,5	-1	1,7	0,47	10	-0,5	1,5	0,39
330	9	-1	2,5	0,50	8	-1,5	2,1	0,58	7	-2	2,3	0,61
340	5	0	2,8	0,56	6,5	1	1,9	0,53	5,5	1	2,2	0,58
350	1	1	3,2	0,64	4,5	0,5	3	0,83	4	0,5	3	0,79

Таблица В4 (продолжение)

№	4				5				6			
	$\alpha, ^\circ$	$\beta, ^\circ$	P	$P_{\text{норм}}$	$\alpha, ^\circ$	$\beta, ^\circ$	P	$P_{\text{норм}}$	$\alpha, ^\circ$	$\beta, ^\circ$	P	$P_{\text{норм}}$
0	4,5	1,5	3,3	0,92	5	0,5	3,3	0,83	6	0,5	4	1,00
10	5	2	3,4	0,94	4	2	3,8	0,95	4	2	3,5	0,88
20	2,5	2	3,6	1,00	2,5	2	4	1,00	2	3	3,4	0,85
30	1,5	4	2,9	0,81	2	3	2,9	0,73	1,5	3	3,6	0,90
40	2	4,5	2,8	0,78	2	5	2,8	0,70	2	3,5	2,8	0,70
50	-1	6	2,6	0,72	-1	6	2,3	0,58	-1	6,5	2,7	0,68
60	-1	7,5	1,7	0,47	-2	6	2,1	0,53	-1,5	6	1,8	0,45
70	-1	7,5	1,7	0,47	-0,5	8	1,6	0,40	0	8,5	1,6	0,40
80	0	7,5	1	0,28	0,5	9	1,1	0,28	0	8	1	0,25
90	3	8,5	0,5	0,14	2,5	8,5	0,4	0,10	3,5	8	0,5	0,13
100	6,5	7	0,3	0,08	7	7	0,3	0,08	7	5,5	0,3	0,08
110	2,5	8	0,5	0,14	3	8,5	0,4	0,10	2	9,5	0,5	0,13
120	1,5	9	0,9	0,25	2	10,5	1,1	0,28	2	11	0,9	0,23
130	1	11	1,6	0,44	1,5	12	1,6	0,40	3	10	1,4	0,35
140	3,5	13	1,8	0,50	1	13,5	1,7	0,43	2	12	2,2	0,55
150	4,5	15	2,2	0,61	5	14	2,4	0,60	5,5	13	2,6	0,65
160	5	15,5	2,6	0,72	5,5	14	2,1	0,53	5	15	2,5	0,63
170	8,5	16	2,8	0,78	8,5	14	2,3	0,58	9	15	2,6	0,65
180	8,5	15	2,8	0,78	9	15,5	2,8	0,70	9	15	2,3	0,58
190	9,5	14	2,2	0,61	10	14	2,7	0,68	9	14,5	2,3	0,58
200	11	14,5	3,2	0,89	11	14,5	2,7	0,68	11,5	14	3,4	0,85
210	12,5	13	2,9	0,81	14	13	2,9	0,73	14	13,5	3,1	0,78
220	13	15,5	2,4	0,67	14	13	2,1	0,53	13	14	2,6	0,65
230	16,5	13	2,3	0,64	16	12,5	1,8	0,45	16	13	2,3	0,58
240	14	11,5	1,2	0,33	16,5	10,5	1,3	0,33	15,5	11,5	1,4	0,35
250	15	8	0,7	0,19	13	7	0,8	0,20	13	8	0,6	0,15
260	16	3,5	0,1	0,03	13	3,5	0,1	0,03	15,5	4	0,1	0,03
270	20	-1	0,2	0,06	21	-1,5	0,2	0,05	20	-2	0,2	0,05
280	16	-1,5	0,4	0,11	16,5	-0,5	0,3	0,08	15	-1	0,3	0,08
290	13	-1	0,6	0,17	14	-1	0,7	0,18	14	-1	0,7	0,18
300	14	-1	1,3	0,36	14,5	-0,5	1,2	0,30	13,5	-1	1,2	0,30
310	11,5	2	1,8	0,50	12	2	1,7	0,43	12	1	1,6	0,40
320	11,5	-0,5	1,5	0,42	9	0	1,8	0,45	10	-0,5	1,6	0,40
330	9	-0,5	2,1	0,58	8,5	-1	1,8	0,45	8,5	0	2	0,50
340	6	1	2,2	0,61	5,5	0,5	2,1	0,53	6,5	0,5	2,3	0,58
350	1,5	2	2,6	0,72	3	1,5	2,2	0,55	4	1,5	2,5	0,63

Таблица В4 (продолжение)

№	7				8				9				10			
	$\gamma, ^\circ$	$\alpha, ^\circ$	$\beta, ^\circ$	P	$P_{\text{норм}}$	$\alpha, ^\circ$	$\beta, ^\circ$	P	$P_{\text{норм}}$	$\alpha, ^\circ$	$\beta, ^\circ$	P	$P_{\text{норм}}$	$\alpha, ^\circ$	$\beta, ^\circ$	P
0	6	1,5	3	1,00	5,5	0,5	3,8	1,00	6	2	3,8	0,93	5,5	1,5	4	0,98
10	5	2	2,7	0,90	5	1,5	3,4	0,89	4,5	1,5	3,1	0,76	4	1	4,1	1,00
20	3	2	3	1,00	2,5	2	3,7	0,97	2	3	4,1	1,00	3	1	3,2	0,78
30	2	3,5	2,6	0,87	2	4	3,2	0,84	1	4,5	2,8	0,68	2,5	4	2,9	0,71
40	1,5	4	2,5	0,83	1,5	4	3,2	0,84	1,5	4	2,4	0,59	2	3,5	2,8	0,68
50	-1	6	2	0,67	-0,5	7	2,5	0,66	-1	7	2,7	0,66	-1	6,5	2,8	0,68
60	-0,5	5,5	1,5	0,50	-2	7	1,6	0,42	-1,5	8	2	0,49	-1,5	6	1,8	0,44
70	-1	7	1,3	0,43	0	8	1,4	0,37	-0,5	7	1,6	0,39	-0,5	7	1,4	0,34
80	0,5	8	0,8	0,27	1	8,5	1	0,26	1	9,5	1,1	0,27	0,5	7,5	1	0,24
90	3	7	0,3	0,10	3,5	8	0,4	0,11	3,5	6	0,4	0,10	3	7	0,5	0,12
100	6	6	0,1	0,03	6	7,5	0,3	0,08	6,5	8	0,3	0,07	5,5	7	0,3	0,07
110	3	9,5	0,2	0,07	1,5	7	0,5	0,13	3,5	8	0,4	0,10	3	8	0,4	0,10
120	2	11,5	0,7	0,23	0,5	10	1,2	0,32	0,5	9	1,1	0,27	1	9,5	1,2	0,29
130	2	12	1,2	0,40	2	11	1,3	0,34	2,5	10,5	1,7	0,41	1,5	12	1,5	0,37
140	3	13	1,5	0,50	3,5	13	2,1	0,55	3	13	1,9	0,46	2	12,5	1,7	0,41
150	4	15	2	0,67	4	15	2,7	0,71	4	14	2,3	0,56	4,5	14	2,1	0,51
160	6	15	2	0,67	5,5	15	2	0,53	4,5	14,5	2,3	0,56	6	15	2,1	0,51
170	9	16,5	2	0,67	9	14,5	2,4	0,63	7	14	2,6	0,63	8	15	2,4	0,59
180	11	15	2,2	0,73	9,5	14	2,7	0,71	11	14	2,4	0,59	9,5	16	2,6	0,63
190	10	15	2	0,67	10,5	16	2,8	0,74	10,5	15	2,9	0,71	10	15,5	2,3	0,56
200	10,5	15	2,7	0,90	11	14	3,2	0,84	11	14	3,1	0,76	11	14,5	3,3	0,80
210	13	12	2,5	0,83	12	12,5	2,5	0,66	13	13,5	2,4	0,59	12,5	14	2,6	0,63
220	13	13	2,2	0,73	12,5	16	2,7	0,71	14	15	2,3	0,56	15	16	2,1	0,51
230	17	12,5	2	0,67	16	13	2	0,53	16,5	11,5	2,2	0,54	17	12	1,9	0,46
240	15	11	1,5	0,50	13	9,5	1,2	0,32	15	9,5	1,2	0,29	16	12	1,5	0,37
250	16	11	1	0,33	13,5	10	0,7	0,18	14	8	0,6	0,15	14	9	0,7	0,17
260	16	6	0,1	0,03	12	5	0,2	0,05	12,5	5	0,2	0,05	15,5	5,5	0,1	0,02
270	21	2	0,1	0,03	20	-1	0,2	0,05	21	-2	0,1	0,02	22	-2	0,1	0,02
280	15	0	0,2	0,07	14	0	0,3	0,08	14,5	-1,5	0,4	0,10	13	-2	0,3	0,07
290	14	-1	0,5	0,17	12	-0,5	0,8	0,21	12	-2	0,6	0,15	15	-1	0,6	0,15
300	13,5	-1	1	0,33	14,5	-0,5	1	0,26	13,5	-0,5	1	0,24	13	0	1,1	0,27
310	12	1	1,5	0,50	11	1	1,6	0,42	13	2	1,6	0,39	12	0,5	1,8	0,44
320	11	-1	1,7	0,57	9,5	-0,5	1,7	0,45	10	-1,5	1,6	0,39	10,5	-1	2	0,49
330	8	0	1,8	0,60	9	-2	2,2	0,58	8,5	-2,5	2	0,49	8,5	-1	2,4	0,59
340	6	0	2	0,67	5,5	0,5	2,3	0,61	5	1	2,6	0,63	5,5	0,5	2,6	0,63
350	5	0,5	2,2	0,73	4	2	2,8	0,74	3,5	0,5	2,7	0,66	2,5	0,5	3	0,73

Таблица Г1 – Соотношение номеров и видов поляризации зондирующего сигнала

№	γ	ϕ
1	5,5	-1,55
2	5,55	-1,53
3	5,6	-1,51
4	5,65	-1,49
5	5,7	-1,47
6	5,75	-1,45
7	5,8	-1,43
8	5,85	-1,41
9	5,9	-1,39
10	5,95	-1,37
11	6	-1,35
12	6,05	-1,33
13	6,1	-1,31
14	6,15	-1,29
15	6,2	-1,27
16	6,25	-1,25
17	0	-1,23
18	0,05	-1,21
19	0,1	-1,19
20	0,15	-1,17
21	0,2	-1,15
22	0,25	-1,13
23	0,3	-1,11
24	0,35	-1,09
25	0,4	-1,07
26	0,45	-1,05
27	0,5	-1,03
28	0,55	-1,01
29	0,6	-0,99
30	0,65	-0,97
31	0,7	-0,95
32	0,75	-0,93
33	0,8	-0,91
34	0,85	-0,89
35	0,9	-0,87
36	0,95	-0,85
37	1	-0,83
38	1,05	-0,81
39	1,1	-0,79
40	1,15	-0,77
41	1,2	-0,76

42	1,25	-0,75
43	1,3	-0,74
44	1,35	-0,73
45	1,4	-0,72
46	1,45	-0,71
47	1,5	-0,70
48	1,55	-0,69
49	1,6	-0,68
50	1,65	-0,67
51	1,7	-0,66
52	1,75	-0,65
53	1,8	-0,64
54	1,85	-0,63
55	1,9	-0,62
56	1,95	-0,61
57	2	-0,60
58	2,05	-0,59
59	2,1	-0,58
60	2,15	-0,57
61	2,2	-0,56
62	2,25	-0,55
63	2,3	-0,54
64	2,35	-0,53
65	2,4	-0,52
66	2,45	-0,51
67	2,5	-0,50
68	2,55	-0,49
69	2,6	-0,48
70	2,65	-0,47
71	2,7	-0,46
72	2,75	-0,45
73	2,8	-0,44
74	2,85	-0,43
75	2,9	-0,42
76	2,95	-0,41
77	3	-0,40
78	3,05	-0,39
79	3,1	-0,38
80	3,15	-0,37
81	3,2	-0,36
82	3,25	-0,35
83	3,3	-0,34

84	3,35	-0,33
85	3,4	-0,32
86	3,45	-0,31
87	3,5	-0,30
88	3,55	-0,29
89	3,6	-0,28
90	3,65	-0,27
91	3,7	-0,26
92	3,75	-0,25
93	3,8	-0,24
94	3,85	-0,23
95	3,9	-0,22
96	3,95	-0,21
97	4	-0,20
98	4,05	-0,19
99	4,1	-0,18
100	4,15	-0,17
101	4,2	-0,16
102	4,25	-0,15
103	4,3	-0,14
104	4,35	-0,13
105	4,4	-0,12
106	4,45	-0,11
107	4,5	-0,10
108	4,55	-0,09
109	4,6	-0,08
110	4,65	-0,07
111	4,7	-0,06
112	4,75	-0,05
113	4,8	-0,04
114	4,85	-0,03
115	4,9	-0,02
116	4,95	-0,01
117	5	0,00
118	5,05	0,01
119	5,1	0,02
120	5,15	0,03
121	5,2	0,04
122	5,25	0,05
123	5,3	0,06
124	5,35	0,07
125	5,4	0,08

Таблица Г1 (продолжение)

№	γ	ϕ
126	5,45	0,09
127	5,5	0,10
128	5,55	0,11
129	5,6	0,12
130	5,65	0,13
131	5,7	0,14
132	5,75	0,15
133	5,8	0,16
134	5,85	0,17
135	5,9	0,18
136	5,95	0,19
137	6	0,20
138	6,05	0,21
139	6,1	0,22
140	6,15	0,23
141	6,2	0,24
142	6,25	0,25
143	0	0,26
144	0,05	0,27
145	0,1	0,28
146	0,15	0,29
147	0,2	0,30
148	0,25	0,31
149	0,3	0,32
150	0,35	0,33
151	0,4	0,34
152	0,45	0,35
153	0,5	0,36
154	0,55	0,37
155	0,6	0,38
156	0,65	0,39
157	0,7	0,40
158	0,75	0,41
159	0,8	0,42
160	0,85	0,43
161	0,9	0,44

162	0,95	0,45
163	1	0,46
164	1,05	0,47
165	1,1	0,48
166	1,15	0,49
167	1,2	0,50
168	1,25	0,51
169	1,3	0,52
170	1,35	0,53
171	1,4	0,54
172	1,45	0,55
173	1,5	0,56
174	1,55	0,57
175	1,6	0,58
176	1,65	0,59
177	1,7	0,60
178	1,75	0,61
179	1,8	0,62
180	1,85	0,63
181	1,9	0,64
182	1,95	0,65
183	2	0,66
184	2,05	0,67
185	2,1	0,68
186	2,15	0,69
187	2,2	0,70
188	2,25	0,71
189	2,3	0,72
190	2,35	0,73
191	2,4	0,74
192	2,45	0,75
193	2,5	0,76
194	2,55	0,77
195	2,6	0,78
196	2,65	0,79
197	2,7	0,81
198	2,75	0,83

199	2,8	0,85
200	2,85	0,87
201	2,9	0,89
202	2,95	0,91
203	3	0,93
204	3,05	0,95
205	3,1	0,97
206	3,15	0,99
207	3,2	1,01
208	3,25	1,03
209	3,3	1,05
210	3,35	1,07
211	3,4	1,09
212	3,45	1,11
213	3,5	1,13
214	3,55	1,15
215	3,6	1,17
216	3,65	1,19
217	3,7	1,21
218	3,75	1,23
219	3,8	1,25
220	3,85	1,27
221	3,9	1,29
222	3,95	1,31
223	4	1,33
224	4,05	1,35
225	4,1	1,37
226	4,15	1,39
227	4,2	1,41
228	4,25	1,43
229	4,3	1,45
230	4,35	1,47
231	4,4	1,49
232	4,45	1,51
233	4,5	1,53
234	4,55	1,55
235	4,6	1,57

Листинг разработанной программы по различению близко расположенных объектов последствия авиационного происшествия и определению их поляризационных характеристик (язык Matlab)

```

%% 1. Генерация статичных данных
clear
lambda = 0.03;
d = 0.015;
N = 40;           % точек в элементе разрешения
Num_FN = 10^2;   % число элементов
Num_FN = 1;
N_Result_add = 80;
%-----
d2 = d^2;
k=2*pi/lambda;
r = 1000;
lam_d = lambda/(d)

TimeGeneral = []; TimePosSym = [];
Tstart = cputime;

F = cell(1,Num_FN);
L = cell(1,Num_FN);
U = cell(1,Num_FN);
G_q11 = cell(1,Num_FN);
G_q12 = cell(1,Num_FN);
G_q22 = cell(1,Num_FN);
Gp_q = cell(1,Num_FN);
G_q = cell(1,Num_FN);
H_q11 = cell(1,Num_FN);
H_q12 = cell(1,Num_FN);
H_q22 = cell(1,Num_FN);
P_q11 = cell(1,Num_FN);   % модель
P_q12 = cell(1,Num_FN);
P_q22 = cell(1,Num_FN);
P_ans_q11 = cell(1,Num_FN); % решение
P_ans_q12 = cell(1,Num_FN);
P_ans_q22 = cell(1,Num_FN);
h_q11 = cell(1,Num_FN);
h_q12 = cell(1,Num_FN);
h_q22 = cell(1,Num_FN);
h_max = cell(1,Num_FN);

i = 1;
for m = 1:N
for n = 1:N
    j = 1;
    for xi = 1:N
    for yi = 1:N
        F_tmp(i,j) = exp((1i*k*(sqrt(d2*((xi-m)^2+(yi-n)^2)))/2*r);
        F_tmp2(i,j) = exp((1i*k*(sqrt(d2*((xi-m)^2+(yi-n)^2)))/2*(999.99));
        % F_rand_p(i,j) = exp(1i*k*(sqrt(d2*((xi-m)^2+(yi-n)^2)+(r^2))));
        j = j+1;
    end
    end
    i = i+1;
end
end

```

```

[L_tmp, U_tmp] = lu(F_tmp);

for N_1 = 1:Num_FN %Num_FN;
    %F{N_1} = zeros(N*N);
    F{N_1} = F_tmp;
    L{N_1} = L_tmp;
    U{N_1} = U_tmp;
end

clear L_tmp U_tmp F_tmp F_tmp2

% %прореживание

k_spher = 5;
n_spher = 2^k_spher-1;
theta_spher = pi*(-n_spher:2:n_spher)/n_spher;
phi_spher = (pi/2)*(-n_spher:2:n_spher)'/n_spher;
X_spher = cos(phi_spher)*cos(theta_spher);
Y_spher = cos(phi_spher)*sin(theta_spher);
Z_spher = sin(phi_spher)*ones(size(theta_spher));

clear m n xi yi i j

Tend = cputime; TimeGenMatrix = [TimePosSym Tend-Tstart] % время выполнения
clear TimeGeneral TimePosSym Tend Tstart Tend

%% 2. Структура облучаемой поверхности. Генерация радиолокационной модели
облучаемой поверхности
% Генерация матриц рассеяния объекта
%% -----s(i,j)-----
M_rnd_s11 = 0.11;
M_rnd_s12 = 0.23;
M_rnd_s22 = 0.29;
sigma_rnd_s11 = 0.03;
sigma_rnd_s12 = 0.05;
sigma_rnd_s22 = 0.05;
S_summ_bcrd = M_rnd_s11^2+M_rnd_s22^2+2*M_rnd_s12^2

M_rnd_s11_target = 0.45;
M_rnd_s12_target = 0.32;
M_rnd_s22_target = 0.31;
sigma_rnd_s_target = 0.08;
sigma_rnd_s12_target = 0.08;
S_summ_targ = M_rnd_s11_target^2+M_rnd_s22_target^2+2*M_rnd_s12_target^2

%% -----s(i,j)-----
M_rnd_s11 = 0.11;
M_rnd_s12 = 0.23;
M_rnd_s22 = 0.29;
sigma_rnd_s11 = 0;
sigma_rnd_s12 = 0;
sigma_rnd_s22 = 0;
S_summ_bcrd = M_rnd_s11^2+M_rnd_s22^2+2*M_rnd_s12^2

M_rnd_s11_target = 0.45;
M_rnd_s12_target = 0.32;
M_rnd_s22_target = 0.31;
sigma_rnd_s_target = 0;
sigma_rnd_s12_target = 0;
S_summ_targ = M_rnd_s11_target^2+M_rnd_s22_target^2+2*M_rnd_s12_target^2

```

```

%%
clc;
R_flag = 1;
% Объект
S_A = 1.5;
rnd_S_summ = 0;
while(R_flag)
    rnd_s11 = round(rand(),2);
    rnd_s12 = round(rand(),2);
    rnd_s22 = round(rand(),2);
    rnd_S_summ = rnd_s11^2+rnd_s22^2+2*rnd_s12^2;
    if(rnd_S_summ==S_A)
        R_flag = 0;
    end
end

% ФОН
R_flag = 1;
S_A = 0.5;
rnd_S_summ = 0;
while(R_flag)
    rnd_s11_bgr = round(rand(),2);
    rnd_s12_bgr = round(rand(),2);
    rnd_s22_bgr = round(rand(),2);
    rnd_S_summ = rnd_s11_bgr^2+rnd_s22_bgr^2+2*rnd_s12_bgr^2;
    if(rnd_S_summ==S_A)
        R_flag = 0;
    end
end

display(['S_объект = [', num2str(rnd_s11), ' ', num2str(rnd_s12), ' ',
num2str(rnd_s22), ']' ]);
display(['S_фон = [', num2str(rnd_s11_bgr), ' ', num2str(rnd_s12_bgr), ' ',
num2str(rnd_s22_bgr), ']' ]);

% -----s(i,j)-----random
M_rnd_s11 = rnd_s11_bgr;
M_rnd_s12 = rnd_s12_bgr;
M_rnd_s22 = rnd_s22_bgr;
sigma_rnd_s11 = 0.03;
sigma_rnd_s12 = 0.03;
sigma_rnd_s22 = 0.03;
S_summ_bcrd = M_rnd_s11^2+M_rnd_s22^2+2*M_rnd_s12^2;

M_rnd_s11_target = rnd_s11;
M_rnd_s12_target = rnd_s12;
M_rnd_s22_target = rnd_s22;
sigma_rnd_s_target = 0.03;
sigma_rnd_s12_target = 0.03;
S_summ_targ = M_rnd_s11_target^2+M_rnd_s22_target^2+2*M_rnd_s12_target^2;

display(['ФОН=', num2str(S_summ_bcrd), ' цель=', num2str(S_summ_targ)]);

%%
clear f;
%
%-----settings-----
N_targets = N*N;
%-----targets-----
S = cell(1,N*N);
S_targets_real = cell(1,N*N);

```

```

S_rand = 0;
de_noise = 0;
surf_rand = 0;
m_rnd = 0;
clear S
targets_type = 1; %

%
Att_mode_rnd = 1; % для цели ('0' - равномерный закон)
coeff_rnd = 1;

Att_mode_rnd_bcrd = 1; % для фона ('0' - равномерный закон)
coeff_rnd_bcrd = 1.5;

%---- noise-----
clear x_target
clear y_target

%f=imread('3_532x532.bmp');
%f=imread('3_160x160.bmp');
%f=imread('3_80x80.bmp');

%Real_h_q11 = imread('mod_1_target_x200.bmp');
%Real_h_q11 = imread('mod_1_target_x200_big.bmp');
Real_h_q11 = imread('targets_x40.bmp');

%Real_h_q11 = imread('mod_1_target_x80.bmp');
%Background = double(imread('mod_1_b_x200.bmp'))./255;
%Real_h_q11 = imread('AN_2_obj.bmp');
%Background = double(imread('AN_2_bcrd.bmp'))./255;
clear S_summ_bcrd_m S_summ_targ_m
bcrd = 0;
f=double(Real_h_q11);
%f(1:200,1:200,1:3) = 0; % объекта нет
S_Object = zeros(N*(sqrt(Num_FN)));
S_Object_N_full = 0;

count_trg = 0;
count_bgr = 0;
S_summ_targ_dat = 0;
if(1) % собираем поверхность
    for i = 1:sqrt(Num_FN)*N
        for j = 1:sqrt(Num_FN)*N
            if((f(i,j,1) == 255) || (f(i,j,2) == 255) || (f(i,j,3) == 255))
                count_bgr = count_bgr + 1;
                if(bcrd == 1)
                    f(i,j,1) = abs(normrnd(Background(i,j,1),sigma_rnd_s11));
                    f(i,j,2) = abs(normrnd(Background(i,j,2),sigma_rnd_s12));
                    f(i,j,3) = abs(normrnd(Background(i,j,3),sigma_rnd_s22));
                else
                    if(Att_mode_rnd_bcrd == 1)
                        f(i,j,1) = (normrnd(M_rnd_s11,sigma_rnd_s11));
                        f(i,j,2) = (normrnd(M_rnd_s12,sigma_rnd_s12));
                        f(i,j,3) = (normrnd(M_rnd_s22,sigma_rnd_s22));
                    else
                        f(i,j,1) = rand()/coeff_rnd_bcrd;
                        f(i,j,2) = rand()/coeff_rnd_bcrd;
                        f(i,j,3) = rand()/coeff_rnd_bcrd;
                    end
                end
            end
            S_11b_prv(count_bgr) = f(i,j,1);
            S_12b_prv(count_bgr) = f(i,j,2);
        end
    end
end

```

```

        S_22b_prv(count_bgr) = f(i,j,3);
        S_summ_bcrd_dat(count_bgr) =
S_11b_prv(count_bgr)^2+S_22b_prv(count_bgr)^2+2*S_12b_prv(count_bgr)^2;
    else
        count_trg = count_trg + 1;
        Real_h_q11(i,j,1) = 1;
        Real_h_q11(i,j,2) = 1;
        Real_h_q11(i,j,3) = 1;

        S_Object(i,j) = 1;
        S_Object_N_full = S_Object_N_full+1;
        if(Att_mode_rnd==1)
            f(i,j,1) = normrnd(M_rnd_s11_target,sigma_rnd_s_target);
            f(i,j,2) = normrnd(M_rnd_s12_target,sigma_rnd_s12_target);
            f(i,j,3) = normrnd(M_rnd_s22_target,sigma_rnd_s_target);
        else
            f(i,j,1) = rand()/coeff_rnd;
            f(i,j,2) = rand()/coeff_rnd;
            f(i,j,3) = rand()/coeff_rnd;
        end
        S_11_prv(count_trg) = f(i,j,1);
        S_12_prv(count_trg) = f(i,j,2);
        S_22_prv(count_trg) = f(i,j,3);
        S_summ_targ_dat(count_trg) =
S_11_prv(count_trg)^2+S_22_prv(count_trg)^2+2*S_12_prv(count_trg)^2;

    end
end
end
end
count_all = count_bgr + count_trg;

S_summ_bcrd_m = mean(S_summ_bcrd_dat)
S_summ_targ_m = mean(S_summ_targ_dat)
S_summ_bcrd_std = std(S_summ_bcrd_dat)
S_summ_targ_std = std(S_summ_targ_dat)
figure(3)
clf
%subplot(2,1,1)

hist_str =
histogram(S_summ_bcrd_dat, 'BinWidth',0.01, 'DisplayName', 'Фон', 'Normalization', 'pro
bability');
hold on
histogram(S_summ_targ_dat, 'BinWidth',0.01, 'DisplayName', 'Цель', 'Normalization', 'pr
obability');
grid minor
legend('show');

font_v1 = 12;
% M (вертикальные линии) для инвариантов
line_x3_plot_y = linspace(0,max(hist_str.Values)*1.1,10);
line_x3_plot_x = linspace(S_summ_bcrd_m,S_summ_bcrd_m,10);
plot(line_x3_plot_x,line_x3_plot_y, 'LineStyle', '--', 'LineWidth',1, 'Color', [1 0
0], 'DisplayName', '\mu_{фон}');
text(line_x3_plot_x(10),line_x3_plot_y(10), ['
\mu=', num2str(roundn(S_summ_bcrd_m*1000,1)/1000)], 'FontSize', font_v1);

line_x3_plot_y = linspace(0,max(hist_str.Values)*1.1,10);
line_x3_plot_x = linspace(S_summ_targ_m,S_summ_targ_m,10);
plot(line_x3_plot_x,line_x3_plot_y, 'LineStyle', '--', 'LineWidth',1, 'Color', [0 0
1], 'DisplayName', '\mu_{цель}');

```

```

text(line_x3_plot_x(10),line_x3_plot_y(10),['
\mu=',num2str(roundn(S_summ_targ_m*1000,1)/1000)],'FontSize',font_v1);

legleg1 = legend('show');
legleg1.FontSize = 10;

s11 = cell(1,Num_FN);
s12 = cell(1,Num_FN);
s22 = cell(1,Num_FN);

N_vert = 0;
N_hor = 0;
N_Num_FN = 0;
for N_vert = 0:sqrt(Num_FN)-1
    for N_hor = 0:sqrt(Num_FN)-1
        N_Num_FN = N_Num_FN + 1;
        s11_R = f((N_vert*N+1):(N_vert*N+N),(N_hor*N+1):(N_hor*N+N),1);
        s12_G = f((N_vert*N+1):(N_vert*N+N),(N_hor*N+1):(N_hor*N+N),2);
        s22_B = f((N_vert*N+1):(N_vert*N+N),(N_hor*N+1):(N_hor*N+N),3);
        s11{N_Num_FN} = double(s11_R);%./255;
        s12{N_Num_FN} = double(s12_G);%./255;
        s22{N_Num_FN} = double(s22_B);%./255;
    end
end

y_coord=1:1:N;
x_coord=1:1:N;

%1
for y = 23:25
    for x = 12:14
        s11(y,x) = 0.65;
        s12(y,x) = 0.45;
        s22(y,x) = 0.25;
    end
end
%3
for x = 23:26
    for y = 10:12
        s11(y,x) = 0.15;
        s12(y,x) = 0.7;
        s22(y,x) = 0.75;
    end
end

%2
for x = 22:26
    for y = 29:29
        s11(y,x) = 0.45;
        s12(y,x) = 0;
        s22(y,x) = 0.55;
    end
end

for x = 24:24
    for y = 27:31
        s11(y,x) = 0.45;
        s12(y,x) = 0;
    end
end

```

```

        s22(y,x) = 0.55;
    end
end
end

%% 3. Основные настройки
%% -----settings-----
debug_mode = 0; % '1' "debug_mode" - режим без решения уравнений, '0' - с
решением
scan = 0; % "режим поляризационного сканирования" '1' = on
anim_write_avi = 0; % запись в avi файл
FPS = 3;
resolution_mode = 0; % '0' - 2/3 экрана, '1' - maxscreen(для 720p), '2' - auto
round_gf = 1; %округление гамма, fi в градусах
round_surf = 10; % сколько знаков сохраняем
E_abs_arg_mode = 0; % вывод модуля комплексной амплитуды и фазы
noise_pow_h = 2;
noise_sigma_h = 0;
noise_G = 0;
noise_pow_G = 0;
noise_sigma_G = 0;
limZ = 10;
sij = 2;
Visual_mode = 1; % '1' визуализация ППС, '0' без визуализации
%% Пороги
mode_graph = 1; %
S_porog = 0.5;
S_porog_fix = 0.5;
dsig=1.6;
%% прореживание
N_dec = 1;
Nd = fix(N/N_dec);
%% параметры графиков
surf_style = 0; % '0' - со сглаживанием, '1' - пиксельный;
ColorStyle = 2; % '1' - минимум белый; '2' - зеленый->желтый->красный; '3' -
синий->красный
ColorStyle_Rec_S = 4; % '0' - по умолчанию, '1' - зеленый, '3', - красный; '2','4'
- синий-зеленый-красный (для восстановленной структуры)
view_XY = 1;
view_XY_2 = 2;
V_caxis = 0; Vmin = 0; Vmax = S_porog; % выделение "по порогу"
view_90 = 0;
%% параметры вывода
save2file = 0; % сохранение в jpg '1' - on;
save2file_HQ = 0; % '0' - off, '1' - .pdf
reconstruction_mode = 2; % '1' - только усреднение; '2' - выделение максимумов и
минимумов
%% -----polarisation-----
gma = 0; % статичный режим
fi = 0; % - || -
gmavardef = 0:0.01:2*pi; % гамма в режиме сканирования // 0.08
fivardef = 0:0.1:0.3; % фи в режиме сканирования
fi_step = 0.004; % 0.01
q_ij = 0;
n_spher = 0;
%-----\\polarisation-----
clear v
%% -----noise-----
noise = 1;
if noise > 0
    noise_sigma = 0;

```

```

        noise_M = 0;
else
    noise_sigma = 0;
    noise_M = 0;
end
Noise_q11 = zeros(N);
if (q_ij == 1)
    Noise_q12 = zeros(N);
    Noise_q22 = zeros(N);
end
% ----- // noise-----
%% -----animation-----
if (scan==1)
    vargma = gmavardef;
    varfi = fivardef;
    %varfi = 0;
else
    vargma = gma;
    varfi = fi;
end

% Create figure
ProPz_mass_h = cell(1,Num_FN);
ProPz_mass_plot_mass = cell(1,Num_FN);
%%
[figure1] = CreateFig_Fnc(resolution_mode);
[axes1,axes2,axes3,axes1_1,axes1_2, axes_info, axes_add_graph, axes_add_graph_2,
axes_polarization] = CreateAxis_Fnc(figure1,ColorStyle_Rec_S, view_XY, view_90,
Num_FN, N, V_caxis, X_spher, Y_spher, Z_spher);
%% параметры окна вывода

for h_max_i = 1:Num_FN
    h_max{h_max_i}(1:N,1:N) = 0;
end

N_summ = 1;
N_polarization = 0;
hold on

%% 4. Сканирование и обработка результата
np = 0;
V_xi = 5.5; % порог по отношению  $\sigma/\Phi$ 

anim_write_avi = 0; % запись в avi файл
scan = 0;
gma_stt = 0.2; % статичный режим
fi_stt = 0; % - || -
Flag_fi_const = 0; %  $\Phi$  - константа
%np = 96; % по номеру поляризации
gma_step = 0.05; % шаг изменения гамма % 0.05 / 0.01
fi_step = 0.01; % 0.01
q_ij = 0;
n_spher = 0;
ProPz_clear = 1; % очищаем данные прошлого результата ППС
Visual_mode = 1;
if(ProPz_clear)
clear ProPz_S_porog ProPz_kv ProPz_ksi ProPz_ksi_prg ProPz_m_obj ProPz_m_obj_prg
ProPz_Pow_All ProPz_Std_All ProPz_Pow_obj ProPz_Std_obj ProPz_Pow_bcrd
ProPz_Std_bcrd ProPz_Pow_OdB ProPz_Pow_obj_det ProPz_N_obj_det ProPz_N_obj_Ok
ProPz_N_lerr ProPz_N_2err ProPz_P_lerr ProPz_P_2err ProPz_P_PO

```

```

clear ProPz_S_porog_fix ProPz_Pow_obj_prg ProPz_Std_obj_prg ProPz_Pow_bcrd_prg
ProPz_Std_bcrd_prg ProPz_Pow_OdB_prg ProPz_Pow_obj_det_prg ProPz_N_obj_det_prg
ProPz_N_obj_Ok_prg ProPz_N_1err_prg ProPz_N_2err_prg ProPz_P_1err_prg
ProPz_P_2err_prg ProPz_P_PO_prg
clear polariz
end

Plot_PowObj = 0; Plot_PowObj_prg = 0;
%clf(figure1);
[figure1] = CreateFig_Fnc(resolution_mode);
[axes1,axes2,axes3,axes1_1,axes1_2, axes_info, axes_add_graph, axes_add_graph_2,
axes_polarization] = CreateAxis_Fnc(figure1,ColorStyle_Rec_S, view_XY, view_90,
Num_FN, N, V_caxis, X_spher, Y_spher, Z_spher);
% предварительный расчет количества поляризаций
polariz(1, 1:2) = [gma_stt fi_stt];
fifi = -pi/2;
nn_pol = 0;
while((scan && (fifi<(pi/2-fi_step))) || Flag_fi_const)
gma = gma + gma_step;
if(gma>2*pi)
    if(Flag_fi_const)
        break;
    else
        gma = 0;
    end
end
end
if(~Flag_fi_const)
    fi_step2 = fi_step;
    if abs(fifi) > pi/4
        fi_step2 = fi_step*2;
    end
    fifi = fifi + fi_step2;
else
    fifi = fi_stt;
end
nn_pol = (nn_pol)+1;

polariz(nn_pol, 1:2) = [gma fifi];
end
if(~nn_pol) nn_pol = 1; end
if(np && (np<nn_pol)) gma_stt = polariz(np,1); fi_stt = polariz(np,2); end

cla(axes_polarization);
axes_polarization = axes('Parent',figure1,'XLim', [0 3.14], 'YLim', [0 3.14]);
set(axes_polarization,'units','normalized'); %положения осей измеряется
в нормализованных единицах
set(axes_polarization,'position',[0.85 0.63 0.17 0.32]);
box(axes_polarization,'on');
set(axes_polarization,'visible','on');
set(axes_polarization,'XMinorGrid', 'on', 'YMinorGrid', 'on');
box(axes_polarization,'on');
surf(X_spher,Y_spher,Z_spher, 'Parent'
,axes_polarization,'FaceColor',[0.960784316062927 0.976470589637756
0.992156863212585]);
hold(axes_polarization,'on');
axis(axes_polarization, 'square');
axes_polarization.Visible = 'off';

gma = 0;
fi = -(pi/2); % старт для фи
Scan_Flag = 1;

```

```

ddattt = datetime;
if (anim_write_avi==1)
    file_name =
strcat(num2str(ddattt.Day), '.', num2str(ddattt.Month), '.', num2str(ddattt.Year), '[' ,
num2str(ddattt.Hour), '.', num2str(ddattt.Minute), ...
    ']; ', 'V_xi=', num2str(V_xi), '; Один объект;', ...
    '
So[, num2str(M_rnd_s11_target), '][', num2str(M_rnd_s12_target), '][', num2str(M_rnd_s
22_target), ']'
Sφ[, num2str(M_rnd_s11), '][', num2str(M_rnd_s12), '][', num2str(M_rnd_s22), ']'
Поляризацияй=', num2str(nn_pol), '.avi');
    v = VideoWriter(file_name);
    v.FrameRate=FPS;
    open(v);
end
%% core

title(axes3, ' ');
% начинаем отсчет времени
TimeGeneral = []; TimePosSym = [];
Tstart = cputime;

clear mass_S_por
mass_S_por = zeros(N*(sqrt(Num_FN)));
Vmax4Prg = 0;
Summ_err = 0;
Summ_obj_pt = 0;

%grid(axes1_1, 'minor');

% выводим статичные графики

%surf(round((mass_h), round_surf), 'FaceColor', 'interp', 'EdgeColor', [0 0
0], 'LineStyle', 'none', 'Parent', axes3); % [0.23 0.44 0.33
%contourf(round((mass_h), round_surf), 'LineStyle', ':', 'LevelStep', 0.2, 'Fill', 'on', '
Parent', axes3); % [0.23 0.44 0.33
%contourf(round((mass_S_por), round_surf), 'LineStyle', ':', 'LevelStep', 0.2, 'Fill', 'o
n', 'Parent', axes3); % [0.23 0.44 0.33

    if(~bcrd)
        % image(Real_h_q11, 'Parent', axes2);
        contour(Real_h_q11(:, :, 1), 'Parent', axes2);
    else
        contour(Real_h_q11(:, :, 1), 'Parent', axes2);
        % image(Background, 'Parent', axes2);
    end

N_polarization = 0;
fifi = -pi/2;
while((fi<(pi/2-fi_step)) && Scan_Flag) % цикл поляризационного сканирования
    gma = gma + gma_step;
    clc;
    display(['N_pol=', num2str(N_polarization)]);
if(~scan) Scan_Flag = 0; end % без сканирования считаем один раз
if(gma>2*pi)
    if(Flag_fi_const)
        break;
    else
        gma = 0;
    end
end
end

```

```

if(scan)
    fi_step2 = fi_step;
    if abs(fi) > pi/4
        fi_step2 = fi_step*2;
    end

    fi = fi + fi_step2;
    if scan ~= 0
        %fi = fifi;
        if fi > pi/2
            break
        end
    end
else
    fi = fi_stt;
    gma = gma_stt;
end

if(Flag_fi_const)
    fi = fi_stt;
end
%% расчеты
cla(axes1);
cla(axes3);
N_polarization = N_polarization + 1;
maxZ(N_polarization) = 0;

%-----цели-----
%i = 1; % № цели
for Now_Num_FN = 1:Num_FN
    i = 0;
    for y_coord = 1:N
        for x_coord = 1:N
            i = i + 1;
            q11(i) = s11{Now_Num_FN}(x_coord, y_coord)*exp(-
1i*2*fi)*cos(gma)^2+s22{Now_Num_FN}(x_coord,
y_coord)*exp(1i*2*fi)*sin(gma)^2+s12{Now_Num_FN}(x_coord, y_coord)*sin(2*gma);
            q12(i) = (-s11{Now_Num_FN}(x_coord, y_coord)*exp(-
1i*2*fi)+s22{Now_Num_FN}(x_coord,
y_coord)*exp(1i*2*fi))*(sin(2*gma)/2)+s12{Now_Num_FN}(x_coord,
y_coord)*cos(2*gma);
            q22(i) = s11{Now_Num_FN}(x_coord, y_coord)*exp(-
1i*2*fi)*sin(gma)^2+s22{Now_Num_FN}(x_coord, y_coord)*exp(1i*2*fi)*cos(gma)^2-
s12{Now_Num_FN}(x_coord, y_coord)*sin(2*gma);

            H_q11{Now_Num_FN}(x_coord,y_coord)=q11(i);
            %H_q12{Now_Num_FN}(x_coord,y_coord)=q12(i);
            %H_q22{Now_Num_FN}(x_coord,y_coord)=q22(i);
            %H_q11{Now_Num_FN}(x_coord,y_coord)=q11(i)^2+q22(i)^2+2*q12(i)^2;
            %h_s11(i)=q11(i);
        end
    end
end

%-----//цели-----
N_shift = 1;
n = 1;
for i = 1:Nd
    for j = 1:Nd
        P_q11{Now_Num_FN}(n,1) = H_q11{Now_Num_FN}(i,j);%+normrnd(0.01,0.004);
        %P_q22{Now_Num_FN}(n,1) = H_q22{Now_Num_FN}(i,j);
    end
end

```

```

%P_q12{Now_Num_FN}(n,1) = H_q12{Now_Num_FN}(i,j);

H_A(i,j) = real(H_q11{Now_Num_FN}(i,j));
H_B(i,j) = imag(H_q11{Now_Num_FN}(i,j));
%-----define h_fi-----
if H_A(i,j)>0
    H_fi(i,j)=atan(H_B(i,j)./H_A(i,j));
elseif H_A(i,j)<0 && H_B(i,j)>=0
    H_fi(i,j)=pi+atan(H_B(i,j)./H_A(i,j));
elseif H_A(i,j)<0 && H_B(i,j)<0
    H_fi(i,j)=-pi+atan(H_B(i,j)./H_A(i,j));
elseif H_A(i,j)==0 && H_B(i,j)>0
    H_fi(i,j)=pi/2;
elseif H_A(i,j)==0 && H_B(i,j)<0
    H_fi(i,j)=-pi/2;
end %end define

n = n+1;
end
end

end % //num_F

%-----решение системы линейных уравнений-----

if (debug_mode == 0)
    for N_1 = 1:Num_FN
        G_q11{N_1}=F{N_1}*P_q11{N_1};
        %G_q22{N_1}=F{N_1}*P_q22{N_1};
        %G_q12{N_1}=F{N_1}*P_q12{N_1};

        if(noise_G) % добавляем шум приемника
            G_q11{N_1}(i) = awgn(G_q11{N_1}(i),noise_pow_G,'measured');
        end

        %P_ans=linsolve(F,G)
        P_ans_q11{N_1} = U{N_1}\(L{N_1}\G_q11{N_1});
        %P_ans_q22{N_1} = U{N_1}\(L{N_1}\G_q22{N_1});
        %P_ans_q12{N_1} = U{N_1}\(L{N_1}\G_q12{N_1});
    end
    for N_1 = 1:Num_FN
        G_q{N_1}=F{N_1}*P_q11{N_1}; % АФ распределение
    end
else
    for N_1 = 1:Num_FN
        G_q{N_1}=F{N_1}*P_q11{N_1}; % АФ распределение
    end
end

for N_1 = 1:Num_FN
    if (debug_mode == 0)
        n = 1;
        for i = 1:Nd
            for j = 1:Nd
                h_q11_2inv(i,j) = P_ans_q11{N_1}(n);
                if(noise_pow_h)
                    h_q11{N_1}(i,j) =
(abs(h_q11_2inv(i,j))+(normrnd(noise_pow_h,noise_sigma_h)));
                    %h_q11{N_1}(i,j) = abs(h_q11_2inv(i,j));
                else
                    h_q11{N_1}(i,j) = abs(h_q11_2inv(i,j));
                end
            end
        end
    end
end

```

```

end
Gp_q11(i,j) = G_q11{N_1}(n);

Gp_q11_A(i,j) = real(Gp_q11(i,j));
Gp_q11_B(i,j) = imag(Gp_q11(i,j));
%-----define h_fi-----
if Gp_q11_A(i,j)>0
    Gp_q11_fi(i,j)=atan(Gp_q11_B(i,j)./Gp_q11_A(i,j));
elseif Gp_q11_A(i,j)<0 && Gp_q11_B(i,j)>=0
    Gp_q11_fi(i,j)=pi+atan(Gp_q11_B(i,j)./Gp_q11_A(i,j));
elseif Gp_q11_A(i,j)<0 && Gp_q11_B(i,j)<0
    Gp_q11_fi(i,j)=-pi+atan(Gp_q11_B(i,j)./Gp_q11_A(i,j));
elseif Gp_q11_A(i,j)==0 && Gp_q11_B(i,j)>0
    Gp_q11_fi(i,j)=pi/2;
elseif Gp_q11_A(i,j)==0 && Gp_q11_B(i,j)<0
    Gp_q11_fi(i,j)=-pi/2;
end %end define

% рельеф
%h_surf(i,j) = abs(angle(P_ans_q11{N_1}(n)));
n = n+1;
end
end
else % без решения уравнений
n = 1;
for i = 1:Nd
    for j = 1:Nd
        h_q11{N_1}(i,j) = abs(P_q11{N_1}(n));
%abs(normrnd(abs(P_q11{N_1}(n)),noise_sigma));
        %h_q11{N_1}(i,j) = abs(normrnd(abs(P_q11{N_1}(n)),0.2));
        %h_q22{N_1}(i,j) = abs(normrnd(abs(P_q22{N_1}(n)),noise_sigma));
        %h_q12{N_1}(i,j) = abs(normrnd(abs(P_q12{N_1}(n)),noise_sigma));
        Gp_q{N_1}(i,j)=G_q{N_1}(n);
        n = n+1;
    end
end
end
h_q11{N_1} = awgn(h_q11{N_1},noise_pow_h,'measured');
end

mass_h_add = zeros(N*(sqrt(Num_FN)));
mass_h = zeros(N*(sqrt(Num_FN)));

%-----определение максимумов-----
for N_Num_FN = 1:Num_FN
    for i=1:N
        for j=1:N
            if h_q11{N_Num_FN}(i,j) > h_max{N_Num_FN}(i,j)
                h_max{N_Num_FN}(i,j) = h_q11{N_Num_FN}(i,j);
            end
        end
    end
end
end

% //-----определение максимумов-----

N_vert = 0;
N_hor = 0;
N_Num_FN = 0;
for N_vert = 0:sqrt(Num_FN)-1
    for N_hor = 0:sqrt(Num_FN)-1
        N_Num_FN = N_Num_FN + 1;
    end
end

```

```

        mass_h_add((N_vert*N+1):(N_vert*N+N), (N_hor*N+1):(N_hor*N+N)) =
h_max{N_Num_FN}; %h_RCS_summ{N_Num_FN};
    end
end

% ##### Элементная обработка #####
Classical_RLS = 0;
if(~Classical_RLS)
    N_vert = 0;
    N_hor = 0;
    N_Num_FN = 0;
    for N_vert = 0:sqrt(Num_FN)-1
        for N_hor = 0:sqrt(Num_FN)-1
            N_Num_FN = N_Num_FN + 1;
            mass_h((N_vert*N+1):(N_vert*N+N), (N_hor*N+1):(N_hor*N+N)) =
h_q11{N_Num_FN};
            if (E_abs_arg_mode == 1)
                G_full((N_vert*N+1):(N_vert*N+N), (N_hor*N+1):(N_hor*N+N)) =
Gp_q{N_Num_FN};
            end
        end
    end
else
    N_vert = 0;
    N_hor = 0;
    N_Num_FN = 0;
    for N_vert = 0:sqrt(Num_FN)-1
        for N_hor = 0:sqrt(Num_FN)-1
            N_Num_FN = N_Num_FN + 1;
            summ_h = 0;
            for i_s = 1:N
                for j_s = 1:N
                    summ_h = summ_h + h_q11{N_Num_FN}(i,j); % собираем все
элементы в один
                end
            end
            summ_h = summ_h / (N*N)
            mass_h((N_vert*N+1):(N_vert*N+N), (N_hor*N+1):(N_hor*N+N)) = summ_h;
        end
    end
end

% обработка
% выделяем значения больше порога S_pорог
Num_S_Obj_det = 0; % Число элементов больше порогового значения
Num_S_bcr_lerr = 0; % Число ошибок первого рода (ложная тревога)
Num_S_bcr_2err = 0; % Число ошибок второго рода (пропуск элемента)
Num_S_Obj_Ok = 0; % Число правильно обнаруженных элементов
Num_S_bcr = 0; % Число элементов фона (ошибки)
Pow_S_Obj_det = 0; % Средний вес точки обнаруженного объекта (выше порога)
Pow_S_bcrd = 0; % Средний вес точки фона
Pow_S_Obj = 0; % Средний вес точки объекта
% характеристики для выделенных точек
Num_S_Obj_det_prg = 0; % Число элементов больше порогового значения
Num_S_bcr_lerr_prg = 0; % Число ошибок первого рода (ложная тревога)
Num_S_bcr_2err_prg = 0; % Число ошибок второго рода (пропуск элемента)
Num_S_Obj_Ok_prg = 0; % Число правильно обнаруженных элементов
Num_S_bcr_prg = 0; % Число элементов фона (ошибки)
Pow_S_Obj_det_prg = 0; % Средний вес точки обнаруженного объекта (выше порога)
Pow_S_bcrd_prg = 0; % Средний вес точки фона
Pow_S_Obj_prg = 0; % Средний вес точки объекта

```

```

% определение порога Vxi
countt = 0;
for N_vert=1:(N*(sqrt(Num_FN)))
    for N_hor=1:(N*(sqrt(Num_FN)))
        countt = countt + 1;
        plot_mass(countt) = mass_h(N_vert,N_hor);
        %plot_mass_prg(countt) = mass_S_por(N_vert,N_hor); %
plot_mass_prg(1:40000)=(mass_S_por(1:200,1:200));
    end
end

Pow_S_all = mean(plot_mass);
Std_S_all = std(plot_mass);

% Запись изображения на каждой поляризации ( увеличивает время выполнения
обработки)
Propz_mass_h{N_polarization} = mass_h;
Propz_mass_plot_mass{N_polarization} = plot_mass;

if(~mode_graph) % перенос в 0
    S_dsumm = plot_mass;
    m_S = mean(S_dsumm);
    sko_S = std(S_dsumm);
    for i=1:length(plot_mass)
        S_md_bcrd(i) = normrnd(m_S,sko_S);
    end
    S_dsumm = S_dsumm-S_md_bcrd;

    sigmm_all_o_prv = std(S_dsumm)*3;
    m_all_o_prv = mean(S_dsumm);
end

% коэффициент вариации
g = 0.955; % коэфф пропорциональности
Kv_S = Std_S_all./Pow_S_all;

ksi = sqrt(Kv_S.^2*(1+g^2)/(1-g^2));
m_obj = ksi*Pow_S_all;

% Динамический порог
%S_porog = sigmm_all_o_prv+m_S;
%S_porog = round((Pow_S_all+dsig*Std_S_all)*1000,0)/1000;
%S_porog_fix = round((Pow_S_all_prg+dsig*Std_S_all_prg)*1000,0)/1000;

%S_porog = round((m_obj/V_xi)*1000,0)/1000+Pow_S_all;
%S_porog_fix = round((m_obj_prg/V_xi)*1000,0)/1000+Pow_S_all_prg;

%S_porog = round((V_xi.*Pow_S_all+1./(ksi+0.00000001))*100,0)/100;
S_porog = round((V_xi.*Pow_S_all)*100,0)/100;

count_4_plot = 0;
max_mass = max(max(mass_h));
%plot_mass_porog(1:(N*(sqrt(Num_FN))*N*(sqrt(Num_FN)))) = NaN;
count_4_plot_obj = 0;
count_4_plot_bcr = 0;
for N_vert=1:(N*(sqrt(Num_FN)))
    for N_hor=1:(N*(sqrt(Num_FN)))
        count_4_plot = count_4_plot + 1;
        %plot_mass(count_4_plot) = mass_h(N_vert,N_hor);
    end
end

```

```

if(mass_h(N_vert,N_hor)>=S_porog)
    Num_S_Obj_det = Num_S_Obj_det + 1;
    %plot_mass_porog(count_4_plot) = mass_h(N_vert,N_hor);
    % if (~mass_S_por(N_vert,N_hor))
        if(mass_S_por(N_vert,N_hor)<(mass_h(N_vert,N_hor)))
            mass_S_por(N_vert,N_hor) = (mass_h(N_vert,N_hor)); % -S_porog
        end
    % else
    %     mass_S_por(N_vert,N_hor) =
(mass_S_por(N_vert,N_hor)+(mass_h(N_vert,N_hor) - S_porog))/2;
    % end

    if(Vmax4Prg < mass_S_por(N_vert,N_hor))
        Vmax4Prg = mass_S_por(N_vert,N_hor);
    end
    if(S_Object(N_vert,N_hor)==1)
        Num_S_Obj_Ok = Num_S_Obj_Ok + 1;
        Pow_S_Obj_det = Pow_S_Obj_det + mass_h(N_vert,N_hor);
    else % ошибка первого рода
        Num_S_bcr_1err = Num_S_bcr_1err + 1;
    end
else
    if(S_Object(N_vert,N_hor)==1)
        Num_S_bcr_2err = Num_S_bcr_2err + 1; % ошибка второго рода
    end
    Num_S_bcr = Num_S_bcr + 1;
    Pow_S_bcrd = Pow_S_bcrd + mass_h(N_vert,N_hor);
end

if(S_Object(N_vert,N_hor)==1)
    %Pow_S_Obj = Pow_S_Obj + mass_h(N_vert,N_hor);
    count_4_plot_obj = count_4_plot_obj + 1;
    Plot_PowObj(count_4_plot_obj) = mass_h(N_vert,N_hor);
else
    count_4_plot_bcr = count_4_plot_bcr + 1;
    Plot_PowBcr(count_4_plot_bcr) = mass_h(N_vert,N_hor);
end
end
end

countt = 0;
for N_vert=1:(N*(sqrt(Num_FN)))
    for N_hor=1:(N*(sqrt(Num_FN)))
        countt = countt + 1;
        plot_mass_prg(countt) = mass_S_por(N_vert,N_hor); %
plot_mass_prg(1:40000)=(mass_S_por(1:200,1:200));
    end
end

Pow_S_all_prg = mean(plot_mass_prg);
Std_S_all_prg = std(plot_mass_prg);

% порог для постобработки
Kv_S_prg = Std_S_all_prg./Pow_S_all_prg;

ksi_prg = sqrt(Kv_S_prg.^2*(1+g^2)/(1-g^2));
m_obj_prg = ksi_prg*Pow_S_all_prg;

%S_porog_fix = round((V_xi.*Pow_S_all_prg+1./(ksi_prg+0.0000001))*100,0)/100;
S_porog_fix = round((V_xi.*Pow_S_all_prg)*100,0)/100;

if(isnan(S_porog_fix)) S_porog_fix = S_porog; end

```

```

% фиксирование значений больше порога
count_4_plot_prg = 0;
%plot_mass_porog(1:(N*(sqrt(Num_FN))*N*(sqrt(Num_FN)))) = NaN;
count_4_plot_obj_prg = 0;
count_4_plot_bcr_prg = 0;
for N_vert=1:(N*(sqrt(Num_FN)))
    for N_hor=1:(N*(sqrt(Num_FN)))
        count_4_plot_prg = count_4_plot_prg + 1;
        if(mass_S_por(N_vert,N_hor)>=S_porog_fix)
            Num_S_Obj_det_prg = Num_S_Obj_det_prg + 1;

            if(S_Object(N_vert,N_hor)==1)
                Num_S_Obj_Ok_prg = Num_S_Obj_Ok_prg + 1;
                Pow_S_Obj_det_prg = Pow_S_Obj_det_prg + mass_h(N_vert,N_hor);
            else % ошибка первого рода
                Num_S_bcr_lerr_prg = Num_S_bcr_lerr_prg + 1;
            end
        else
            if(S_Object(N_vert,N_hor)==1)
                Num_S_bcr_2err_prg = Num_S_bcr_2err_prg + 1; % ошибка второго
рода
            end
            Num_S_bcr_prg = Num_S_bcr_prg + 1;
        end

        if(S_Object(N_vert,N_hor)==1)
            count_4_plot_obj_prg = count_4_plot_obj_prg + 1;
            Plot_PowObj_prg(count_4_plot_obj_prg) = mass_S_por(N_vert,N_hor);
        else
            count_4_plot_bcr_prg = count_4_plot_bcr_prg + 1;
            Plot_PowBcr_prg(count_4_plot_bcr_prg) = mass_S_por(N_vert,N_hor);
        end
    end
end

%Pow_S_Obj = Pow_S_Obj/S_Object_N_full;
Pow_S_Obj = mean(Plot_PowObj);
Std_S_Obj = std(Plot_PowObj);
Pow_S_bcrd = mean(Plot_PowBcr);
Std_S_bcd = std(Plot_PowBcr);
%Pow_S_all = mean(plot_mass);
%Std_S_all = std(plot_mass);

OdB = Pow_S_Obj/Pow_S_bcrd; % объект/фон
%caxis(axes1,[0 Vmax4Prg+0.0001]);

% на поляризации № N_polarization

ProPz_S_porog(N_polarization) = S_porog; % значение порога
ProPz_kv(N_polarization) = Kv_S; % коэффициент вариации
ProPz_ksi(N_polarization) = ksi;
ProPz_ksi_prg(N_polarization) = ksi_prg;
ProPz_m_obj(N_polarization) = m_obj; % рассчитанная интенсивность
отражения от объекта
ProPz_m_obj_prg(N_polarization) = m_obj_prg; % рассчитанная интенсивность
отражения от объекта (зафиксированные точки)
ProPz_Pow_All(N_polarization) = Pow_S_all; % интенсивность общая
ProPz_Std_All(N_polarization) = Std_S_all; % СКО
ProPz_Pow_obj(N_polarization) = Pow_S_Obj; % интенсивность в местах с
объектом
ProPz_Std_obj(N_polarization) = Std_S_Obj; % СКО

```

```

ProPz_Pow_bcrd(N_polarization) = Pow_S_bcrd;           % интенсивность фона
ProPz_Std_bcrd(N_polarization) = Std_S_bcd;
ProPz_Pow_OdB(N_polarization) = OdB;                 % отношение объект/фон
ProPz_Pow_obj_det(N_polarization) = Pow_S_Obj_det;   % интенсивность для
обнаруженных объектов (за порогом)

ProPz_N_obj_det(N_polarization) = Num_S_Obj_det;     % число обнаруженных объектов
(точек)
ProPz_N_obj_Ok(N_polarization) = Num_S_Obj_Ok;       % число правильно обнаруженных
элементов
ProPz_N_1err(N_polarization) = Num_S_bcr_1err;      % ошибки первого рода
ProPz_N_2err(N_polarization) = Num_S_bcr_2err;      % ошибки второго рода
ProPz_P_1err(N_polarization) = Num_S_bcr_1err/count_bgr; % ВЛТ ложная тревога
ProPz_P_2err(N_polarization) = Num_S_bcr_2err/S_Object_N_full; % ВПР пропуск
ProPz_P_PO(N_polarization) = 1-ProPz_P_2err(N_polarization); % Вероятность
правильного обнаружения

% фиксирование значений больше порога      mass_S_por
Pow_S_Obj_prg = mean(Plot_PowObj_prg);
Std_S_Obj_prg = std(Plot_PowObj_prg);
Pow_S_bcrd_prg = mean(Plot_PowBcr_prg);
Std_S_bcd_prg = std(Plot_PowBcr_prg);

OdB_prg = Pow_S_Obj_prg/(Pow_S_bcrd_prg+0.00000001); % объект/фон

ProPz_S_porog_fix(N_polarization) = S_porog_fix;     % значение порога для
финальной обработки
ProPz_Pow_obj_prg(N_polarization) = Pow_S_Obj_prg;   % интенсивность в
местах с объектом
ProPz_Std_obj_prg(N_polarization) = Std_S_Obj_prg;   % СКО
ProPz_Pow_bcrd_prg(N_polarization) = Pow_S_bcrd_prg; % интенсивность фона
ProPz_Std_bcrd_prg(N_polarization) = Std_S_bcd_prg;
ProPz_Pow_OdB_prg(N_polarization) = OdB_prg;        % отношение объект/фон
ProPz_Pow_obj_det_prg(N_polarization) = Pow_S_Obj_det_prg; % интенсивность для
обнаруженных объектов (за порогом)

ProPz_N_obj_det_prg(N_polarization) = Num_S_Obj_det_prg; % число обнаруженных
объектов (точек)
ProPz_N_obj_Ok_prg(N_polarization) = Num_S_Obj_Ok_prg; % число правильно
обнаруженных элементов
ProPz_N_1err_prg(N_polarization) = Num_S_bcr_1err_prg; % ошибки первого рода
ProPz_N_2err_prg(N_polarization) = Num_S_bcr_2err_prg; % ошибки второго рода
ProPz_P_1err_prg(N_polarization) = Num_S_bcr_1err_prg/count_bgr; % ВЛТ ложная
тревога
ProPz_P_2err_prg(N_polarization) = Num_S_bcr_2err_prg/S_Object_N_full; % ВПР
пропуск
ProPz_P_PO_prg(N_polarization) = 1-ProPz_P_2err_prg(N_polarization); %
Вероятность правильного обнаружения

%if debug_mode ~= 0
%h_RCS_summ = h_RCS;
%Tend = cputime; TimePosSym = [TimePosSym Tend-Tstart] % время решения
%end
%-----\\ конец расчетов-----
P_obj = mean(Plot_PowObj);
P_bcr = mean(Plot_PowBcr);
%%

% Сфера Пуанкаре
gma_spher = gma;
fi_spher = 0.4;

```

```

x_spher = cos(fi)*cos(gma);
y_spher = cos(fi)*sin(gma);
z_spher = sin(fi)*ones(size(gma));
plot3(x_spher,y_spher,z_spher,'MarkerFaceColor',[0 0
1], 'MarkerSize',3, 'Marker','o', 'Color',[0 0 1], 'Parent',axes_polarization);
% title(axes_polarization,['
\phi=',num2str(roundn(180*fi/pi,round_gf)),'\^o(',num2str(roundn(fi*10,0)/10),...
%      ')
\gamma=',num2str(roundn(180*gma/pi,round_gf)),'\^o(',num2str(roundn(gma*10,0)/10),
')']);
axis(axes_polarization, 'square');

%gma_spher = gma_spher + 0.01;
if gma_spher > 2*pi
    fi_spher = 0.4;
    gma_spher = 0;
end

if(N_polarization == 1)
    view(axes_polarization,(((gma_spher+1)*180/pi),(((fi_spher)*180/pi)));
end

if (n_spher == 2)
    view(axes_polarization,(((gma_spher+1)*180/pi),(((fi_spher)*180/pi)));
    n_spher = 0;
end
n_spher = n_spher + 1;

if(Visual_mode)
    cla(axes1);
    cla(axes3);
    cla(axes_info);
    cla(axes_add_graph);
    cla(axes_add_graph_2);
    cla(axes1_1);
    cla(axes1_2);
    text(0.15, 0.5, 0, ['r = ',num2str(r),'; d = ',num2str(d),'; \lambda =
',num2str(lambda),'; N_{elm}= ', num2str(Num_FN),'; N=', num2str(N),...
    sprintf('\n'),' \bfПНС: \mu_{o}=',num2str(roundn(m_obj_prg*100,0)/100),';
\mu=',num2str(roundn(Pow_S_all_prg*100,0)/100), ';
\xi_{o/\phi}=',num2str(roundn(ksi_prg*10,0)/10),...
    sprintf('\n'),' \rm
N_{>V}=',num2str(Num_S_Obj_det),';N_{ok}=',num2str(ProPz_N_obj_Ok(N_polarization))
, '; N_{JIT}=',num2str(Num_S_bcr_1err), '; N_{PP}=',num2str(Num_S_bcr_2err),...
    sprintf('\n'),'Поляризация: ',num2str(N_polarization),
    ('',num2str(nn_pol),'),' ,'; V_{\xi} = ',num2str(V_xi)],...
    'HorizontalAlignment', 'left', 'FontSize', 11,'EdgeColor',[0 0
0], 'Parent',axes_info);
    % '\mu_{o}=',num2str(roundn(m_obj*100,0)/100),';
\mu=',num2str(roundn(Pow_S_all*100,0)/100), ';
\xi_{o/\phi}=',num2str(roundn(ksi*10,0)/10),...

title(axes3,['\mu_{o}=',num2str(roundn(m_obj*100,0)/100),';
\mu=',num2str(roundn(Pow_S_all*100,0)/100), ';
\xi_{o/\phi}=',num2str(roundn(ksi*100,0)/100)], 'FontSize',11);

% доп обработка
cla(axes_add_graph);
S_porog_line(1:length(plot_mass)) = S_porog;
hold(axes_add_graph, 'on');
%plot(plot_mass, 'Parent', axes_add_graph);

```

```

%plot(Plot_PowObj, 'Parent', axes_add_graph);

mesh(abs(round((mass_S_por), round_surf)), 'FaceColor', 'interp', 'EdgeColor', ...
      [0.756862759590149 0.8666666674613953
0.776470601558685], 'LineStyle', 'none', 'Parent', axes_add_graph); % [0.23 0.44 0.33

%view(axes_add_graph, [-180 90]);

%set(axes_add_graph, 'XTick', []);
%set(axes_add_graph, 'YTick', []);

%plot(plot_mass_porog, 'Color', [1 0 0], 'Parent', axes_add_graph);
%plot(S_porog_line, 'LineWidth', 2, 'Color', [1 0 0], 'Parent', axes_add_graph);

title(axes_add_graph_2, ['
\phi=', num2str(roundn(180*fi/pi, round_gf)), '^o(', num2str(roundn(fi*10,0)/10), ...
')
\gamma=', num2str(roundn(180*gma/pi, round_gf)), '^o(', num2str(roundn(gma*10,0)/10),
')'], 'FontSize', 8, 'HorizontalAlignment', 'center', 'FontAngle', 'italic',
'FontName', 'Verdana');

% Распределение вероятностей
% cla(axes_add_graph_2);
% grid(axes_add_graph_2, 'on');
% hist_plot_mass = histogram(plot_mass, 'Parent', axes_add_graph_2);
% hist_plot_mass.Normalization = 'pdf'; % 'probability';
% hist_plot_mass.BinWidth = 0.03;
% hold on

cla(axes1);
cla(axes1_1);
cla(axes1_2);

%grid(axes1_1, 'on');

plot(Propz_Pow_All, 'DisplayName', '\mu', 'LineWidth', 2, 'Color', [1 0
0], 'LineStyle', ':', 'HandleVisibility', 'on', 'Parent', axes1);
plot(Propz_m_obj, 'DisplayName', '\mu_o', 'LineWidth', 2, 'Color', [0 0
1], 'LineStyle', ':', 'HandleVisibility', 'on', 'Parent', axes1);
plot(Propz_S_porog, 'DisplayName', ['V'], 'LineWidth', 2, 'Color', [0 0
0], 'LineStyle', '-', 'HandleVisibility', 'on', 'Parent', axes1);

if(nn_pol>1)
    xlim(axes1, [1 nn_pol]);
    xlim(axes1_1, [1 nn_pol]);
    xlim(axes1_2, [1 nn_pol]);
end

hold(axes1_1, 'on');
hold(axes1_2, 'on');
% axes1_1      Propz_ksi
plot(Propz_ksi, 'DisplayName', 'пач. \xi_{o/\phi}', 'LineWidth', 2, 'Color', [1 0
0], 'LineStyle', '-', 'HandleVisibility', 'on', 'parent', axes1_1);
plot(Propz_Pow_OdB, 'DisplayName', 'теоп. \xi_{o/\phi}', 'LineWidth', 1, 'Color', [0 0
1], 'LineStyle', '--', 'HandleVisibility', 'on', 'parent', axes1_1);
%Propz_Pow_OdB Propz_ksi_prg

legleg1_1 = legend(axes1_1, 'show');
legleg1_1.FontSize = 10;

% axes1_2      веп
plot(Propz_P_PO, 'DisplayName', 'БИО', 'LineWidth', 2, 'parent', axes1_2);

```

```

plot(Propz_P_1err, 'DisplayName', 'BJT', 'LineWidth', 2, 'parent', axes1_2);

ylim(axes1_1, 'auto');
ylim(axes1_2, [0 1]);
legleg1_2 = legend(axes1_2, 'show');
legleg1_2.FontSize = 10;

%S_dsumm
    hold(axes_add_graph_2, 'on');
    grid(axes_add_graph_2, 'on');
    cla(axes_add_graph_2);

plot(plot_mass, 'DisplayName', 'P', 'Parent', axes_add_graph_2);
xlim(axes_add_graph_2, [1 length(plot_mass)]);
%ylim(axes1, [0 S_porog*1.1]);
line_x3_plot_x = linspace(0, length(plot_mass), 10);
line_x3_plot_y = linspace(S_porog, S_porog, 10);
plot(line_x3_plot_x, line_x3_plot_y, 'DisplayName', 'V', 'LineStyle', '--',
'LineWidth', 1, 'Color', [1 0 0], 'Parent', axes_add_graph_2);
text(line_x3_plot_x(1), line_x3_plot_y(5)*0.95, ['
V=', num2str(S_porog)], 'FontSize', 8, 'Parent', axes_add_graph_2);

if V_caxis > 0
    caxis(axes_add_graph, [Vmin S_porog_fix]);
else
    if(N_polarization > 1)
        caxis(axes_add_graph, 'auto');
    else
        caxis(axes_add_graph, [0 1]);
    end
    %caxis(axes3, [0 max(max(abs(mass_S_por)))+0.001]);
end
%caxis(axes3, [0 max(max(abs(mass_S_por)))+0.001]);
% "Радиолокационное изображение"
%mass_S_por mass_h
    mesh(abs(round((mass_h), round_surf)), 'FaceColor', 'interp', 'EdgeColor', ...
    [0.756862759590149 0.866666674613953
0.776470601558685], 'LineStyle', 'none', 'Parent', axes3); % [0.23 0.44 0.33
    %title(axes3, 's_{11}', 'FontSize', 12, 'HorizontalAlignment', 'center',
'FontAngle', 'italic', 'FontName', 'Verdana');

title(axes_add_graph, ['BJT=', num2str(roundn(Propz_P_1err_prg(N_polarization)*100, 0
)/100), ...
];
BPO=', num2str(roundn(Propz_P_PO_prg(N_polarization)*100, 0)/100)], 'FontSize', 11, 'Ho
rizontalAlignment', 'center', 'FontAngle', 'italic', 'FontName', 'Times');

end

% на поляризации № N_polarization
RePz_Pow_obj(N_polarization) = P_obj; % интенсивность в местах с объектом
RePz_Pow_bcrd(N_polarization) = P_bcr; % интенсивность фона
RePz_Pow_OdB(N_polarization) = P_obj/P_bcr; % отношение объект/фон

if (E_abs_arg_mode == 1)
    surf(abs(G_full), 'FaceColor', 'interp', 'EdgeColor', [0.0705882385373116
0.211764708161354 0.141176477074623], 'LineStyle', ':', 'Parent', axes2_1);
%'EdgeColor', [0.23 0.44 0.33]
% surf(abs(Gp_q11), 'FaceColor', 'interp', 'EdgeColor', [0.0705882385373116
0.211764708161354 0.141176477074623], 'LineStyle', ':', 'Parent', axes2_1);
%'EdgeColor', [0.23 0.44 0.33]
    xlabel(axes2_1, 'X');

```

```

ylabel(axes2_1, 'Y');
zlabel(axes2_1, '|E|', 'FontSize',12);
grid(axes2_1);
axis square;
% title(axes2_1, 'Модуль комплексной амплитуды
напряженности', 'FontSize',14, 'HorizontalAlignment', 'center', 'FontAngle', 'italic',
'FontName', 'Verdana');
% surf(Gp_q11_fi, 'FaceColor', 'interp', 'EdgeColor', [0.0705882385373116
0.211764708161354 0.141176477074623], 'LineStyle', ':', 'Parent', axes2_2);
%'EdgeColor', [0.23 0.44 0.33]
surf(angle(G_full), 'FaceColor', 'interp', 'EdgeColor', [0.0705882385373116
0.211764708161354 0.141176477074623], 'LineStyle', ':', 'Parent', axes2_2);
%'EdgeColor', [0.23 0.44 0.33]
xlabel(axes2_2, 'X');
ylabel(axes2_2, 'Y');
zlabel(axes2_2, 'arg(E)', 'FontSize',12);
grid(axes2_2, 'on');
axis square;
% title(axes2_2, 'Аргумент комплексной амплитуды
напряженности', 'FontSize',14, 'HorizontalAlignment', 'center', 'FontAngle', 'italic',
'FontName', 'Verdana');

if(0)
    colorbar('peer', axes2_1, 'southoutside');
    colorbar('peer', axes2_2, 'southoutside');
end

Glim = N*(sqrt(Num_FN));
%Glim = fix(N);
%Glim = 40;

xlim(axes2_1, [1 Glim]);
ylim(axes2_1, [1 Glim]);
xlim(axes2_2, [1 Glim]);
ylim(axes2_2, [1 Glim]);

cla(axes1_2_print);

end

%% ВЫВОД В ОКНО С РЕЗУЛЬТАТАМИ

if (scan == 1)
    if(anim_write_avi==1)
        frame = getframe(figure1); % get frame
        writeVideo(v, frame); % write frame in avi
    else
        if(Visual_mode)
            getframe();
        end
    end
end

end % end animation

if(scan == 1)
    cla(axes1);
    cla(axes3);
    cla(axes_info);
    cla(axes_add_graph);
    cla(axes_add_graph_2);
    cla(axes1_1);

```

```

cla(axes1_2);

title(axes3, ['\bf \mu_{o}=', num2str(roundn(m_obj_prg*100,0)/100), ',
\mu=', num2str(roundn(Pow_S_all_prg*100,0)/100), ',
\xi_{o/\phi}=', num2str(roundn(ksi_prg*100,0)/100)], 'FontSize', 11);
mesh(abs(round((mass_S_por), round_surf)), 'FaceColor', 'interp', 'EdgeColor', ...
[0.756862759590149 0.866666674613953
0.776470601558685], 'LineStyle', 'none', 'Parent', axes3); % [0.23 0.44 0.33

plot(Propz_Pow_All, 'DisplayName', '\mu', 'LineWidth', 2, 'Color', [1 0
0], 'LineStyle', ':', 'HandleVisibility', 'on', 'Parent', axes1);
plot(Propz_m_obj, 'DisplayName', '\mu_o', 'LineWidth', 2, 'Color', [0 0
1], 'LineStyle', ':', 'HandleVisibility', 'on', 'Parent', axes1);
plot(Propz_S_porog, 'DisplayName', ['V'], 'LineWidth', 2, 'Color', [0 0
0], 'LineStyle', '-', 'HandleVisibility', 'on', 'Parent', axes1);

hold(axes1_1, 'on');
hold(axes1_2, 'on');
% axes1_1 ProPz_ksi
plot(Propz_ksi, 'DisplayName', 'pac. \xi_{o/\phi}', 'LineWidth', 2, 'Color', [1 0
0], 'LineStyle', '-', 'HandleVisibility', 'on', 'parent', axes1_1);
plot(Propz_Pow_OdB, 'DisplayName', 'teop. \xi_{o/\phi}', 'LineWidth', 1, 'Color', [0 0
1], 'LineStyle', '--', 'HandleVisibility', 'on', 'parent', axes1_1);
%Propz_Pow_OdB ProPz_ksi_prg

legleg1_1 = legend(axes1_1, 'show');
legleg1_1.FontSize = 10;

% axes1_2 bep
plot(Propz_P_PO, 'DisplayName', 'BPO', 'LineWidth', 2, 'parent', axes1_2);
plot(Propz_P_lerr, 'DisplayName', 'BJT', 'LineWidth', 2, 'parent', axes1_2);

ylim(axes1_1, 'auto');
ylim(axes1_2, [0 1]);
legleg1_2 = legend(axes1_2, 'show');
legleg1_2.FontSize = 10;

[max_ksi, max_Ppo_plrz]= max(Propz_ksi);

mesh(abs(round((Propz_mass_h{max_Ppo_plrz}), round_surf)), 'FaceColor', 'interp', 'Edg
eColor', ...
[0.756862759590149 0.866666674613953
0.776470601558685], 'LineStyle', 'none', 'Parent', axes_add_graph); % [0.23 0.44 0.33

title(axes_add_graph, ['BJT=', num2str(roundn(Propz_P_lerr_prg(max_Ppo_plrz)*100,0)/
100), ...
'];
BPO=', num2str(roundn(Propz_P_PO_prg(max_Ppo_plrz)*100,0)/100)], 'FontSize', 11, 'Hori
zontalAlignment', 'center', 'FontAngle', 'italic', 'FontName', 'Times');

hold(axes_add_graph_2, 'on');
grid(axes_add_graph_2, 'on');

title(axes_add_graph_2, ['
\phi=', num2str(roundn(180*polariz(max_Ppo_plrz,2)/pi, round_gf)), '^o(', num2str(round
n(polariz(max_Ppo_plrz,2)*10,0)/10), ...
')
\gamma=', num2str(roundn(180*polariz(max_Ppo_plrz,1)/pi, round_gf)), '^o(', num2str(ro
undn(polariz(max_Ppo_plrz,1)*10,0)/10),

```

```

')'], 'FontSize', 8, 'HorizontalAlignment', 'center', 'FontAngle', 'italic',
'FontName', 'Verdana');

text(0.15, 0.5, 0, ['r = ', num2str(r), '; d = ', num2str(d), '; \lambda =
', num2str(lambda), '; N_{elm}= ', num2str(Num_FN), '; N= ', num2str(N), ...
sprintf('\n'), 'Поляризаций: ', num2str(N_polarization),
'(', num2str(nn_pol), ')', '; V_{\xi} = ', num2str(V_xi), ...
sprintf('\n'), 'Макс. о/ф на поляризации №: ', num2str(max_Ppo_plrz), ...
newline(), '
\phi=', num2str(roundn(180*polariz(max_Ppo_plrz,2)/pi, round_gf)), '^o(', num2str(roundn(
polariz(max_Ppo_plrz,2)*10,0)/10), ...
')
\gamma=', num2str(roundn(180*polariz(max_Ppo_plrz,1)/pi, round_gf)), '^o(', num2str(ro
undn(polariz(max_Ppo_plrz,1)*10,0)/10), ')', ...
newline(), '\xi_{max}= ', num2str(roundn(max_ksi*10,0)/10)], ...
'HorizontalAlignment', 'left', 'FontSize', 11, 'EdgeColor', [0 0
0], 'Parent', axes_info);

plot(Propz_mass_plot_mass{max_Ppo_plrz}, 'DisplayName', 'P', 'Parent', axes_add_graph_
2);
ylim(axes1, [0 S_porog*1.1]);
line_x3_plot_x = linspace(0, length(plot_mass), 10);
line_x3_plot_y =
linspace(Propz_S_porog(max_Ppo_plrz), Propz_S_porog(max_Ppo_plrz), 10);
plot(line_x3_plot_x, line_x3_plot_y, 'DisplayName', 'V', 'LineStyle', '--
', 'LineWidth', 1, 'Color', [1 0 0], 'Parent', axes_add_graph_2);
text(line_x3_plot_x(1), line_x3_plot_y(5)*0.95, ['
V=', num2str(Propz_S_porog(max_Ppo_plrz))], 'FontSize', 8, 'Parent', axes_add_graph_2);

if(anim_write_avi==1)
    frame = getframe(figure1); % get frame
    writeVideo(v, frame); % write frame in avi
else
    getframe();
end
end

Num_S_prg_Obj_det = 0;
Num_S_prg_bcr_err = 0;
Pow_S_prg_Obj = 0;
for N_vert=1:(N*(sqrt(Num_FN)))
    for N_hor=1:(N*(sqrt(Num_FN)))
        if(mass_S_por(N_vert, N_hor))
            if(S_Object(N_vert, N_hor)==1)
                Num_S_prg_Obj_det = Num_S_prg_Obj_det + 1;
                Pow_S_prg_Obj = Pow_S_prg_Obj + mass_S_por(N_vert, N_hor);
            else
                Num_S_prg_bcr_err = Num_S_prg_bcr_err + 1;
            end
        end
    end
end
end

Pow_S_prg_Obj = Pow_S_prg_Obj/Num_S_prg_Obj_det;

%title(axes1, ['P_{obj}=', num2str(roundn(Pow_S_prg_Obj*10,0)/10), ';
N_{obj}=', num2str(Num_S_prg_Obj_det), ';
N_{err}=', num2str(Num_S_prg_bcr_err)], 'FontSize', 8, 'HorizontalAlignment', 'center',
'FontAngle', 'italic', 'FontName', 'Verdana');

```

```

Tend = cputime; TimePosSym = [TimePosSym Tend-Tstart] % время решения

% // конец сканирования
if (anim_write_avi == 1)
    close(v)
end

noise = noise_sigma_h;
if save2file == 1 % сохраняем графики в файл
    set(figure1, 'color',[1 1 1]);
    file_name = strcat('Уровень_шума=',num2str(noise),';
    пройдено_поляризаций_',num2str(N_polarization),';
    style_',num2str(surf_style),'.jpg');
    frame = getframe(figure1);
    X = frame2im(frame);
    imwrite(X,file_name,'jpeg');
% saveas(gcf,file_name,'jpeg');
end

if save2file_HQ == 1 % сохраняем графики в файл
    set(figure1, 'color',[1 1 1]);
    file_name = strcat('Уровень_шума=',num2str(noise),';
    пройдено_поляризаций_',num2str(N_polarization));
    frame = getframe(figure1);
    X = frame2im(frame);
% imwrite(X,file_name,'svg');
%print(frame,file_name,'-dpdf');
% saveas(figure1,file_name,'meta');
end

if save2file_HQ > 0 % сохраняем графики в файл в высоком качестве
    file_name = strcat('Уровень_шума=',num2str(noise),';
    пройдено_поляризаций_',num2str(N_polarization));
% frame = getframe(figure1);
%set(gca, 'LooseInset', get(gca, 'TightInset'));
    saveas(figure1,file_name,'pdf');
end

%set(figure1,'Renderer','painters');
%set(figure2,'Renderer','painters');

clear frame

function [axes1,axes2,axes3,axes1_1,axes1_2, axes_info, axes_add_graph,
axes_add_graph_2, axes_polarization] = CreateAxis_Fnc(figure1,ColorStyle_Rec_S,
view_XY, view_90, Num_FN, N, V_caxis, X_spher, Y_spher, Z_spher)
axes1 = axes('Parent',figure1);
axes1_1 = axes('Parent',figure1);
axes1_2 = axes('Parent',figure1);
axes2 = axes('Parent',figure1); % график для объекта
axes3 = axes('Parent',figure1);
axes_info = axes('Parent',figure1);
set(axes1,'units','normalized','FontSize',9,'FontName','Times','FontWeight','normal');
%положения осей измеряется в нормализованных единицах
set(axes1_1,'units','normalized','FontSize',9,'FontName','Times','FontWeight','normal');
set(axes1_2,'units','normalized','FontSize',9,'FontName','Times','FontWeight','normal');
set(axes2,'units','normalized','FontSize',9,'FontName','Times','FontWeight','normal');

```

```

set(axes3, 'units', 'normalized', 'FontSize', 9, 'FontName', 'Times', 'FontWeight', 'normal');
set(axes_info, 'units', 'normalized', 'FontSize', 9, 'FontName', 'Times', 'FontWeight', 'normal'); %Iskoola Pota
%set(axes1, 'position', [0.045 0.05 0.32 0.9]); %задаем положения и размеры осей
set(axes1, 'position', [0.045 0.65 0.32 0.3]); %задаем положения и размеры осей
set(axes1_1, 'position', [0.045 0.36 0.32 0.24]); %задаем положения и размеры осей
set(axes1_2, 'position', [0.045 0.06 0.32 0.24]); %задаем положения и размеры осей

set(axes2, 'position', [0.75 0.6 0.11 0.37]);
axis(axes2, 'square');
set(axes3, 'position', [0.41 0.05 0.32 0.9]);
set(axes_info, 'position', [0.73 0.04 0.2 0.19]);
set(axes_info, 'visible', 'off');

grid(axes1, 'on'); grid(axes1, 'minor');
grid(axes1_1, 'on'); grid(axes1_1, 'minor');
grid(axes1_2, 'on'); grid(axes1_2, 'minor');

box(axes1, 'on');
box(axes1_1, 'on');
box(axes1_2, 'on');

leglegl_1 = legend(axes1, 'show', 'Location', 'northeast');
leglegl_1.FontSize = 10;
leglegl_1.Location = 'northeast';

axes_add_graph = axes('Parent', figure1);
set(axes_add_graph, 'units', 'normalized', 'FontSize', 7, 'FontName', 'Iskoola Pota', 'FontWeight', 'bold');
%set(axes_add_graph, 'position', [0.76 0.3 0.23 0.27]);
set(axes_add_graph, 'position', [0.75 0.3 0.11 0.27]);
grid(axes_add_graph, 'on'); grid(axes_add_graph, 'minor');
box(axes_add_graph, 'off');

axes_add_graph_2 = axes('Parent', figure1);
set(axes_add_graph_2, 'units', 'normalized', 'FontSize', 7, 'FontName', 'Iskoola Pota', 'FontWeight', 'bold');
set(axes_add_graph_2, 'position', [0.88 0.3 0.11 0.27]);
grid(axes_add_graph_2, 'on'); grid(axes_add_graph_2, 'minor');
box(axes_add_graph_2, 'on');

grid(axes3, 'minor'); grid(axes3, 'on');
grid(axes2, 'on'); grid(axes2, 'minor');

box(axes2, 'on');

xlabel(axes3, 'X');
ylabel(axes3, 'Y');

%set(axes3, 'YTick', [1:1:Nd], 'XTick', [1:1:Nd]);

if (view_XY == 1)
%view(axes1, [-35 50]);
hold(axes1, 'on');
%view(axes2, [-35 50]);
view(axes2, [-0.5 90]);
hold(axes2, 'on');
view(axes3, [-35 50]);
hold(axes3, 'on');
if(view_90)

```

```

%view(axes1, [-0.5 90]);
view(axes3, [-0.5 90]);
end
colorbar('peer', axes3, 'southoutside');
%colorbar('peer', axes2, 'southoutside');

%zlim(axes1, [0 1]);
%zlim(axes2, [0 1]);
%zlim(axes3, [0 1]);

%xlim(axes1, [1 sqrt(Num_FN)*N]);
%ylim(axes1, [1 sqrt(Num_FN)*N]);

xlim(axes2, [1 sqrt(Num_FN)*N]);
ylim(axes2, [1 sqrt(Num_FN)*N]);
xlim(axes3, [1 sqrt(Num_FN)*N]);
ylim(axes3, [1 sqrt(Num_FN)*N]);
end

axes1_print = axes('Parent', figure1, 'XLim', [0 100], 'YLim', [0 50], 'YDir',
'reverse', 'XAxisLocation', 'top');
set(axes1_print, 'units', 'normalized'); %положения осей измеряется в
нормализованных единицах
set(axes1_print, 'position', [0.76 0.05 0.21 0.09], 'XTick', [], 'YTick', []);
box(axes1_print, 'on');
set(axes1_print, 'visible', 'off');

%set(axes1, 'XMinorGrid', 'off', 'YMinorGrid', 'off', 'ZMinorGrid', 'off');
set(axes3, 'XMinorGrid', 'off', 'YMinorGrid', 'off', 'ZMinorGrid', 'off');
box(axes3, 'off');
%view(axes1, [-35.5 16]);

if V_caxis > 0
    % caxis(axes1, [Vmin 1]);
    % caxis(axes2, [Vmin Vmax]);
    caxis(axes3, [Vmin Vmax]);
else
    caxis(axes3, 'auto');
end

axes_polarization = axes('Parent', figure1, 'XLim', [0 3.14], 'YLim', [0 3.14]);
set(axes_polarization, 'units', 'normalized'); %положения осей измеряется
в нормализованных единицах
set(axes_polarization, 'position', [0.85 0.63 0.17 0.32]);
box(axes_polarization, 'on');
set(axes_polarization, 'visible', 'on');
set(axes_polarization, 'XMinorGrid', 'on', 'YMinorGrid', 'on');
box(axes_polarization, 'on');
surf(X_spher, Y_spher, Z_spher, 'Parent'
, axes_polarization, 'FaceColor', [0.960784316062927 0.976470589637756
0.992156863212585]);
hold(axes_polarization, 'on');
axis(axes_polarization, 'square');
axes_polarization.Visible = 'off';

%view(axes_add_graph, [147 69]);
view(axes_add_graph, [-37 34]);
grid(axes_add_graph_2, 'minor');

%view(axes3, [-180 90]);
%view(axes3, [0 90]);

```

```

view(axes3, [-26 49]);
view(axes1, [0 90]);

axis(axes2, 'square');
axis(axes3, 'square');
axis(axes_add_graph, 'square');

end

function [A_measured] = AddNoise2signal(A, s_N, A_mean)
Fs = 1e10; %частота дискретизации 10 ГГц
t = 0:1/Fs:1e-6; %1мкс секунда дискретных моментов времени
f0 = 1e9; %частота - 1 кГц
phi = 0; %начальная фаза
s = A*cos(2*pi*f0*t+phi); %гармонический сигнал
p = sum(abs(s(:)).^2)/length(s(:)); % мощность сигнала
N_add(1:length(s)) = 0;
N_add = awgn(N_add, s_N, A_mean);
p_N = sum(abs(N_add(:)).^2)/length(N_add(:));
sn=p/p_N;
s_measured = s+N_add;
p_measured = sum(abs(s_measured(:)).^2)/length(s_measured(:)); % мощность сигнала
S_measured = (hilbert(s_measured)); % выделяем огибающую
A_measured = mean(abs(S_measured)); % амплитуда
end

function [out_signal] = addAWGN(signal, targetSNR)
sigLength = length(signal); % length
awgnNoise = randn(size(signal)); % original noise
pwrSig = sqrt(sum(signal.^2))/sigLength; % signal power
pwrNoise = sqrt(sum(awgnNoise.^2))/sigLength; % noise power

scaleFactor = (pwrSig/pwrNoise)/targetSNR; %find scale factor
awgnNoise = scaleFactor*awgnNoise;
out_signal = signal + awgnNoise; % add noise
end

function [figure1] = CreateFig_Fnc(resolution_mode)
figure1 = figure(1);
clf(figure1);
set(figure1, 'Units', 'normalized');
set(figure1, 'PaperOrientation', 'landscape', 'PaperType', 'a4', 'PaperPositionMode', 'manual', 'PaperUnits', 'points', 'PaperSize', [1600 900], 'Renderer', 'opengl');
set(figure1, 'Color', [1 1 1]);

colormap('Summer');
ScreenSize = get(0, 'ScreenSize');

if (resolution_mode == 2)
    if (ScreenSize(4) > 900)
        resolution_mode = 0;
    else
        resolution_mode = 1;
    end
end

if (resolution_mode == 0)
    set(figure1, 'position', [0.01 0.04 0.86 0.66]);
else

```

```

    set(figure1, 'position', [0 0.03 0.7 0.88]);
end

end

function [] = CreateFig_E_Fnc()
    %% % окно для комплексной амплитуды и аргумента
    figure2 = figure(2);
    clf(figure2);
    set(figure2, 'Units', 'normalized');

    set(figure2, 'PaperOrientation', 'landscape', 'PaperType', 'a4', 'PaperPositionMode', 'manual', 'PaperUnits', 'points', 'PaperSize', [1050 630], 'Renderer', 'opengl');
    set(figure2, 'Color', [1 1 1])

    axes2_1 = axes('Parent', figure2);
    axes2_2 = axes('Parent', figure2);

    set(axes2_1, 'units', 'normalized', 'FontSize', 9, 'FontName', 'Iskoola Pota', 'FontWeight', 'bold'); %положения осей измеряется в нормализованных единицах
    set(axes2_2, 'units', 'normalized', 'FontSize', 9, 'FontName', 'Iskoola Pota', 'FontWeight', 'bold');
    set(axes2_1, 'position', [0.05 0.11 0.4 0.85]); %задаем положения и размеры осей
    set(axes2_2, 'position', [0.55 0.11 0.4 0.85]);
    axes1_2_print = axes('Parent', figure2, 'XLim', [0 100], 'YLim', [0 50], 'YDir', 'reverse', 'XAxisLocation', 'top');
    set(axes1_2_print, 'units', 'normalized'); %положения осей измеряется в нормализованных единицах
    set(axes1_2_print, 'position', [0.25 0.02 0.51 0.05], 'XTick', [], 'YTick', []);
    box(axes1_2_print, 'on');
    set(axes1_2_print, 'visible', 'off');

    if (view_XY_2 == 1)
        view(axes2_1, [-0.5 90]);
        hold(axes2_1, 'on');
        view(axes2_2, [-0.5 90]);
        hold(axes2_2, 'on');
        colorbar('peer', axes2_1, 'southoutside');
        colorbar('peer', axes2_2, 'southoutside');
    elseif (view_XY_2 == 2)
        view(axes2_1, [-35 50]);
        hold(axes2_1, 'on');
        view(axes2_2, [-35 50]);
        hold(axes2_2, 'on');
    end
end
end

```

Листинг разработанной программы по идентификации объектов последствия
авиационного происшествия (язык Matlab)

```

clear; clc
N = 200;
eq_anim_write_avi = 1;
visual = 1;
FPS=1;
ggif = 1;
flag3 = 1;
A_4corr = imread('img_1_4.bmp'); %reading images as array to variable 'a' & 'b'.
r_img = [1 1]; % правильный объект
A_4corr = (double(A_4corr));

[figure3,axes_eq_1,axes_eq_2, axes1_corr, axes_print_eq] = CreateFig_find_obj(N);
ylim(axes1_corr,'auto');
title(axes_eq_1,['Радиополяриметрическое изображение'],'FontSize',12);
box(axes_eq_2,'off')
ddattt = datetime;
if (eq_anim_write_avi==1)
    file_name =
    strcat(num2str(ddattt.Day), '.', num2str(ddattt.Month), '.', num2str(ddattt.Year), '[' ,
    num2str(ddattt.Hour), '-', num2str(ddattt.Minute), ...
    ']; ', ' Идентификация объекта.avi');
    v = VideoWriter(file_name);
    v.FrameRate=FPS;
    open(v);
end

ng = 0;
N_succ = 0;
N_err = 0;
for num_c = 1:1

a_res = imresize(A_4corr,[N N], 'bicubic');
a_res = (awgn(a_res,5, 'measured', 'db'));
a_res = abs(min(min(a_res)))+a_res;
a_res = a_res./(max(max(a_res)));

ID_matrix(1:5,1:5) = NaN;
top_corr = 0;
top_corr_img = 0;
count = 0;
for ir = 1:1:1
    N_count = 1;
    N_img_type = 1;
    N_img_obj = 1;
    while(N_count)
        % N_count = 0;
        count = count + 1;
        clc;
        display(['Count=', num2str(count)]);
        display(['N_img_type=', num2str(N_img_type)]);
        display(['N_img_obj=', num2str(N_img_obj)]);

        b =
~imread(['all_img/img_', num2str(N_img_type), '_', num2str(N_img_obj), '.bmp']);
        b = imresize(b,[N N], 'bicubic');

```

```

%b = imrotate(uint8(b),0,'bicubic','crop');

if(flag3)
    for i = 1:N
        for j = 1:N
            a(i,j) = a_res(i,j);%+rand()*0;
            %b = awgn(b,'measured');
        end
    end
end
SN_db(count) = round(((−30+ir/10))*10,0)/10;
%a = awgn(a_res,SN_db(count),'measured','db');
%a_max = max(max(a));
%a = (a + a_max)./a_max;

b_res = imrotate(uint8(b),0,'bicubic','crop');

[c_mass, c(count)] = CalcCorrRotate(b,a_res,0.5);
%c(count) = abs(round(corr2(a,b_res)*10000,0)/100);

if(c(count) > top_corr)
    top_corr = c(count);
    top_corr_img = uint8(b);
    ID_num = [N_img_type N_img_obj];
end

if(visual)
    cla(axes_eq_1);
    cla(axes_eq_2);
    surf(a,'parent',axes_eq_1,'FaceColor','interp','LineStyle','none');
    surf(b_res,'parent',axes_eq_2,'FaceColor','interp','LineStyle',':');
    title(axes_eq_2,['K_{corr}=',num2str(c(count)),'%']);
    cla(axes1_corr);
    %plot(c,'parent',axes1_corr,'LineWidth',2);

plot(ID_matrix(1,:), 'parent', axes1_corr, 'LineWidth', 2, 'DisplayName', 'воздушное судно');

plot(ID_matrix(2,:), 'parent', axes1_corr, 'LineWidth', 2, 'DisplayName', 'крыло');

plot(ID_matrix(3,:), 'parent', axes1_corr, 'LineWidth', 2, 'DisplayName', 'хвостовое оперение');

plot(ID_matrix(4,:), 'parent', axes1_corr, 'LineWidth', 2, 'DisplayName', 'фюзеляж');

plot(ID_matrix(5,:), 'parent', axes1_corr, 'LineWidth', 2, 'DisplayName', 'двигатель');
legleg = legend(axes1_corr, 'show');
legleg.FontName = 'Times';
legleg.FontSize = 11;
legleg.Location = 'eastoutside';

if(eq_anim_write_avi==1)
    ng = ng + 1;
    frame(ng) = getframe(figure3);    % get frame
    writeVideo(v, frame(ng));
else
    getframe();
end
cla(axes_print_eq);
text(20, 10,
0.2, ['K_{corr_{max}}=', num2str(max(c)), newline(), 'K_{corr_{min}}=', num2str(min(c))

```

```

], 'HorizontalAlignment', 'left', 'FontSize', 10, 'EdgeColor', [0 0
0], 'Parent', axes_print_eq)
    end

    ID_matrix(N_img_type, N_img_obj) = c(count);

    if(N_img_type == 5)
        if(N_img_obj < 3)
            N_img_obj = N_img_obj + 1;
        else
            N_count = 0; %% конец
        end
    else
        if(N_img_obj < 5)
            N_img_obj = N_img_obj + 1;
        else
            N_img_obj = 1;
            N_img_type = N_img_type + 1;
        end
    end
end
end

if((r_img(1) == ID_num(1)) && (r_img(2) == ID_num(2)))
    N_succ = N_succ + 1;
else
    N_err = N_err + 1;
end
end

P_si = N_succ/num_c;
P_err = N_err/num_c;

cla(axes_eq_1);
cla(axes_eq_2);
surf(a, 'parent', axes_eq_1, 'FaceColor', 'interp', 'LineStyle', 'none');
surf(top_corr_img, 'parent', axes_eq_2, 'FaceColor', 'interp', 'LineStyle', ':');
title(axes_eq_2, ['Корреляция = ', num2str(top_corr), '%'], 'FontSize', 12);
%title(axes_eq_2, ['K_{corr}=', num2str(c(count)), '; O/N_{dB} = ', num2str(SN_db(count))]);
cla(axes1_corr);
plot(ID_matrix(1,:), 'parent', axes1_corr, 'LineWidth', 2, 'DisplayName', 'воздушное судно');
plot(ID_matrix(2,:), 'parent', axes1_corr, 'LineWidth', 2, 'DisplayName', 'крыло');
plot(ID_matrix(3,:), 'parent', axes1_corr, 'LineWidth', 2, 'DisplayName', 'хвостовое оперение');
plot(ID_matrix(4,:), 'parent', axes1_corr, 'LineWidth', 2, 'DisplayName', 'фюзеляж');
plot(ID_matrix(5,:), 'parent', axes1_corr, 'LineWidth', 2, 'DisplayName', 'двигатель');
legleg = legend(axes1_corr, 'show');
legleg.FontName = 'Times';
legleg.FontSize = 11;
legleg.Location = 'eastoutside';

for i = 1:4
    ID_mean(i) = mean(ID_matrix(i,:));
end
ID_mean(5) = mean(ID_matrix(5,1:3));
ID_mean

if(eq_anim_write_avi==1)
    ng = ng + 1;
    frame(ng) = getframe(figure3); % get frame
    writeVideo(v, frame(ng));
end

```

```

else
    getframe();
end
cla(axes_print_eq);
text(20, 10,
0.2, ['K_{corr_{max}}=', num2str(max(c)), newline(), 'K_{corr_{min}}=', num2str(min(c))
], 'HorizontalAlignment', 'left', 'FontSize', 10, 'EdgeColor', [0 0
0], 'Parent', axes_print_eq)

if (eq_anim_write_avi == 1)
    close(v)
end

%%
figure(1);
surf(a, 'FaceColor', 'interp', 'LineStyle', 'none');
%display(['corr=', num2str(max(c))]);
%%
if(ggif) % .gif
    for ngif = 2:size(frame,2)
        [A,map] = rgb2ind(frame2im(frame(ngif)),256);
        if ngif == 2
            imwrite(A,map,'test1.gif','gif','LoopCount',1,'DelayTime',0.5);
        else
            imwrite(A,map,'test1.gif','gif','WriteMode','append','DelayTime',0.5);
        end
    end
end
end

function [figure2, axes2_1, axes2_2, axes1_corr, axes1_2_print] =
CreateFig_find_obj(N)
    figure2 = figure(2);
    clf(figure2);
    set(figure2, 'Units', 'normalized');

    set(figure2, 'PaperOrientation', 'landscape', 'PaperType', 'a4', 'PaperPositionMode', 'm
anual', 'PaperUnits', 'points', 'PaperSize', [1050 630], 'Renderer', 'opengl');
    set(figure2, 'Color', [1 1 1])

    axes2_1 = axes('Parent',figure2);
    axes2_2 = axes('Parent',figure2);

    set(axes2_1, 'units', 'normalized', 'FontSize', 9, 'FontName', 'Times', 'FontWeight', 'bol
d'); %положения осей измеряется в нормализованных единицах

    set(axes2_2, 'units', 'normalized', 'FontSize', 9, 'FontName', 'Times', 'FontWeight', 'bol
d');
    set(axes2_1, 'position', [0.05 0.25 0.4 0.85]); %задаем положения и размеры
осей
    set(axes2_2, 'position', [0.55 0.25 0.4 0.85]);

    axes1_2_print = axes('Parent',figure2, 'XLim', [0 100], 'YLim', [0 50], 'YDir',
'reverse', 'XAxisLocation', 'top');
    set(axes1_2_print, 'units', 'normalized'); %положения осей измеряется
в нормализованных единицах
    set(axes1_2_print, 'position', [0.82 0.05 0.15 0.25], 'XTick', [], 'YTick', []);
    box(axes1_2_print, 'on');
    set(axes1_2_print, 'visible', 'off');

```

```

axes1_corr = axes('Parent',figure2);
set(axes1_corr,'units','normalized','FontSize',9,'FontName','Iskoola
Pota','FontWeight','bold');           %положения осей измеряется в нормализованных
единицах
set(axes1_corr,'position',[0.06 0.08 0.75 0.25]);
box(axes1_corr,'on');
set(axes1_corr,'visible','on');
ylim(axes1_corr,[0 100]);
hold(axes1_corr,'on');
grid(axes1_corr,'on');
grid(axes1_corr,'minor');

view(axes2_1,[0 90]);
hold(axes2_1,'on');
xlim(axes2_1,[1 N]);
ylim(axes2_1,[1 N]);
view(axes2_2,[0 90]);
hold(axes2_2,'on');
xlim(axes2_2,[1 N]);
ylim(axes2_2,[1 N]);
colorbar('peer',axes2_1,'eastoutside'); %southoutside
colorbar('peer',axes2_2,'eastoutside');
axis(axes2_1,'square');
axis(axes2_2,'square');
box(axes2_1,'on');
box(axes2_2,'on');
end

function [c,c_max] = CalcCorrRotate(b,a,step)

count = 0;
for i = 0:step:360
    count = count + 1;
    b = imrotate(uint8(b),i,'bicubic','crop');
    c(count) = abs(round(corr2(a,b)*10000,0)/100);
end
c_max = max(c);

end

```