

**МИНИСТЕРСТВО ПО РАЗВИТИЮ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ И
КОММУНИКАЦИЙ РЕСПУБЛИКИ УЗБЕКИСТАН**

**НУКУССКИЙ ФИЛИАЛ ТАШКЕНТСКОГО УНИВЕРСИТЕТА
ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ
ИМЕНИ МУХАММАДА АЛ-ХОРАЗМИЙ**

Кафедра «Информационные технологии»

направление Компьютерный инжиниринг («Компьютерный инжиниринг»)

Допуск к защите
Заведующий кафедрой
Торениязова А.

« ____ » _____ 2019 г.

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА

на тему

**«РАЗРАБОТКА ПРИКЛАДНЫХ ПРОГРАММ ОПРЕДЕЛЕНИЯ
ЦЕЛЕЙ РАДИОЛОКАЦИОННЫХ КОМПЛЕКСОВ»**

Выполнил:

Турсынбаев И.

Научный руководитель:

Утениязов Р.

СОДЕРЖАНИЕ

Введение	3
Глава I. Анализ существующих радиолокационных систем	5
1. Принцип работы и типы существующих радиолокационных систем	5
2. Сравнение преимуществ и недостатков существующих радиолокационных систем	11
3. Применяемые методы для определения расстояния до объекта в радиолокационных системах	17
4. Анализ и выбор языка программирования для создания прикладной программы определения целей радиолокационных систем	24
Глава II. Разработка прикладных программ на основе модифицированного алгоритма определения целей радиолокационными комплексами	25
1. Оптимальный алгоритм для определения расстояния до объекта..	25
2. Разработка модифицированного алгоритма для определения расстояния до объекта	40
3. Разработка протокола передачи и приема данных	47
4. Разработка структурной схемы аппаратно – программного комплекса РЛС	52
Глава III. Программная реализация алгоритма определения расстояния до объекта	56
1. Разработка структуры программного комплекса	56
2. Разработка алгоритмов работы программного комплекса	58
3. Программная реализация математических моделей	64
4. Основная структура и состав прикладной программы	67
5. Описание интерфейса пользователя	71
Заключение.....	77
Список используемой литературы	78
Приложение.....	81

Введение

Руководство Узбекистана считает приоритетной задачей внедрение и использование информационно-коммуникационных технологий в различных отраслях социально-экономической жизни общества. С первых дней независимости руководство страны уделяет особое внимание совершенствованию сферы услуг связи, а также обеспечению их интенсивного развития.

В настоящее время и на перспективу во многих практических приложениях актуальна проблема обеспечения безопасности объектов хозяйственной, общественной и другой принадлежности от опасности, которая может исходить со стороны различных объектов, движущихся в воздушном пространстве (воздушных объектов).

Для обеспечения безопасности наземных объектов могут применяться различные меры и средства защиты. Обычно первоочередной мерой защиты является своевременное предупреждение защищаемых объектов об опасности.

Для обеспечения такого информирования защищаемые объекты должны располагать специальными техническими или иными средствами наблюдения воздушного пространства.

На практике широко применяются радиоэлектронные средства наблюдения, использующие различные участки общего диапазона электромагнитных волн, а также акустоэлектронные средства.

Наибольшее распространение получили средства радиолокационного, радиотехнического, оптикоэлектронного (в инфракрасном, видимом, ультрафиолетовом диапазонах) наблюдения контролируемого пространства. Выбор тех или иных средств определяется спецификой решаемой задачи наблюдения и защиты.

Существует множество способов классификации радиолокационных комплексов (РЛС). В частности они могут классифицироваться по

назначению, характеру принимаемого сигнала, способу обработки, архитектуре и т.д. В самом общем виде РЛС делят на информационные и управляющие. К первым относятся системы для сбора информации о наблюдаемых воздушных, космических и наземных объектах.

Актуальность темы. В настоящее время в комплексах обеспечения безопасности промышленных объектов в составе систем охранного наблюдения широкое практическое применение находят системы определения расстояния до объекта и параметров объектов (ОРОПО), например, для контроля перемещения объектов в помещении или в пределах определённой зоны.

В работе рассматривается решение задачи защиты наземных объектов от воздушных угроз. Данная задача решается методом своевременного предупреждения об угрозе с помощью радиолокационных средств наблюдения воздушного пространства.

В составе средств защиты используется радиолокационная станция (РЛС) обнаружения воздушных объектов.

При решении задачи защиты наземных объектов методом радиолокационного предупреждения важное значение имеют технические характеристики используемой РЛС, влияющие на достоверность обнаружения, измерения координат целей воздушных объектов.

При обнаружении объекта с помощью РЛС большое значение имеет определение системой РЛС с высокой степенью точности как можно большего числа его параметров: размера, скорости объекта, удалённости от РЛС и т.д., для их последующего анализа и сравнения базой данных существующих объектов.

Поэтому разработка модифицированного алгоритма, анализа эффективности различных алгоритмов, протокола передачи и приема данных для определения расстояния до объекта по результатам радиолокационного наблюдения является актуальной задачей.

ГЛАВА I. Анализ существующих радиолокационных систем

1.1. Принцип работы и типы существующих радиолокационных систем

Процесс обнаружения объектов в пространстве и определение их координат радиотехническими методами называется радиолокацией. Приборы, обеспечивающие радиолокацию объектов в пространстве, называются радиолокационными станциями (РЛС).

По принципу устройства и работы различают несколько видов РЛС – активные и пассивные. В обоих случаях полезная информация от объекта доставляется радиосигналами, приходящими от объекта к РЛС. Пассивная РЛС содержит только антенну и приемник. В состав активной РЛС кроме антенны и приемника входит передатчик.

Для радионавигации на море используется и совершенствуется лишь один вид – активная импульсная двухкоординатная РЛС .

В качестве индикатора используется электронно-лучевая трубка (ЭЛТ) с яркостной отметкой или жидкокристаллический дисплей (на некоторых современных станциях).

Эхо-сигнал, усиленный в приемнике РЛС и преобразованный в видеоимпульс, попадая на ЭЛТ, увеличивает интенсивность электронного потока луча, падающего на люминофор экрана ЭЛТ.

Морские навигационные РЛС измеряют два параметра в полярной системе координат:

- расстояние до объекта и направление на объект (курсовой угол или пеленг).

Измерение расстояний производится амплитудным (импульсным) способом. Расстояние до объекта определяется измерением времени t_D от момента излучения «зондирующего» импульса до приема

соответствующего отраженного импульса. Время t_D определяется как время прохождения импульса до объекта и обратно:

$$t_D = \frac{2 \cdot D}{c}, \quad (1.1)$$

где D – расстояние до объекта;

c – скорость распространения радиоволн.

Определив время t_D , и зная скорость распространения радиоволн, определим расстояние до объекта по формуле:

$$D = \frac{c \cdot t_D}{2} \quad (1.2)$$

Для измерения расстояния до объекта формируется электронная шкала дальности в виде яркостных отметок на развертке.

Определение угловых координат объектов основывается на использовании антенны остронаправленного действия. В морской радиолокации применяется амплитудный метод максимума. При пеленгации по методу максимума антенна плавно поворачивается, и отсчет угла цели производится в тот момент, когда амплитуда сигнала на входе приемника достигает максимума.

В современных станциях реализовано автоматическое слежение за объектом по дальности и углу .

Принцип действия импульсной РЛС.

Импульсный метод в радиолокации позволяет довольно просто одновременно наблюдать несколько объектов, расположенных в зоне действия РЛС, так как эхо-сигналы смещены во времени в зависимости от дальности до объекта.

Решение этой задачи при непрерывном излучении приводит к большому усложнению аппаратуры. Он позволяет измерить большие расстояния при небольших размерах приборов и использовать для передачи и приема сигналов одну и ту же антенну.

Эти причины, несмотря на недостатки присущие методу, являются решающими в выборе импульсного метода для построения морских навигационных РЛС .

$$D_{РЛС} = \frac{c \Delta t}{2} \text{ - Формула определения}$$

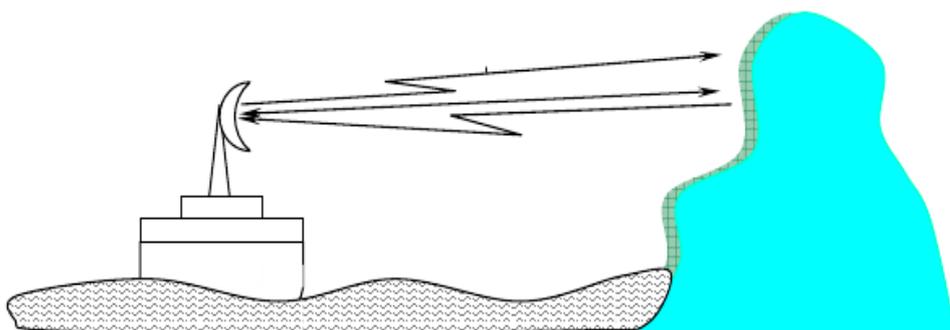


Рисунок 1.1. Принцип работы РЛС

Состав и размещение приборов импульсной радиолокационной станции. Импульсная РЛС (рис.1) содержит следующие основные составные части:

- синхронизатор, вырабатывающий последовательность запускающих синхроимпульсов, управляющих работой передатчика, индикатора и схемы временной автоматической регулировки усиления (ВАРУ);
- приемника; передатчик, состоящий из импульсного модулятора и генератора СВЧ, который под действием синхроимпульсов генерирует мощные «зондирующие» импульсы СВЧ;
- антенное устройство, имеющее пеленгационную характеристику с острым максимумом, вращающаяся часть которого сканирует пространство в пределах 360°;
- антенный переключатель, коммутирующий антенну с передачи на прием и обратно, приемник, усиливающий принятые отраженные

эхо-сигналы и преобразующий их в видеоимпульсы, которые поступают на индикатор;

- блок передачи углового положения антенны на индикатор;
- индикатор, отображающий навигационную обстановку и позволяющий определить координаты объектов.

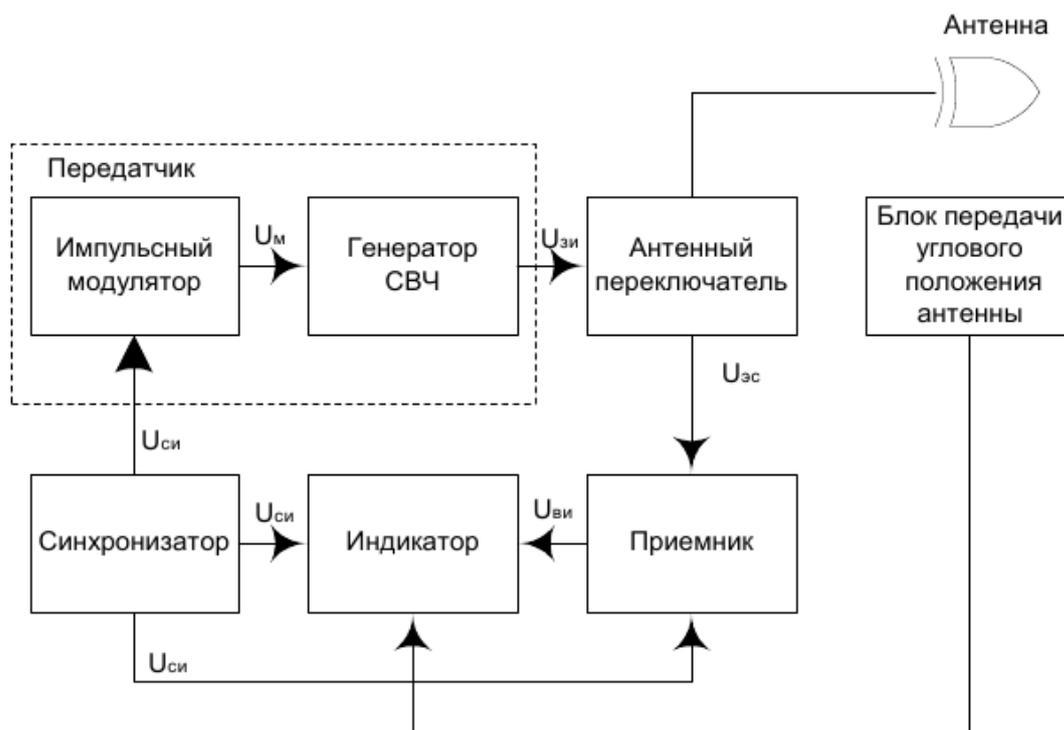


Рисунок 1.2. Структурная схема импульсной РЛС

РЛС классифицируют по следующим признакам:

- происхождению радиосигнала, принимаемого приемником РЛС (активные РЛС (с активным и пассивным ответом), полуактивные и пассивные РЛС);
- используемому диапазону РВ (РЛС декаметрового, метрового, дециметрового, сантиметрового и миллиметрового диапазонов);
- виду зондирующего сигнала (РЛС с непрерывным (немодулированным или частотно-модулированным) и импульсным (некогерентным, когерентным – пульсным с

большой и малой скважностью, с внутриимпульсной частотной или фазовой модуляцией) излучением);

- числу применяемых каналов излучения и приема сигналов (одноканальные и многоканальные с частотным или пространственным разделением каналов);
- числу и виду измеряемых координат (одно-, двух- и трехкоординатные);
- способу измерения, отображения и съема координат объекта;
- месту установки РЛС (наземные, корабельные, самолетные, спутниковые);
- функциональному назначению РЛС (от малогабаритных переносных РЛС измерения скорости автомобилей до огромных наземных РЛС систем противовоздушной (ПВО) и противоракетной (ПРО) обороны).

Перечислим основные типы наземных, корабельных и самолетных РЛС различного назначения .

Основные типы наземных РЛС:

- обнаружения воздушных целей и наведения на них истребителей;
- управления воздушным движением (обзорные и диспетчерские);
- управления зенитной артиллерией и ЗУР;
- обнаружения минометов;
- метеорологические;
- обзора акватории порта;
- обзора летного поля;

Основные типы корабельных РЛС:

- обеспечения кораблевождения;
- обнаружения и определения координат высоколетящих самолетов;
- управления ЗУР и зенитной артиллерией;

- обнаружения и определения координат БР и ИСЗ.

Основные типы самолетных РЛС:

- радиолокационные дальномеры;
- радиовысотомеры;
- РЛС обнаружения самолетов и предотвращения столкновений;

По назначению РЛС подразделяют на обзорные и следящие.

Обзорные РЛС применяют для обнаружения и измерения координат всех целей в данной области пространства или земной поверхности, а также для управления воздушным движением (УВД) ПВО и ПРО, разведки, получения метеорологической информации и т.п.

Следящие РЛС выполняют функцию точного и непрерывного определения координат одной или ряда целей. Полученная РЛС информация используется, например, для наведения оружия на цель или для управления объектом.

Различают автономные и неавтономные системы и устройства.

Автономные работают самостоятельно без помощи других радиоэлектронных устройств и не используют радиолиний, связывающих бортовую аппаратуру данного объекта с внешними по отношению к нему системами и устройствами. В таких радиосистемах реализуется принцип однопозиционной радиолокации, т.е. информация об элементах извлекается из отраженного от земной поверхности или цели сигнала.

Неавтономные имеют в своем составе как бортовую аппаратуру, установленную на объекте, так и связанную с ней радиолинией аппаратуру специальных радиоустройств, размещаемых в наземных пунктах или на других объектах, т.е. реализуется принцип многопозиционной радиолокации[.

Основными характерными признаками сигнала являются вид излучаемого (зондирующего) сигнала (непрерывный или импульсный), тип модуляции, динамический диапазон мощности, ширина спектра и др.

По виду измеряемого элемента различают угломерные, дальномерные и разностно-дальномерные устройства, а также устройства измерения скорости.

Приведенная классификация включает далеко не все используемые типы РЛС. Однако и перечисленных типов достаточно для характеристики широты и многообразия применения радиолокационных средств.

1.2. Сравнение преимуществ и недостатков существующих радиолокационных систем

В настоящее время разработано несколько видов радиолокационных систем для определения расстояния до объекта, из которых широко распространены системы «ФАРА-ПВ», «Кредо-1Е», «Кредо-М1».

Рассмотрим структуру работы этих систем.

1. Портативная радиолокационная система ближней разведки с панорамным индикатором «ФАРА-ПВ»



Рис. 1.3. Портативная РЛС «Фара – ПВ»

Назначение

- обнаружение движущихся наземных целей (людей, автобронетехники) с целью охраны территории границы;
- ведение разведки на местности, в том числе в труднодоступных районах местности.

РЛС работает в любое время суток и года, в том числе при отсутствии оптической видимости (в тумане, при запылении или задымлении атмосферы, снегопаде).

Конструктивные особенности РЛС:

- автоматическое обнаружение движущихся целей;
- отображение местоположения движущихся целей на панорамном цветном индикаторе пульта управления;
- определение координат движущихся целей в полярной и декартовой системах координат;
- автоматическая выдача сигнала тревоги при обнаружении цели;
- высокая скрытность работы РЛС.

Небольшая масса носимого комплекта РЛС позволяет обеспечивать переноску РЛС одним человеком, в случае необходимости — двумя. РЛС приспособлена для перевозки любыми видами наземного, водного и воздушного транспорта.

Для ведения информативности разведки и обеспечения оперативного принятия мер по пересечению несанкционированного проникновения в контролируемую зону, РЛС Фара-ПВ может быть дополнительно укомплектована средствами видеонаблюдения и передачи разведанных в вышестоящие звенья управления.

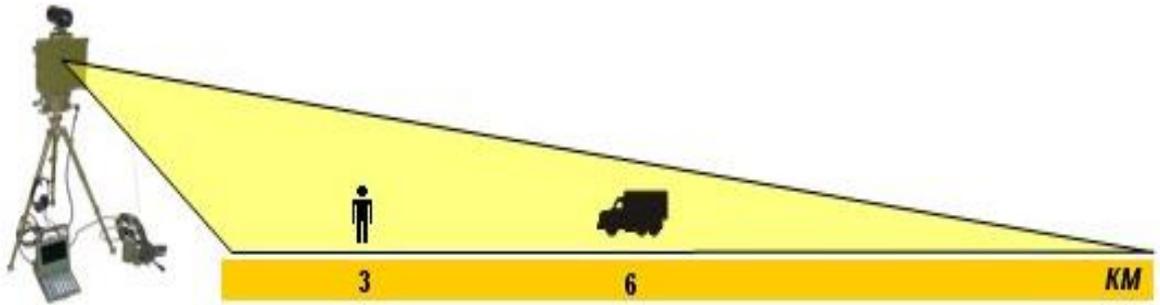


Рис. 1.4. Схематичный принцип работы изделия «Фара-ПВ»

При этом в зоне отображения служебной информации выдаются координаты цели.

2. Унифицированная радиолокационная система разведки движущихся наземных целей «Кредо-1Е».



Рис. 1.5. Унифицированная радиолокационная система разведки движущихся наземных целей «Кредо-1Е»

Назначение

- разведка движущихся наземных и надводных целей (человек, группа людей, технические средства);

- обслуживание стрельбы артиллерии в любое время суток и года, в том числе при отсутствии оптической видимости (в тумане, при запылении или задымлении атмосферы).

РЛС выполнена в соответствии с требованиями военного стандарта и обеспечивает работу в жестких условиях окружающей среды при воздействии дождя, снега, пыли и морского тумана.

Конструктивные особенности РЛС:

Конструкция РЛС предусматривает возможность различных вариантов использования:

- автономное (с размещением приемопередатчика и устройства управления антенной на треноге);
- в составе различных машин артиллерийской разведки, подвижных наблюдательных пунктов.

Наличие режима внешней когерентности позволяет данной РЛС работать при размещении ее на движущихся воздушных носителях (аэростат, вертолет). По желанию Заказчика РЛС «Кредо-1Е» может быть установлена на различные типы транспортных средств, или поставлен комплект необходимого оборудования для установки на какое-либо транспортное средство.

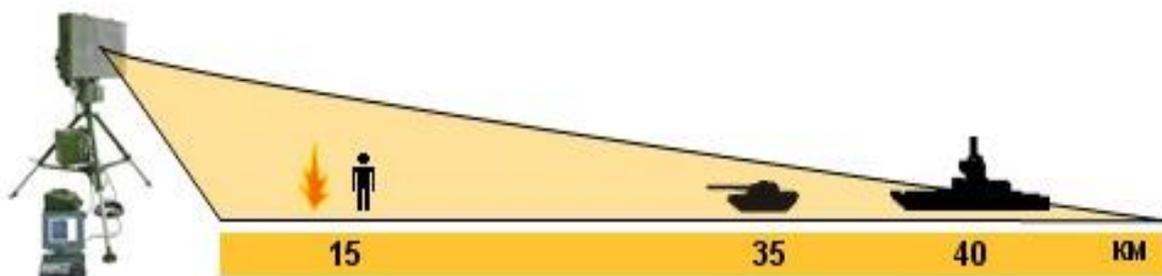


Рис. 1.6. Схематичный принцип работы изделия «Кредо-1Е»

РЛС всепогодна и может эксплуатироваться в различных климатических зонах в течение длительного времени.

Режимы работы:

- ориентирование по буссоли при известных координатах позиции изделия
(координаты позиции могут быть определены по спутниковым сигналам связи);
- ориентирование по известным координатам позиции и известным координатам удаленного местного предмета;
- ориентирование по известному дирекционному углу на местный предмет и известным координатам позиции изделия.

3. Переносная станция наземной разведки «Кредо-М1»



Рис. 1.7. Переносная станция наземной разведки «Кредо-М1»

Назначение

- обнаружение наземных, надводных движущихся целей;

- обслуживание стрельбы артиллерии в любое время суток и года, в том числе при отсутствии оптической видимости (туман, дождь, метель, при запылении или задымлении атмосферы).

РЛС выполнена в соответствии с требованиями военных стандартов и обеспечивает работу в жестких условиях окружающей среды при воздействии дождя, снега, пыли и морского тумана.

Кредо-М1 обеспечивает цветное кодирование целей, ввод цифровой карты местности; формирование контрольных рубежей и запретных зон, а так же автоматическую выдачу сигнала тревоги при нарушении контрольных рубежей.

Основной функциональной особенностью радара является способность выделять информацию о движущихся целях на фоне разнообразного ландшафта (кустарники, травяной покров) и местных предметов, днем и ночью, в сложных метеорологических условиях (дождь, снег, туман, задымление и запыление атмосферы), а также применение унифицированного пульта управления типа Notebook с цветным 11 дюймовым дисплеем и специализированной по рабочим функциям клавиатурой.

Конструктивные особенности

Возможность выноса пульта управления позволяет размещать станцию на мачтах для увеличения радиолокационной видимости, а хорошие прочностные и малые габаритно-весовые характеристики изделия позволяют транспортировать РЛС на любых мобильных носителях и ее десантирование.

РЛС «Кредо-М1» может быть использована как в совмещенном варианте (приемопередатчик удален от пульта управления на расстояние до 6 метров), так и в варианте с выносом приемопередатчика (приемопередатчик удален от пульта управления на расстояние до 25 метров за счет использования катушки для дистанционного управления).

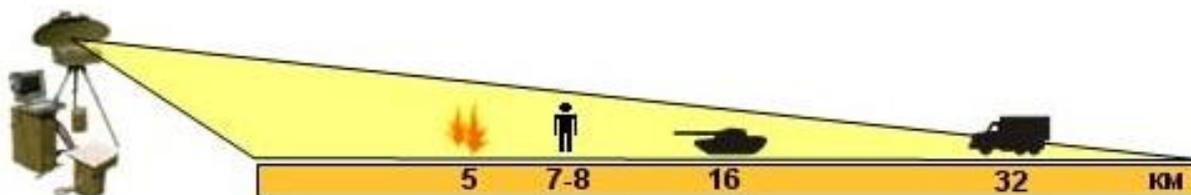


Рис. 1.8. Схематичный принцип работы изделия «Кредо-М1»

Режимы работы:

- введение координат местонахождения РЛС в систему управления и отображения данных.
- вычисление дирекционного угла РЛС по известным координатам предметов на местности.

Проведена программа модернизации изделия с целью улучшения тактико-технических характеристик.

1.3. Применяемые методы для определения расстояния до объекта в радиолокационных системах

Известны различные подходы к классификации методов измерения дальности. В соответствии с параметрами сигналов существуют амплитудный, фазовый или частотный методы измерения.

1. Амплитудный метод

При амплитудном методе измерения определяется время запаздывания характерного изменения амплитуды принимаемого радиолокационного сигнала. Рассмотрим устройство импульсной дальномерной РЛС. Передатчик станции генерирует радиоимпульсы длительностью t_u с периодом повторения T_u (напряжение u_2 на рис.1.10). Антенный переключатель (АП) подсоединяет антенну к передатчику на время генерации (t_u) и к приёмнику на всё остальное время. Отражённые импульсные сигналы запаздывают на время t_D ; на вход приёмника поступают и колебания передатчика и отражённые сигналы (u_3).

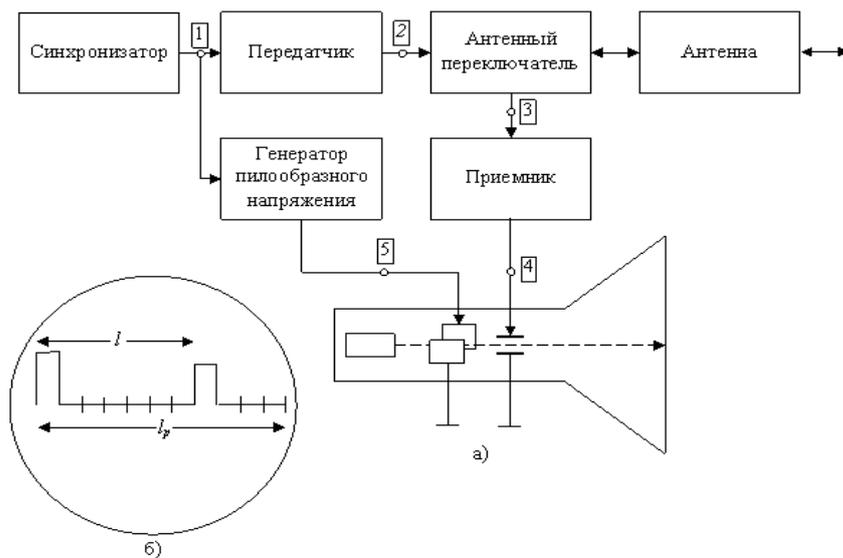


Рис.1.9. Функциональная схема импульсного измерителя дальности (а) изображение сигналов на экране электроннолучевого индикатора (б)

Время запаздывания отражённых сигналов мало (оно составляет тысячные или даже миллионные доли секунды), и обычные часовые механизмы для его измерения непригодны.

Одним из наиболее употребительных приборов для измерения времени запаздывания является электроннолучевая трубка. На рис.1.9, а показана трубка с электростатическим управлением.

К вертикально отклоняющим пластинам трубки подводятся импульсы напряжения с выхода приёмника u_4 ; к горизонтально отклоняющим пластинам от специальной схемы подводится пилообразное напряжение u_5 (рис.1.10). Передатчик и схема создания пилообразного напряжения запускаются одновременно импульсами синхронизирующего устройства, поэтому одновременно с излучением импульса передатчика начинается горизонтальное перемещение пятна по экрану трубки.

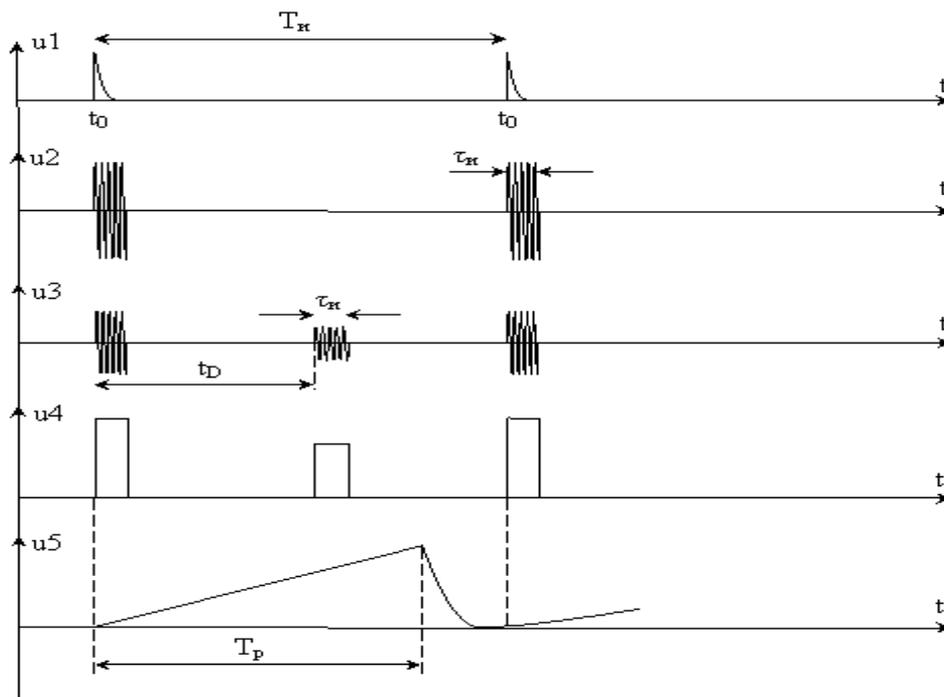


Рис.1.10. Эпюры напряжений в точках 1-5 схемы импульсного дальномера (рис.1.9, а).

Картина, наблюдаемая на индикаторе, иллюстрируется рис.1.9-б, пятно воспроизводит огибающие излучённого и отражённого импульсов, расстояние между которыми « l » пропорционально дальности обнаруженной цели:

$$l = V_{\text{п}} t_D = V_{\text{п}} \frac{2D}{c}, \quad (1.3)$$

где $V_{\text{п}}$ - скорость движения пятна по экрану индикатора, откуда

$$D = \frac{c}{2V_{\text{п}}} l. \quad (1.4)$$

Достоинства импульсных дальномеров:

- возможность построения РЛС с одной антенной;
- простота индикаторного устройства;
- удобство одновременного измерения дальности многих целей;
- простота разделения излучаемых импульсов, длящихся очень малое время t_u , и принимаемых сигналов.

Недостатки импульсного метода:

- необходимость использования больших импульсных мощностей передатчиков;
- невозможность измерения малых дальностей;
- большая минимальная дальность станции (определяющаяся длительностью излучаемых импульсов и временем протекания переходных процессов в антенном переключателе), которая составляет сотни или даже тысячи метров.

2. Частотный метод

Частотный метод определения дальности основан на использовании частотной модуляции излучаемых непрерывных колебаний; время запаздывания определяется путём измерения разности частот излучённых колебаний и отражённого сигнала. Функциональная схема РЛС с частотной модуляцией изображена на рис.1.11.

Генератор высокой частоты, управляемый модулятором, вырабатывает колебания с частотой, изменяющейся по периодическому закону (рис.1.12, сплошная линия).

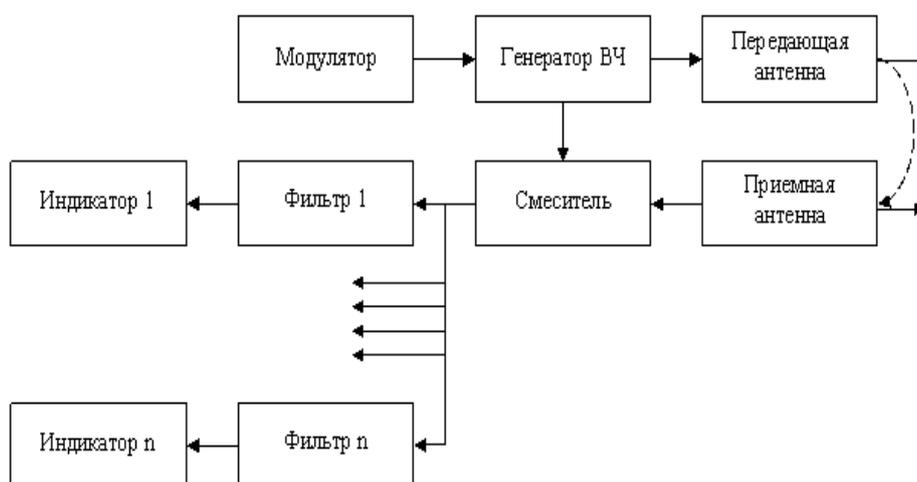


Рис.1.11. Функциональная схема измерителя дальности с частотной модуляцией.

Частота сигнала, отражённого от неподвижной цели, будет изменяться по такому закону, но только со сдвигом по временной оси на время запаздывания t_D . На рис. 1.12, а частота отражённых колебаний показана

штриховой линией. Отражённые сигналы и колебания генератора подводятся к смесителю.

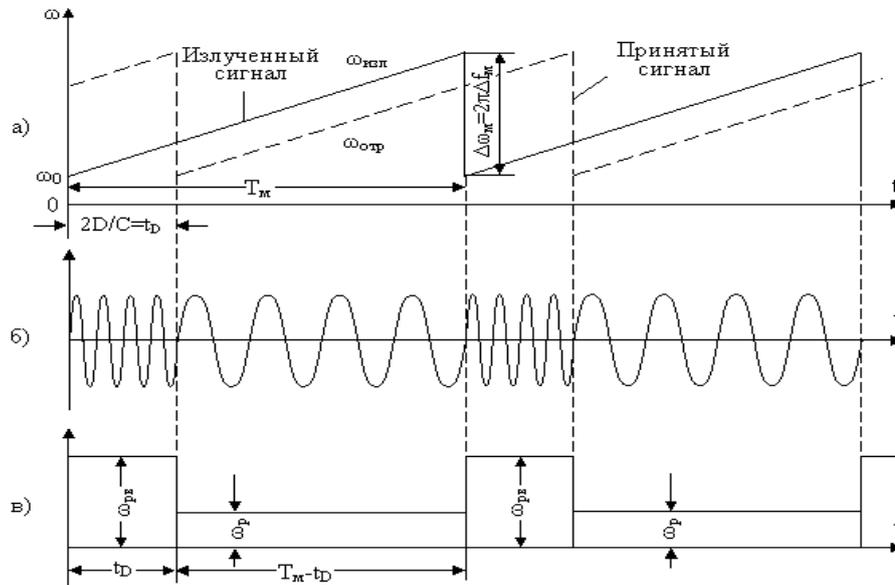


Рис. 1.17. Изменение частоты излучаемых и принимаемых колебаний:

- а) - частоты излучённого и принятого сигнала;
- б) - преобразованный сигнал (биения);
- в) - изменение частоты преобразованного сигнала.

Образующаяся на выходе смесителя разностная частота (рис.1.12, б) (частота биений) пропорциональна дальности цели.

где Dw_m – девиация частоты передатчика, то частота сигнала, отражённого от неподвижной цели, будет равна:

$$\omega_{отр} = \omega_0 + \frac{\Delta \omega_m}{T_m} (t - t_D) = \omega_0 + \frac{\Delta \omega_m}{T_m} (t - \frac{2D}{c}) \quad (1.5)$$

Разностная частота, выделяемая на выходе смесителя,

$$\omega_p = \omega_{изл} - \omega_{отр} = \frac{2\Delta \omega_m}{cT_m} D = \frac{4\pi F_m \Delta f_m}{c} D \quad (1.6)$$

Откуда

$$D = \frac{c \omega_p T_m}{2\Delta \omega_m} = \frac{c f_p}{2\Delta f_m F_m} \quad (1.7)$$

Формулы (1.5) и (1.6) поясняют зависимость между дальностью цели и разностной частотой и позволяют понять сущность метода.

Для измерения разностных частот используются фильтры и счётчики импульсов. При использовании фильтров возможны два варианта: применяется группа фильтров, настроенных на фиксированные частоты, или один фильтр с переменной настройкой.

Попадание сигнала разностной частоты в тот или иной фильтр (на что укажет соответствующий индикатор, например неоновая лампочка) позволит определить дальность цели.

Дальномеры данного типа позволяют определять очень малые дальности и использовать передатчики с малой мощностью излучения.

Недостатки дальномеров с частотной модуляцией:

- необходимость использования либо двух антенн, либо сложного устройства для разделения излучаемых и принимаемых сигналов;
- ухудшение чувствительности приёмника вследствие просачивания в приёмный тракт через антенну излучения передатчика, подверженного случайным изменениям;
- высокие требования к линейности изменения частоты.

3. Фазовые методы

Фазовые методы основаны на измерении разности фаз излучённых синусоидальных колебаний и принятых радиосигналов. Функциональная схема простейшего фазового дальномера изображена на рис.1.18.

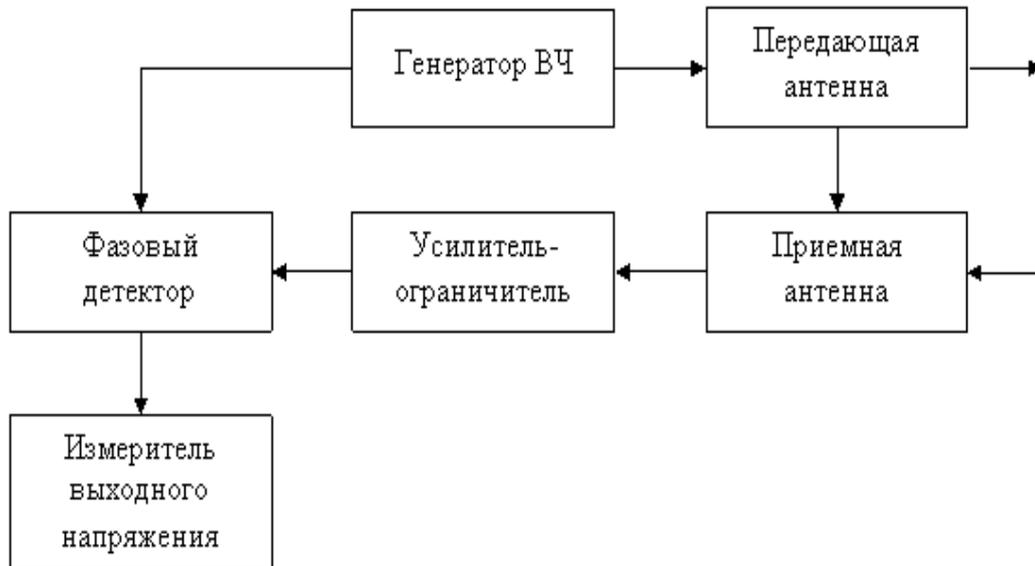


Рис.1.13. Функциональная схема простейшего фазового измерителя дальности.

Генератор создаёт незатухающие колебания частоты ω_0 , излучаемые в пространство. Фаза излучённых колебаний

$$\psi_{изл} = \omega_0 t + \psi_1, \quad (1.8)$$

где ψ_1 - начальное значение фазы.

Фаза принимаемого сигнала

$$\psi_{пр} = \omega_0 (t - t_D) + \psi_{отр} + \psi_{ПЛС} + \psi_1. \quad (1.9)$$

Данное дальномерное устройство характеризуется рядом достоинств:

- требуется малая мощность излучения, так как генерируются незатухающие колебания;
- точность измерения дальности практически не зависит от доплеровского сдвига частоты отражённого сигнала;
- просто само измерительное устройство.

Недостатки:

- отсутствует разрешение по дальности, так как при наличии одновременно двух целей их сигналы отдельно наблюдать нельзя;

- чувствительность приёмника ухудшается вследствие просачивания излучения передатчика;
- необходимы две антенны или система развязки излучаемых и принимаемых колебаний.

1.4. Анализ и выбор языка программирования для создания прикладной программы определения целей радиолокационных систем

Поскольку разрабатываемый программный комплекс разрабатывается для работы под управлением операционной системы WindowsXP, то для удобства разработки и последующей эксплуатации лучше воспользоваться одним из средств RAD, использующих событийно-ориентированное программирование.

В качестве такой системы был выбран продукт язык программирования C#, входящий среду VisualStudio 2010.

Программный продукт обладает всеми достоинствами RAD системы, позволяет использовать преимущества языка программирования C# и создавать серьезные приложения для работы в операционной системе WindowsXP.

Программный продукт C#, входящий среду VisualStudio 2010 позволяет создавать приложения, основным интерфейсным элементом которых является форма – стандартный элемент управления Windows «окно» с уже определенным стилем.

Разрабатываемое приложение проектируется как совокупность таких форм, на которых располагаются остальные элементы управления.

ГЛАВА II. Разработка прикладных программ на основе модифицированного алгоритма определения целей радиолокационными комплексами

2.1. Оптимальный алгоритм для определения расстояния до объекта

На местности расположено некоторое количество объектов, каждый из которых может быть объектом угрозы со стороны некоторого воздушного объекта (ВО). Решается задача защиты наземных объектов от опасного ВО. Для защиты используется специальная наземная радиолокационная станция (РЛС). Задача РЛС - обнаружение ВО, определение объекта угрозы и своевременное предупреждение этого объекта об опасности. Для этого РЛС ведет обзор воздушного пространства путем сканирования антенны с излучением специальных зондирующих сигналов в каждый разрешаемый элемент пространства, обнаруживает эхо-сигналы от ВО, выполняет первичные измерения координат ВО, обнаруживает и сопровождает траекторию ВО.

На основе анализа получаемой таким образом радиолокационной информации совместно с информацией о координатах защищаемых объектов РЛС решает задачу предсказания объекта угрозы (ОУ). Неизбежное наличие случайных ошибок измерений, возникающих, из-за действия на РЛС различных помех и собственных внутриприемных шумов приводит к тому, что процесс предсказания объекта угрозы по результатам радиолокационных измерений носит вероятностный характер.

Эффективность предсказания ОУ характеризуется вероятностями правильного и ложного предсказания (предупреждения) $P_{пл}$ и $P_{лп}$.

Возникает задача математического синтеза алгоритмов принятия решения об объекте угрозы применительно к рассмотренной задаче,

обладающих свойствами оптимальности в смысле некоторого обоснованного критерия.

Пусть в дискретные моменты времени t_1, t_2, t_3, \dots система первичной обработки информация РЛС выполняет измерения координат (x, y, z) воздушного объекта (ВО), движущегося по некоторой траектории в направлении одного из защищаемых объектов (ЗО), расположенных на поверхности земли.

Результат измерения в произвольный момент $t_k, k = 1, 2, \dots$ представим в виде вектора единичного первичного измерения

$$\vec{n}_k = \begin{pmatrix} x_{uk} \\ y_{uk} \\ z_{uk} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} x_{uk} + \tilde{x}_k \\ y_{uk} + \tilde{y}_k \\ z_{uk} + \tilde{z}_k \end{pmatrix}, \quad (2.1)$$

где x_{uk}, y_{uk}, z_{uk} - истинные значения координат ВО в момент t_k ;

$\tilde{x}_k, \tilde{y}_k, \tilde{z}_k$ - ошибки измерения координат x, y, z в момент t_k , индекс « k » обозначает «наблюдаемый».

Считаем, что ошибки измерения некоррелированные во времени и взаимно статистически независимые случайные величины с гауссовским распределением вероятностей, т.е.

$$\tilde{x}_i \sim N\{0, \sigma_{\tilde{x}_i}\}, \quad \tilde{y}_i \sim N\{0, \sigma_{\tilde{y}_i}\}, \quad \tilde{z}_i \sim N\{0, \sigma_{\tilde{z}_i}\},$$

$$M\{\tilde{x}_i \tilde{x}_j\} = \begin{cases} 0, & i \neq j \\ \sigma_{\tilde{x}_i}, & i = j, \end{cases}$$

$$M\{\tilde{y}_i \tilde{y}_j\} = \begin{cases} 0, & i \neq j \\ \sigma_{\tilde{y}_i}, & i = j, \end{cases}$$

$$M\{\tilde{z}_i \tilde{z}_j\} = \begin{cases} 0, & i \neq j \\ \sigma_{\tilde{z}_i}, & i = j. \end{cases}$$

$$M\{\tilde{x}_i \tilde{y}_i\} = 0, M\{\tilde{x}_i \tilde{z}_i\} = 0, M\{\tilde{y}_i \tilde{z}_i\} = 0, i, j = 1, 2, \dots$$

На текущий момент времени t_k РЛС располагает совокупностью наблюдений, $\bar{n}_1, \bar{n}_2, \dots, \bar{n}_k$, которую представим в виде составного вектора:

$$\vec{N}_k = \left\| \left\| \begin{matrix} x_{n1} \\ y_{n1} \\ z_{n1} \end{matrix} \right\|^T \left\| \begin{matrix} x_{n2} \\ y_{n2} \\ z_{n2} \end{matrix} \right\|^T \dots \left\| \begin{matrix} x_{nk} \\ y_{nk} \\ z_{nk} \end{matrix} \right\|^T \right\|^T, \quad (2.2)$$

$$\bar{n}_1 = \left\| \begin{matrix} x_{n1} \\ y_{n1} \\ z_{n1} \end{matrix} \right\|^T, \quad \bar{n}_2 = \left\| \begin{matrix} x_{n2} \\ y_{n2} \\ z_{n2} \end{matrix} \right\|^T, \quad \dots \quad \bar{n}_k = \left\| \begin{matrix} x_{nk} \\ y_{nk} \\ z_{nk} \end{matrix} \right\|^T.$$

Кроме наблюдений \vec{N}_k РЛС располагает информацией о координатах защищаемых объектов $3O^{(1)}, 3O^{(2)}, \dots, 3O^{(m)}$. Координаты объекта $3O^{(m)}$ $m=1, 2, \dots, M$ представим в виде вектора

$$\vec{n}^{(m)} = \left\| \begin{matrix} x^{(m)} \\ y^{(m)} \\ z^{(m)} \end{matrix} \right\| = \left\| \begin{matrix} x_u^{(m)} + \tilde{x}^{(m)} \\ y_u^{(m)} + \tilde{y}^{(m)} \\ z_u^{(m)} + \tilde{z}^{(m)} \end{matrix} \right\|, \quad (2.3)$$

где $x_u^{(m)}$ - истинное значение координаты « x » объекта $3O^{(m)}$;

$\tilde{x}^{(m)}$ - ошибка, с которой на стороне РЛС известна координата « x » объекта $3O^{(m)}$.

Совокупность имеющихся сведений о координатах 3O представим в виде составного вектора

$$\vec{N}_{3O} = \left\| \left\| \begin{array}{c} x^{(1)} \\ y^{(1)} \\ z^{(1)} \end{array} \right\| \left\| \begin{array}{c} x^{(2)} \\ y^{(2)} \\ z^{(2)} \end{array} \right\| \dots \left\| \begin{array}{c} x^{(M)} \\ y^{(M)} \\ z^{(M)} \end{array} \right\| \right\|^T. \quad (2.4)$$

Всю совокупность сведений о координатах ВО и ЗО, имеющуюся у РЛС – наблюдателя в текущий момент t_k , представим в виде полного (расширенного) вектора наблюдений

$$\begin{aligned} \vec{N}_{pk} &= \left\| \vec{n}_1^T \vec{n}_2^T \dots \vec{n}_k^T; \vec{n}^{(1)T} \vec{n}^{(2)T} \dots \vec{n}^{(M)T} \right\|^T = \left\| \vec{N}_k^T N_{3O}^T \right\|^T, \\ \vec{N}_k^T &= \left\| \vec{n}_1^T \vec{n}_2^T \dots \vec{n}_k^T \right\|^T, \\ \vec{N}_{3O}^T &= \left\| \vec{n}^{(1)T} \vec{n}^{(2)T} \dots \vec{n}^{(M)T} \right\|^T. \end{aligned}$$

Таким образом, имеем наблюдения

$$\vec{N}_{pk} = \left\| \vec{N}_k^T \vec{N}_{3O}^T \right\|^T. \quad (2.5)$$

Располагая в момент t_k наблюдениями \vec{N}_{pk} , наблюдатель должен принять решение: какой объект из совокупности ЗО является объектом угрозы.

В соответствии с рекомендациями статистической теории решений для принятия решения об объекте угрозы в рассматриваемой задаче нужно на основе наблюдений \vec{N}_{pk} вычислить апостериорные вероятности

$$P(H^{(m)} / \vec{N}_{pk}), m = 1, 2, \dots, M$$

всех гипотез.

При наличии этих вероятностей решение об объекте угрозы может быть вынесено на основе соотношения

$$P(H^{(m_{oy})} / \vec{N}_{pk}) = \max_{m=1,2,\dots,M} P(H^{(m)} / \vec{N}_{pk}), \quad (2.6)$$

где $m_{oy} = m_{oy}(t_k)$ - номер ЗО – объекта угрозы, или иначе

$$m_{oy} = \arg \max_{m=1,2,\dots,M} \{P(H^{(m)} / \vec{N}_{pk})\} \quad (2.7)$$

Алгоритм расчёта апостериорных вероятностей $P(H^{(m)} / \vec{N}_{pk})$ получим, рассматривая совместное событие $(H^{(m)}, \vec{N}_{pk})$.

Для вероятности этого события справедливо

$$P(H^{(m)}, \vec{N}_{pk}) = P(H^{(m)})P(\vec{N}_{pk} / H^{(m)}) = P(\vec{N}_{pk})P(H^{(m)} / \vec{N}_{pk}), \quad (2.8)$$

где $P(\vec{N}_{pk} / H^{(m)})$ - функция правдоподобия наблюдений по гипотезе $H^{(m)}$,

$m = 1, 2, \dots, M$. Из (2.8) следует

$$P(H^{(m)} / \vec{N}_{pk}) = \frac{P(H^{(m)})P(\vec{N}_{pk} / H^{(m)})}{P(\vec{N}_{pk})} \quad (2.9)$$

здесь

$$P(\vec{N}_{pk}) = \sum_{i=1}^M P(H^{(i)})P(\vec{N}_{pk} / H^{(i)})$$

- полная (усреднённая по всем гипотезам) вероятность получить наблюдения \vec{N}_{pk} .

Поскольку полная вероятность $P(\vec{N}_{pk})$ одинакова для всех гипотез $H^{(m)}$, $m = 1, 2, \dots, M$, вместо (2.7) справедливо соотношение

$$m_{oy}(t_k) = \arg \max \{P(H^{(m)})P(\vec{N}_{pk} / H^{(m)})\} \quad (2.10)$$

$$m = 1, 2, \dots, M$$

Далее будем исходить из предположения, что в рассматриваемой РЛС реализован цифровой съём координат, при котором величины x_k, y_k, z_k $k=1,2,\dots$ квантуются на требуемое число уровней.

При этом вероятность $P(\vec{N}_{pk} / H^{(m)})$ может быть вычислена интегрированием соответствующей плотности распределения вероятностей (п.р.в.)

$$P(\vec{N}_{pk} / H^{(m)}) = \int \dots \int p_{\Omega}(\Phi) d\Phi, \quad (2.11)$$

где

$$\begin{aligned} \Omega &= x_1 \dots x_k, x^{(1)} \dots x^{(M)}, y_1 \dots y_k, y^{(1)} \dots y^{(M)}, z_1 \dots z_k, z^{(1)} \dots z^{(M)}, \\ \Phi &= u_1 \dots u_k, u^{(1)} \dots u^{(M)}, v_1 \dots v_k, v^{(1)} \dots v^{(M)}, w_1 \dots w_k, w^{(1)} \dots w^{(M)}, \\ d\Phi &= du_1 \dots du_k, du^{(1)} \dots du^{(M)}, dv_1 \dots dv_k, dv^{(1)} \dots dv^{(M)}, dw_1 \dots dw_k, dw^{(1)} \dots dw^{(M)}, \end{aligned}$$

u, v, w - независимые переменные для координат x, y, z соответственно;

$P_{\Omega}(\Phi)$ – $3(k+M)$ -мерная п.р.в. непрерывных координат x, y, z ВО.

Интегрирование в (2.11) ведётся в пределах соответствующих зон квантования, используемых при съеме координат с помощью преобразователей «координата – цифровой код».

Введём в рассмотрение вектора:

$$\vec{X}_{nk} = \|x_{n1} x_{n2} \dots x_{nk}\|^T, \vec{Y}_{nk} = \|y_{n1} y_{n2} \dots y_{nk}\|^T, \vec{Z}_{nk} = \|z_{n1} z_{n2} \dots z_{nk}\|^T \quad (2.12)$$

наблюдений по координатам x, y, z , вектора:

$$\begin{aligned}\vec{X}_{30} &= \|x^{(1)}, x^{(2)} \dots x^{(M)}\|^T, \\ \vec{Y}_{30} &= \|y^{(1)}, y^{(2)} \dots y^{(M)}\|^T, \\ \vec{Z}_{30} &= \|z^{(1)}, z^{(2)} \dots z^{(M)}\|^T.\end{aligned}$$

координат защищаемых объектов, а также расширенные вектора:

$$\vec{X}_{npk} = \|\vec{X}_{nk}^T \vec{X}_{30}^T\|^T, \quad \vec{Y}_{npk} = \|\vec{Y}_{nk}^T \vec{Y}_{30}^T\|^T, \quad \vec{Z}_{npk} = \|\vec{Z}_{nk}^T \vec{Z}_{30}^T\|^T$$

наблюдаемых координат. Индекс «*n*» по-прежнему обозначает «наблюдаемый».

С учётом сделанных обозначений фигурирующая в (2.11) п.р.в. может быть записана в более компактном виде

$$\begin{aligned}p_{(\dots)}(\dots / H^{(m)}) &\underline{\underline{\Delta}} p_{\vec{N}_{pk}}(\dots / H^{(m)}) \underline{\underline{\Delta}} \\ &\underline{\underline{\Delta}} p_{\vec{X}_{npk} \vec{Y}_{npk} \vec{Z}_{npk}}(\vec{U}, \vec{V}, \vec{W} / H^{(m)}) \underline{\underline{\Delta}} \\ &\underline{\underline{\Delta}} p_{\vec{X}_{nk}, \vec{X}_{30}, \vec{Y}_{nk}, \vec{Y}_{30}, \vec{Z}_{nk}, \vec{Z}_{30}}(\vec{U}', \vec{U}'', \vec{V}', \vec{V}'', \vec{W}', \vec{W}'' / H^{(m)}),\end{aligned}$$

где

$$\begin{aligned}\vec{U}' &= \|u_1 u_2 \dots u_k\|^T, \quad \vec{V}' = \|v_1 v_2 \dots v_k\|^T, \quad \vec{W}' = \|w_1 w_2 \dots w_k\|^T, \\ \vec{U}'' &= \|u^{(1)} u^{(2)} \dots u^{(M)}\|^T, \quad \vec{V}'' = \|v^{(1)}, v^{(2)} \dots v^{(M)}\|^T, \quad \vec{W}'' = \|w^{(1)} w^{(2)} \dots w^{(M)}\|^T, \\ \vec{U}' &= \|\vec{U}'^T \vec{U}''^T\|^T, \quad \vec{V}' = \|\vec{V}'^T \vec{V}''^T\|^T, \quad \vec{W}' = \|\vec{W}'^T \vec{W}''^T\|^T.\end{aligned}$$

- вектора независимых переменных; знак $\underline{\underline{\Delta}}$ обозначает равенство по обозначению.

При малых размерах зон квантования значения плотности $p_{\vec{N}_{pk}}(\dots / H^{(m)})$ можно считать постоянным в пределах каждой из этих зон, при этом справедливо приближение

$$P(\vec{N}_{pk} / H^{(m)}) = \int \dots \int P_{\vec{X}_{pk} \vec{Y}_{pk} \vec{Z}_{pk}}(\vec{U}, \vec{V}, \vec{W} / H^{(m)}) d\vec{U} d\vec{V} d\vec{W} \approx P_{\vec{X}_{pk} \vec{Y}_{pk} \vec{Z}_{pk}}(\vec{U}, \vec{V}, \vec{W} / H^{(m)}) \int \dots \int d\vec{U} d\vec{V} d\vec{W} \quad (2.13)$$

Точность приближения (2.13) расчёт с увеличением числа уровень квантования в устройствах съёма координат РЛС.

Приближение (2.13) позволяет модифицировать алгоритм (2.10). Поскольку интеграл в правой части (2.13) не зависит от $H^{(m)}$, вместо (2.10) справедливо

$$m_{OY}(t_k) = \arg \max_{m=1,2,\dots,M} \left\{ P(H^{(m)}) p_{\vec{X}_{изл} \vec{Y}_{нрк} \vec{Z}_{нрк}}(\vec{U}, \vec{V}, \vec{W} / H^{(m)}) \right\} \quad (2.14)$$

Алгоритм (2.14) требует для своего применения знания функции правдоподобия $p_{\vec{X}_{изл} \vec{Y}_{нрк} \vec{Z}_{нрк}}(\vec{U}, \vec{V}, \vec{W} / H^{(m)})$ и априорных вероятностей $P(H^{(m)}), m=1,2,\dots,M$ гипотез.

Если априорные вероятности неизвестны, то можно ориентироваться на т.н. «байесовский постулат».

В соответствии с байесовским постулатом неизвестное априорное вероятностное распределение оцениваемого параметра полагается равномерным.

То есть, в данной задаче следует положить

$$P(H^{(m)}) = \text{const}(m) = \frac{1}{M}, m=1,2,\dots,M$$

Если принять байесовский постулат, то алгоритм (2.14) модифицируется к виду

$$m_{OY}(t_k) = \arg \max_{m=1,2,\dots,M} \left\{ p_{\vec{X}_{изл} \vec{Y}_{нрк} \vec{Z}_{нрк}}(\vec{U}, \vec{V}, \vec{W} / H^{(m)}) \right\} \quad (2.15)$$

Этот алгоритм оперирует с функцией правдоподобия

$$L_{\vec{N}_{pk}}(H^{(m)}) \triangleq L_{\vec{X}_{нрк} \vec{Y}_{нрк} \vec{Z}_{нрк}}(H^{(m)}) = p_{\vec{X}_{изл} \vec{Y}_{нрк} \vec{Z}_{нрк}}(\vec{U}, \vec{V}, \vec{W} / H^{(m)}) \quad (2.16)$$

по гипотезе $H^{(m)}$. С учётом введённых обозначений алгоритм (2.15) запишется в виде

$$m_{OV}(t_k) = \arg \max_{m=1,2,\dots,M} \{L_{\bar{N}_{pk}}(H^{(m)})\} \quad (2.17)$$

Полученный алгоритм (2.17) может быть реализован, если известен вид функции правдоподобия $L_{\bar{N}_{pk}}(H^{(m)})$ (2.16).

Далее будем исходить из введённого выше (см. (2.1)) предположения, что результаты известных измерений координат x, y, z взаимно статистически независимы.

Это предположение даёт основание представить многомерную п.р.в. наблюдений по координатам x, y, z в виде произведения

$$p_{\bar{X}_{ipk} \bar{Y}_{ipk} \bar{Z}_{ipk}}(\vec{U}', \vec{V}', \vec{W}' / H^{(m)}) = p_{\bar{X}_{ipk}}(\vec{U} / H^{(m)}) p_{\bar{Y}_{ipk}}(\vec{V} / H^{(m)}) p_{\bar{Z}_{ipk}}(\vec{W} / H^{(m)}).$$

Соответственно функция правдоподобия

$$L_{\bar{N}_{ipk}}(H^{(m)}) = L_{\bar{X}_{ipk}}(H^{(m)}) L_{\bar{Y}_{ipk}}(H^{(m)}) L_{\bar{Z}_{ipk}}(H^{(m)}) \quad (2.18)$$

и алгоритм (2.17) принимает вид

$$m_{OV}(t_k) = \arg \max_{m=1,2,\dots,M} \{L_{\bar{X}_{ipk}}(H^{(m)}) L_{\bar{Y}_{ipk}}(H^{(m)}) L_{\bar{Z}_{ipk}}(H^{(m)})\} \quad (2.19)$$

где

$$L_{\bar{X}_{ipk}}(H^{(m)}) = p_{\bar{X}_{ipk}}(\vec{U} / H^{(m)}),$$

$$L_{\bar{Y}_{ipk}}(H^{(m)}) = p_{\bar{Y}_{ipk}}(\vec{V} / H^{(m)}),$$

$$L_{\bar{Z}_{ipk}}(H^{(m)}) = p_{\bar{Z}_{ipk}}(\vec{W} / H^{(m)}),$$

- функции правдоподобия по координатам x, y, z соответственно.

Введенное предположение, дающее возможность представить функцию правдоподобия (2.16) в виде произведения (2.18), существенно упрощает дальнейшее рассмотрение.

Следует отметить, что это предположение справедливо не всегда. Обычно в практике радиолокационных измерений

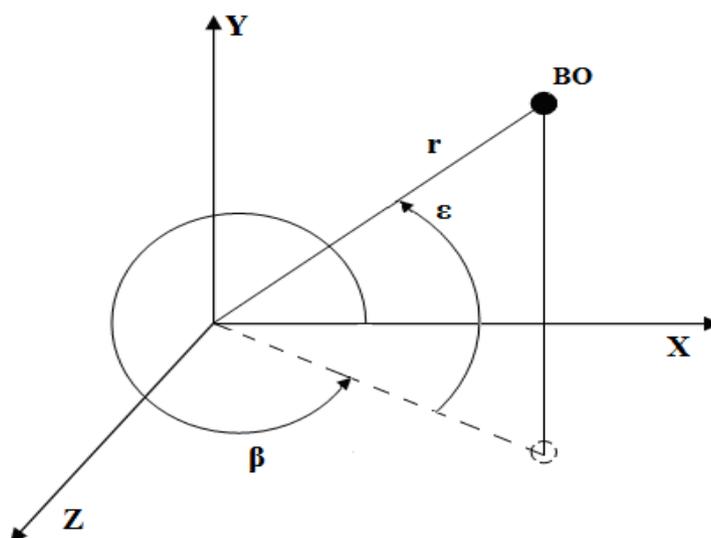


Рисунок 2.1.

взаимно независимыми является измерения сферических координат – углов β (азимут), ε (угол места) и расстояния r до лоцируемых объектов.

Значение прямоугольных координат x , y , z , получаются пересчётом сферических координат по формулам.

Формулы пересчёта координат из сферической системы в местную прямоугольную (см. рисунок 2.2) имеют вид:

$$x = r \cos \varepsilon \cos \beta, \quad y = r \cos \varepsilon \sin \beta, \quad z = r \sin \varepsilon. \quad (2.20)$$

Поскольку при расчёте каждой из декартовых координат x , y , z используются одни и те же величины r, β, ε появляется взаимная зависимость ошибок первичных оценок декартовых координат.

Принятое выше допущение об отсутствии указанной зависимости, дающее возможность перехода от (2.16) к (2.18), оправдывается значительным упрощением процесса синтеза искомого алгоритма и конечного результата синтеза.

Принимая во внимание, что все последующие рассуждения и выкладки одинаковы по отношению к каждой из функций правдоподобия

$L_{\bar{X}_{npk}}(H^{(m)}), L_{\bar{Y}_{npk}}(H^{(m)}), L_{\bar{Z}_{npk}}(H^{(m)})$, далее рассмотрим подробно только одну из этих функций, например $L_{\bar{X}_{npk}}(H^{(m)})$.

Функцию правдоподобия $L_{\bar{X}_{npk}}(H^{(m)})$ представим в виде произведения

$$L_{\bar{X}_{npk}}(H^{(m)}) = L_{\bar{X}_{nk}}(H^{(m)})L_{\bar{X}_{30}/\bar{X}_{nk}}(H^{(m)}), \quad (2.21)$$

где $L_{\bar{X}_{nk}}(H^{(m)}) = p_{\bar{X}_{nk}}(\vec{U}'/H^{(m)})$ - функция правдоподобия наблюдений \vec{X}_{nk} по гипотезе $H^{(m)}$;

$$L_{\bar{X}_{30}/\bar{X}_{nk}}(H^{(m)}) = p_{\bar{X}_{30}/\bar{X}_{nk}}(U''/U', H^{(m)})$$

- функция правдоподобия наблюдений \vec{X}_{30} по гипотезе $H^{(m)}$,

вычисляемая при условии, что в распоряжении РЛС имеются наблюдения

\vec{X}_{nk} . Функцию правдоподобия $L_{\bar{X}_{nk}}(H^{(m)})$ можно представить в виде

произведения

$$L_{\bar{X}_{nk}}(H^{(m)}) = p_{\bar{X}_{npk}}(\vec{U}'/H^{(m)}) = \prod_{i=1}^k p_{\tilde{x}_i}(\tilde{u}_i - x_{ui}^{(m)}), \quad (2.22)$$

где $x_{ui}^{(m)}$ - истинное значение координаты x ВО при условии, что справедливо гипотеза $H^{(m)}$; $p_{\tilde{x}_i}(\dots)$ - п. р. в. ошибок измерения координаты x на i -ом такте. Возможность представления (2.22) из этого факта, что ошибки измерений координат, выполняемых в различных моментах времени, взаимно статистически независимы (см. (2.1)).

Учитывая, что ошибки первичных измерений — гауссовские, получаем

$$L_{\bar{X}_{ik}}(H^{(m)}) = \prod_{i=1}^k \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma_{\bar{x}_i}^2}} \exp\left\{-\frac{(u_i' - x_{ui}^{(m)})^2}{2\sigma_{\bar{x}_i}^2}\right\} = \left(\frac{1}{\sqrt{2\pi}}\right)^k \times \left(\prod_{i=1}^k \frac{1}{\sigma_{\bar{x}_i}}\right) \exp\left\{-\sum_{i=1}^k \frac{(u_i' - x_{ui}^{(m)})^2}{2\sigma_{\bar{x}_i}^2}\right\}. \quad (2.23)$$

Функцию правдоподобия $L_{\bar{X}_{30}/\bar{X}_{ik}}(H^{(m)})$ можно представить следующим образом:

$$L_{\bar{X}_{30}/\bar{X}_{ik}}(H^{(m)}) = p_{\bar{X}_{30}/\bar{X}_{ik}}(\vec{U}''/\vec{U}', H^{(m)}) = p_{\bar{X}_{301}/\bar{X}_{ik}}(\vec{U}_1''/\vec{U}', H^{(m)}) \times p_{x^{(m)}/\bar{X}_{ik}}(u^{(m)}/\vec{U}', H^{(m)}, U_1'') = L_{\bar{X}_{301}/\bar{X}_{ik}}(H^{(m)}) \times L_{x^{(m)}/\bar{X}_{ik}}(H^{(m)}), \quad (2.24)$$

где $\vec{X}_{301} = \|x^{(1)} x^{(2)} \dots x^{(m-1)} x^{(m+1)} \dots x^{(M)}\|^T$ - вектор размера $((M-1) \times 1)$, отличающийся от вектор \vec{X}_{30} отсутствием элемент $x^{(m)}$,

$U_1'' = \|u^{(1)} u^{(2)} \dots u^{(m-1)} u^{(m+1)} \dots u^{(M)}\|$ - вектор размера $((M-1) \times 1)$ независимых переменных, отличающийся от вектора \vec{U}'' отсутствием элемента $u^{(m)}$.

Нетрудно видеть, что содержащийся в (2.24) сомножитель

$$\begin{aligned} \tilde{L}_{\bar{X}_{301}/\bar{X}_{ik}}(H^{(m)}) &= p_{\bar{X}_{301}/\bar{X}_{ik}}(u^{(1)}, \dots, u^{(m-1)}, u^{(m+1)}, \dots, u^{(M)} / \vec{U}', H^{(m)}) = \\ &= \prod_{\substack{i=1 \\ i \neq m}}^M p_{\bar{x}^{(i)}}(u^{(i)} - x_u^{(i)}), \end{aligned} \quad (2.25)$$

где $p_{\bar{x}^{(i)}}(\dots) = N(0, \sigma_{\bar{x}^{(i)}}^2)$ - п.р.в. ошибок измерения координаты «x» объекта $30^{(i)}$, $i=1, 2, \dots, M$; $\sigma_{\bar{x}^{(i)}}$ - среднеквадратическая ошибка измерения координаты «x» для $30^{(i)}$.

В свою очередь сомножитель $L_{x^{(m)}/\bar{X}_{ik}}(H^{(m)})$ имеет вид условной п.р.в.

$$L_{x^{(m)}/\bar{X}_{nk}}(H^{(m)}) = p_{x^{(m)}/\bar{X}_{nk}}(u^{(m)}/\bar{U}', H^{(m)}, \bar{U}'') = p_{x^{(m)}/\bar{X}_{nk}}(u^{(m)}/\bar{U}', H^{(m)}) =$$

$$= \frac{1}{\sqrt{2\pi D(x^{(m)}/\bar{X}_k, H^{(m)})}} \exp\left\{-\frac{[x^{(m)} - M(\bar{X}_k, H^{(m)})]^2}{2D(x^{(m)}/\bar{X}_k, H^{(m)})}\right\} \quad (2.26)$$

- условная гауссовская п. р. в. Параметры этого распределения:

$M[x^{(m)}/\bar{X}_{nk}, H^{(m)}] \triangleq \hat{x}_k^{(m)}$ - условное (апостериорное) математическое ожидание координаты «х» объекта $3O^{(m)}$, вычисляемое по наблюдениям \bar{X}_{nk} в предположении, что объектом угрозы является $3O^{(m)}$ - оптимальная среднеквадратическая экстраполяционная оценка координаты «х» объекта $3O^{(m)}$.

$D[x^{(m)}/\bar{X}_{nk}, H^{(m)}] \triangleq \Delta_{x_k}^{(m)}$ - апостериорная дисперсия экстраполяционной оценки $\hat{x}_k^{(m)}$.

Таким образом, функция правдоподобия (2.21) наблюдений \bar{X}_{npk} относительно гипотезы $H^{(m)}$ может быть представлена произведением трех сомножителей

$$L_{\bar{X}_{npk}}(H^{(m)}) = L_{\bar{X}_{nk}}(H^{(m)}) L_{\bar{X}_{3O1}}(H^{(m)}) L_{x^{(m)}/\bar{X}_{nk}}(H^{(m)}), \quad (2.27)$$

определяемых соответственно соотношениями (2.23), (2.25), (2.26). Действуя аналогично изложенному выше, можно получить также функции правдоподобия $L_{\bar{Y}_{npk}}(H^{(m)})$ и $L_{\bar{Z}_{npk}}(H^{(m)})$, входящие в виде сомножителей в соотношения (2.18) и (2.19). А именно, применительно к координате у:

$$L_{\bar{Y}_{npk}}(H^{(m)}) = L_{\bar{Y}_{nk}}(H^{(m)}) \times L_{\bar{Y}_{3O1}}(H^{(m)}) \times L_{y^{(m)}/\bar{Y}_{nk}}(H^{(m)}),$$

где

$$L_{\bar{Y}_{nk}}(H^{(m)}) = p_{\bar{Y}_{nk}}(\bar{U}'/H^{(m)}) = \prod_{i=1}^k p_{\bar{y}_i}(u'_i - y_{ui}^{(m)}) =$$

$$= \prod_{i=1}^k \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma_{\bar{y}_i}^2}} \exp\left\{-\frac{(u'_i - y_{ui}^{(m)})^2}{2\sigma_{\bar{y}_i}^2}\right\}, \quad (2.28)$$

$$L_{\bar{Y}_{301}/\bar{Y}_{nk}}(H^{(m)}) = p_{\bar{Y}_{301}/\bar{Y}_{nk}}(\bar{U}''/\bar{U}', H^{(m)}) = \prod_{\substack{i=1 \\ i \neq m}}^M p_{\bar{Y}^{(i)}}(u^{(i)} - y_u^{(i)}) \quad (2.29)$$

$$p_{\bar{Y}^{(i)}}(\dots) = N(0, \sigma_{\bar{Y}^{(i)}}^2),$$

$$\begin{aligned} L_{y^{(m)}/\bar{Y}_{nk}}(H^{(m)}) &= p_{y^{(m)}/\bar{Y}_{nk}}(u^{(m)}/\bar{U}', H^{(m)}, \bar{U}''_1) = p_{y^{(m)}/\bar{Y}_{nk}}(u^{(m)}/\bar{U}', H^{(m)}) = \\ &= \frac{1}{\sqrt{2\pi D(y^{(m)}/\bar{Y}_k, H^{(m)})}} \exp\left\{-\frac{[y^{(m)} - M(y^{(m)}/\bar{Y}_k, H^{(m)})]^2}{2D(y^{(m)}/\bar{Y}_k, H^{(m)})}\right\}, \end{aligned} \quad (2.30)$$

$\sigma_{\bar{Y}^{(i)}}$ - среднеквадратическая ошибка первичного измерения координаты «у» в момент t_i .

$M[y^{(m)}/\bar{Y}_{nk}, H^{(m)}] \underline{\Delta} \hat{y}_k^{(m)}$ - апостериорное математическое ожидание координаты «у» защищаемого объекта $3O^{(m)}$, вычисляемое по наблюдениям \bar{Y}_k в предположении, что объектом угрозы является $3O^{(m)}$ - оптимальная среднеквадратическая экстраполяционная оценка координаты «у» объекта $3O^{(m)}$,

$D[y^{(m)}/\bar{Y}_{nk}, H^{(m)}] \underline{\Delta} D_{yk}^{(m)}$ - апостериорная дисперсия экстраполяционной оценки $\hat{y}_k^{(m)}$.

Аналогично применительно к координате «z»:

$$L_{\bar{Z}_{301}}(H^{(m)}) = L_{\bar{Z}_{nk}}(H^{(m)}) L_{\bar{Z}_{301}/\bar{Z}_{nk}}(H^{(m)}) L_{Z^{(m)}/\bar{Z}_{nk}}(H^{(m)}), \quad (2.31)$$

где

$$\begin{aligned} L_{\bar{Z}_{301}}(H^{(m)}) &= p_{\bar{Z}_{301}}(\bar{U}'/H^{(m)}) = \prod_{i=1}^k p_{\bar{z}_i}(u'_i - z_{ui}^{(m)}) = \\ &= \prod_{i=1}^k \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma_{\bar{z}_i}^2}} \exp\left\{-\frac{(u'_i - z_{ui}^{(m)})^2}{2\sigma_{\bar{z}_i}^2}\right\}, \end{aligned} \quad (2.32)$$

$$L_{\bar{Z}_{301}/\bar{Z}_{nk}}(H^{(m)}) = p_{\bar{Z}_{301}/\bar{Z}_{nk}}(\bar{U}''/\bar{U}', H^{(m)}) = \prod_{\substack{i=1 \\ i \neq m}}^M p_{\bar{z}^{(i)}}(u^{(i)} - z_u^i), \quad (2.33)$$

$$p_{\bar{z}^{(i)}}(\dots) = N(0, \sigma_{\bar{z}^{(i)}}^2),$$

$$L_{z^{(m)}/\bar{z}_{nk}}(H^{(m)}) = p_{z^{(m)}/\bar{z}_{nk}}(u^{(m)}/\bar{U}, H^{(m)}) =$$

$$= \frac{1}{\sqrt{2\pi D(z^{(m)}/\bar{z}_k, H^{(m)})}} \exp\left\{-\frac{[z^{(m)} - M(z^{(m)}/\bar{z}_k, H^{(m)})]^2}{2D(z^{(m)}/\bar{z}_k, H^{(m)})}\right\}, \quad (2.34)$$

$\sigma_{z^{(i)}}$ - среднеквадратическая ошибка первичного измерения координаты «z» в момент t_i ;

$M[z^{(m)}/\bar{z}_{nk}, H^{(m)}] \triangleq \hat{z}_k^{(m)}$ - апостериорное математическое ожидание координаты «z» защищаемого объекта $3O^{(m)}$, вычисляемое по наблюдениям \bar{z}_k в предположении, что объектом угрозы является $3O^{(m)}$ - оптимальная среднеквадратическая экстраполяционная оценка координаты «z» объекта $3O^{(m)}$ по наблюдениям \bar{z}_k ,

$D[z^{(m)}/\bar{z}_{nk}, H^{(m)}] \triangleq D_{zk}^{(m)}$ - апостериорная дисперсия экстраполяционной оценки $\hat{z}_k^{(m)}$.

Поскольку как следует из (2.25), (2.29), (2.33) сомножители

$L_{\bar{x}_{3O1}/\bar{x}_{nk}}(H^{(m)})$, $L_{\bar{y}_{3O1}/\bar{y}_{nk}}(H^{(m)})$, $L_{\bar{z}_{3O1}/\bar{z}_{nk}}(H^{(m)})$ не зависят от гипотез $H^{(m)}$, они не влияют на решение (2.19) уравнения правдоподобия (2.6) и поэтому могут быть опущены. С учётом этого уравнение (2.19) имеет вид:

$$m_{OY}(t_k) = \arg \max_{m=1,2,\dots,M} \left\{ L_{\bar{x}_{nk}}(H^{(m)}) L_{x^{(m)}/\bar{x}_{nk}}(H^{(m)}) L_{\bar{y}_{nk}}(H^{(m)}) \times L_{y^{(m)}/\bar{y}_{nk}}(H^{(m)}) L_{\bar{z}_{nk}}(H^{(m)}) L_{z^{(m)}/\bar{z}_{nk}}(H^{(m)}) \right\} \quad (2.35)$$

где сомножители в фигурных скобках определяются соотношениями (2.23), (2.26), (2.28), (2.30), (2.32), (2.34) соответственно.

Полученное решение (2.35) уравнения правдоподобия (2.6) — оптимальное при сделанных выше предположениях.

Трудность его практического применения заключается в том, что для вычисления сомножителей $L_{\bar{x}_{nk}}(H^{(m)})$, $L_{\bar{y}_{nk}}(H^{(m)})$, $L_{\bar{z}_{nk}}(H^{(m)})$ требуется знание истинно траектории ВО на $1, 2, \dots, k$ — *ом* тактах его радиолокационного обнаружения.

Поскольку истинные траектории ВО не могут быть известны, оптимальный алгоритм, основанный на решении (2.35), следует признать нереализуемыми.

С учётом сказанного возникает задача синтеза приближённо оптимальных алгоритмов и их модифицированных вариантов, пригодных для практической реализации.

2.2. Разработка модифицированный алгоритм для определения расстояния до объекта

Основой для разработки алгоритмов определения прогнозируемых точек пересечения траектории ВО с плоскостями промаха, прогнозируемых точек падения ВО, а также прогнозируемых точек постоянного временного упреждения являются алгоритмы экстраполяции траектории ВО по результатам первичных радиолокационных измерений.

Алгоритмы экстраполяции траекторий наблюдаемых объектов являются неотъемлемой составной частью алгоритмического обеспечения систем вторичной (траекторной) обработки информации современных и перспективных РЛС обнаружения воздушных целей.

Подробный обзор алгоритмов вторичной обработки радиолокационной информации содержится.

В частности, рассмотрены алгоритмы, основанные на применении трансверсальной фильтрации и экспоненциального сглаживания.

Широко применяются т.н. α - β - γ фильтры.

Однако наиболее перспективными считаются рекуррентные алгоритмы сглаживания и экстраполяции, основанные на принципах оптимальной линейной фильтрации (алгоритмы Колмановской фильтрации).

С точки зрения рассматриваемой здесь задачи существенным является наличие возможности формирования экстраполяционных оценок

$$\begin{aligned}
\hat{x}_{\varepsilon.k.\tau} \underline{\underline{\Delta}} \hat{x}_{\varepsilon.\tau}(t_k) &= M[x_{BO}(t+\tau) / \vec{X}_{n.k}], \\
\hat{y}_{\varepsilon.k.\tau} \underline{\underline{\Delta}} \hat{y}_{\varepsilon.\tau}(t_k) &= M[y_{BO}(t+\tau) / \vec{Y}_{n.k}], \\
\hat{z}_{\varepsilon.k.\tau} \underline{\underline{\Delta}} \hat{z}_{\varepsilon.\tau}(t_k) &= M[z_{BO}(t+\tau) / \vec{Z}_{n.k}],
\end{aligned}
\tag{2.36}$$

координат ВО на текущем (k - ом) такте наблюдения по результатам первичных радиолокационных измерений (наблюдений) $\vec{X}_{n.k}, \vec{Y}_{n.k}, \vec{Z}_{n.k}$, полученных на момент $t_k, k = 1, 2, \dots$

Конструкцию векторов $\vec{X}_{n.k}, \vec{Y}_{n.k}, \vec{Z}_{n.k}$, см. в п. соотношения (2.12). Экстраполяционные оценки (2.36), например, применительно к координате « x », могут быть сформированы следующим образом. Уравнение прогноза для координаты « x », формируемого в произвольный момент t на момент $t+\tau, \tau > 0$, имеет вид классического соотношения кинематики:

$$x(t+\tau) = x(t) + \dot{x}(t)\tau + \ddot{x}(t)\frac{\tau^2}{2} + \dots, \tag{2.37}$$

где $x(t), \dot{x}(t), \ddot{x}(t)$ - текущее значение, первая производная (скорость) и вторая производная (ускорение) координаты « x ». Будем считать, что все производные выше второй равны нулю, т.е. используем модель движения ВО с постоянным ускорением. В векторно-матричной форме это соотношение имеет вид

$$\vec{X}(t+\tau) = \vec{\Phi}_\tau \vec{X}(t), \tag{2.38}$$

где

$$\vec{\Phi}_\tau = \begin{vmatrix} 1 & \tau & \tau^2/2 \\ 0 & 1 & \tau \\ 0 & 0 & 1 \end{vmatrix}$$

- матрица размера (3x3) перехода динамической системы от состояния, в котором она была в момент « t » к состоянию на момент $t+\tau$,

$$\vec{X}(t) = \begin{Bmatrix} x(t) \\ \dot{x}(t) \\ \ddot{x}(t) \end{Bmatrix}$$

- вектор размера (3x1), компонентами которого являются координата «x» и ее производные. Поскольку величины $x(t), \dot{x}(t), \ddot{x}(t)$ неизвестны, для реализации прогноза на основе соотношения (2.37), (2.38) вместо этих величин нужно использовать их оценки, получаемые из наблюдений. При использовании оценок уравнение (2.37) имеет вид

$$\hat{x}(t + \tau) = \hat{x}_m(t) + \hat{\dot{x}}_m(t)\tau + \hat{\ddot{x}}_m(t)\frac{\tau^2}{2} + \dots + \dots, \quad (2.39)$$

где $\hat{x}_m(t)$ - текущая оценка координаты x ; $\hat{\dot{x}}_m(t)$ и $\hat{\ddot{x}}_m(t)$ - сглаженные оценки скорости и ускорения по координате «x». В векторно-матричной форме это соотношение имеет вид

$$\hat{\vec{X}}(t + \tau) = \vec{\Phi}_\tau \hat{\vec{X}}_m(t),$$

где

$$\hat{\vec{X}}_m(t) = \begin{Bmatrix} \hat{x}_m(t) \\ \hat{\dot{x}}_m(t) \\ \hat{\ddot{x}}_m(t) \end{Bmatrix}.$$

Таким образом, для формирования прогноза значения координаты «x» в момент «t» на момент $t + \tau$ нужно располагать текущими оценками $\hat{x}_m(t)$ координаты, $\hat{\dot{x}}_m(t)$ скорости и $\hat{\ddot{x}}_m(t)$ ускорения ВО. Эти оценки могут быть сформированы разными способами. Наибольший интерес представляют рекуррентные процедуры формирования сглаженных оценок, основанные на алгоритмах фильтрации Калмана-Бьюси.

Постановка задачи сглаживания (фильтрации, текущего оценивания) имеет следующий вид. Пусть имеется процесс $\vec{X}(t_k) = \begin{Bmatrix} x(t_k) \\ \dot{x}(t_k) \\ \ddot{x}(t_k) \end{Bmatrix}^T$,

протекающий в дискретном времени, где $k = 1, 2, 3, \dots$; T -знак транспонирования. Модель процесса соответствует (2.37). Процесс $\vec{X}(t_k)$ наблюдается РЛС, причем последовательность наблюдаемых отсчетов имеет вид

$$\vec{X}_n(t_k) = y(t_k) = \vec{H}\vec{X}(t_k) + \tilde{x}(t_k) = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x(t_k) \\ \dot{x}(t_k) \\ \ddot{x}(t_k) \end{bmatrix} + \tilde{x}(t_k) = x(t_k) + \tilde{x}(t_k). \quad (2.40)$$

Здесь $\vec{H}^T = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \end{bmatrix}$ - матрица размера (1×3) , определяющая состав наблюдаемых величин. В рассматриваемом здесь случае наблюдается только координата $x(t)$, скорость $\dot{x}(t)$ и ускорение $\ddot{x}(t)$ не наблюдаются, они оцениваются по наблюдениям $x_n(t_k), k = 1, 2, 3, \dots$. Ошибки наблюдений $\tilde{x}(t_k), k = 1, 2, 3, \dots$ – гауссовские случайные величины: $\tilde{x}(t_k) = N(0, \sigma_{\tilde{x}k}^2)$ (см. пояснения к (2.1)). Алгоритм фильтрации Калмана, обеспечивающий формирование текущей оценки $\hat{X}_c(t)$, имеет вид следующей совокупности соотношений:

$$\hat{X}_{\Delta T}(t_k) = \vec{\Phi}_T \hat{X}_m(t_{k-1}) \quad (2.41)$$

$$\vec{\psi}_{\Delta T}(t_k) = \vec{\Phi}_T \vec{\psi}_m(t_{k-1}) \vec{\Phi}_T^T, \quad (2.42)$$

$$\vec{K}(t_k) = \vec{\psi}_{\Delta T}(t_k) \vec{H}^T [\vec{H}^T \vec{\psi}_{\Delta T}(t_k) \vec{H}^T + \sigma_{\tilde{x}k}], \quad (2.43)$$

$$\hat{X}_m(t_k) = \hat{X}_{\Delta T}(t_k) + \vec{K}(t_k) [\vec{X}_n(t_k) - \vec{H} \hat{X}_{\Delta T}(t_k)], \quad (2.44)(2.45)$$

$$\vec{\psi}_m(t_k) = \vec{\psi}_{\Delta T}(t_k) - \vec{K}(t_k) \vec{H} \vec{\psi}_{\Delta T}(t_{k-1}).$$

В ЭТИХ

соотношениях $\hat{X}_{\Delta T}(t_k) = \begin{bmatrix} \hat{x}_{\Delta T}(t_k) \\ \hat{\dot{x}}_{\Delta T}(t_k) \\ \hat{\ddot{x}}_{\Delta T}(t_k) \end{bmatrix}$ – экстраполяционная оценка вектора \vec{X} на момент $t_k + T_{обз} = t_{k+1}$, формируемая в момент t_k ; $T_{обз}$ – период обращения РЛС к цели (период обзора);

$\hat{X}_m(t_k) = \begin{bmatrix} \hat{x}_m(t_k) \\ \hat{\dot{x}}_m(t_k) \\ \hat{\ddot{x}}_m(t_k) \end{bmatrix}^T$ – оценка, полученная на текущем такте работы алгоритма фильтрации (текущая оценка),

$\hat{X}_m(t_{k-1}) = \left\| \hat{x}_m(t_{k-1}) \hat{\dot{x}}_m(t_{k-1}) \hat{\ddot{x}}_m(t_{k-1}) \right\|^T$ - текущая оценка, полученная на предыдущем такте (в момент t_{k-1});

$$\vec{\psi}_{\Delta T}(t_k) = \left\| \begin{array}{ccc} \sigma_{\Delta T, x}^2(t_k) & \dots & \dots \\ \dots & \sigma_{\Delta T, \dot{x}}^2(t_k) & \dots \\ \dots & \dots & \sigma_{\Delta T, \ddot{x}}^2(t_k) \end{array} \right\|$$

- корреляционная матрица ошибок экстраполяции на момент $t_k + T$, диагональные элементы этой матрицы представляют собой апостериорные дисперсии ошибок экстраполяции координаты « x », скорости « \dot{x} » и ускорения « \ddot{x} » на момент $t_k + T_{обз}$;

$$\vec{\Phi}_T = \left\| \begin{array}{ccc} 1 & T & T^2/2 \\ 0 & 1 & T \\ 0 & 0 & 1 \end{array} \right\|$$

- матрица перехода динамической системы на момент $t_k + T_{обз}$; $\vec{K}(t_k)$ - коэффициент усиления фильтра Калмана - матрица размера (3x1).

Для экстраполяции координаты « x » на момент $t_k + \tau$, то есть, для получения оценки $\hat{X}_{\Delta T}(t_k) = \left\| \hat{x}_{\Delta T}(t_k) \hat{\dot{x}}_{\Delta T}(t_k) \hat{\ddot{x}}_{\Delta T}(t_k) \right\|$ используется соотношение, вытекающее из (2.38):

$$\hat{X}_{\Delta T}(t_k) = \vec{\Phi}_\tau \hat{X}_c(t_k). \quad (2.46)$$

Начальными значениями для рекуррентного алгоритма (2.41) - (2.45) служат величины $\hat{X}_{\Delta T}(t_1)$ и $\hat{X}_{\Delta T}(t_1)$.

Применительно к координатам « y » и « z » все вычисления аналогичны таковым для координаты « x ». Если возможность формирования оценок

$\hat{X}_{\varepsilon,T}(t_k)$, $\hat{Y}_{\varepsilon,T}(t_k)$, $\hat{Z}_{\varepsilon,T}(t_k)$ имеется, то положение лоцируемого ВО в пространстве может быть прогнозировано на любой момент времени $t_k + \tau$.

Это означает, что сопровождаемая траектория может быть экстраполирована с любым временным упреждением « τ » в направлении движения ВО. Задача заключается в определении требуемых с точки зрения решаемой здесь задачи значений временного упреждения « τ ».

Требуемое значение величины « τ » определяется логикой функционирования полученных выше алгоритмов принятия решения об объекте угрозы. А именно, как следует из п. 2.4, применительно к алгоритму, когда плоскостью промаха относительно $3O^m$, $m=1,2,\dots,M$ является плоскость, проходящая через $3O^m$ перпендикулярно траектории ВО, требуемые значения « τ » должны соответствовать прогнозируемым моментам $t_{кр}^{(1)}, t_{кр}^{(2)}, t_{кр}^{(3)}, \dots, t_{кр}^{(M)}$ пролета ВО на кратчайших расстояниях от $3O^{(1)}, 3O^{(2)}, 3O^{(3)}, \dots, 3O^{(m)}$ соответственно. Следовательно, для обеспечения принятия решения об объекте угрозы в соответствии с алгоритмом требуется на k — *ом* такте прогнозировать координаты ВО на M различных моментов времени: $t^1 = t_k + \tau^{(1)}, t^{(2)} = t_k + \tau^{(2)}, \dots, t^{(M)} = t_k + \tau^{(M)}$. Для вычисления упреждений $\tau^{(1)}, \tau^{(2)}, \tau^{(3)}, \dots, \tau^{(M)}$ требуются оценки скоростей, v_x, v_y, v_z , а также оценки ускорений a_x, a_y, a_z движения ВО по соответствующим координатам. Получение таких оценок предусмотрено в приведенных выше алгоритмах сглаживания координат. Определение момента $t_{кр}^{(m)}$ может быть выполнено, путем изменения величины упреждения « τ » с некоторым достаточно малым шагом и с фиксацией значения « τ », при котором прогнозируемое расстояние между ВО и $3O^m$ (прогнозируемый промах ВО по $3O^m$) принимает наименьшее значение. Возможно применение для определения моментов $t^{(1)}, t^{(2)}, t^{(3)}, \dots, t^{(M)}$ и других методов, например, метода половинного деления.

Применительно к алгоритму, принимающему решение об объекте угрозы по минимуму расстояния от $3O^m$, $m=1,2,\dots,M$ до прогнозируемой точки

падения ВО, требуется прогнозировать координаты ВО только на один момент времени - момент $t_{над}$ падения ВО на поверхность земли. Для этого нужно знать рельеф поверхности в контролируемой РЛС зоне местности. Если карта рельефа в распоряжении РЛС отсутствует, то возможен упрощенный подход, при котором вместо $t_{над}$ определяется момент $t_{гориз}$ пересечения траектории ВО с местной горизонталью. Процедура определения момента $t_{над}$ (или момент $t_{гориз}$) s) аналогична рассмотренной выше.

А именно, величина упреждения « τ » изменяется с достаточно малым шагом до момента, когда прогнозируемое значение координаты « y » ВО станет равным нулю.

Возможны и другие процедуры определения момента $t_{над}$, например, основанные на методе половинного деления.

Модифицированный алгоритм с пониженной вероятностью пропуска угрозы.

На практике возможно наличие дополнительных требований по обеспечению пониженных уровней вероятности пропуска угрозы.

Такие требования могут вытекать из необходимости повышения уровней выживаемости защищаемых объектов при наличии угроз со стороны ВО.

Синтезированные выше алгоритмы характеризуются конечными вероятности вынесения ошибочных решений. Наиболее опасны ошибки в виде пропуска угрозы.

Вероятность таких ошибок определяется вероятностью $P_{н.н}$ правильного предупреждения ЗО – объектов угрозы.

С учетом возможности наличия таких требований возникает задача модификации синтезированных выше алгоритмов в направлении уменьшения вероятности пропуска угрозы.

2.3. Разработка протокола передачи и приема данных

В диссертационной работе был разработан протокол передачи и приема данных для определения расстояния до объекта в радиолокационных системах, описание которого приводится ниже (рис. 2.2.):

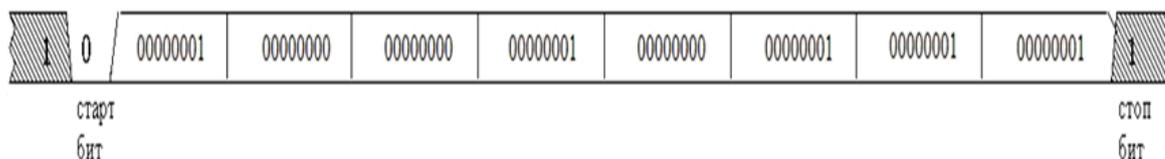
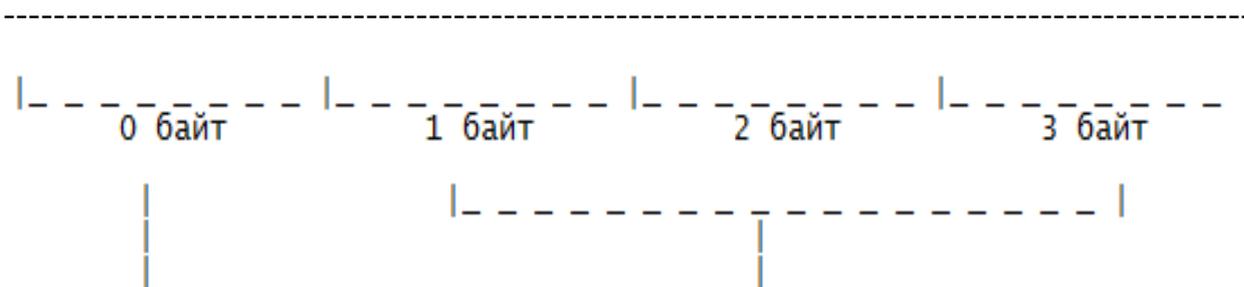
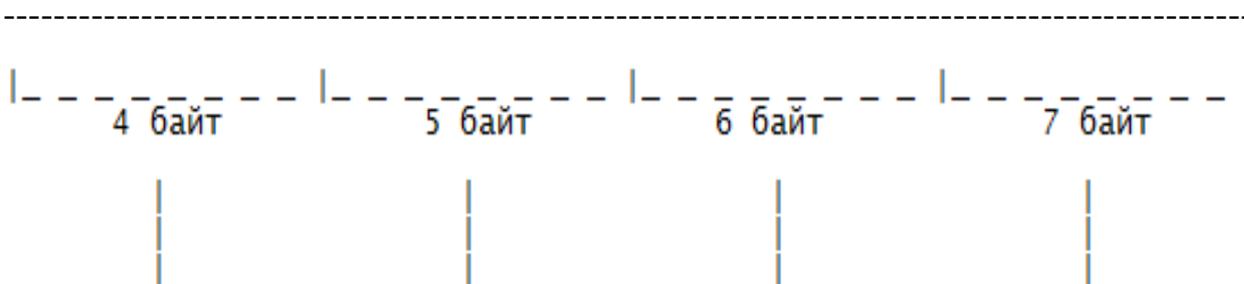


Рисунок 2.2. Схема протокола

1 пакет разработанного протокола содержит 8 байт:



[0] – Байт, проверяющий [1]-[3] – Байт, определяющий
рабочее состояние РЛС расстояние до объекта



[4] – Байт, [5] – Байт, [6] – Байт, [7] - Байт,
определяющий измеряющий определяющий определяющий
скорость объекта высоту объекта координату объекта тип объекта

Описание протокола

«*Старт – бит*» – сигнальная линия, которая может находиться в двух состояниях: включена и выключена. Линия в состоянии ожидания всегда включена. Когда устройство или компьютер хотят передать данные, они переводят линию в состояние выключено - это установка старт – бита. Биты сразу после старт – бита являются битами данных.

«*Байт, проверяющий рабочее состояние РЛС*» – в процессе проверки рабочего состояния РЛС в протоколе используется команда 1 байта. В байте каждый бит разделяется следующим образом:

- [0] - первый бит проверяет посещение сигналов РЛС. Значение бита – [1];
- [1] - второй бит проверяет состояние РЛС (Работает). Значение бита – [1];
- [2] - третий бит проверяет состояние РЛС (Тревога). Значение бита – [0];
- [3] - четвертый бит проверяет состояние РЛС (Нет сигнала). Значение бита – [0];
- [4] - пятый бит проверяет состояние РЛС (Нет питания). Значение бита – [1];

«*Байт, определяющий расстояние до объекта*» – в процессе определения расстояния до объекта используется команда в 3 байта. Это, в свою очередь, обеспечивает определение расстояния до объекта до 1048км. В байте каждый бит разделяется следующим образом:

[1 байт] – байт для определения расстояния до объекта (1 метр):

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	...	1048575
- [0]	[0]	[0]	[0]	[0]	[0]	[0]	[0]	[0]	[0]	[0]	[0]	[0]	[0]		[1]
- [1]	[0]	[0]	[0]	[0]	[0]	[0]	[0]	[0]	[0]	[0]	[0]	[0]	[0]		[1]
- [2]	[0]	[0]	[0]	[0]	[0]	[0]	[0]	[0]	[0]	[0]	[0]	[0]	[0]		[1]
- [3]	[0]	[0]	[0]	[0]	[0]	[0]	[0]	[0]	[0]	[0]	[0]	[0]	[0]	...	[1]
- [4]	[0]	[0]	[0]	[0]	[0]	[0]	[0]	[0]	[0]	[0]	[0]	[0]	[0]		[1]
- [5]	[0]	[0]	[0]	[0]	[0]	[0]	[0]	[0]	[0]	[0]	[0]	[0]	[0]		[1]
- [6]	[0]	[0]	[0]	[0]	[0]	[0]	[0]	[0]	[0]	[0]	[0]	[0]	[0]		[1]
- [7]	[0]	[0]	[0]	[0]	[0]	[0]	[0]	[0]	[0]	[0]	[0]	[0]	[0]		[1]

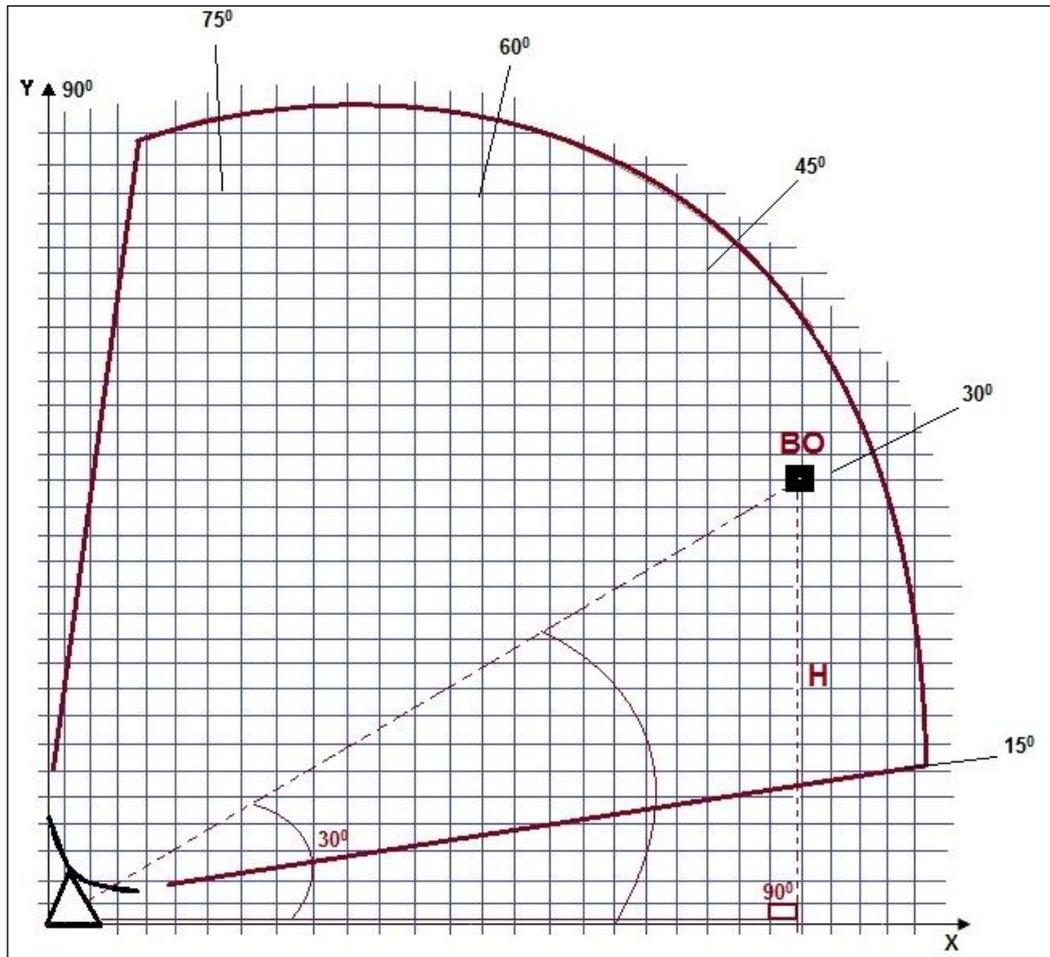
[2 байт] – байт для определения расстояния до объекта

«Байт, измеряющий высоту объекта» – для измерения высоты объекта в протоколе используется 1 байт команда. В байте каждый бит разделяется следующим образом:

[5 байт] – байт измерения высота объекта ($1 = 1^0 \dots 90 = 90^0$)

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	...	90
- [0]	[0]	[0]	[0]	[0]	[0]	[0]	[0]	[0]	[0]	[0]	[0]	[0]	[0]		[1]
- [1]	[0]	[0]	[0]	[0]	[0]	[0]	[0]	[0]	[0]	[0]	[0]	[0]	[0]		[0]
- [2]	[0]	[0]	[0]	[0]	[0]	[0]	[0]	[0]	[0]	[0]	[0]	[0]	[0]		[1]
- [3]	[0]	[0]	[0]	[0]	[0]	[0]	[0]	[0]	[1]	[1]	[1]	[1]	[1]	...	[1]
- [4]	[0]	[0]	[0]	[0]	[1]	[1]	[1]	[1]	[0]	[0]	[0]	[0]	[1]		[0]
- [5]	[0]	[0]	[1]	[1]	[0]	[0]	[1]	[1]	[0]	[0]	[1]	[1]	[1]		[1]
- [6]	[0]	[1]	[0]	[1]	[0]	[1]	[0]	[1]	[0]	[1]	[0]	[1]	[0]		[0]
- [7]	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Байт, измеряющий высоту каждой «бит команды» в базе данных приравнивается «1 градусу». В этом случае при определении высоты, из выделенной для принятия 90 градусов 1 байт команды используется «команда 7 бит».

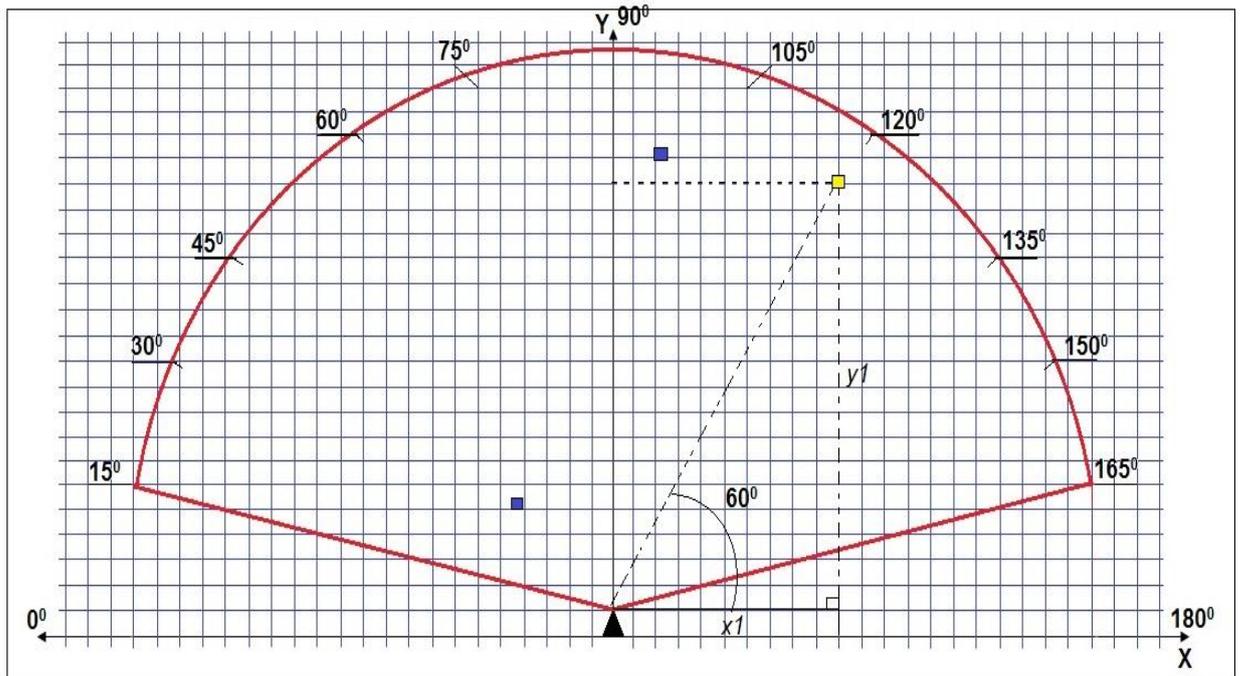


«Байт, определяющий координату объекта» – для определения координаты объекта в протоколе используется 1 байт команда. В байте каждый бит разделяется следующим образом:

[6 байт] – байт определяет координата объекта ($1 = 1^0 \dots 180 = 180^0$)

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	...	180
- [0]	[0]	[0]	[0]	[0]	[0]	[0]	[0]	[0]	[0]	[0]	[0]	[0]	[0]		[1]
- [1]	[0]	[0]	[0]	[0]	[0]	[0]	[0]	[0]	[0]	[0]	[0]	[0]	[0]		[0]
- [2]	[0]	[0]	[0]	[0]	[0]	[0]	[0]	[0]	[0]	[0]	[0]	[0]	[0]		[1]
- [3]	[0]	[0]	[0]	[0]	[0]	[0]	[0]	[0]	[0]	[0]	[0]	[0]	[0]	...	[1]
- [4]	[0]	[0]	[0]	[0]	[0]	[0]	[0]	[1]	[1]	[1]	[1]	[1]	[1]		[0]
- [5]	[0]	[0]	[0]	[1]	[1]	[1]	[1]	[0]	[0]	[0]	[0]	[1]	[1]		[1]
- [6]	[0]	[1]	[1]	[0]	[0]	[1]	[1]	[0]	[0]	[1]	[1]	[0]	[0]		[0]
- [7]	[1]	[0]	[1]	[0]	[1]	[0]	[1]	[0]	[1]	[0]	[1]	[0]	[1]		[0]

Комплекс определяет координаты объекта в интервале 180 градусов. В этом случае выделенный в протоколе байт для каждой «бит команды» приравнивается 1 градусу и записывается в базу данных.



«Байт, определяющий тип объекта» - для определения типа объекта в протоколе используется 1 байт команда. В байте каждый бит разделяется следующим образом:

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	...	255
- [0]	[0]	[0]	[0]	[0]	[0]	[0]	[0]	[0]	[0]	[0]	[0]	[0]	[0]		[1]
- [1]	[0]	[0]	[0]	[0]	[0]	[0]	[0]	[0]	[0]	[0]	[0]	[0]	[0]		[1]
- [2]	[0]	[0]	[0]	[0]	[0]	[0]	[0]	[0]	[0]	[0]	[0]	[0]	[0]		[1]
- [3]	[0]	[0]	[0]	[0]	[0]	[0]	[0]	[0]	[0]	[0]	[0]	[0]	[0]		[1]
- [4]	[0]	[0]	[0]	[0]	[0]	[0]	[0]	[1]	[1]	[1]	[1]	[1]	[1]	...	[1]
- [5]	[0]	[0]	[0]	[1]	[1]	[1]	[1]	[0]	[0]	[0]	[0]	[1]	[1]		[1]
- [6]	[0]	[1]	[1]	[0]	[0]	[1]	[1]	[0]	[0]	[1]	[1]	[0]	[0]		[1]
- [7]	[1]	[0]	[1]	[0]	[1]	[0]	[1]	[0]	[1]	[0]	[1]	[0]	[1]		[1]

В протоколе для определения типа объекта использовалась 1 байт команда, а это равно «255 бит командам» и можно определить максимальный 255 тип объекта.

«Стоп – бит» – позволяет устройству или компьютеру произвести синхронизацию при возникновении сбоев. Например, помеха на линии скрыла старт-бит. Период между старт – битами и стоп – битами постоянен, согласно значению скорости обмена, числу бит данных и бита четности.

2.4. Разработка структурной схемы аппаратно – программного комплекса РЛС

РЛС состоит из внешнего радиолокационного блока и сервера распознавания с монитором, устанавливаемыми в помещении.

Связь между радиолокационным блоком и сервером распознавания осуществляется по интерфейсам Ethernet и RS-485.

Комплекс распознает различные цели, определяет их координаты и скорость передвижения.

Если цель обнаружена в охраняемой зоне, то на экран оператора системы поступает сигнал тревоги с указанием цели на карте объекта.

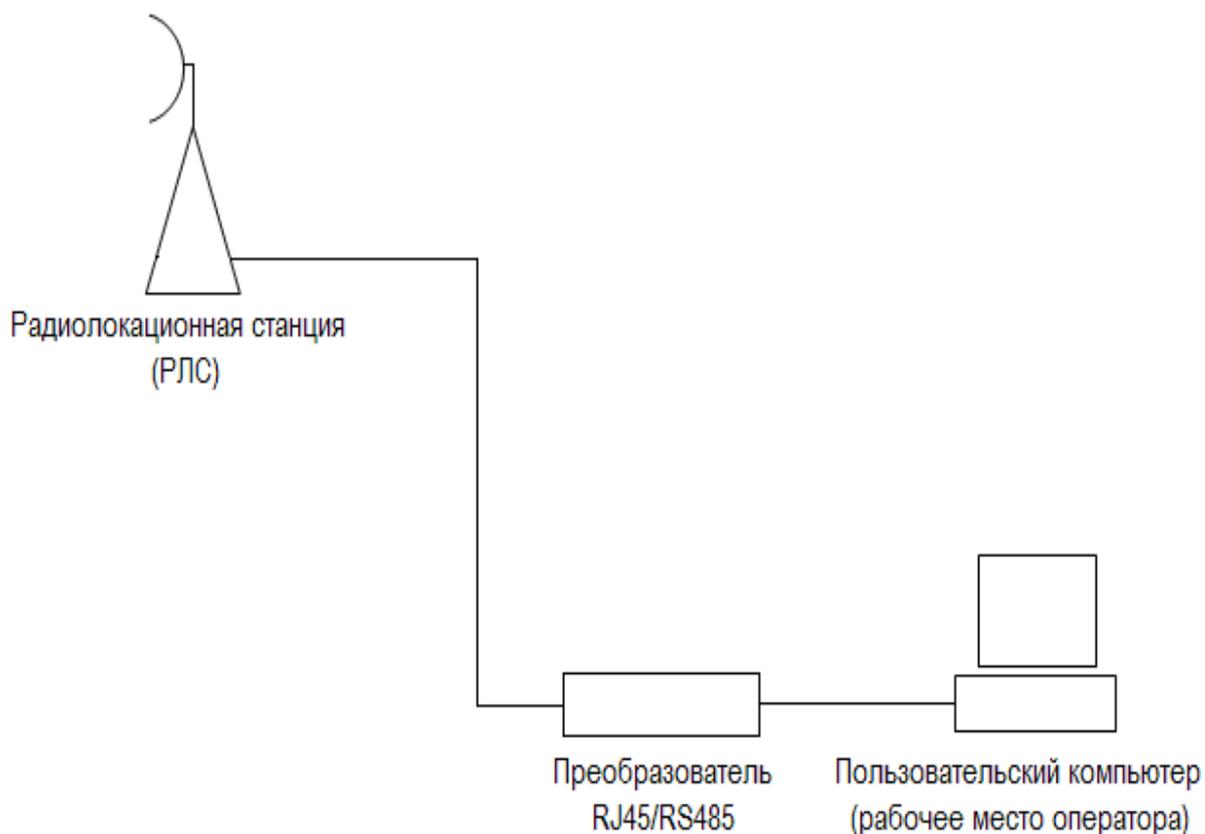


Рисунок 2.3. Структурная схема комплекса

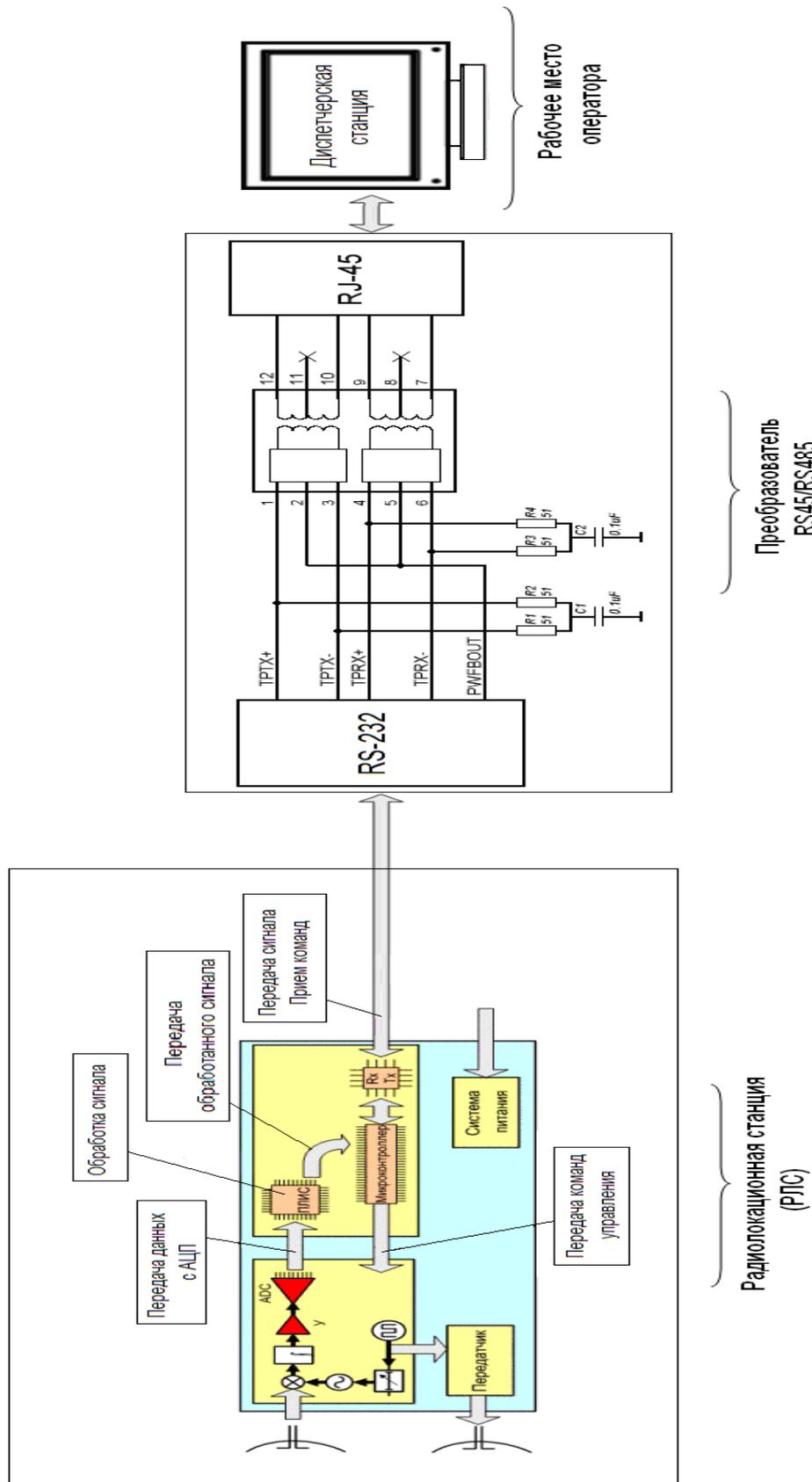


Рисунок 2.4. Функциональная схема комплекса

Комплекс устанавливается на территории охраняемого объекта, с целью выявления движения «цели» на подступах к данному объекту.

Для каждой РЛС настраивается своя зона слежения.

При обнаружении «цели» данные от сервера радиолокационной станции передаются главному серверу РЛС.

Ниже показана структурная схема включения системы радиолокационных станций:

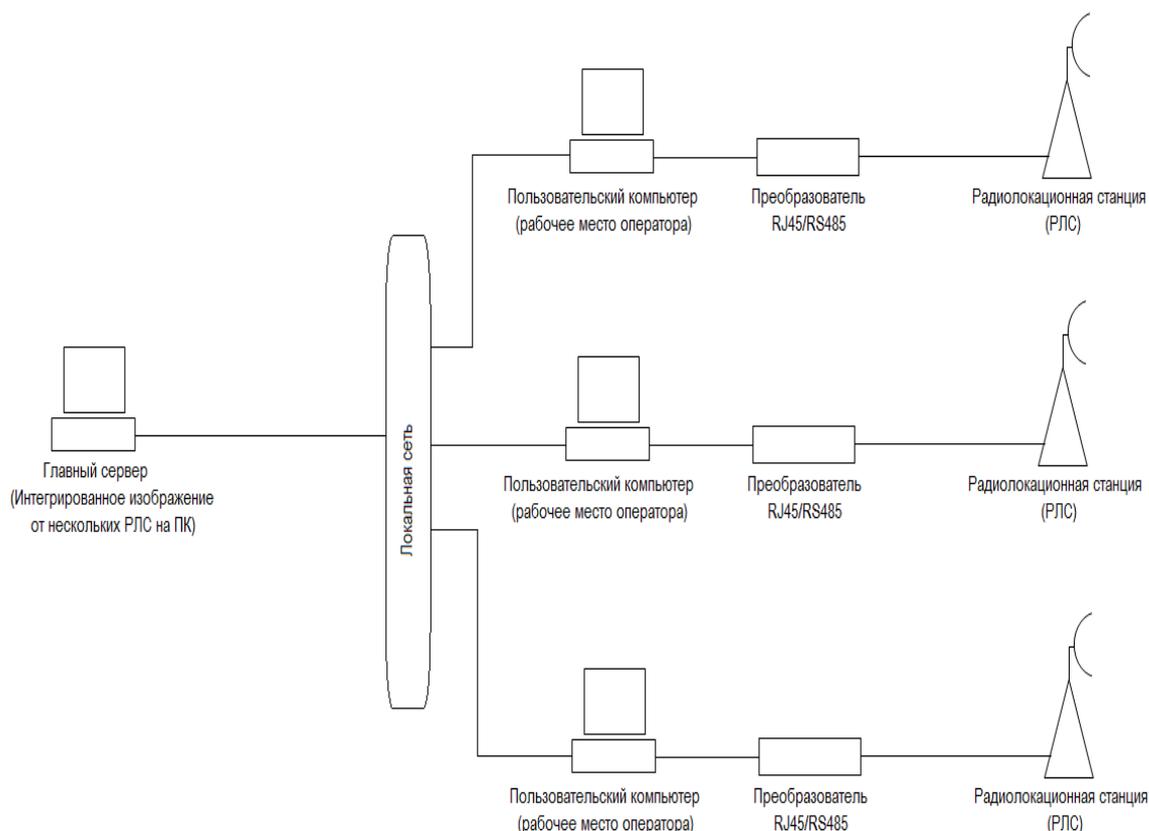


Рисунок 2.5. Структурная схема комплекса

Главный сервер РЛС передает на соответствующий сервер системы наблюдения информацию о координатах «цели» и её скорости.

Данные, полученные от главного сервера РЛС, записываются в базу событий сервера системы наблюдения.

По этим событиям в дальнейшем можно осуществлять поиск в базе данных.

Глава III. Программная реализация алгоритма определения расстояния до объекта

3.1. Разработка структура программного комплекса

Исходя из анализа технического задания и требований к программному продукту, была разработана следующая структура программного комплекса (рисунок 3.1).

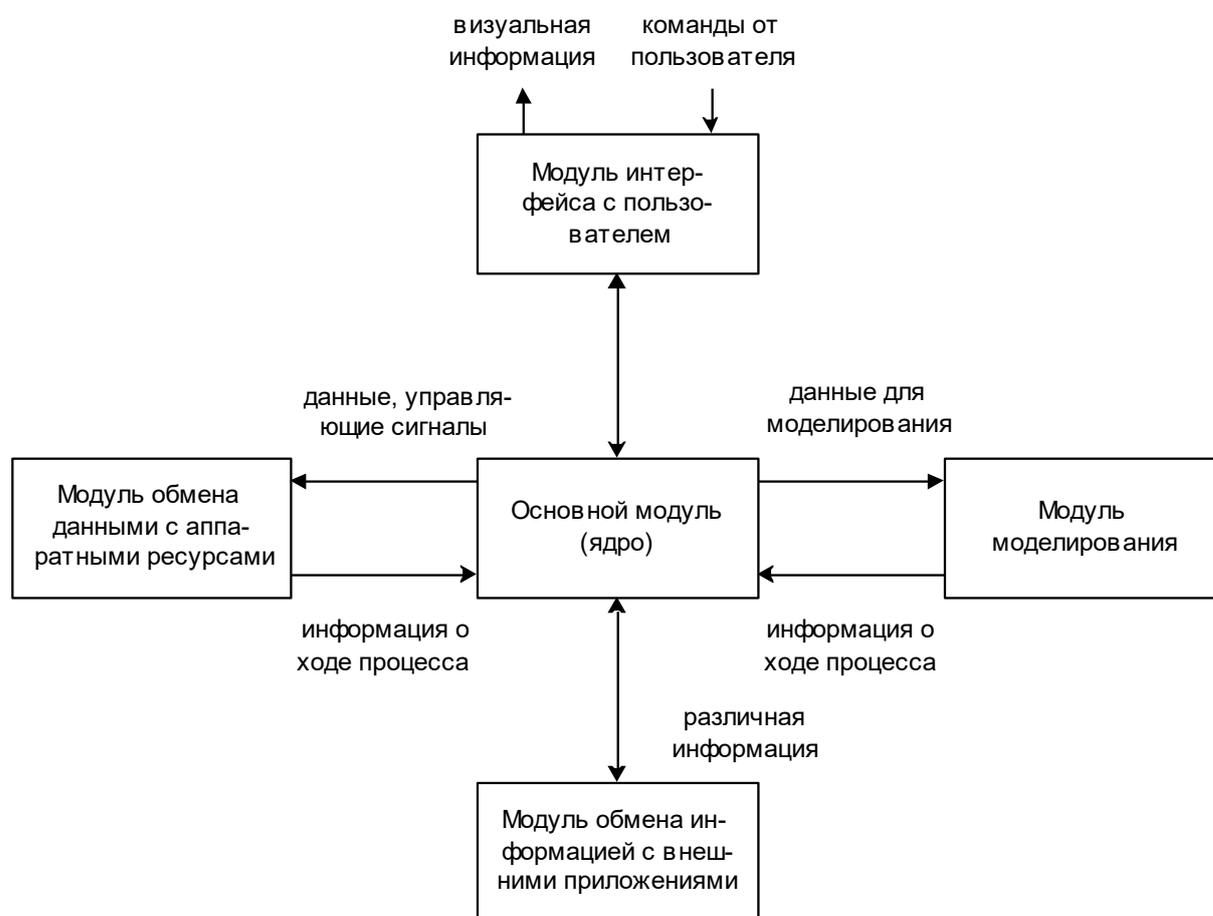


Рисунок 3.1. Структура программного комплекса

Основной модуль или ядро является главным в структуре программного комплекса. Модуль обрабатывает осведомительные сигналы и данные от остальных модулей, вырабатывает управляющие сигналы для других модулей и руководит работой программного комплекса в целом.

Модуль интерфейса с пользователем организует диалог пользователя с программным комплексом. В зависимости от действий пользователя модуль передает осведомительные сигналы основному модулю, а в зависимости от управляющих сигналов от основного модуля, выводит конкретную информацию пользователю. Модуль осуществляет контроль над действиями пользователя, ограничивая диапазон допустимых символов при вводе информации с клавиатуры.

Модуль моделирования радиолокационной обстановки предназначен для расчета параметров радиолокационной обстановки на основе данных, введенных пользователем. Данные передаются от основного модуля. После расчета данных производится их запись в файл оговоренного формата.

В случае обнаружения ошибки при моделировании или возникновении исключительной ситуации происходит остановка процесса моделирования, основному модулю передается сигнал с указанием кода ошибки, на основе которого модуль интерфейса с пользователем формирует сообщение об остановке процесса моделирования с указанием причины, вызвавшей остановку. Если процесс моделирования заканчивается нормальным образом, то управление также передается основному модулю, но сообщение пользователю гласит о нормальном окончании процесса моделирования.

Модуль организации обмена с внешними приложениями организует прием и передачу информации во внешние приложения на основе выбранной модели взаимодействия.

Модуль обмена данными с аппаратными ресурсами служит для передачи данных в устройства обработки радиолокационной информации, реализованные аппаратно, на основе установленных драйверов. После окончания загрузки данных или возникновении ошибки в ходе загрузки основному модулю также передается сообщение с указанием причины, вызвавшей остановку, или сообщение о нормальном завершении процесса загрузки, которое также отображается модулем интерфейса с пользователем.

3.2. Разработка алгоритмов работы программного комплекса

Исходя из анализа технического задания и списка функций, которые необходимо реализовать, был разработан следующий укрупненная схема алгоритма работы программного комплекса (рисунок 3.2).

Поскольку программный комплекс разрабатывается для работы в операционной системе MicrosoftWindowsXP, для которой предпочтительнее использовать событийно-ориентированное программирование, то схема работы программы представляет собой замкнутый цикл, на каждом проходе которого происходит проверка действий пользователя и генерация на них ответного действия.

Цикл продолжается до тех пор, пока пользователь не активизирует один из управляющих элементов по закрытию программы.

При инициализации приложения или при выборе пользователем определенного элемента управления происходит очистка всех внутренних массивов и списков, сброс всех признаков и т.д.

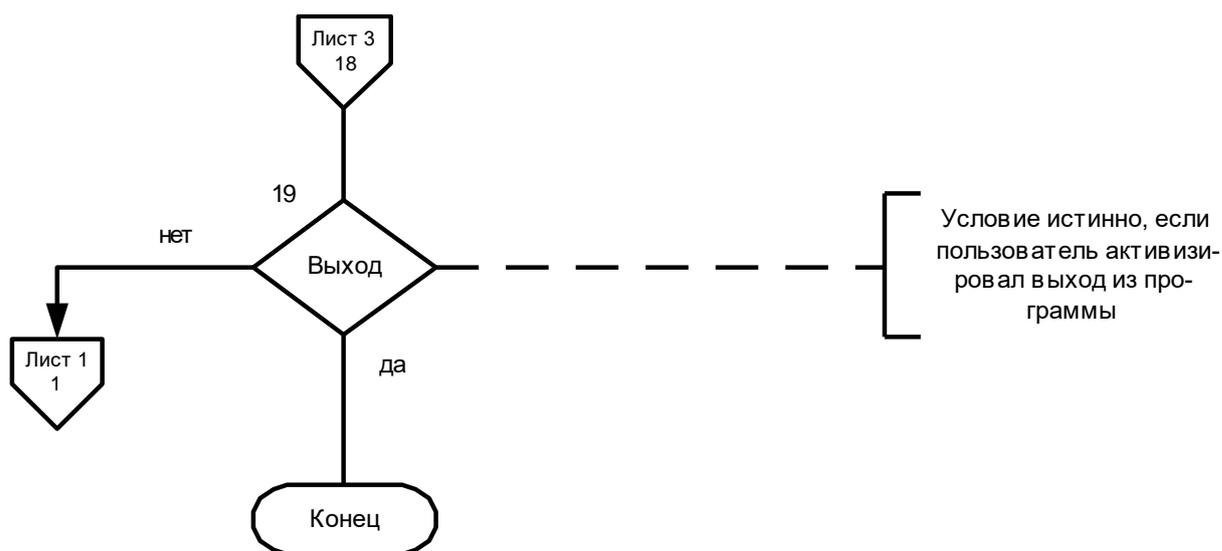


Рисунок 3.2. Лист 1

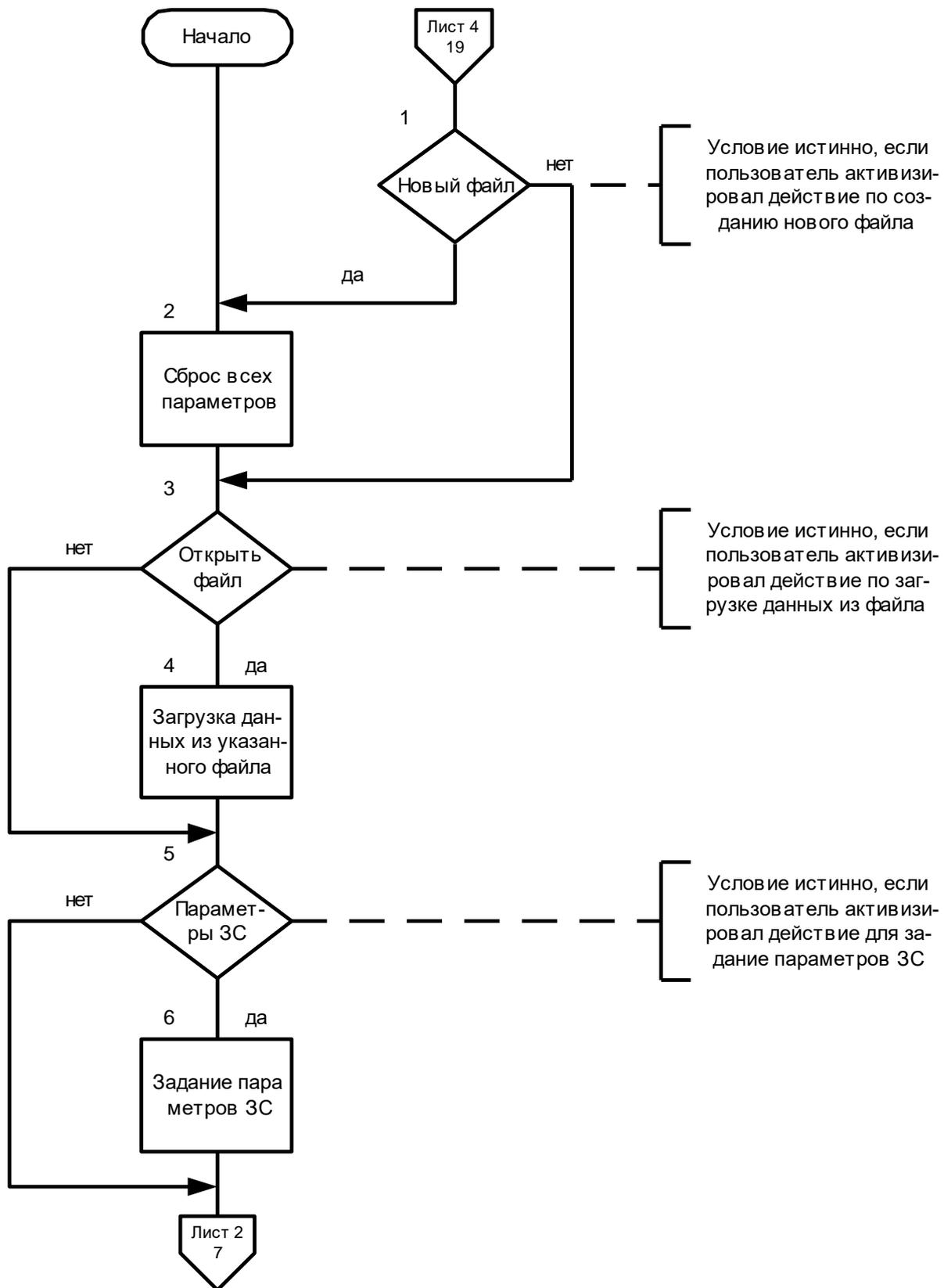


Рисунок 3.2. Укрупненная схема работы программы. Лист 2

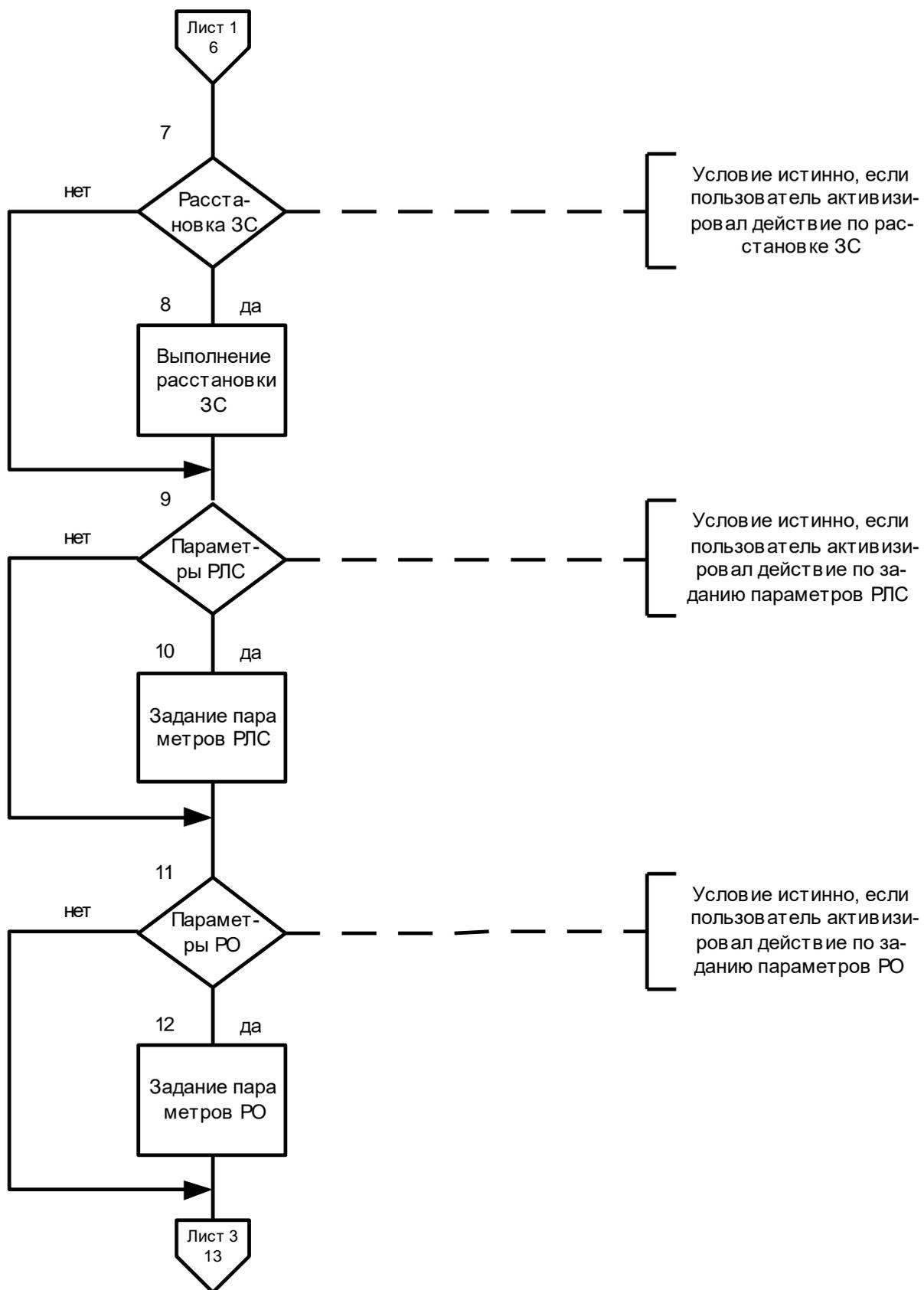
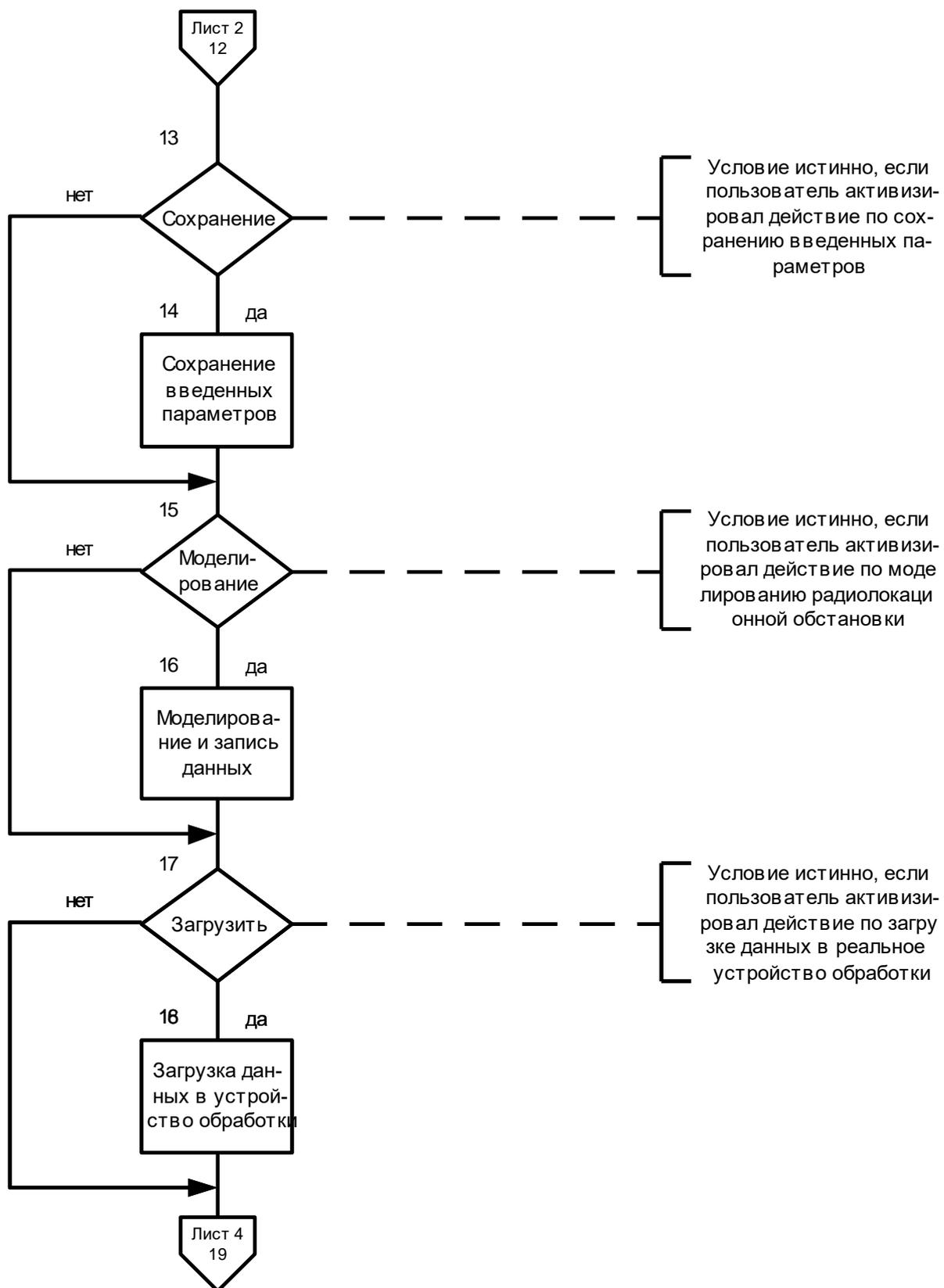


Рисунок 3.2. Лист 3



Разработка алгоритма реализации математических моделей

Как уже было сказано выше, программный комплекс реализует имитационное моделирование, основанное на математических моделях атомарных объектов.

В качестве одного из атомарных объектов была взята точечная цель. Любой распределенный радиолокационный объект или групповой излучатель может быть представлен как совокупность таких точечных излучателей, распределенных внутри искомого объекта по некоторому закону.

Параметры точечных излучателей определяются по параметрам искомого объекта и выбранной математической модели.

Для унификации и упрощения расчетов перед началом моделирования необходимо все распределенные объекты разбить на точечные излучатели, определив для каждого излучателя ЭПР и местоположение в пространстве в соответствии с выбранной моделью. Все полученные данные необходимо свести в один массив, элементы которого, программные объекты – точечные излучатели, могут использоваться для расчета принимаемого РЛС радиолокационного сигнала. Полученный массив можно отсортировать по возрастанию азимутов точечных излучателей с тем, чтобы ускорить процесс моделирования при определении облучается ли точечный излучатель зондирующим сигналом (см. ниже).

Укрупненная схема описанного процесса приведена на рисунке 3.3. После подготовки всех радиолокационных объектов необходимо аналогичную операцию произвести с зондирующими сигналами – необходимо разбить их на отдельные импульсы, определить для каждого импульса момент запуска и интервал от запуска предыдущего импульса,

свести данные в массив импульсов, отсортировать массив по времени запуска отдельных импульсов. Далее необходимо определить время моделирования – время задается пользователем либо в явном виде, либо пользователь задает количество отсчетов по азимуту в малых азимутных интервалах (МАИ).

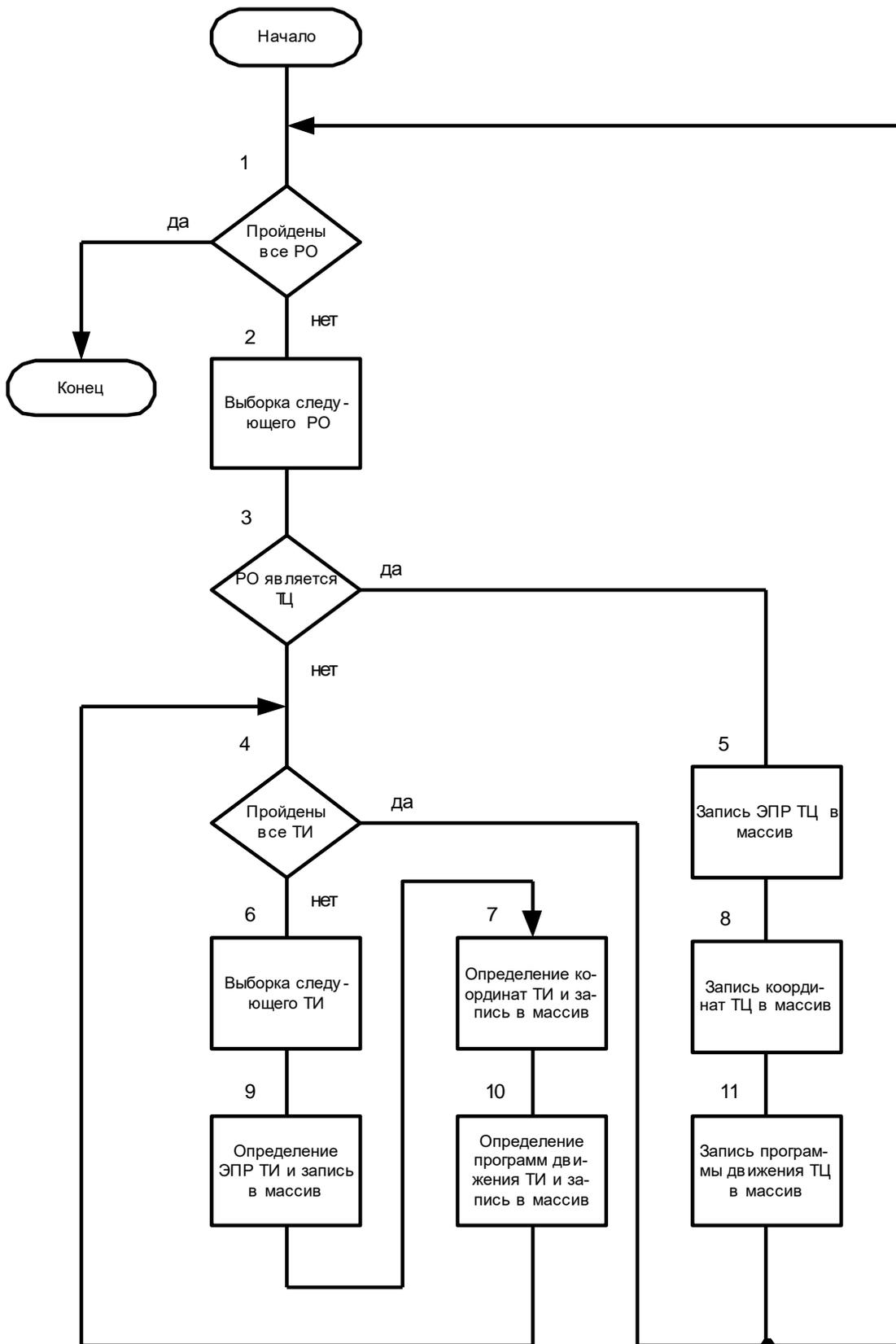


Рисунок 3.3. Укрупненная схема процесса подготовки к моделированию

После определения времени моделирования процесс моделирования можно описать как цикл, который выполняется до тех пор, пока значение переменной содержащей время, прошедшее от начала моделирования, не превысит времени моделирования, определенного ранее.

Шаг между двумя итерациями цикла равен интервалу между моментами запуска двух соседних импульсов (двумя соседними элементами массива импульсов).

На каждом проходе цикла пакет данных с отсчетами по дальности заполняется белым шумом, на который накладывается отраженный сигнал, который определяется как сумма отражений от всех точечных излучателей, облучаемых импульсом, пришедшим в данный момент.

Отраженный сигнал рассчитывается как совокупность мгновенных значений амплитуды сигнала, т.е. первоначально определяется действующее значение амплитуды отраженного сигнала, затем фаза сигнала и мгновенное значение амплитуды сигнала.

После расчета данных полученный пакет записывается в файл.

Укрупненные блок-схемы на рисунках 3.4 и 3.5 иллюстрируют вышесказанное.

3.3. Программная реализация математических моделей

После разработки алгоритмов реализации математических моделей можно сделать вывод о том, что для программной реализации разработанных моделей наиболее подходит объектно-ориентированный подход, все достоинства которого широко известны.

При использовании объектно-ориентированного подхода реализация математических моделей будет сведена к реализации методов и атрибутов (свойств) для программных объектов. В качестве атрибутов (свойств) программных объектов будут выступать параметры реальных объектов, выделенные при разработке математического обеспечения.

В качестве базовых программных объектов можно взять объекты, которые описывают следующие реальные объекты: радиолокационный объект или цель, зондирующий сигнал и РЛС в целом.

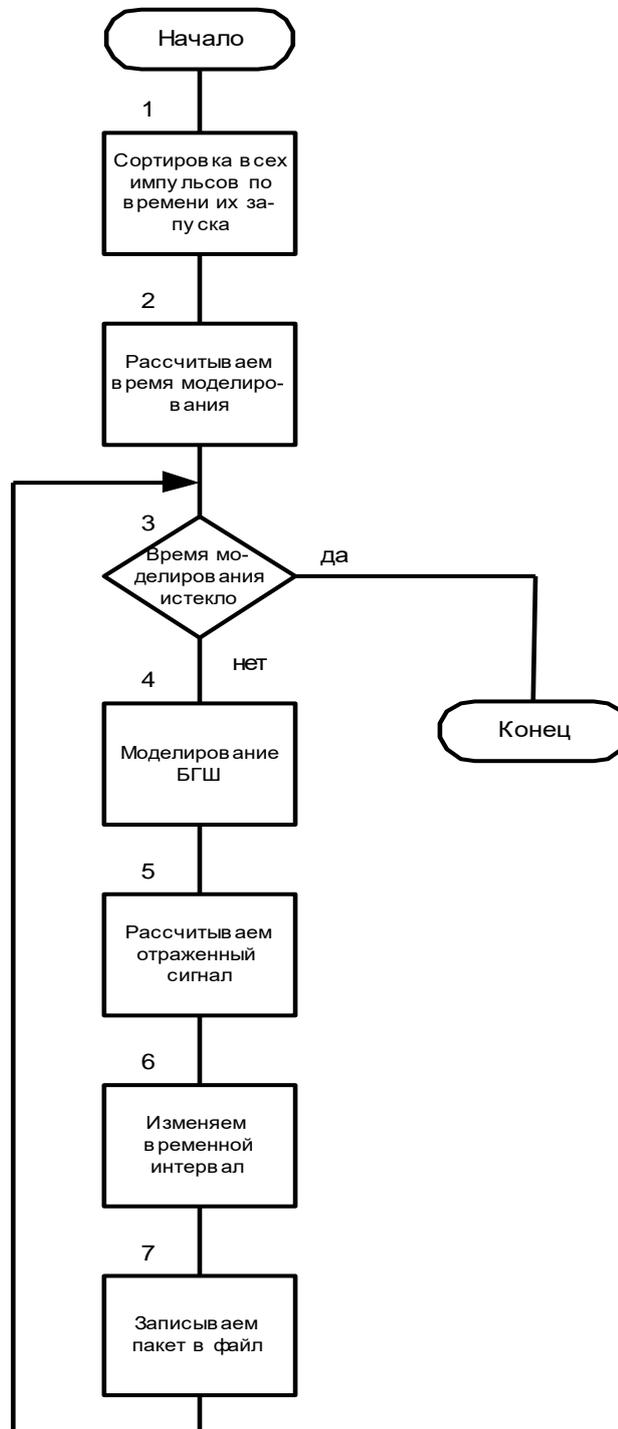


Рисунок 3.4. Укрупненная схема алгоритма процесса моделирования

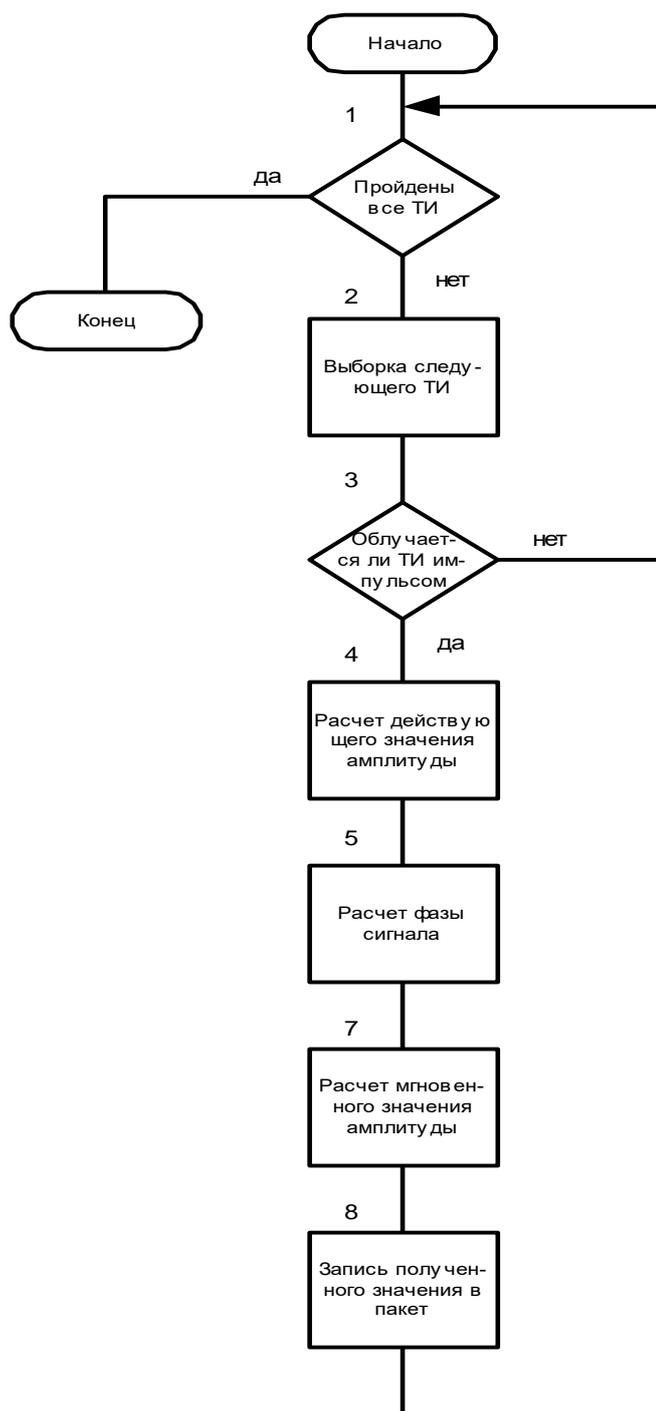


Рисунок 3.5. Укрупненная схема подпрограммы расчета отраженного сигнала

Однотипные объекты лучше объединить в массивы для унификации доступа. Массивы обязательно должны быть динамическими, поскольку

количество элементов, а, следовательно, и размер памяти, занимаемый массивом, может меняться.

3.4. Основная структура и состав прикладной программы

Для создания программы был использован язык программирования С#, входящий в среду VisualStudio 2010.

Программный продукт С#, входящий в среду VisualStudio 2010 позволяет создавать приложения, основным интерфейсным элементом которых является форма – стандартный элемент управления Windows «окно» с уже определенным стилем.

Разрабатываемое приложение проектируется как совокупность таких форм, на которых располагаются остальные элементы управления.

Программа состоит из двух частей - основной и клиентской для определения расстояния до объекта в радиолокационных системах.

Основная часть программы выполняет следующие функции:

- получает информацию из РЛС;
- проверяет их состояние;
- собирает информацию в базу данных.

В РЛС установлена клиентская часть, которая передает информацию о состоянии РЛС.

В основном частью программа получает следующие информации из РЛС:

- расстояния до объекта;
- измерения скорость объекта;
- измерения высота объекта;
- определения координаты объекта;
- тип объекта.

Функциональная схема прикладной программы

Ниже представлена разработанная структурная схема программного обеспечения.

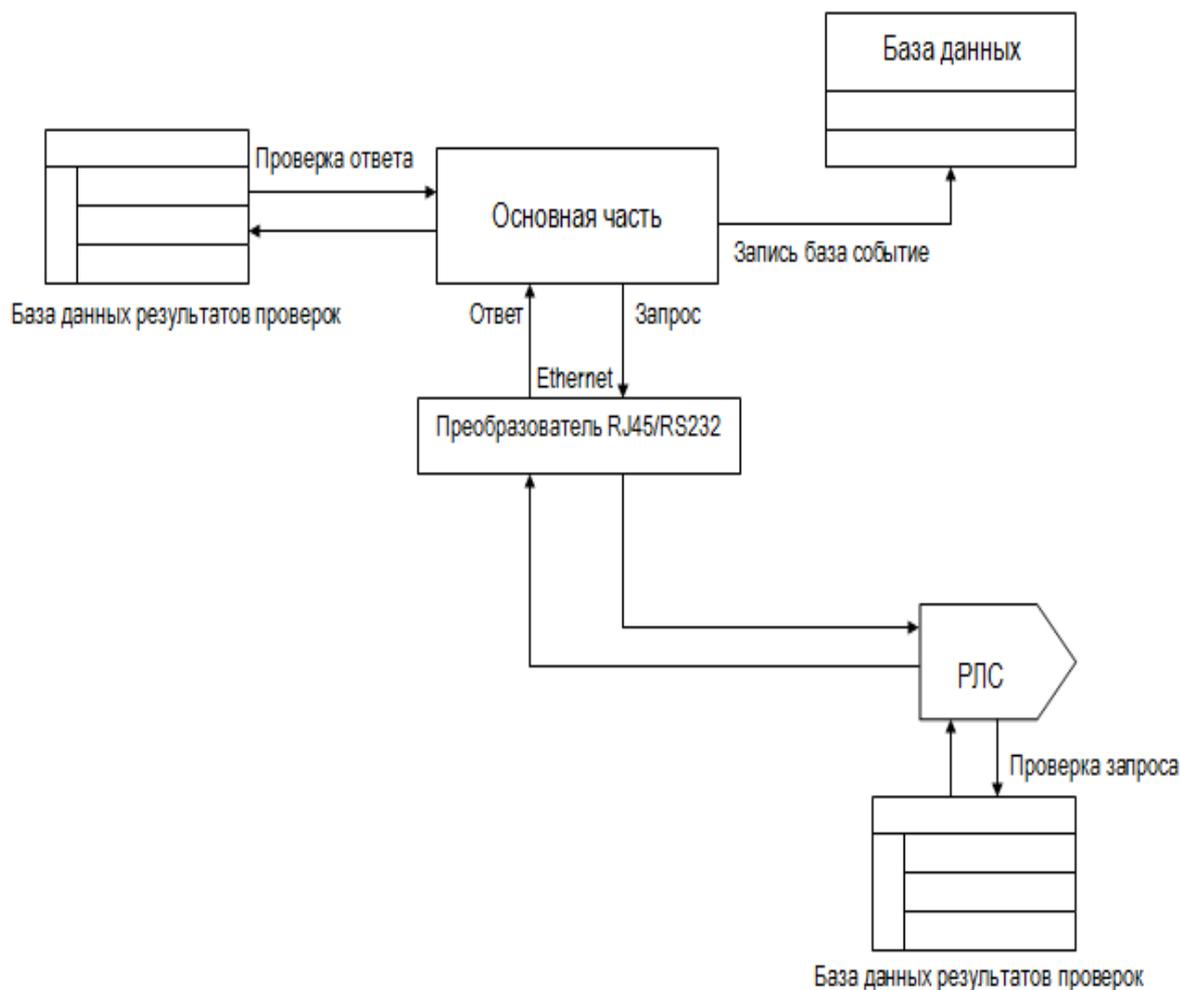


Рисунок 3.6. Структурная схема комплекса.

Как и показано на схеме, в комплексе ПЛС приведены 2 базы данных и их результаты для сравнения, а так же база данных используется для записи общих данных.

В первую очередь в аппаратной части комплекса собираются поступившие данные, и они далее перенаправляются в основную часть.

В основной части данные сравниваются с отправленными данными из второй базы данных и на рабочий интерфейс пользователя выводится результат.

Полученные результаты записываются в основную базу данных. Данные принимаются и отправляются посредством Ethernet канала.

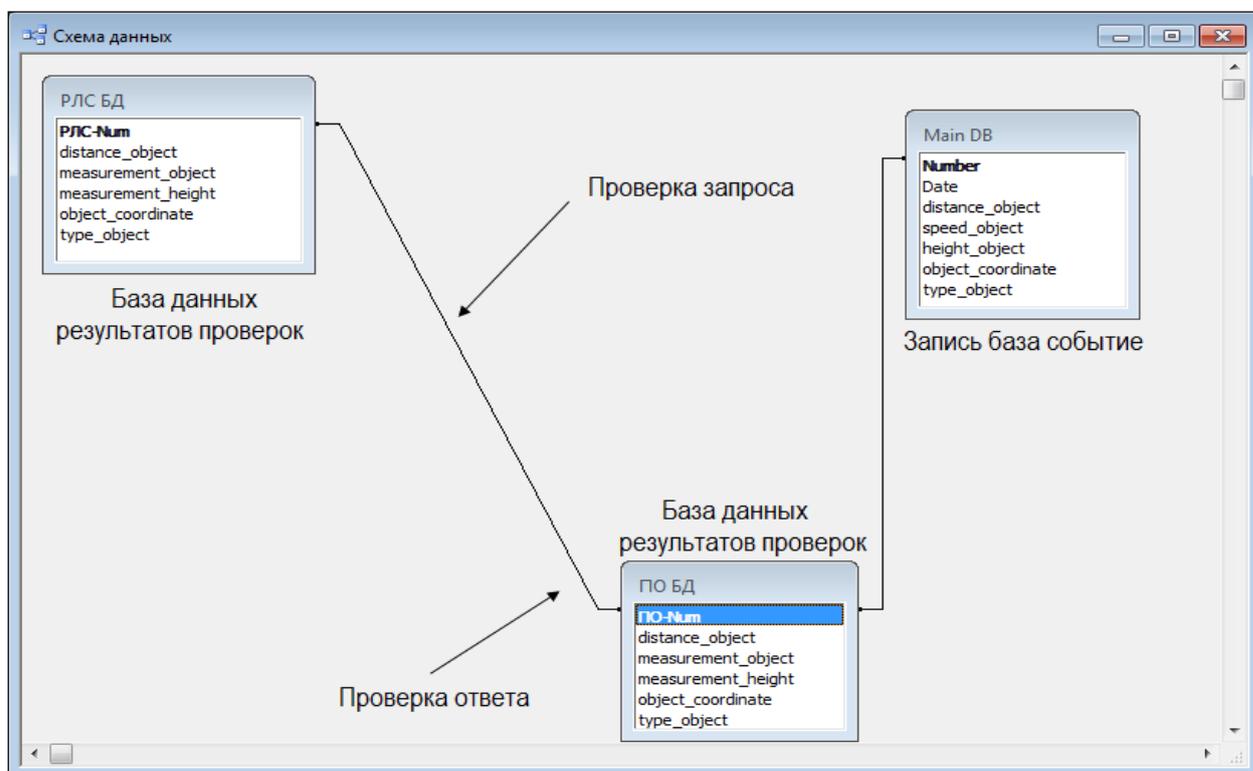


Рисунок 3.7. Схема взаимодействия баз данных

Имя поля	Тип данных	Описание
РЛС-Num	Числовой	Данное поле является ключевым, т. к. содержит уникальную идентификацию записей и служит для точного разделения значений. Каждая запись имеет свой неповторяющийся номер.
distance_object	Числовой	Расстояния до объекта
measurement_object	Числовой	Измерение скорость объекта
measurement_height	Числовой	Измерение высота объекта
object_coordinate	Числовой	Определение координата объекта
type_object	Текстовый	Тип объекта



РЛС-Num	distance_object	measurement_object	measurement_height	object_coordinate	type_object
1	223	15	1,4	x=15; y=5	танк
2	125	30	1,8	x=25; y=15	грузовая машина
3	15	5	1,5	x=5; y=8	человек
4	800	225	148	x=120; y=85	самолёт
5	25	45	1,2	x=12; y=32	машина
6	120	25	1,4	x=26; y=56	танк
7	23	5	1,6	x=32; y=14	человек
8	85	50	1,8	x=56; y=23	грузовая машина
9	900	250	120	x=135; y=92	самолёт
10	500	1200	156	x=563; y=152	НЛО

Запись: 10 из 10

Рисунок 3.8. Структура БД РЛС

Имя поля	Тип данных	Описание
ПО-Num	Числовой	Данное поле является ключевым, т. к. содержит уникальную идентификацию записей и служит для точного разделения значений. Каждая запись имеет свой неповторяющийся номер.
distance_object	Числовой	Расстояния до объекта
measurement_object	Числовой	Измерение скорость объекта
measurement_height	Числовой	Измерение высота объекта
object_coordinate	Числовой	Определение координата объекта
type_object	Текстовый	Тип объекта



ПО-Num	distance_object	measurement_object	measurement_height	object_coordinate	type_object
1	125	30	2	x=25; y=15	грузовая машина
2	223	15	1	x=15; y=5	танк
3	800	225	148	x=120; y=85	самолёт
4	120	25	2	x=26; y=56	танк
5	15	5	2	x=5; y=8	человек
6	900	250	120	x=135; y=92	самолёт
7	500	1200	156	x=235; y=223	НЛО
8	120	230	230	x=202; y=230	самолёт
9	23	3	2	x=5; y=15	человек
10	86	50	2	x=56; y=65	машина

Запись: 11 из 11

Рисунок 3.9. Структура ПО базы данных

Имя поля	Тип данных	Описание
Number	Числовой	Данное поле является ключевым, т. к. содержит уникальную идентификацию записей и служит для точного разделения значений. Каждая запись имеет свой неповторяющийся номер.
Date	Дата/время	Дата
distance_object	Числовой	Расстояния до объекта
speed_object	Числовой	Скорость объекта
height_object	Числовой	Высота объекта
object_coordinate	Числовой	Координата объекта
type_object	Текстовый	Тип объекта



Number	Date	distance_object	speed_object	height_object	object_coordinate	type_object
1	22.04.2013 12:56:00	125	30	1	x=15; y=56	грузовая машина
2	22.04.2013 13:26:00	15	5	2	x=5; y=8	человек
3	22.04.2013 14:45:00	86	50	2	x=5; y=25	машина
4	23.04.2013 10:32:00	23	3	2	x=56; y=42	человек
5	23.04.2013 12:32:00	500	1200	230	x=456; y=120	НЛО
6	24.04.2013 16:54:00	900	250	120	x=202; y=180	самолет
7	25.04.2013 14:47:00	120	200	156	x=56; y=45	самолет
8	26.04.2013 22:25:00	86	50	2	x=26; y=56	машина
9	27.04.2013 23:15:00	500	205	85	x=20; y=23	самолет

Запись: 1 из 9

Рисунок 3.10. Структура основной базы данных

3.5. Описание интерфейса пользователя

При запуске приложения отображается форма (рисунок 3.11), где сосредоточены основные элементы управления. Через эту форму можно получить доступ ко всем функциям разрабатываемого программного комплекса.

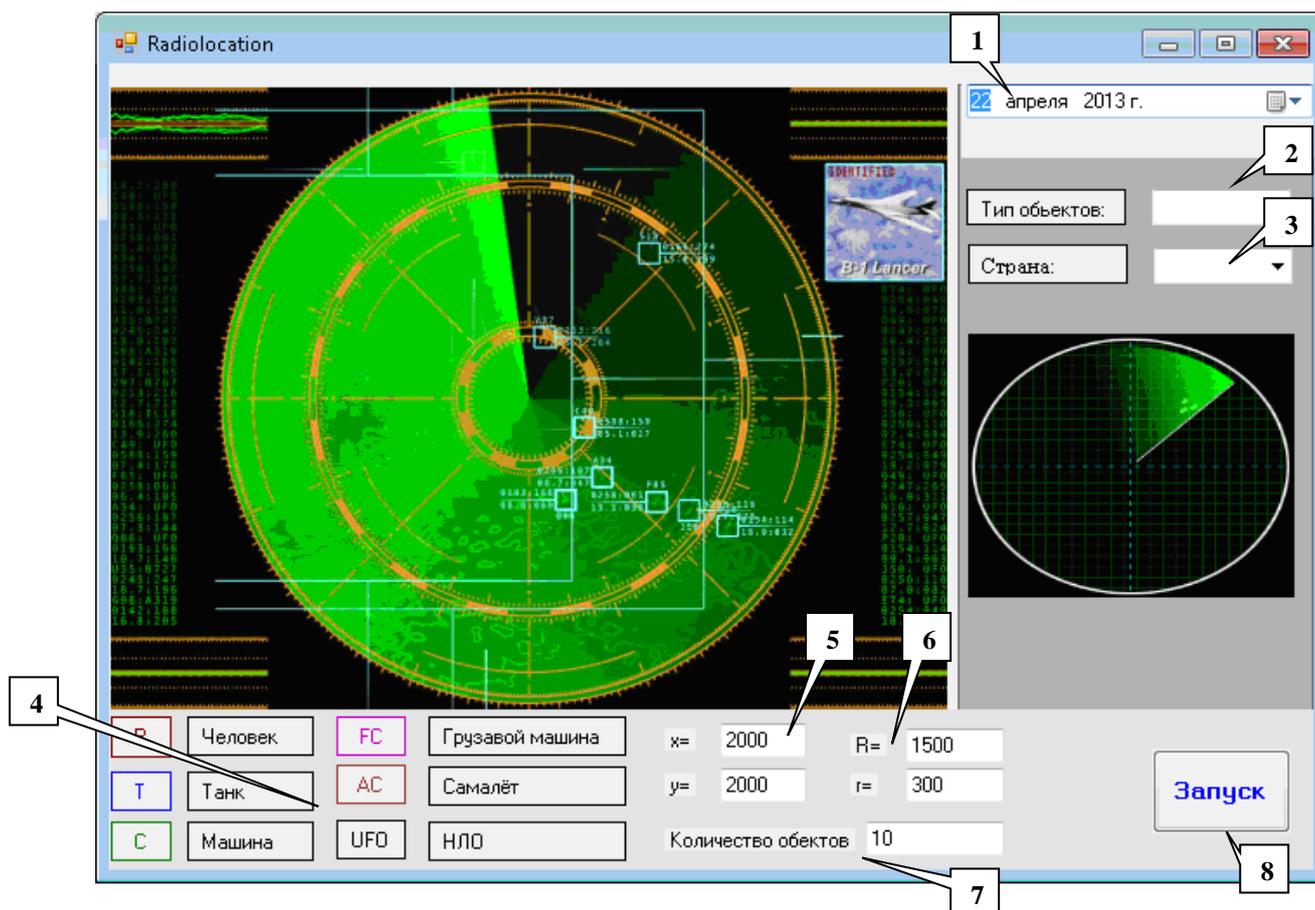


Рисунок 3.11. Главная форма приложения

По умолчанию, некоторые элементы управления заблокированы и становятся доступны пользователю после ввода определенных параметров или выполнения определенных действий.

Все элементы управления, выведенные на панель управления, продублированы в главном меню приложения и снабжены всплывающими подсказками, которые также отображаются в строке состояния.

На главной форме приложения сосредоточены следующие элементы управления:

1 – наблюдение за датой и временем работы программы;

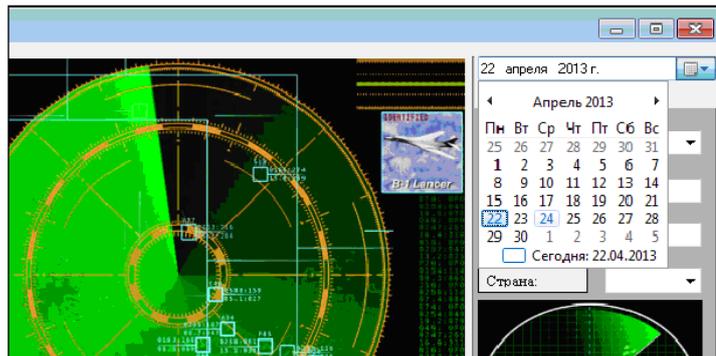


Рисунок 3.12. Наблюдение за датой программы

2 – Окно ввода и выбора типа объекта;



Рисунок 3.13. Ввод изменяемых объектов

3 – Ввод комплексно функционирующей страны;

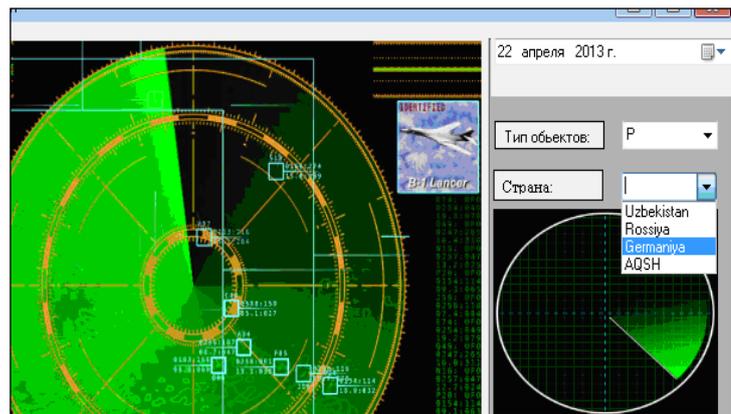


Рисунок 3.14. Форма выбора страны

4 – набор вводимых изменяемых объектов;

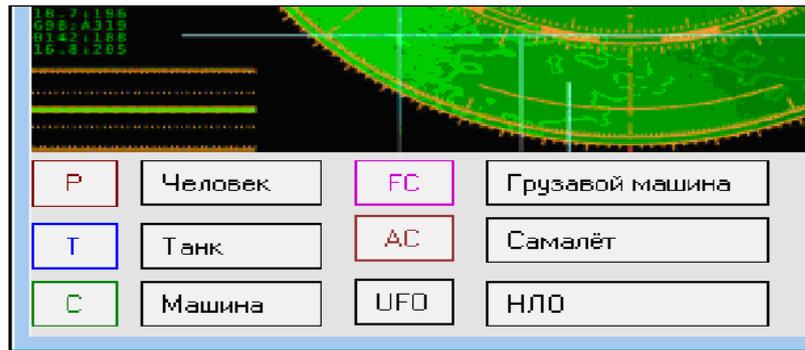


Рисунок 3.15. Типы объекта

- 5 – Координатные измерения вводимых объектов;
- 6 - Расстояние наблюдаемых объектов до центра по отношению их радиусов;
- 7 – число вводимых объектов;
- 8 – введение программы в эксплуатацию;



Рисунок 3.16. Координаты и число объекта

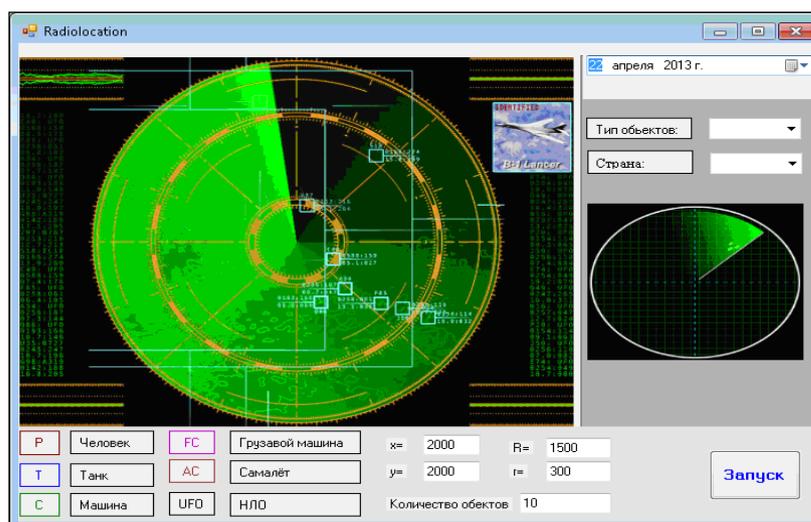


Рисунок 3.17. Главная форма приложения

Данная форма является главным окном и здесь можно увидеть все данные, т.е. данные об объекте, местоположение и картографические координаты объекта.

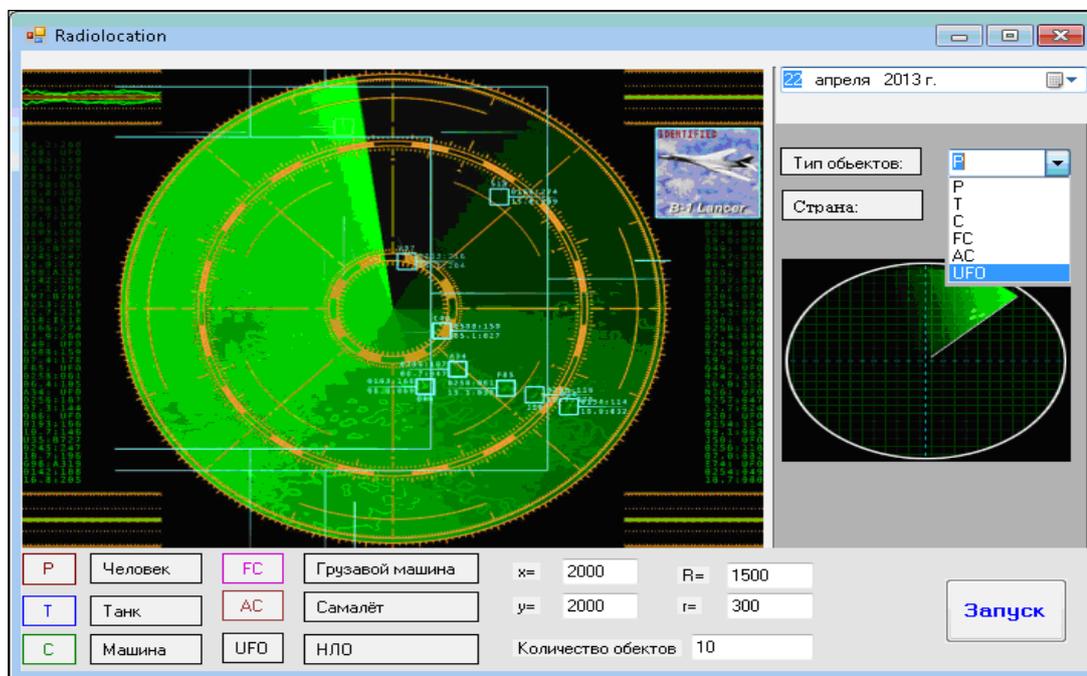


Рисунок 3.18. Главная форма приложения

Каждый тип имеет своеобразную форму и своеобразную структуру. Например, UFO (НЛО) – когда скорость объекта сверхвысокая и даже радары не в состоянии ее определить. Преимущество комплекса заключается в том, что появляется возможность определения и измерения nano скорости.

Суперкомпьютеры собирают данные об объекте и сохраняют их в базе данных.

Эта форма, основываясь на данных отправленных суперкомпьютером, рисует карту движения объекта и обеспечивает пользователю удобный интерфейс.

Каждый объект оставляет след вследствие движения, и вид объекта воспроизводится согласно какому-либо определенному цвету.

В таблице отображается вся подробная информация об объекте, и все данные собираются в базе данных программы.

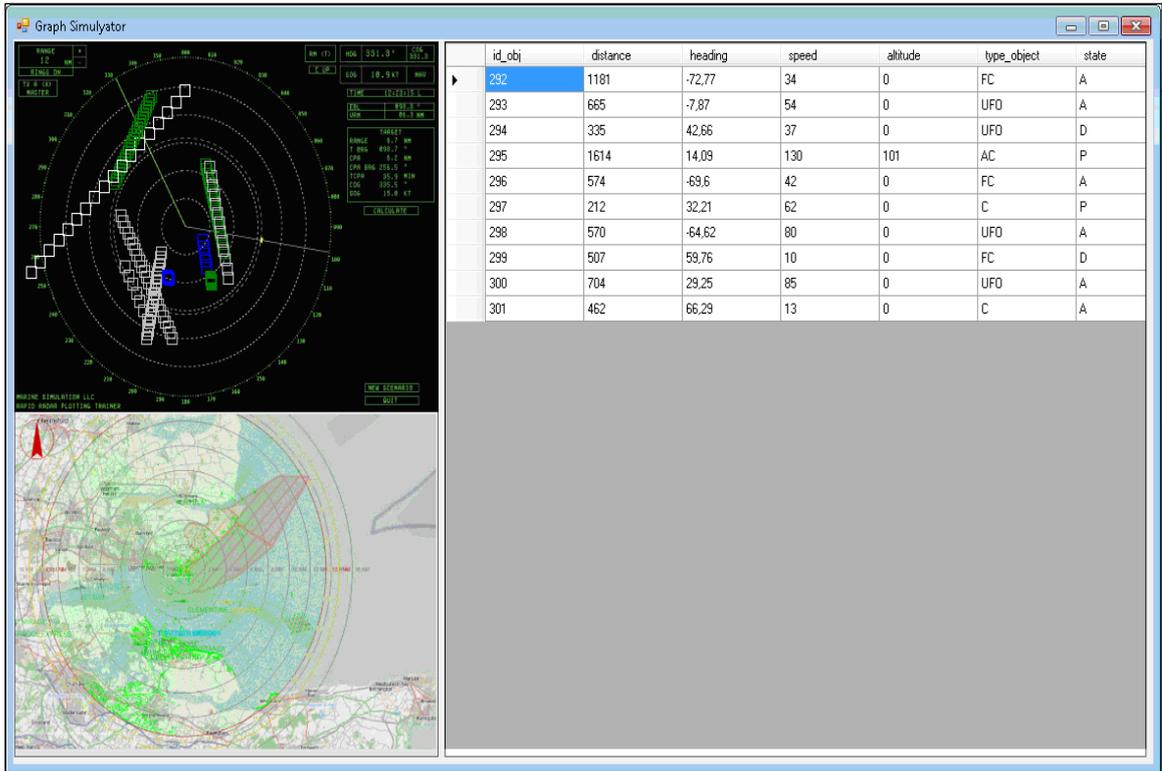


Рисунок 3.19. Форма результатов для пользователя

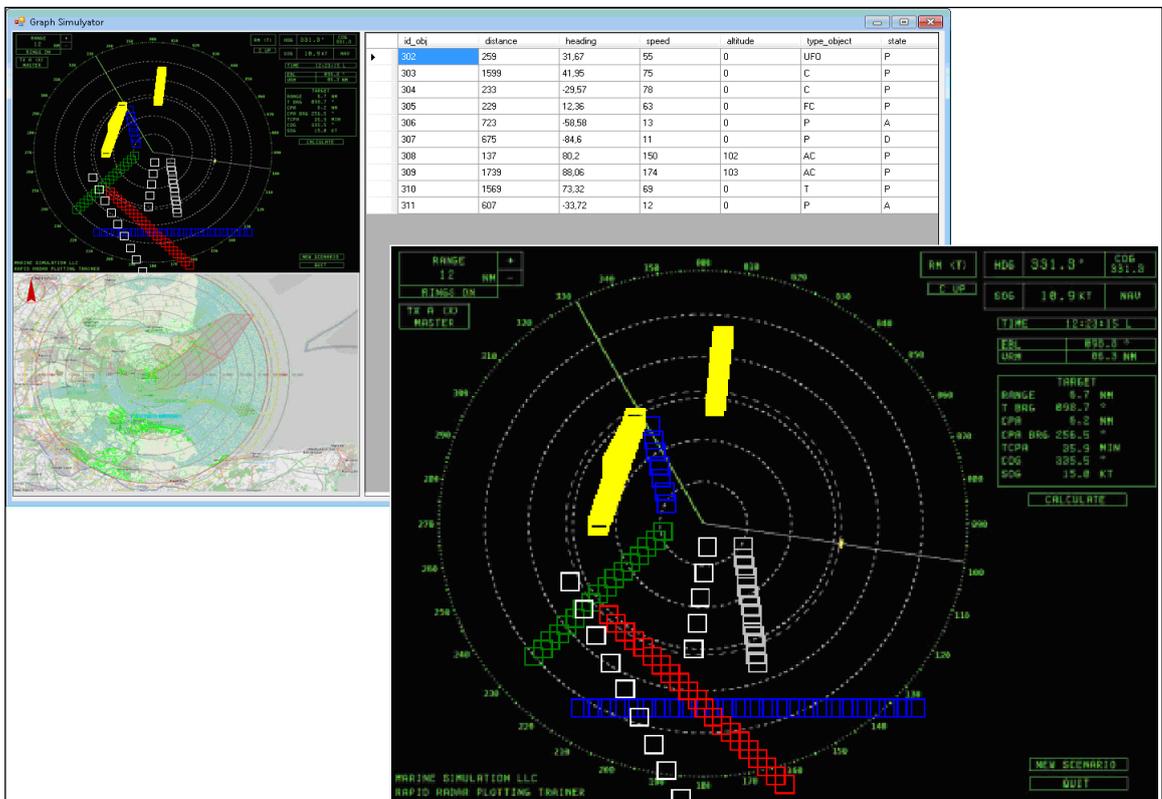


Рисунок 3.20. Форма результатов для пользователя

Заключение

Для достижения необходимых результатов была выполнена колоссальная работа по рассмотрению алгоритма определения расстояния до объекта, вследствие чего в процессе выполнения работы рассмотрен оптимальный алгоритм определения расстояния до объекта, также создан модифицированный алгоритм для определения расстояния до объекта на основе оптимального алгоритма, который обеспечивает пониженную вероятность пропуска угрозы.

Вместе с тем разработаны: протокол передачи и приема данных для определения расстояния до объекта в радиолокационных системах; структура пакетов принимаемых и передаваемых данных по интерфейсу RJ45/RS232; структурные схемы аппаратно-программного комплекса РЛС, так же разработана структура и алгоритм работы программного комплекса.

В заключение можно сказать, что разработан общий алгоритм работы программного комплекса и алгоритм реализации математических моделей и основная структура и состав прикладной программы, функциональная схема прикладной программы; структура базы данных и руководство пользователя.

Список используемой литературы