

**НАЦИОНАЛЬНАЯ АКАДЕМИЯ НАУК КЫРГЫЗСКОЙ РЕСПУБЛИКИ
ИНСТИТУТ МАШИНОВЕДЕНИЯ И АВТОМАТИКИ**

На правах рукописи

УДК: 681.5.032:004(575.2) (043.3)

Исабаев Кайыртай Жулдызтаевич

**Исследование и разработка интеллектуальной аппаратно-программной
платформы анализа радиолокационных сигналов и обработки
радиолокационной информации**

Специальность 05.13.05 - элементы и устройства вычислительной техники и
систем управления

Диссертация на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Научный руководитель:

доктор технических наук, профессор

Брякин Иван Васильевич

Бишкек – 2024

СОДЕРЖАНИЕ

ПЕРЕЧЕНЬ СОКРАЩЕНИЙ И ОБОЗНАЧЕНИЙ	4
ВВЕДЕНИЕ	7
ГЛАВА 1 Аналитический обзор современных систем управления войсками (СУВ)	11
1.1. Обобщенная структура системы управления войсками	14
1.2. Особенности организации и функционирования средств управления для СУВ	18
ГЛАВА 2 Методология и методы исследования разработки концепции интеллектуальной аппаратно-программной платформы (ИАПП)	21
2.1. Применение РЛС для задач оперативной передачи информации в СУВ	24
2.2. Разработка структурной блок-схемы и алгоритма функционирования ИАПП	25
2.3. Особенности условий и режимов работы основных компонентов ИАПП	28
2.4. Анализ основных ТТХ РЛС и особенностей их функционирования	31
ГЛАВА 3 Исследование и разработка аппаратного компонента ИАПП	62
3.1. Возможности аппаратного компонента ИАПП	66
3.2. Радиофизический полигон для экспериментального исследования аппаратного компонента ИАПП	101
3.3. Выбор и обоснования измерительных трасс для мониторинга тропосферных каналов радиосвязи аппаратного компонента ИАПП ...	106
3.4. Результаты экспериментальных исследований тропосферного распространения радиосигналов аппаратного компонента ИАПП	109

3.5. Исследование возможности использования аппаратного компонента ИАПП для передачи данных	111
3.6. Изготовление и проведение испытаний антенны аппаратного компонента ИАПП	117
ГЛАВА 4 Исследование и разработка программного компонента ИАПП	127
4.1. Применение программного компонента ИАПП для первичной обработки радиолокационных данных	127
4.2. Экспериментальное исследование первичной обработки радиолокационной информации на базе программного компонента ИАПП	132
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	136
ПРАКТИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ	137
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ	138
ПРИЛОЖЕНИЯ	148

ПЕРЕЧЕНЬ СОКРАЩЕНИЙ И ОБОЗНАЧЕНИЙ

- АЗН-В – автозависимое наблюдение
- АКП – автокомпенсатор помех
- АМУ – антенно-мачтовое устройство
- АП – антенный переключатель
- АПОРЛИ – аппаратура предварительной обработки РЛИ
- АППТ – аппаратура приёмо-передающего тракта
- АРМ-В – автоматизированное рабочее место (выносное)
- АРМ-К - автоматизированное рабочее место командира
- АРМ-О – Автоматизированное рабочее место оператора
- АСУ – Автоматизированная система управления
- АШЗП – активные широкополосные заградительные помехи
- АШП – активная шумовая помеха
- БВИ – блок выносного индикатора
- БЗАК – блок защиты – антенный коммутатор
- БПГ – блок приёмников и гетеродинов
- БПР – блок приёмника
- БС – блок сумматора
- БС4-К – блок сумматора на 4 (П-18К)
- БСОП – блок сопряжения
- БФС – блок функционального контроля
- БХ – блок хронизатора
- ВИИРЭиС – Военно-инженерный институт радиоэлектроники и связи
- ВО – воздушный объект
- ВОЛС – волоконно-оптическая связь
- ВСК – встроенная система контроля
- ГАУ – главное артиллерийское управление
- ГКО – Государственный Комитет Обороны

ГНИИРТ – Горьковский НИИ радиотехники
ДНА – диаграмма направленности антенны
ДО – дальность обнаружения
ДТР – дальнее тропосферное распространение
ИАПП – интеллектуальная аппаратно-программная платформа
ИИ – искусственный интеллект
ИКО – индикатор кругового обзора
КБ – конструкторское бюро
КВ – короткая волна
КП – командный пункт
КП ВНОС – КП воздушного наблюдения, оповещения и связи
КУ – коэффициент усиления
КУНГ – кузов универсальный герметизированный
КАФС – коммутатор антенно-фидерной системы
ЛФТИ – Ленинградский физико-технический институт
ЛЭМЗ – Лианозовский электромеханический завод
МА – машина аппаратная
МСЭ – Международный союз электросвязи
МШУ – малошумящий усилитель
НИИИС РККА – НИИИС Рабоче-крестьянской Красной Армии
НИОКР – научно-исследовательские и опытно-конструкторские работы
НИР – научно-исследовательская работа
НКО – народный комиссариат обороны
НПО – научно-производственное объединение
НПП - научно-производственное предприятие
НРЗ – наземный радиозапросчик
НТС – научно-технический совет
НУР – модель радиолокатора
ОКР – опытно – конструкторская работа
ПО - программное обеспечение

ПС – прицеп силовой
ПЩС – панель щита силового
РЛП – радиолокационный пост
РЛС – радиолокационная станция
РРС – радиорелейная система связи
РУС-1 – радиоуправляемый самолёт – первый
РЩ – щит распределительный
СБЗ – субблок запуска
СБПХ - субблок питания хронизатора
СБС – субблок синтезатора
СБУС - субблок усилителя возбуждения
СБУТ – субблок усилителя (транзисторный)
СБХ - субблок хронизатора
СОРЛИ – система обработки радиолокационной информации
СУБД – система управления базами данных
СУВ – система управления войсками
СУП – субблок усилителя предварительного
ТРРЛ – тропосферная радиоприемная станция
ТРС – тропосферная радиостанция
ТСС – тропосферная система связи
ТЭЗ – типовой элемент замены
УКВ – ультракороткие волны
УпрСБУ – сигнал управления субблоками усилителей
УС – ученый совет
ФАР – фазированная антенная решетка
ФКМ – фазокодированный манипулированный
ЭОП – эффективная отражающая поверхность

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы диссертации

СУВ является ключевым элементом в обеспечении эффективности и координации всех операций, где одним из важнейших функциональных компонентов является средства управления. Оптимизация средств управления является важной задачей для обеспечения эффективного функционирования различных систем. Это позволяет повысить производительность, снизить расходы и улучшить качество обслуживания. В контексте современного развития технологий (цифровизация процессов, использование алгоритмов машинного обучения, искусственного интеллекта и обработки больших данных), оптимизация средств управления является ключевым элементом успешного управления любым процессом или системой и должна быть постоянно находиться в центре внимания специалистов по управлению.

Связь темы диссертации с приоритетными научными направлениями, крупными научными программами (проектами), основными научно-исследовательскими работами, проводимыми образовательными и научными учреждениями

Диссертационная работа выполнена в порядке личной инициативы.

Цель и задачи исследования

Целью диссертации является повышение эффективности работы системы управления войсками за счет разработки и применения ИАПП.

Основными задачами исследования являются:

1. Исследование существующих методов и технологий анализа радиолокационных сигналов и обработки радиолокационной информации.
2. Разработка ИАПП для проведения анализа радиолокационных сигналов.
3. Создание алгоритмов и программного обеспечения для обработки радиолокационной информации на разработанной платформе.

4. Проведение экспериментов и тестирование разработанной платформы на реальных радиолокационных данных.

5. Оценка эффективности и точности работы ИАПП в сравнении с существующими методами и технологиями.

6. Формулирование выводов и рекомендаций по дальнейшему развитию и применению разработанной платформы в радиолокационных системах.

Научная новизна полученных результатов

Научная новизна проведенного исследования заключается в следующем:

– получены новые результаты экспериментальных исследований тропосферного распространения радиоволн, как на равнинных, так и на горных трассах в диапазоне УКВ для различных сезонов и времен суток;

– разработан прототип нового полигона для радиофизических исследований на базе ИАПП радиолокатора ВИИРЭиС;

– обоснован новый физический эффект в виде многопутности РРВ при тропосферном и стратосферном распространении;

– предложен способ передачи цифровых данных в радиолокационном сигнале ИАПП радиолокатора;

– разработан новый метод обработки радиолокационной информации с использованием свёрточной нейронной сети, позволяющий снизить порог обнаружения в ИАПП радиолокатора.

Практическая значимость полученных результатов

1. Передача информации об обнаруженных целях в радиолокационном сигнале позволит повысить надёжность и оперативность передачи данных на командный пункт [1].

2. Предложенный способ обработки радиолокационной информации с использованием нейронной сети позволяет обнаруживать малоразмерные БПЛА и увеличить дальность обнаружения воздушных целей.

3. Внедрение обнаружителя на базе нейронной сети можно осуществить без существенных аппаратных доработок в ИАПП радиолокатора.

Экономическая значимость полученных результатов

Предложенные новые технические решения позволяют улучшить ИАПП радиолокатора без больших затрат на модернизацию или замену радиолокаторов [2].

Основные положения диссертации, выносимые на защиту

– эффект тропосферного прохождения радиоволн обеспечивает устойчивую передачу информации радиолокационного сигнала РЛС П-18М метрового диапазона радиоволн на дистанциях до 266 км;

– использование импульсной модуляции обеспечивает скорость передачи данных в тропосферном канале в метровом диапазоне радиоволн не менее 6000 бод;

– применение свёрточной нейронной сети в составе обнаружителя обеспечивает скорость его работы, достаточную для его использования в РЛС П-18М;

– применение свёрточной нейронной сети увеличивает коэффициент проводки маневрирующих целей на 30%.

Личный вклад соискателя

Все представленные в диссертации результаты исследований получены лично автором либо при его непосредственном участии. Автор лично участвовал в проведении всех экспериментальных исследований и обработке их результатов.

Апробации результатов диссертации

Основные результаты диссертационной работы докладывались на следующих научных конференциях:

– Международной научно-практической конференции, посвященный 100-летию войск связи «Инфокоммуникационные технологии: Современное состояние и пути развития» (2019 г.) и на межкафедральной научной конференции «Актуальные вопросы развития тактики, боевой техники войск ПВО. Пути их решения» (28 апреля 2023 г.), г. Алматы, Казахстан.

– V Всероссийской научно-технической конференции «Актуальные

проблемы современной науки и производства» (27-29 ноября 2020 г.) и на IV Международном научно-техническом форуме (2021 г.), г. Рязань, Россия.

– I Международных научных конференциях «Академики и материалы научных обзоров» (10-11 ноября 2022 г.), г. Хельсинки, Финляндия и «Мировые научные доклады» (17-18 ноября 2022 г.), г. Париж, Франция.

Полнота отражения результатов диссертации в публикациях

По результатам диссертации опубликовано более 17 научных работ – из них в журналах: входящих в базу РИНЦ «Проблемы автоматизации и управления» (4 статьи); «The scientific heritage», «Sciences of Europe», «Маркшейдерия и недропользование» и вестник «Алмаз-Антей» по 1 статье; «Научный аспект» (2 статьи); в военный научно-технический журнал «Научные труды ВИИРЭиС» (1 статья); в научный журнал «Известия НАН. Серия физико-математическая» входит в ВАК РК (1 статья); в журнал «Научный вестник национального горного университета» входит в базу Scopus (1 статья), а также подтвержден патентом (1 патент на полезную модель) и подана заявка на изобретение (1 патент на изобретение).

Структура и объем диссертации

Диссертация содержит перечень сокращений и обозначений, введение, четыре главы, заключение, практические рекомендации, список использованных источников и приложения.

Полный объем диссертации содержит 149 страниц, в том числе 47 рисунков и 45 таблиц. Список используемых источников содержит 98 наименований.

Диссертант выражает искреннюю благодарность научному руководителю доктору технических наук, профессору Брякину Иван Васильевичу и 5 Департаменту ТОО «СКТБ «Гранит», в том числе кандидату физико-математических наук Васильеву Иван Вениаминовичу и Проценко Владимир Александровичу, за оказанное содействие и консультации при выполнении диссертационной работы.

ГЛАВА 1 АНАЛИТИЧЕСКИЙ ОБЗОР СОВРЕМЕННЫХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ ВОЙСКАМИ (СУВ)

На официальном сайте Министерства обороны Российской Федерации, система управления войсками понимается система, реализующая в войсках функции управления и представляющая собой, совокупность органов управления войсками, пунктов управления, систем связи, автоматизированных систем управления войсками, а также специальных систем (оповещения и др.), предназначенных для управления войсками. Основными направлениями совершенствования и развития СУВ являются внедрение средств электронно-вычислительной и организационной техники и новейших информационных технологий в деятельность органов управления всех уровней, автоматизация управления войсками и оружием, оптимизация структуры пунктов управления и их модернизация. Используемое в официальных документах армий ведущих стран мира и Объединённых вооруженных сил (ОВС) НАТО понятие СУВ в целом соответствует понятию, принятому в ВС РФ [3].

Для аналитического обзора современных систем управления войсками важно рассмотреть несколько ключевых аспектов. В их число входят:

1. Технологические инновации: изучение использования современных технологий, таких как искусственный интеллект, автономные системы, облачные вычисления, для повышения эффективности управления войсками [4].

2. Координация и коммуникации: анализ методов связи и систем обмена информацией между различными частями вооруженных сил для обеспечения оперативности и точности принятия решений [5].

3. Кибербезопасность: исследование мер безопасности, защиты от киберугроз и кибератак, чтобы гарантировать надежность и защиту систем управления войсками [6].

4. Геополитический контекст: анализ влияния геополитических факторов на развитие и применение современных систем управления военными операциями [7].

5. Примеры практического применения: изучение опыта различных стран в создании и применении современных систем управления войсками.

Исследования загоризонтного распространения радиоволн в тропосфере изучается давно и постоянно. По этим результатам издано большое количество научных трудов, например, Давыденко Ю.И. [8], Калинин А.И. [9, 10], Введенский Б.А., Колосов М.А., Шифрин Я.С. [11], Гусятинский И.А., Немировский А.С., Соколов А.В., Троицкий В.Н. [12], Черенкова Е.Л. [13], Шур А.А. [14], Долуханов М.П. [15], а в Российской Федерации – Клиот Е.И., Козлов Д.Г. [16], Серов В.В. [17-19], Мацков А.А., Муха Р.Н., Серов В.В., Цодикова М.И. [20], Сандулов Н.В., Шлома В.И., Кожурякин Д.А., Макаров С.В. [21], Мандель А.Е., Замотринский В.А. [22]. Также зарубежными учеными в 50-х годах были созданы методы расчета, которые вносились в рекомендации в Международный союз электросвязи (МСЭ – ITU International Telecommunications Union) [23-25].

Современные станции тропосферной связи работают, как правило, в сантиметровом диапазоне радиоволн, в котором более свободны частотные ресурсы, и там можно организовывать многоканальную радиосвязь [26]. Поэтому исследования тропосферного прохождения радиоволн в метровом диапазоне, проводившиеся в 40-х – 50-х годах прошлого века были сокращены и достоверных моделей для расчёта тропосферных каналов связи на частотах ниже 400 МГц не существует. Изменение климата, от которого в значительной мере зависит тропосферное распространение радиоволн, требует уточнения параметров тропосферных каналов радиосвязи. Предложена идея экспериментального полигона для радиофизических измерений, основанная на наблюдении за радиоизлучением радиолокационных станций контроля воздушного пространства, круглосуточно работающих на всей территории Казахстана.

Были рассмотрены только некоторые методы расчета ослабления

коэффициента затухания в тропосфере – это метод Введенского Б.А. и др. 1965 г.; Манделя А.Е. и др. 2006 г.; Сандулова Н.В. и др. 2017 г., Международного союза электросвязи - Национальный бюро стандартов США – НБС [27], а также Rice P.L. и др. [28] по четырем направлениям – это от учебного центра полигона Военно-инженерного института радиоэлектроники и связи до пункта №1, пункта № 2, пункта № 3 и пункта № 4.

Сверточная нейронная сеть (CNN) - это тип нейронной сети, который широко используется для обработки и анализа изображений. В радиолокаторах, CNN может быть применена для обнаружения и классификации целей на радарных изображениях [29-33].

Разработка сверточной нейронной сети для радиолокаторов включает несколько этапов:

1. Сбор и подготовка данных: необходимо собрать данные радарного изображения, подготовить их и разделить на обучающую и тестовую выборки.

2. Проектирование архитектуры CNN: определение количества слоев, их типов (сверточные, пулинговые, полносвязные), функций активации и т.д.

3. Обучение модели: проведение обучения нейронной сети на тренировочных данных с целью минимизации ошибки и повышения точности предсказаний.

4. Оценка модели: проверка эффективности модели на тестовых данных, анализ метрик качества (например, точность, полнота, F1-мера).

Применение сверточной нейронной сети в радиолокаторах позволяет автоматизировать процесс обнаружения и классификации целей на радарных изображениях, что упрощает работу оператора и повышает надежность системы. Такие системы могут быть использованы, например, для обнаружения объектов на море, воздухе или на земле, а также для мониторинга и контроля различных объектов и событий.

1.1. Обобщенная структура системы управления войсками

Организационно-техническую основу управления войсками составляет система управления. Система управления должна обладать высокой боевой готовностью и обеспечивать возможность как централизованного, так и децентрализованного управления войсками. Обобщенная структурная схема системы управления войсками состоит из трех основных компонентов, которые взаимодействуют между собой для эффективного управления военными операциями (рисунок 1.1) [34]:

- органы управления [35];
- пункты управления [36, 37];
- средства управления [38, 39].



Рисунок 1.1 – Обобщенная структурная схема системы управления войсками

Органы управления являются одним из ключевых компонентов системы управления любой организацией, они играют важную роль в определении стратегии, принятии решений, контроле за выполнением поставленных задач и обеспечении эффективного функционирования организации в целом. Включает в себя: командира, штаб, заместителей и начальников служб, где принимаются стратегические и оперативные решения, а также в управлении ресурсами и

персоналом для достижения успеха и устойчивого развития.

Пункты управления являются ключевыми компонентами системы управления и предназначены для обеспечения эффективного контроля и координации действий всех подразделений и подчиненных единиц, куда входят: командный пункт, запасной командный пункт, тыловой пункт управления и командно-наблюдательный пункт, где все пункты управления взаимосвязаны и взаимодействуют для обеспечения эффективного управления военными операциями, обеспечения безопасности и успешного выполнения боевых задач. Они обеспечивают высокую степень координации и контроля над всеми аспектами боевой деятельности, что позволяет достичь поставленных целей и задач.

Средства управления являются одним из ключевых компонентов системы управления, обеспечивающих выполнение поставленных задач и целей, куда входят: система и средства оповещения, автоматизированные системы управления и система связи, где являются неотъемлемой частью процесса управления и направлены на обеспечение эффективной работы организации, достижение поставленных целей и оптимизацию процессов. Их правильный выбор и настройка играют важную роль в обеспечении успешного функционирования системы управления в целом.

Под средствами управления понимается обширный комплекс различных машин, приборов, устройств и приспособлений, используемых в процессе руководства войсками и целях повышения его эффективности. Являясь материальной основой управления, они облегчают и ускоряют работу командира, офицеров штаба и других органов управления, позволяют им получать и обрабатывать сведения о противнике, своих войсках, соседях и другие данные обстановки, подготавливать необходимые для правильного руководства войсками данные и расчеты, разрабатывать боевые документы, доводить до подчиненных боевые задачи, порядок взаимодействия и обеспечения, контролировать выполнение ими поставленных задач, успешно решать другие вопросы, связанные с управлением войсками. В настоящее время

управление войсками базируется на развитой технической основе. Органы управления всех уровней оснащены большим количеством техники, необходимой для руководства войсками в сложных условиях современной войны. Для нужд управления войсками в общевойсковом бою используются средства связи и наблюдения, машины управления, средства механизации и автоматизации управления войсками [40].

Система и средства оповещения предназначены для своевременного и эффективного информирования военнослужащих о возможных угрозах, приказах и инструкциях, а также координации и контроля действий войск в различных боевых ситуациях [41]. Они могут включать в себя различные виды связи, интернет-сервисы, специальные сигнализации и средства массовой информации, обеспечивая быстрое и надежное распространение необходимой информации среди военнослужащих.

Автоматизированные системы управления (АСУ) войсками предназначены для управления и координации действий военных подразделений, обеспечивая эффективное руководство войсками в боевых и тактических операциях [42]. Они помогают оптимизировать использование вооружения, техники и персонала, обеспечивая более точное и оперативное реагирование на изменяющиеся обстановки на поле боя.

Система связи предназначена для обеспечения передачи информации и команд между военными подразделениями, а также для поддержания связи и координации действий во время боевых операций [43]. Она позволяет гарантировать оперативный обмен информацией, управление войсками, передачу приказов и инструкций, а также обеспечивает связь между командованием и подчиненными единицами. Система связи играет ключевую роль в обеспечении эффективности военных операций и безопасности войск.

Радиолокационная станция может быть одним из средств оповещения войсками [44 – 63]. Радиолокационные станции используются для обнаружения и отслеживания воздушных и наземных объектов в реальном времени. Они могут передавать информацию о целях и их координатах войскам, что позволяет им

принимать оперативные решения и эффективно реагировать на угрозы. Радиолокационные станции могут быть частью общей системы оповещения и обеспечивать военным необходимую информацию для успешного выполнения их задач.

В диссертации рассматривается один из ключевых компонентов системы управления – это средства управления, которая влияет на функционирование всей системы управления. Недостатки средств управления как компонент системы управления включают в себя следующие аспекты:

1. Ограниченная функциональность: некоторые средства управления могут иметь ограниченную функциональность и не способны обеспечить полный контроль и управление над системой. Это может привести к потере эффективности и эффективности работы системы.

2. Недостаточная надежность: неадекватное оборудование или программное обеспечение может стать причиной неполадок и отказов в работе, что приведет к снижению производительности и недостаточной надежности всей системы.

3. Сложность использования: некоторые средства управления могут быть сложными в использовании и требовать специальных навыков и знаний для эффективного управления системой. Это может затруднить работу персонала и привести к ошибкам в управлении системой.

4. Неэффективное взаимодействие: некоторые средства управления могут быть несовместимы с другими компонентами системы или представлять собой изолированные системы, что затрудняет эффективное взаимодействие и обмен данными между ними.

5. Недостаток гибкости: некоторые средства управления могут быть недостаточно гибкими и неспособными адаптироваться к изменяющимся условиям и требованиям системы. Это может ограничить возможности управления и привести к неэффективному функционированию системы.

Таким образом, недостатки средств управления как компонент системы управления могут привести к снижению эффективности, надежности и

производительности всей системы, а также затруднить работу персонала и взаимодействие между компонентами системы. Для минимизации этих недостатков необходимо выбирать средства управления с учетом их функциональности, надежности, удобства использования и гибкости, а также обеспечивать их хорошее взаимодействие с другими компонентами системы.

1.2. Особенности организации и функционирования средств управления для СУВ

Организация и функционирование средств управления для систем управления войсками имеют несколько особенностей:

1. Централизованное управление: в системе управления войсками часто используется централизованная модель управления, где все решения принимаются на высшем уровне командования и распространяются по всему составу войск [64].

2. Интеграция различных видов средств управления: системы управления войсками обычно включают в себя различные виды средств управления, такие как командно-штабные системы, системы радиокommunikаций, системы наблюдения и связи и т.д. Эти средства интегрируются в единую систему для обеспечения эффективного управления войсками.

3. Работа в реальном времени: для успешного управления войсками необходима оперативность и скорость принятия решений. Поэтому средства управления должны обеспечивать передачу информации и команд в реальном времени.

4. Надежность и устойчивость: операции военного характера могут происходить в экстремальных условиях, таких как боевые действия, плохие погодные условия и т.д. Поэтому средства управления должны быть надежными и устойчивыми к внешним воздействиям.

5. Защита от кибератак: современные военные средства управления становятся все более зависимыми от информационных технологий и сетей связи, что делает их уязвимыми к кибератакам [65]. Поэтому важно обеспечивать

защиту от таких угроз.

Таким образом, организация и функционирование средств управления для систем управления войсками требует особого внимания к оперативности, надежности, безопасности и централизации управления.

Для соответствия современным условиям и геополитическим обстановкам в мире, необходимо оптимизировать средства управления как ключевой компонент системы управления (рисунок 1.1). Оптимизация заключается в разработке многофункционального средства управления, т.е. объединение всех трех составляющих – это системы и средства оповещения, АСУ и системы связи (рисунок 1.2).

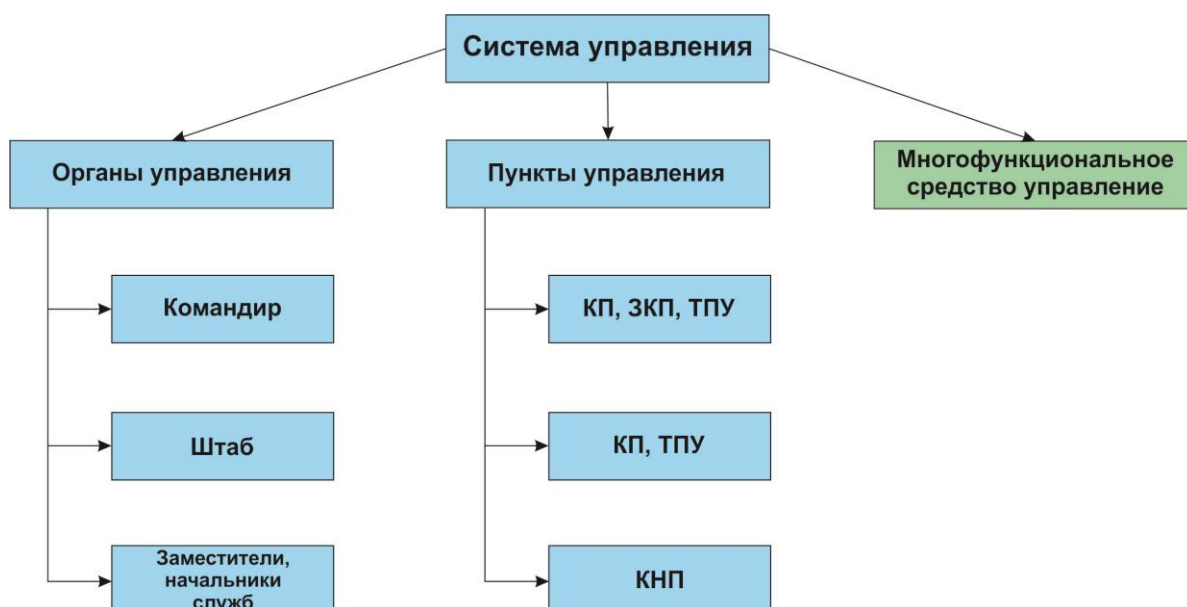


Рисунок 1.2 – Обобщенная структурная схема системы управления войсками с одним многофункциональным средством управления

Военные операции требуют эффективного взаимодействия между системой и средствами оповещения, автоматизированными системами управления и системами связи для обеспечения координации действий, управления ресурсами и связи между всеми уровнями командования.

Военные операции требуют непрерывного и надежного взаимодействия между этими системами. Например, в случае обнаружения угрозы в средствах оповещения, передать информацию в автоматизированные системы управления

для анализа ситуации, затем передать информацию через системы связи командованию, для принятия решения.

Кроме того, системы связи могут обеспечивать передачу данных от автоматизированных систем управления к различным военным подразделениям, что позволяет координировать действия, передавать указания и обновлять информацию в режиме реального времени.

Вывод: таким образом, взаимодействие между системой и средствами оповещения, автоматизированными системами управления и системами связи в военных операциях играет ключевую роль в обеспечении оперативности, эффективности и безопасности вооруженных сил. В многофункциональное средство управления входят все три компонента, где основным составляющим является радиолокационная станция. Техническое решение заключается в том, что после модернизации, радиолокационная станция может выполнять функцию обнаружения цели, функцию радиосвязи, а также выполнять функцию АСУ без существенных аппаратных доработок в интеллектуальной аппаратно-программной платформе радиолокатора. На примере доработок выбрали радиолокационную станцию метрового диапазона П-18М.

ГЛАВА 2 МЕТОДОЛОГИЯ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ РАЗРАБОТКИ КОНЦЕПЦИИ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ АППАРАТНО-ПРОГРАММНОЙ ПЛАТФОРМЫ (ИАПП)

Методология и методы исследования разработки концепции ИАПП – совокупность методов и приемов, используемых для изучения, анализа, разработки и оптимизации концепции интеллектуальной аппаратно-программной платформы [66]. Методология и методы исследования включают в себя такие этапы как:

1. Анализ требований и актуальных проблем, которые требуют решения с помощью разработки интеллектуальной платформы.

2. Изучение существующих технологий, методов и решений в области разработки искусственного интеллекта, облачных вычислений и других смежных областей.

3. Проектирование и разработка концепции интеллектуальной платформы, включая выбор архитектуры, технологий, алгоритмов и методов реализации.

4. Проведение экспериментов, испытаний и тестирования разработанных решений, для оценки их эффективности и функциональности.

5. Анализ полученных результатов и оптимизация концепции платформы на основе обратной связи и результатов исследований.

Этапы методологии и методов исследования могут быть адаптированы в зависимости от конкретных задач и характера проекта разработки интеллектуальной платформы. Результатом работы по разработке концепции является создание инновационной системы, способной решать сложные задачи и повышать эффективность работы в различных сферах деятельности.

Разработка концепции построения интеллектуальной аппаратно-программной платформы включает в себя ряд компонентов, объединенных для достижения заданных целей [67]. Ниже приведена схема, показывающая основные составляющие такой платформы (рисунок 2.1):



Рисунок 2.1 – Основные составляющие ИАПП

1. Аппаратная часть:

- Процессоры и вычислительные устройства: центральные процессоры, графические процессоры и другие специализированные вычислительные устройства.
- Хранилища данных: жесткие диски, твердотельные накопители, облачное хранилище и другие средства для хранения и обработки данных.
- Сетевое оборудование: коммутаторы, маршрутизаторы, сетевые карты и другие устройства для обеспечения связи и сетевого взаимодействия.

2. Программное обеспечение:

- Операционная система: базовая программа, управляющая аппаратными ресурсами, обеспечивающая выполнение программ и управление процессами.
- Прикладное программное обеспечение: специализированные программы, разработанные для конкретных целей, такие как аналитика данных, искусственный интеллект, обработка изображений и прочее.
- Библиотеки и фреймворки: наборы программных компонентов, предназначенные для упрощения разработки и использования различной функциональности.

3. Интеллектуальные технологии:

- Машинное обучение: алгоритмы и модели для обучения системы распознавать образы, прогнозировать поведение и принимать решения на основе данных.

- Обработка естественного языка: технологии для анализа и понимания человеческого языка, включая распознавание и синтез речи, анализ текста и прочее.

4. Интерфейсы и взаимодействие:

- Графический интерфейс пользователя: пользовательские приложения и интерфейсы, обеспечивающие доступ и управление функциональностью платформы.

- API и протоколы: средства для взаимодействия и интеграции с другими системами и сервисами.

Эти компоненты взаимодействуют друг с другом для создания интеллектуальной аппаратно-программной платформы, способной обрабатывать данные, выполнять сложные вычисления, принимать решения и обеспечивать пользовательский интерфейс для взаимодействия с системой.

Цель разработки такой платформы заключается в том, чтобы предоставить пользователям возможность проводить сложные вычисления и анализировать большие масштабы данных в реальном времени. Платформа также должна обладать высокой производительностью, энергоэффективностью и масштабируемостью, чтобы удовлетворять потребности различных пользователей и предприятий.

Важными аспектами разработки такой платформы являются обеспечение надежности и безопасности данных, интеграция с другими информационными системами, а также разработка удобного пользовательского интерфейса, который позволит пользователям легко взаимодействовать с платформой и использовать ее функциональные возможности [68].

Интеллектуальная аппаратно-программная платформа, которая входит в состав системы управления войсками, выполняет следующие функции:

1. Сбор, обработка и анализ разведывательной информации с помощью различных сенсоров и датчиков.
2. Определение стратегических и тактических целей на основе анализа данных.
3. Поддержка принятия решений руководителями на основе текущей обстановки и ситуации на поле боя.
4. Координация и управление взаимодействием между различными частями вооруженных сил.
5. Планирование и проведение военных операций с учетом всех факторов.
6. Мониторинг и контроль выполнения поставленных задач и задач.
7. Автоматизация процессов управления войсками для увеличения эффективности и оперативности действий.

Эти функции позволяют управляющим структурам обеспечивать успех военных операций, повышать оперативность и точность принимаемых решений, а также улучшать координацию действий войск на поле боя.

Вывод: таким образом, разработка концепции построения интеллектуальной аппаратно-программной платформы является сложным и многогранным процессом, который требует интеграции различных технологий и методик, чтобы создать эффективную и универсальную систему для решения сложных интеллектуальных задач.

2.1. Применение РЛС для задач оперативной передачи информации в СУВ

Применение радиолокационной станции для оперативной передачи информации в систему управления войсками может быть чрезвычайно полезным в военных операциях. Радиолокационная станция обычно используется для обнаружения и отслеживания объектов, но ее возможности также можно применить для передачи информации в систему управления войсками. Вот несколько способов, которыми радиолокационная станция может быть использована для этой цели:

1. Ретрансляция данных: радиолокационная станция может быть настроена на прием и передачу информации, такой как координаты войск, объектов и целей, обнаруженных радаром. Эта информация может быть передана в реальном времени в систему управления войсками, чтобы обеспечить оперативное принятие решений.

2. Установка точек связи: радиолокационная станция может быть использована для установки временных точек связи или ретрансляторов, чтобы обеспечить связь в областях, где связь могла быть нарушена или затруднена.

3. Обеспечение обзора обстановки: радарная информация, полученная от радиолокационной станции, может быть передана в систему управления войсками для создания общей картины обстановки, что поможет в принятии тактических решений и координации действий.

4. Мониторинг воздушной обстановки: радиолокационная станция может также использоваться для отслеживания воздушных объектов и обмена этой информацией с системой управления войсками, что позволит своевременно реагировать на возможные угрозы.

Вывод: таким образом, радиолокационная станция может быть ключевым инструментом для оперативной передачи информации в систему управления войсками, обеспечивая необходимую ситуационную осведомленность и связь для эффективного управления силами и ресурсами.

2.2. Разработка структурной блок-схемы и алгоритма функционирования ИАПП

Аппаратная часть интеллектуальной аппаратно-программной платформы взаимодействует с программным обеспечением через драйверы и интерфейсы. Программное обеспечение управляет аппаратной частью, используя интеллектуальные технологии для обработки данных и принятия решений. Интерфейсы обеспечивают взаимодействие между различными компонентами платформы, а также с внешними устройствами или системами. Данные передаются от аппаратной части к программному обеспечению для обработки,

затем результаты обработки возвращаются обратно для управления аппаратурой или другими действиями (рисунок 2.2).

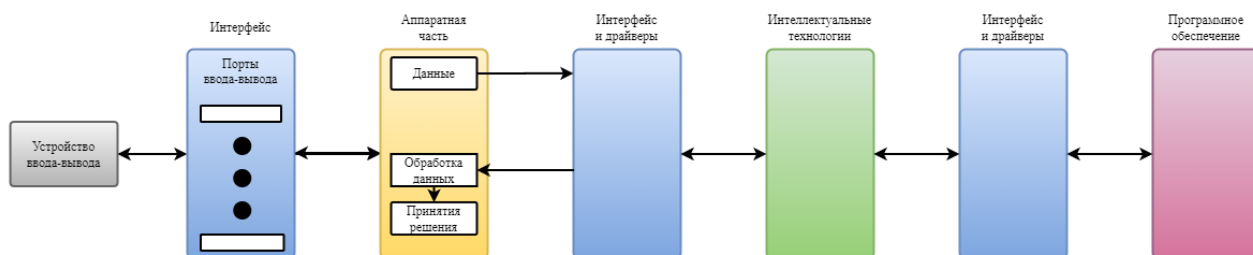


Рисунок 2.2 – Структурная блок-схема ИАПП

Все компоненты взаимодействуют между собой и включают в себя:

1. Аппаратную часть:

- Центральный процессор (CPU);
- Оперативная память (RAM);
- Жесткий диск (HDD/SSD);
- Графический процессор (GPU);
- Платы расширения (например, сетевая карта, звуковая карта);
- Порты ввода/вывода (USB, HDMI, Ethernet и т.д.).

2. Программное обеспечение:

- Операционная система (Windows, Linux, macOS и т.д.);
- Драйвера устройств;
- Прикладное программное обеспечение (приложения, игры и т.д.);
- Системное программное обеспечение (антивирусы, библиотеки и т.д.).

3. Интеллектуальные технологии:

- Машинное обучение и искусственный интеллект;
- Алгоритмы обработки данных;
- Автоматизация процессов;
- Аналитика и предсказательная аналитика.

4. Интерфейсы и взаимодействие:

- Графический пользовательский интерфейс (GUI);
- Командная строка (CLI);

- Сетевые протоколы (TCP/IP, HTTP и т.д.);
- API для взаимодействия с другими системами;
- Механизмы обмена данными (базы данных, файловые системы).

Также структурную блок-схему функционирования ИАПП можно представить в виде рисунка 2.3

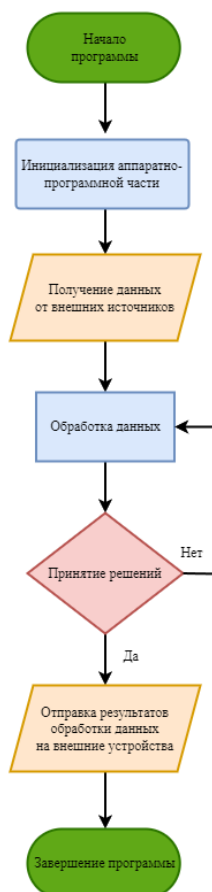


Рисунок 2.3 – Структурная блок-схема функционирования ИАПП

Программа начинается с инициализации аппаратно-программной части, за которой следует получение данных от внешних источников, после этого идёт этап обработки данных, на основании которой осуществляется принятие решений, в случае положительного результата, происходит отправка результатов обработки данных на внешние устройства, в противном случае - возвращение к этапу обработки данных, завершается алгоритм окончанием работы программы.

Рассмотрим алгоритм функционирования интеллектуальной аппаратно-программной платформы:

1. Инициализация платформы: при включении платформы происходит загрузка операционной системы и запуск служб и приложений, необходимых для функционирования.

2. Подключение к сети: платформа осуществляет подключение к сети интернет для доступа к внешним ресурсам и обмену данными с другими устройствами.

3. Обработка данных: платформа получает данные от подключенных датчиков или других источников, анализирует их и принимает соответствующие решения в зависимости от заданных параметров..

4. Взаимодействие с пользователем: платформа может взаимодействовать с пользователями посредством голосовых команд, текстовых сообщений или других способов.

5. Управление устройствами: платформа может контролировать другие устройства, например, включать и выключать освещение, регулировать температуру и т.д.

6. Обновление программного обеспечения: платформа регулярно проверяет наличие обновлений и устанавливает их для обеспечения безопасности и улучшения функционала.

7. Сбор и анализ данных: платформа собирает данные об использовании и работы системы для анализа и оптимизации работы устройства

8. Отчетность и уведомления: платформа может отправлять отчеты пользователю о выполненных задачах, а также уведомления о возможных проблемах или событиях.

2.3. Особенности условий и режимов работы основных компонентов ИАПП

Для создания интеллектуальной аппаратно-программной платформы необходимо учитывать следующие особенности условий основных компонентов:

1. Аппаратная составляющая: Важно выбирать компоненты высокого качества, которые обеспечат надежную и эффективную работу системы. Оптимизация аппаратной части под задачи и требования проекта является ключевым фактором успеха.

2. Программное обеспечение: Это набор прикладных и системных программ, которые обеспечивают функциональность системы. Программное обеспечение должно быть оптимизировано для работы с выбранной аппаратной платформой.

3. Искусственный интеллект: ИИ может играть ключевую роль в интеллектуальной платформе. Обработка данных, машинное обучение, нейронные сети и другие технологии ИИ могут использоваться для улучшения работы системы.

4. Сетевое взаимодействие: Передача данных между компонентами платформы, облачные вычисления, а также обеспечение безопасного и стабильного соединения между устройствами - это важные аспекты.

5. Безопасность: Защита данных, предотвращение утечек, обеспечение конфиденциальности - это основополагающий элемент для успешной работы любой интеллектуальной системы.

6. Управление энергопотреблением: Эффективное использование энергии имеет важное значение, поэтому разработка платформы должна учитывать оптимизацию энергопотребления.

7. Масштабируемость и расширяемость: Платформа должна быть способной масштабироваться и охватывать новые возможности и функционал с ростом требований проекта или объема данных.

8. Мониторинг и управление ресурсами: Необходим контроль и управление ресурсами для эффективной работы системы без простоев или ухудшения производительности.

Вывод: успешное сочетание всех этих компонентов и учет их особенностей способствует созданию эффективной и инновационной интеллектуальной аппаратно-программной платформы.

Интеллектуальная аппаратно-программная платформа обычно состоит из нескольких основных компонентов, каждый из которых имеет свои характеристики и режимы работы. Ниже приведены особенности режимов работы основных компонентов интеллектуальной аппаратно-программной платформы:

1. **Центральный процессор (CPU):** Центральный процессор выполняет основную часть вычислительной работы платформы. Он имеет несколько режимов работы, такие как режим ядра (kernel mode) и пользовательский режим (user mode). В режиме ядра процессор имеет доступ к всему аппаратному обеспечению и может выполнять привилегированные операции, в то время как в пользовательском режиме он ограничен на выполнение операций в пределах пользовательского приложения.

2. **Память:** Память платформы может иметь несколько видов, таких как оперативная память (RAM), постоянная память (ROM) и кеш-память. Каждый тип памяти имеет свои характеристики и режимы работы, например, оперативная память используется для хранения временных данных, в то время как постоянная память используется для долгосрочного хранения информации.

3. **Ввод-вывод (I/O):** Компоненты ввода-вывода обеспечивают взаимодействие платформы с внешними устройствами, такими как клавиатура, мышь, дисплей, принтер и другие. Режимы работы ввода-вывода могут быть синхронными (подтверждение завершения операции) или асинхронными (операция выполняется без блокировки основного процесса).

4. **Операционная система:** Операционная система управляет работой всех компонентов платформы и обеспечивает выполнение задач пользователя. Основные режимы работы операционной системы включают монопольный режим (kernel mode), пользовательский режим (user mode) и защищенный режим (protected mode).

5. **Программное обеспечение:** Программное обеспечение платформы может быть разделено на системное и прикладное. Режимы работы программного обеспечения могут включать интерактивный режим

(взаимодействие с пользователем), автоматический режим (выполнение задач по расписанию) и т.д.

Вывод: в целом, особенности режимов работы основных компонентов интеллектуальной аппаратно-программной платформы зависят от их функциональности и взаимодействия друг с другом для обеспечения работы всей системы.

2.4. Анализ основных ТТХ РЛС и особенностей их функционирования

Алматинское СКТБ "Гранит" осуществляет модернизацию РЛС П-18 по проекту П-18М в интересах сил противовоздушной обороны Казахстана с 2007 года.

Все модернизации выполнены на базе собственных разработок. При разработке модернизированного варианта РЛС основное внимание уделялось простоте функционального построения аппаратного комплекса, облегчающего освоение и обслуживание станций. Блоки и системы станций разрабатывались так, чтобы дальнейшее улучшение ТТХ изделия могло бы осуществляться сменой программного обеспечения без изменения аппаратной базы.

Изделие отличается от аналогов повышенной длиной фазокодированного сигнала для повышения энергетического потенциала.

В данном проекте модернизации было уделено повышенное внимание условиям быта операторов. Один из силовых прицепов был выделен для отдыха персонала между сменами, снабжён спальными местами, связью и системой кондиционирования.

2.4.1. Предпосылки создания РЛС П-18М

К 2006 году ТОО СКТБ «Гранит» было самым подготовленным предприятием Казахстана для того, чтобы приступить к разработке отечественного радиолокатора. Однако для начала самостоятельной разработки радиолокатора этого было недостаточно. Необходимо было накопить опыт

разработки всех узлов радиолокационной станции от систем электропитания до передатчиков, от систем вращения до цифровой обработки радиолокационных сигналов. Этот опыт был накоплен в результате выполнения многих научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ, которые предприятие выполняло как в рамках отраслевых научно-исследовательских программ, так и за счёт собственных средств.

Так, в 1993 году предприятие приступило к разработке региональной АСУ противовоздушной обороны «Беркут», программное обеспечение которой легло в основу программно-алгоритмического обеспечения радиолокационной станции П-18М. В рамках выполнения этой работы были отработаны алгоритмы вторичной обработки радиолокационной информации (завязывание трасс по данным целеуказаний от радиолокационных станций) и её отображения, а также интерфейс оператор - радиолокационная станция. Для расчётов зон радиолокационной видимости была применена трёхмерная карта местности.

Важным элементом передвижного командного пункта стало использование системы обработки радиолокационной информации (СОРЛИ), которая осуществляла оцифровку видеосигнала аналоговых радиолокационных станций и её первичную обработку (выделение целей и определение их координат). Первый вариант исполняемого кода программного обеспечения модернизированной станции П-18М так и назывался sorli, и он был использован в радиолокаторе П-18М.

На передвижном командном пункте обрабатывались системы оперативной речевой связи, внешние связи с другими изделиями комплекса, а также системы видеонаблюдения.

Параллельно, в рамках выполнения НИОКР по созданию опытного образца станции метеорной радиосвязи прорабатывались вопросы по разработке приёмного и передающего устройств метрового диапазона волн. Радиосвязь с использованием отражений от ионизированных следов метеоритного вещества, круглосуточно попадающего в атмосферу, фактически представляет собой разнесённую в пространстве радиолокационную станцию. Только для

радиолокации используется только факт наличия отражений от воздушного объекта, а в радиосвязи важна и та информация, которая закодирована в генерируемом передающим устройством сигнале. Созданный опытный образец связной станции был успешно испытан на трассе Алматы-Балхаш. По результатам этой работы, выполнявшейся совместно с Институтом ионосферы (г.Алматы) одним из авторов этой работы была защищена диссертация на соискание учёной степени кандидата физико-математических наук на тему «Исследование характеристик метеорных каналов связи на частотах 150...160 МГц». Было получено 16 патентов на изобретение, включая один Евразийский патент.

Технические решения, связанные с управлением системами вращения с использованием сельсинов, а также оцифровки угловых положений по данным сельсин-датчиков, применённые позднее при модернизации системы вращения радиолокатора, отрабатывались в рамках НИОКР «Балобан-2» по созданию ракетно-мишенного комплекса, в котором осуществлялось управление наведением пусковой установки СМ-90.

Для управления оборудованием радиолокатора были использованы технические решения на базе интерфейса RS-485, отработывавшиеся в рамках заказа Астрофизического института (г.Алматы) по автоматизации дистанционного управления телескопом Тяньшанской обсерватории.

Кроме того, ТОО СКТБ «Гранит» привлекалось к монтажу и пусконаладочным работам, а также к последующему техническому обслуживанию поставленных в Казахстан модернизированных станций П-18, выполненных по российской и украинской технологиям.

Приобретенный опыт в этой области позволил предприятию предложить Министерству Обороны РК свой вариант модернизации радиолокатора П-18. С этой целью на предприятии в 2005-2006 годах был создан стенд, полностью реализующий основные функции будущей радиолокационной станции П-18М, только смонтированный не на автомобильном шасси, в стационарном помещении.

Разработка казахстанского варианта модернизации РЛС П-18 осуществлялась с учётом ТТХ прототипов, при этом были учены недостатки предыдущих вариантов модернизации. В частности, выносной АРМ изготовлен в более компактном и удобном для переноса виде. Изготовлен дополнительный блок выносного индикатора (БВИ) для передачи первичной информации на ЗРК (в случае использования РЛС как источника целеуказания). Была модернизирована система вращения и наклона антенны, обеспечившая продление механического ресурса редукторов. Был значительно улучшен комфорт работы операторов. Проводились работы по повышению надежности работы изделия в целом.

В таблице 2.1 приведены основные тактико-технические характеристики созданного в Казахстане изделия П-18М в сравнении с аналоговой станцией П-18 и вариантами модернизации украинской (П-18У) и российской (1РЛ-131М) [69].

Таблица 2.1 - Сравнение характеристик аналогового варианта П-18, П-18М казахстанской, П-18У украинской и 1РЛ-131М российской станции

	П-18	П-18М	П-18У	1РЛ-131М
Дальность обнаружения МиГ-21, км:				
- на высоте 3000 м	110	110	110	110
- на высоте 10000 м	180	180	180	180
- на высоте 20000 м	260	270	270	260
Точность определения координат:				
- по дальности, м	1400	250	250	300
- по азимуту, мин	47	25	25	30
Коэффициент подавления АШПЗ, дБ	-	25	25	20
Точность пеленгования постановщика АШПЗ, град.	4	1	1	-
Коэффициент подавления отражений от местных предметов, дБ	20	45	45	25
Производительность, трасс	-	120	120	
Среднее время наработки на отказ, час.	140	2000	1000	800
Мощность импульсная/средняя, Вт	200000/500	8000	8000	8000

Как видно из таблицы, при модернизации была поставлена задача добиться соизмеримых характеристик с аналогами, причём с лучшими их значениями.

2.4.2. Основные технические решения

При разработке казахстанского варианта модернизации были тщательным образом проанализированы особенности трёх вариантов модернизации изделия П-18 (российского, венгерского и украинского). Были изучены сильные и слабые стороны выбранных их подходов к модернизации. Был принят такой подход к проектированию изделия, при котором совершенствование отдельных узлов не приводило бы к необходимости переделки смежных блоков. Ориентировались на максимальное использование возможностей микропроцессорных устройств и вычислительной техники, чтобы свести к минимуму аппаратные переделки при совершенствовании работы блоков.

На основании проведённого анализа была выбрана концепция построения радиолокатора с открытой архитектурой, построенной на базе информационных интерфейсов, к которым подключаются различные блоки и устройства независимо друг от друга. Стыки между блоками, которые невозможно реализовать через цифровые интерфейсы, были реализованы с учётом минимизации межблочных связей. Сигналы от датчиков и блоки управления исполнительными механизмами были выполнены конструктивно отдельными. Сопряжение сигналов от датчиков и блоков управления осуществлялось в соответствии с едиными стандартизованными в рамках открытой архитектуры информационными интерфейсами.

Во все кабины (помещения) радиолокационных станций были установлены унифицированные системы громкоговорящей связи и оснащены регистраторами речевых сообщений, для обеспечения объективного контроля над действиями боевых расчётов. Системы охранной и пожарной сигнализаций, а также системы климатконтроля, проектировались независимо от базовой архитектуры радиолокатора. Их обслуживание и, при необходимости, замена не должны были влиять на работу изделия. Такие системы легко могут интегрироваться с общими системами охранной и пожарной сигнализации войсковых частей.

Проектирование станции осуществлялось по принципу «сверху-вниз», в

соответствии с которым базовыми элементами модернизации становились приёмопередающее устройство и вычислительный комплекс. Первое получило название Аппаратура приёмо-передающего тракта (АППТ), а второе – Автоматизированное рабочее место оператора РЛС (АРМ-О). Эти элементы оборудования объединялись между собой посредством двух основных информационных каналов (интерфейсов) – канала управления и информационного канала. Канал управления (командный канал) был организован на базе интерфейса RS-485, а для передачи высокоскоростного потока радиолокационной информации был выбран протокол физического уровня Ethernet, который широко используется для построения локальных компьютерных сетей.

Все исполнительные устройства, такие как привода вращения, дизель-генераторные установки, видекамеры наблюдения и другие, также как и АППТ получают команды от АРМ-О, который назначен ведущим устройством (master), так как за ним сидит оператор, принимающий решения. К этому же интерфейсу подключены разнообразные датчики, например, датчики азимута и угла наклона антенны (рисунок 2.4).

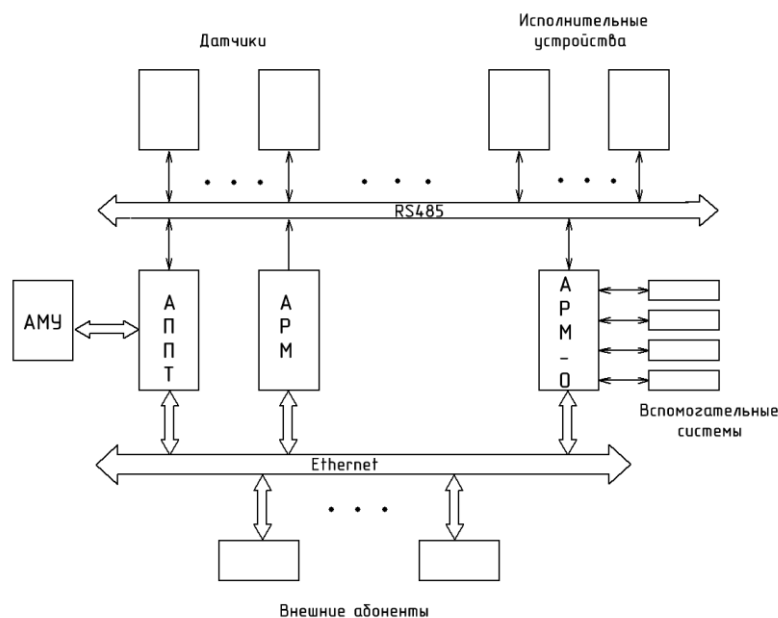


Рисунок 2.4 – Основная блок-схема взаимодействия интерфейсов РЛС

Оцифрованная и предварительно обработанная радиолокационная информация передаётся от АППТ в сеть Ethernet широковещательными пакетами, чтобы она была доступна всем потребителям, подключённым к локальной сети. Такими потребителями в изделии П-18М являются АРМ-О, выносное автоматизированное рабочее место (АРМ-В) и блок видеоинформации (БВИ). Количество подобных абонентов может быть легко расширено простым подключением к коммутатору локальной сети (Switch/HUB) (рисунок 2.5). Так, в последующих изделиях «Фургон» и «Оборона», которые создавались на базе этой же архитектуры, дополнительно появилось автоматизированное рабочее место командира (АРМ-К). В процессе отработки версий программного обеспечения, компьютеры, на которых установлена новая версия, можно также подключать к коммутатору для того, чтобы можно было визуально сравнивать эффективность новых доработок.

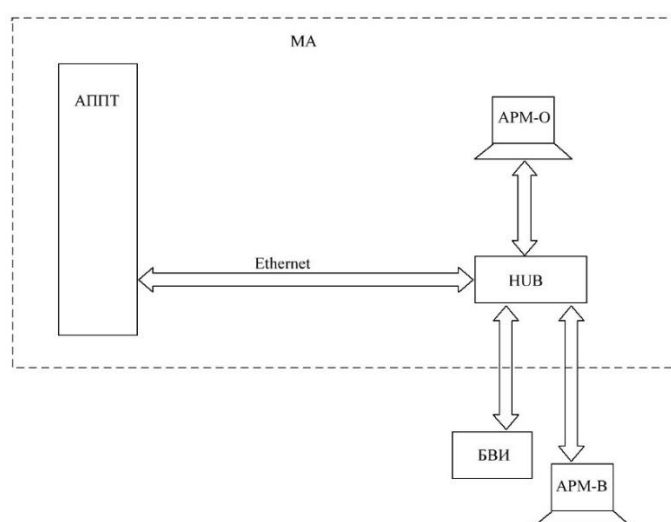


Рисунок 2.5 – Блок-схема подключения абонентов к сети Ethernet

В связи с ограничениями, имеющимися у сети Ethernet, на максимальную удалённость абонентов связи, для подключения внешних потребителей, таких как АРМ-В и БВИ, используются специальные устройства – модемы. Модемы позволяют достичь необходимой дальности связи, а также осуществить гальваническую развязку (защиту). Такая защита необходима, так как внешние абоненты могут получать электропитание от других источников.

Так как одним из требований управления войсками ПВО было требование по отображению на экране, при необходимости, исходных радиолокационных сигналов, принципиальным техническим решением было отказ от использования экстракторов в приёмном устройстве, которые оцифровывают радиолокационную информацию и выдают уже координаты обнаруженных целей, однако исключают возможность контроля уровня сигналов, чем ограничивают возможности оператора.

Было решено разделить обработку информации на предварительную и окончательную. Под предварительной обработкой подразумевалась: оцифровка сигналов, поступающих с приёмников; выделение фазокодированных сигналов; нормирование сигналов по амплитуде; восстановление амплитудного сигнала, приближенного к сигналу аналоговых РЛС (для отображения «исходной» радиолокационной информации). Компьютеру, выполняющему эту обработку, было дано название АПОРЛИ (аппаратура предварительной обработки радиолокационной информации). Вся остальная обработка выполняется в АРМ-О и других внешних потребителях исходной радиолокационной информации (АРМ-В и БВИ).

Информация, циркулирующая по сети Ethernet, может записываться и, таким образом, могут создаваться архивы исходной радиолокационной информации с различной воздушной и помеховой обстановкой. Такая записанная информация оказала огромную помощь в отработке эффективных алгоритмов первичной (выделение целей и определение их координат) и вторичной (построение трасс полётов) обработки для программного обеспечения АРМ. Как показала практика, именно эффективность алгоритмов обработки радиолокационной информации определяет реальную эффективность функционирования (вероятность обнаружения при заданном уровне ложной тревоги) современных локаторов.

Управление же оборудованием РЛС было осуществлено на базе низкоскоростных интерфейсов RS485 и RS 232. На рисунке 2.6 представлена общая схема интерфейсов управления оборудованием РЛС П-18М.

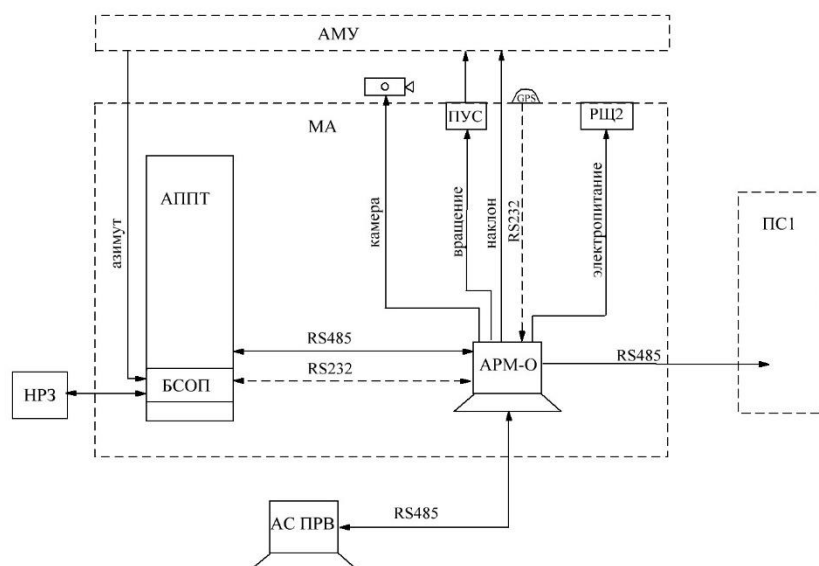


Рисунок 2.6 – Схема интерфейсов РЛС

Из-за применения в модернизируемой РЛС твердотельных (полупроводниковых) передающих устройств (требование заказчика), мощность передатчика пришлось снизить до 8 кВт, что существенно меньше мощности передатчика аналоговой РЛС П-18 – 180 кВт. Однако, при этом, модернизированный радиолокатор имеет большую дальность обнаружения. Это удалось осуществить за счёт повышения энергетического потенциала станции в целом, за счёт накопления отраженных эхосигналов во времени.

Если излучаемая энергия аналоговой РЛС П-18 равна $1080 \text{ кВт} \cdot \text{мкс}$ ($180 \text{ кВт} \cdot 6 \text{ мкс}$), то общая излучаемая энергия передатчика П-18М составляет $8 \text{ кВт} \cdot 378 \text{ мкс} = 3024 \text{ кВт} \cdot \text{мкс}$ (для режима «М последовательность» состоящего из 63 шести микросекундных импульсов следующих один за другим). Это почти в три раза выше энергии, излучаемой РЛС до модернизации. Кроме того, был реализован алгоритм некогерентного накопления внутри импульса (за счёт того, что частота оцифровки сигнала в 3 раза превышала длительность импульса), увеличивший энергетический потенциал изделия ещё в 1,7 раза. Затем некогерентное накопление было добавлено межпериодным накоплением, пока цель находится в главном максимуме диаграммы направленности. Таким образом, без аппаратных вмешательств, исключительно за счёт повышения

эффективности применяемых алгоритмов, ТТХ модернизированных радиолокационных станций П-18М удалось значительно улучшить, не меняя аппаратуру, а только меняя версию программного обеспечения.

На экран монитора выводится текущая радиолокационная обстановка, данные о характеристиках целей и пеленги постановщиков активных шумовых помех, а также органы управления, позволяющие менять режимы работы радиолокатора, управлять оборудованием и выполнять вспомогательные расчёты. Внешний вид интерфейса программы АРМ приведён на рисунке 2.7.



Рисунок 2.7 – Внешний вид интерфейса программы АРМ

Экран монитора функционально разделён на несколько основных зон. Большая часть экрана отводится под индикатор кругового обзора (ИКО). На этот экран выводится радиолокационная информация и, для удобства оператора, вспомогательная информация. Вспомогательная информация выводится при нажатии кнопок, расположенных в левом верхнем углу экрана монитора. В любых сочетаниях можно выводить вспомогательную азимутальную и дальностную сетку, карту местных предметов, воздушные коридоры для полёта самолётов и границы административных образований.

Масштаб отображения ИКО можно изменять для того, чтобы можно было более подробно рассмотреть воздушную обстановку в выбранной области пространства. Чтобы не терять при этом контроль над общей воздушной

обстановкой в правом нижнем углу экрана монитора расположен вспомогательный ИКО, постоянно отображающий всю область пространства, контролируемую РЛС.

2.4.3. Конструкторско-технологические решения

В целях принятия компоновочных и конструктивных решений при разработке отечественного варианта модернизации РЛС П-18, на предприятии был проведён анализ опыта эксплуатации аналоговых радиолокаторов старого парка, состоящих на вооружении в РК, а также опыт, полученный специалистами предприятия при реализации проектов модернизации РЛС П-18 по российской (Лианозовский электромеханический завод г. Москва) и украинской (ОАО Аэротехника) технологиям.

В целом, и российский, и украинский варианты имели ряд конструктивных недостатков и скорее являлись больше демонстрационными, так как это были первые модернизированные локаторы П-18, которые выпустили производители. Они показали возможные направления совершенствования аппаратной части, но не решали целого комплекса имеющихся проблем. Недостаточно внимания было уделено условиям работы боевого расчёта по эргономическим показателям (освещённость, климатконтроль) и наделению рабочих мест дополнительными функциями (радиосвязь, абонентская связь между кабинами, видеоконтроль на местности). Требовалась модернизация и унификация всей электротехнической составляющей станции. Необходимо было предложить конструктивные решения, понижающие эксплуатационные расходы.

В результате сравнительного анализа было принято решение перекомпоновать оборудование станции для получения дополнительных возможностей по размещению, как основного, так и вспомогательного оборудования. Требовалось повысить ремонтпригодность изделия и создать комфортные условия для боевого расчёта как на дежурстве, так и на марше при передислокации. При этом нужно было использовать кабины на шасси КАМАЗ, которые выпускало (совместное с Россией) казахстанское предприятие.

При конструировании радиоэлектронной аппаратуры решено было основываться на базовых несущих конструкциях стандарта 19 дюймов (рисунок 2.8). Оптимальное разделение всех радиоэлектронных систем РЛС на субблоки и блоки снизило номенклатуру ТЭЗ и позволило все запасные блоки разместить в одной стойке ЗИП.



Рисунок 2.8 – Внешний вид стоек с аппаратурой станции

Глубокой модернизации подверглась машина аппаратная, начиная с реконструкции кабины и замены несущего каркаса, утеплителя, обшивки, напольного покрытия. Для соблюдения санитарных норм и техники безопасности кабина поделена на аппаратный и операторский отсеки, между которыми имеется дверь со стеклянным окном. Наличие стеклянного окна позволяет наблюдать за состоянием аппаратуры, не открывая дверь и сохраняя низкий уровень шума в операторском отсеке. Система вентиляции отсеков выполнена независимо.

Стойки с тепловыделяющими устройствами расположены по центру аппаратного отсека, задней стороной прикрепляются к торцевой стене КУНГа (кузов универсальный герметизированный) в направлении кабины водителя.

При выборе системы освещения отсеков основное внимание было направлено на снижение потребляемой мощности, рациональному размещению

источников света и их миниатюризации, обеспечения достаточности освещенности конкретных зон отсеков и оборудования при обслуживании и ремонте. Во всех прицепах станции лампы расположены в два ряда ближе к бортам, что позволяет обеспечить при малой высоте помещений (особенно в прицепе силовом ПС-1) отсутствие теней при работе с оборудованием. Каждый светильник оборудован выключателем.

За спиной оператора, вдоль правого борта КУНГа, расположен рундук для хранения инструментов и принадлежностей. Он выполнен в виде длинного короба с откидывающейся крышкой, обитой мягким материалом. Этот рундук, при закрытой крышке, используется для того, чтобы на нём могли сидеть 3-4 человека. Такое решение оказалось на практике очень удобным, позволяя наблюдать за действиями оператора, не мешая ему.

Конструктивная компоновка машины аппаратной прошла проверку временем. Была подтверждена правильность принятых решений, и боевые расчёты отмечают удобство размещения оборудования для своей работы

Как отмечалось, вариант модернизации П-18М, отличался от российского и украинского вариантов модернизации тем, что он затрагивал и силовые прицепы. Из двух штатных прицепов силовых (ПС) функциональное назначение сохранили лишь за одним, а в другом реализовали концепцию жилого помещения.

В одном прицепе (ПС-1) были размещены оба дизель генератора со всем вспомогательным оборудованием (трубы выхлопные, пускозарядное устройство, понижающий трансформатор, люки автоматизированные для забора воздуха), щит распределительный (РЩ-2), панель щита силового (ПЩС-1). Для монтажа и создания зоны обслуживания кабину увеличили на 600 мм в длину. Данная реконструкция проводится в кооперации с КАМАЗ центром, так как вносятся конструктивные изменения, требующие последующей сертификации специализированным предприятием.

В прицепе ПС-2 размещены три полноценных спальных места и стол.

Создание комфортных условий для боевого расчёта обеспечивается

наличием вентиляции, обогревателя и кондиционера.

РЛС метрового диапазона волн продолжают быть востребованными в системах противовоздушной обороны. При этом модернизация РЛС остаётся более дешёвым способом улучшения ТТХ, чем покупка новых станций. РЛС П-18 не исчерпала своего модернизационного потенциала.

Анализ направлений модернизации радиолокаторов метрового диапазона, производимых в других странах, а также анализ данных из открытой печати о направлениях совершенствования радиолокаторов, позволяет сделать оценки возможных путей дальнейшего совершенствования изделий П-18М.

В настоящее время, в современной радиолокации наблюдается существенный прорыв за счёт применения цифровых способов обработки эхосигналов. Стремительное развитие возможностей вычислительной техники, повышение её быстродействия позволяют применять оптимальные, и ресурсоёмкие алгоритмы обработки эхо-сигналов, что позволит существенно повысить эффективность работы РЛС. Одним из таких способов является когерентное межлучевое накопление эхосигнала.

Введение и применение когерентного накопления позволит существенно увеличить соотношение сигнал/(шум+помеха), в связи с чем - увеличить реальную дальность обнаружения целей.

При когерентном накоплении соотношение сигнал/(шум+помеха) возрастает в количество раз, равное числу накоплений. Это эквивалентно увеличению ЭПР целей в число накоплений раз. Так, приведённые в монографии "Вопросы перспективной радиолокации" результаты экспериментов свидетельствуют о возможности эффективного когерентного накопления при работе по метеообразованиям и кораблям до десятков секунд, а по высокоскоростным целям – до единиц секунд [70]. Так, малая надводная цель при времени накопления до 2 секунд обнаруживалась на дальностях в 1,5 раза превышающих радиогоризонт, а вертолёты на дальности в 1,2 - 1,3 раза превышающих радиогоризонт.

Полученные показатели для локатора П-18М можно оценить следующим

образом. Ширина диаграммы направленности локатора – 6 градусов. При скорости вращения антенны 2 оборота в минуту антенна поворачивается на 360 градусов за 30 секунд. Таким образом, цель будет находиться в луче антенны $30\text{сек} * 6\text{град} / 360\text{град} = 500\text{мсек}$. При периоде зондирования 6 мсек можно сделать $500 / 6 = 83$ накоплений (19 дБ энергетического выигрыша).

Результаты работы обработки представлены на рисунках 2.9 – 2.12. В первом эксперименте смоделировано соотношение сигнал/шум, при котором коэффициент корреляции равняется 0,9 (рисунок 2.9). Это значение является типичным порогом обнаружения в локаторах П-18М. Оно обеспечивается при соотношении сигнал/шум 16,58 дБ.



Рисунок 2.9 – Вид сигнала при коэффициенте корреляции 0,9

После применения когерентного накопления к данному входному сигналу вид полученной диаграммы представлен на рисунке 2.10.



Рисунок 2.10 – Вид диаграммы при коэффициенте корреляции 0,998

То же самое было проделано с более низким уровнем шума при отношении

сигнал/шум $-2,82$ дБ (рисунок 2.11).



Рисунок 2.11 – Вид сигнала при отношении сигнал/шум $-2,82$ дБ

Результаты применения когерентного накопления к данному входному сигналу представлены на рисунке 2.12.



Рисунок 2.12 – Вид сигнала после применения когерентного накопления

Как видно из представленных рисунков, когерентное накопление позволяет уверенно восстанавливать информацию о цели даже при отрицательных соотношениях сигнал/шум. Таким образом, когерентная обработка позволит увеличить соотношение сигнал/шум и позволит значительно увеличить дальность уверенного обнаружения целей. Ожидаемые энергетический выигрыш составит около 19 дБ.

С учётом положительных результатов программного моделирования и изготовления блока АПОРЛИ-К, осуществляющий реализацию данного метода математической обработки радиолокационного эхосигнала в реальном времени. Были проведены две проверки возможностей работы данного блока. Первая, на

стенде для проверки аппаратуры предварительной обработки, а второй на боевой радиолокационной станции. Результаты проверки на стенде представлены на рисунках 2.13 – 2.18.

На всех рисунках слева приводится вид сигнала в масштабе позволяющем измерить амплитуду сигнала, а справа – в масштабе, облегчающем измерение уровня шума. Во всех случаях на блоки АПОРЛИ (штатный) и АПОРЛИ-К (экспериментальный) подавался одинаковый по уровню сигнал с приёмного устройства.

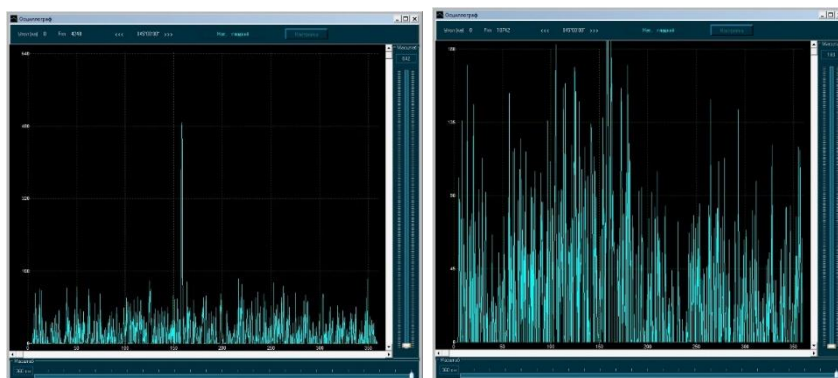


Рисунок 2.13 – Вид радиолокационного сигнала «гладкий» АПОРЛИ.

Сигнал/шум \approx 10

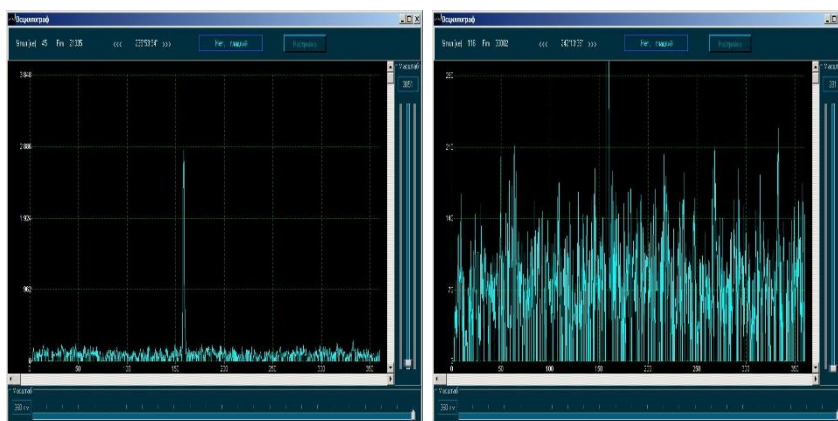


Рисунок 2.14 – Вид радиолокационного сигнала «гладкий» АПОРЛИ-К.

Сигнал/шум \approx 36

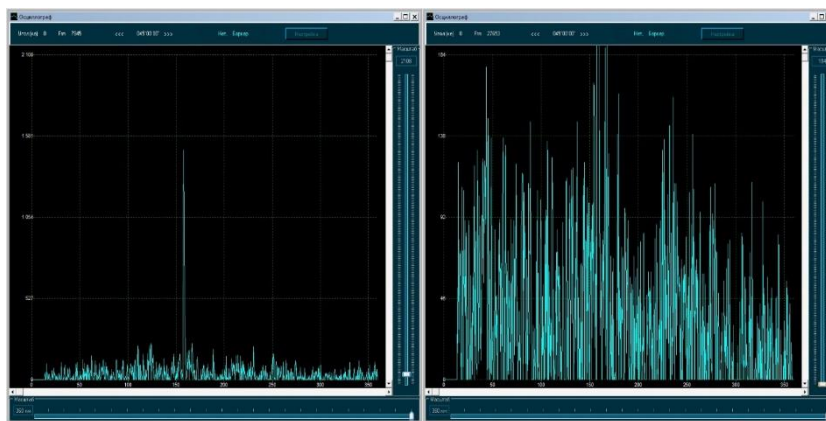


Рисунок 2.15 – Вид радиолокационного сигнала «баркер» АПОРЛИ.

Сигнал/шум \approx 32

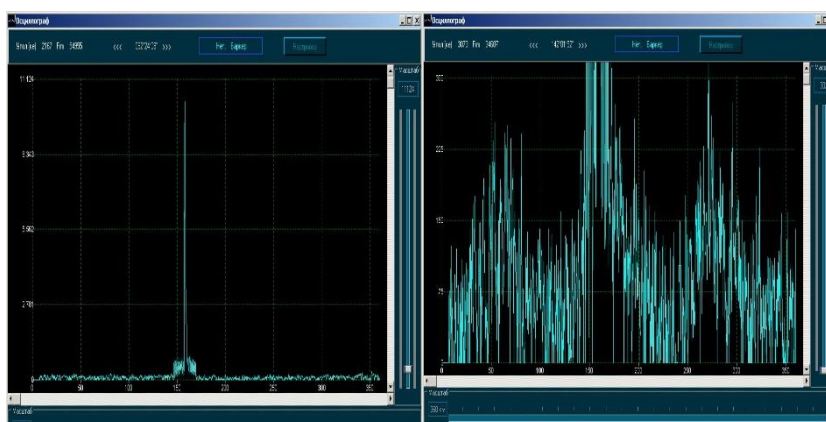


Рисунок 2.16 – Вид радиолокационного сигнала «баркер» АПОРЛИ-К.

Сигнал/шум \approx 133

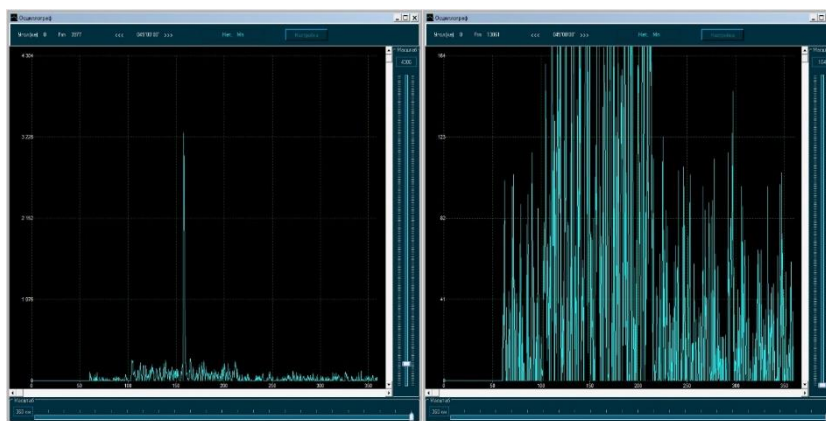


Рисунок 2.17 – Вид радиолокационного сигнала «М-посл.» АПОРЛИ.

Сигнал/шум \approx 80

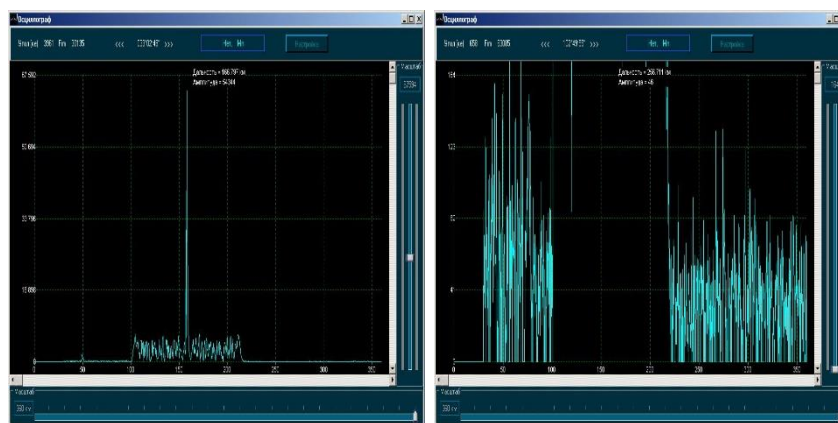


Рисунок 2.18 – Вид радиолокационного сигнала «М-посл.» АПОРЛИИ-К.

Сигнал/шум \approx 440

Как видно из представленных диаграмм, соотношение сигнал/шум после применения когерентного метода обработки резко возрастает. Так, было установлено, что при когерентном накоплении сигнала «М-последовательность» (используемого на дальностях свыше 50 км) выигрыш в соотношении сигнал/шум составил 5,5 раз по напряжению (14,8 дБ).

При первичной модернизации изделия П-18 основными компоновочными изменениями были, по сути, лишь решения, связанные с заменой транспортной базы на КАМАЗ и перенос двух энергоагрегатов в один силовой прицеп, с переделкой другого прицепа в служебный. Это позволило улучшить обслуживание автомобилей, значительно улучшить условия отдыха персонала не занятого в дежурстве. Возможно, несколько снизилось время разворачивания изделия, так как ПС-2 не нужно разворачивать перед началом боевой работы. То есть, серьёзных компоновочных изменений не было.

В этой связи предлагается, что структура и аппаратный комплекс изделия П-18К не будет подвергаться существенным изменениям в компоновочном плане относительно изделия П-18М, так как эти технические решения были проверены временем, и претензий по ним не поступало. Предлагаемая структура РЛС П-18К представлена на рисунке 2.19.

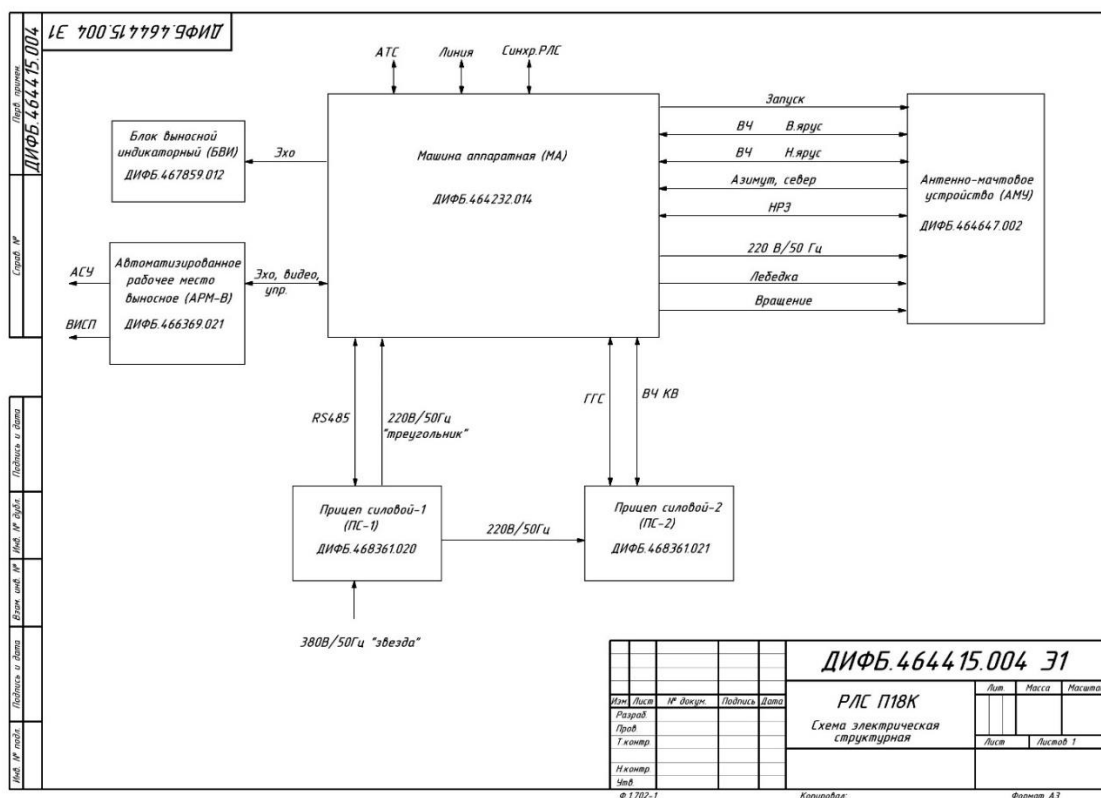


Рисунок 2.19 – Структурная схема РЛС П-18К

В структурной схеме предусматривается возможность использования встраиваемого в П-18К запросчика «свой-чужой», аналогичного используемого в РЛС «НУР», однако это решение требует отдельной проработки, так как повышение дальности обнаружения РЛС П-18К относительно П-18М должно поддерживаться приростом дальности гарантированного опознавания НРЗ. Этот вопрос должен решаться в НИР по модернизации НРЗ.

В основу технических решений изделия П-18К положена основная схема построения РЛС П-18М. Из неё исключено сопряжение с высотомером и предусмотрено включение НРЗ в состав АМУ. Дополнительно предусмотрено сопряжение с аппаратурой ВИСП через выносной АРМ.

В качестве принципиального изменения предполагается переход от схемы электропитания «звезда» с фазным напряжением 127В, к схеме «треугольник» с фазным напряжением 220В, используемой в большинстве других мобильных локаторов СССР. Такое включение не только существенно повышает электробезопасность, но и значительно улучшает электромагнитную

совместимость внутри локатора.

Данное техническое решение обосновывается тем, что в РЛС П-18М, так или иначе, соединены как нулевой провод электропитания 50 Гц, так и минусы вторичных источников питания и оплётки коаксиальных кабелей высокочастотных соединений. Это приводит к тому, что при даже незначительном нарушении схемы заземления, возвратные токи источников питания, "ища себе дорогу", начинают течь и через оплётки кабелей, создавая помехи высокочувствительным каскадам приёмного устройства и интерфейсам.

Автоматизированное рабочее место (выносное) в П-18М предназначено для сопряжения с АСУ. При этом предусматривается, что АСУ может быть удалённым, и оно будет иметь возможность управлять РЛС. Этим предусматривается возможность безоператорной работы изделия. Дистанционное управление предусматривается не только самой РЛС и НРЗ, но и системой электропитания, а также дистанционный контроль системы охранной сигнализации и пожаротушения.

Функциональная схема РЛС П-18К (рисунок 2.20) предусматривает принципиальные отличия нового изделия от П-18М. Это - введение стопроцентного резервирования аппаратуры приёмо-передающего тракта, введение SDR-приёмника для контроля помеховой обстановки, а также возможное (опционально) сопряжение радиостанции с АРМом для автоматизации передачи данных на удалённую АСУ.

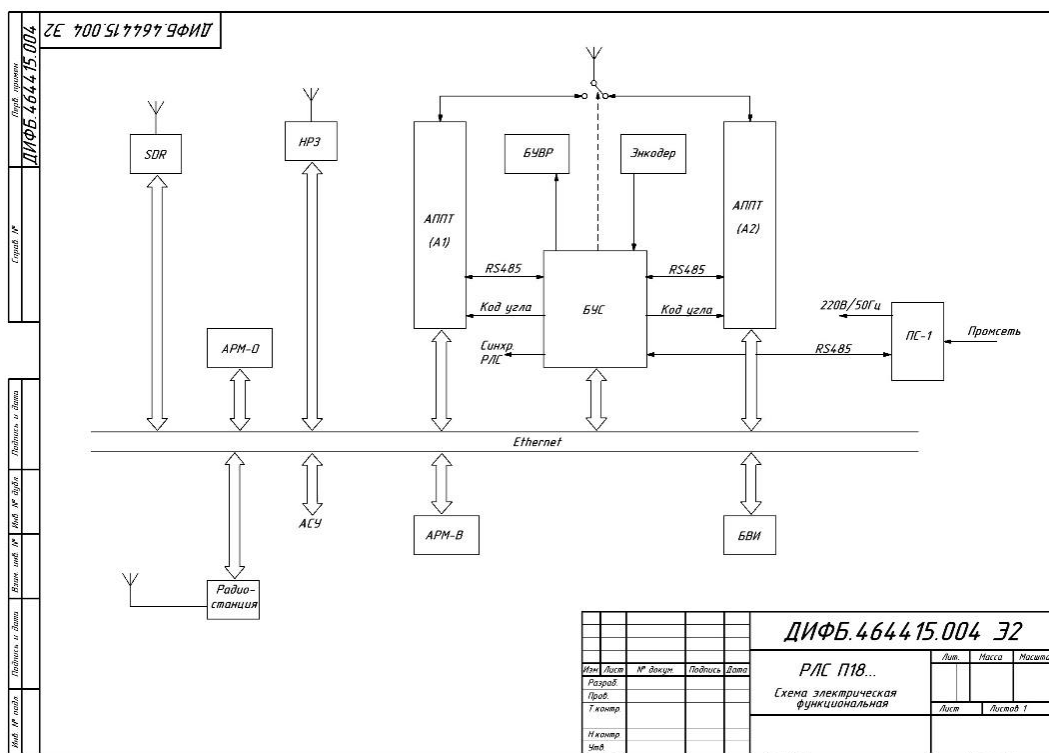


Рисунок 2.20 – Функциональная схема РЛС П-18К

В радиолокаторе П-18М основным источником отказов была аппаратура приёмно-передающего тракта (АППТ). Для повышения времени наработки на отказ этого оборудования в изделии П-18К предусматривается введение 100%-ного резервирования этого оборудования. Введение 100%-ного резервирования повышает наработку на отказ АППТ более чем в 30 раз.

Так как на аппаратуру АППТ приходилось 2/3 всех отказов в РЛС П-18М, то такое резкое повышение её надёжности практически позволяет исключить влияние этого оборудования на общую интенсивность отказов РЛС П-18К, что означает, повышение наработки на отказ нового радиолокатора в 3 раза (при сохранении технических решений прочего оборудования от П-18М).

2.4.4. Перспективы развития радиолокаторов П-18

Основной функцией радиолокаторов разведки является дальность обнаружения воздушных целей. Наиболее эффективным способом повышения дальности обнаружения было признано введение когерентного межлучевого

накопления информации. Все остальные способы рассматриваются как варианты дальнейшего улучшения ТТХ изделия П-18К в процессе его эксплуатации.

Для базиса для расчёта дальностей обнаружения будем использовать данные, приведённые в технической спецификации на изделие П-18М для тех же вероятностей обнаружения и ложной тревоги, а также для аналогичных высот подъёма антенны.

В технической спецификации дальности приведены для цели типа МИГ-21 с ЭПР=2,6м². При этом не делалось уточнения, что ЭПР приводится для диапазона сантиметровых волн. Это была традиция с периода СССР указывать ЭПР целей для диапазонов РЛС ЗРК.

Дальности обнаружения определялись:

- для эшелона 20000м - ≥ 270 км;
- для эшелона 10000м - ≥ 250 км;
- для эшелона 3000м - ≥ 140 км.

В радиолокаторе П-18М для улучшения энергетического потенциала использовались алгоритмы некогерентного накопления. В аналоговой РЛС П-18 функцию некогерентного накопления выполнял люминофор индикатора кругового обзора (ИКО). Из теории известно, что при некогерентном накоплении соотношение сигнал/шум увеличивается в \sqrt{N} раз (по мощности), где N – число накоплений. При когерентном же накоплении, соотношение сигнал/шум должно возрасти в N раз. Таким образом, замена некогерентного накопления на когерентное должно привести к энергетическому выигрышу в $N/\sqrt{N} = \sqrt{N}$ раз.

Рассчитаем количество межлучевых накоплений, используемых в радиолокаторе П-18М. Накопления производятся пока цель находится в главном максимуме диаграммы направленности локатора. Минимальная ширина луча АМУ РЛС П-18М равна 6 градусов, что составляет 1/60 от 360 градусов (1 оборот антенны). Цель находится в зоне видимости радара 1/60 времени оборота антенны. Антенна может вращаться со скоростями 2, 4 и 6 оборотов в минуту,

что соответствует периоду оборота 30, 15 и 10 секунд соответственно. Взяв 1/60 от этих величин, получим время накопления, равное 500, 250 и 166 миллисекунд.

Типичный период зондирования для РЛС П-18М составляет около 6 миллисекунд. Разделив время накопления на период зондирования, получим число накоплений N . Эти значения равны значениям 83, 41 и 27. Соответствующие энергетические выигрыши \sqrt{N} получатся 9, 6,4 и 5,2 раза. Из этого расчёта видно, что наибольший энергетический выигрыш получается при малых скоростях вращения антенны РЛС, потому что больше периодов зондирования цель облучается.

Воспользуемся формулой (1), для определения величины увеличения дальности обнаружения РЛС

$$r_{\text{макс}} = \sqrt[8]{\frac{P_{\text{пер}} G_{\text{пер}} S_{\text{э}} S_{\text{пр}}}{P_{\text{пр.мин.}} \lambda^4} 16\pi^2 (h_1 h_2)^4} \quad (1)$$

В этой формуле, кроме обычных обозначений, $S_{\text{э}}$ – ЭПР цели, а h_1 и h_2 , соответственно, высота антенны РЛС и цели.

Так как рост энергетического потенциала приводит к увеличению соотношения сигнал/шум (в формуле это соответствует отношению мощности передатчика к минимально принимаемой мощности приёмником), то увеличение дальности будет пропорционально корню 8 степени от этого соотношения. Для скоростей вращения 2, 4 и 6 оборотов в минуту увеличение дальности обнаружения составит 1,31, 1,26 и 1,22 раза. Значит, при скорости вращения 2 оборота в минуту дальности обнаружения цели типа МИГ-21 оставят:

- для эшелона 20000м - $\geq 270 * 1,31 = 353$ км;
- для эшелона 10000м - $\geq 250 * 1,31 = 327$ км;
- для эшелона 3000м - $\geq 140 * 1,31 = 183$ км.

Используя вариант модернизации без резервирования, а с совместной работой стоек АППТ, излучаемую мощность можно увеличить в 2 раза, что эквивалентно увеличению излучаемой мощности на 3 дБ.

Несколько иной подход [71] используется в предположении наличия взаимосвязи между характеристиками изделия или различных изделий. Такие взаимосвязи можно выявлять как методами корреляционного анализа, так и формальной логики. Это позволяет существенно сократить объёмы испытаний, не снижая уровня доверенности к их результатам по СТ РК ГОСТ Р ИСО/МЭК 15408.

В результате сравнительного анализа было выявлено, что у РЛС П-18К по сравнению с РЛС П-18М (таблица 2.2):

- дальность обнаружения увеличится в среднем в 1,26 раза;
- наработка на отказ в 2,5 раза;
- время перестройки частоты – 1 сек., нормируется.

Таблица 2.2 - Сравнительные ТТХ РЛС П-18К по сравнению с РЛС П-18М

Наименование параметра	П-18М	П-18К
	Характеристика	Характеристика
Максимальная дальность обнаружения	360 км	360 км
Минимальная дальность обнаружения	8 км	8 км
Дальность обнаружения цели с ЭОП 2,6 м с вероятностью P=0,8:		
на высоте 3000 м	140 км	183 км
на высоте 10000 м	250 км	327 км
на высоте 20000 м	270 км	353 км
Дальность обнаружения цели с ЭОП 2,6 м с вероятностью P=0,8 в условиях воздействия активных шумовых заградительных помех с суммарной спектральной плотностью 200 Вт/МГц :созданной четырьмя постановщиками помех с дальность 200 км и высоты 10 000 м:		
на высоте 3000 м	≤ 80 км	-
на высоте 10000 м	≤ 150 км	-
на высоте 20000 м	≤ 160 км	-
Время перестройки частоты при пеленгации постановщика помех, сек, не более	не нормируется	1
Точность пеленгования постановщика активных шумовых помех, град.	±4°	±4°
Точность измерения:		
дальности, м	≥ 250 м	<250 м
азимута, мин.	≥ 25 мин	<25 мин
Диапазон перестройки рабочих частот, МГц	140 - 170	140 - 170
Перестройка рабочей частоты	электронная	электронная
Производительность	не менее 120 трасс	не менее 120 трасс
Среднее время наработки на отказ, ч	2000	5000
Передающее устройство	твердотельное	твердотельное
Мощность импульсная, кВт	8,0	8,0 А 16,0
Энергопотребление, кВт	10	10

Наработку на отказ определить за период полигонных испытаний не представляется возможным. Обычно она оценивается расчётным методом.

Заявленная ТТХ в изделии П-18К выше ожидаемой по оценке специалистов РТВ (от 4000 до 5000 часов), но ниже полученной в результате оценочного расчёта. Это было сделано для повышения доверенности к полученным значениям наработки на отказ.

Время перестройки частоты ранее не входило в ТТХ изделия, так как «манёвр по частоте» хотя и использовался на практике для отстройки от разного типа помех, но не являлся нормируемым. В то же время принципы управления частотами, схемотехническая реализация синтезаторов частот и команды функционального управления перестройкой частот сохранились неизменными относительно РЛС П-18К. Скорость перестройки частоты в изделии П-18М проверялась ранее, при отработке режима «манёвр по частоте» и не требует дополнительной проверки.

Проблема проверки дальности обнаружения РЛС всех типов является основной при испытаниях радиолокационных средств. Эта проблема связана с вероятностными законами распределения результатов проверок.

Во-первых, ЭПР цели является величиной сильно зависящей от ракурса видения цели со стороны радиолокатора. Колебания ЭПР могут достигать 30 дБ (рисунок 2.21), что может приводить к колебаниям дальности обнаружения в 2,3 раза.

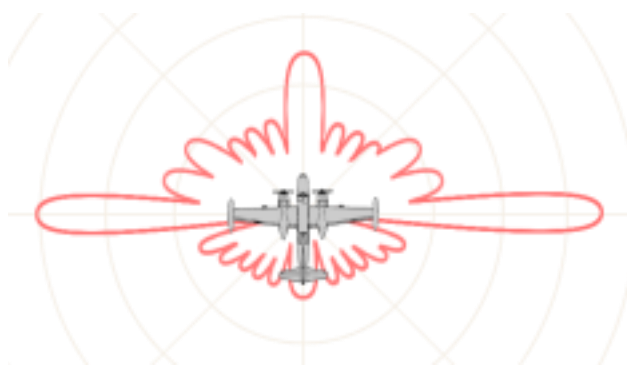


Рисунок 2.21 – ЭПР цели типа бомбардировщик в метровых радиоволнах

Во-вторых, обнаружение оценивается вероятностным коэффициентом. В разных документах эта величина принимается равной значениям 0,5, 0,8 или 0,9. Это означает, что не каждое обнаружение должно соответствовать заданной

дальности обнаружения и число реализаций при испытаниях должно быть не менее 10. Однако теория вероятности требует проведения не менее 200 испытаний для того, чтобы не менее 98% результатов уложилось в пределы $\pm 3\sigma$. Вероятность ложной тревоги является тоже статистической величиной.

Таким образом, полноценное испытание РЛС на проверку всех статистически задаваемых параметров является практически неосуществимой задачей в современных условиях. Это усугубляется тем, что эталонные цели, используемые в 50-х годах прошлого века практически невозможно использовать при испытаниях. А ЭПР современных ВО неизвестна. Это большая проблема, требующая своего разрешения, коль скоро Казахстан стал выходить на рынок вооружений с собственными радиолокационными станциями. Эти характеристики нужно доказывать не только перед внутренними заказчиками, но и перед зарубежными потенциальными потребителями.

Выходом из этой ситуации могла быть модель, используемая в метрологии – метод замещения средства измерения [72]. В этом методе в качестве эталонного измерительного средства используется поверенный прибор, а показания поверяемого средства сравниваются с эталонным прибором.

Такой способ оценки использовался при автономных испытаниях блока АПОРЛИ-К при проверке эффективности когерентного накопления по сравнению с блоком АПОРЛИ. В данном случае, при проведении испытаний сигналы I и Q с выхода приёмного устройства подавались параллельно на 2 блока предварительной обработки, и по сравнению значений сигнал/шум можно было принять решение об эффективности когерентного накопления.

При полном разделении трактов АППТ изделий П-18М и П-18К, хотя и используется общая антенна, невозможно одновременно обрабатывать информации от одного ВО для двух станций. В этом случае можно сделать независимые проводки ВО, летящих по одному маршруту (одинаковый номер рейса), но в разные дни. Однако это не гарантирует, что рейсы будут выполнены одним и тем же самолётом и лететь он будет по тому же высотному эшелону.

Тем не менее, именно статистические методы обработки радиолокационной информации могут решить эту проблему. Если мы считаем случайными факторами тип судна и эшелон его полёта, то при нескольких независимых наблюдениях дисперсия разброса параметров должна уменьшаться в количество раз, равным числу наблюдений. При этом, так как случайный выбор типа ВО и эшелона может присутствовать для всех рейсов, то вовлечение результатов «проводок» всех наблюдаемых рейсов позволит статистически подтвердить преимущество одного локатора перед другим.

Для этого за основу следует взять соотношение сигнал/шум для каждой зарегистрированной «пролётной точки» с пересчётом этих показаний на единую «условную» дальность по формуле (1). Тогда эти показания можно будет усреднять (для каждой из трасс) и фиксировать среднее соотношение сигнал/шум и количество зафиксированных радиолокатором пролётных точек («беспровальное» обнаружение). Подобный подход используется на практике, например, для оценки ЭПР БПЛА [73].

Другой проблемой, выявленной при испытаниях изделия АПОРЛИ-К было то, что ВО, доходя до пределов инструментальной дальности (360 км) и исчезал с экранов, но соотношение сигнал/шум было ещё очень большое, что свидетельствовало о возможности сопровождения цели и на большие расстояния. В связи с этим, наиболее эффективно, на наш взгляд именно оценка не дальности обнаружения и потери цели, а соотношение сигнал/шум на дальностях, на которых цель была потеряна одним из радаров.

В связи с вышеизложенным, сравнительные испытания следует проводить по ВО, летающим по регулярным трассам в период 2 недель, позволяющем поочерёдно «провести» одинаковые рейсы локаторами П-18М и П-18К с общей антенной системой. Оценке должны подвергаться - средняя величина соотношения сигнал/шум для каждой трассы и число «пролётных точек» (беспровальное сопровождение).

Для использования в проверках формулы (1), необходимо обеспечить выполнение условия, чтобы угол места ВО был меньше угла подъёма максимума

ДН антенны. Для РЛС серии П-18 этот угол (при типичной высоте подъёма антенны, используемой при испытаниях локатора на радиотехнической позиции) составляет 3,5 градуса. Типичные ВО, сопровождаемые локатором при испытаниях, представляют собой гражданские борта, следующие с крейсерской скоростью на эшелонах 10-11 км.

Вычислим наклонные дальности до ВО для разных углов прихода эхосигнала локатора. Расчёт будем производить по формулам для ПРВ-16 (без учёта рефракции). Для эшелона 11 км наклонная дальность при угле видимости 3,5 градуса - 151,0 км, а для эшелона эшелона 10 км – 139,0 км. Данные для других углов прихода эхосигнала для эшелона 10 км приведены в таблице 2.3.

Таблица 2.3 - Соотношения угла антенны и дальности до воздушных целей

Угол, град	Наклонная дальность, км	Угол, град	Наклонная дальность, км
3,5	139,0	0,5	305,7
3	155,1	0,4	315,2
2,5	174,5	0,3	325,1
2	198,2	0,2	335,4
1,5	227,3	0,1	346,0
1	262,7	0	356,9

Таким образом, чтобы корректно можно было бы преобразовывать соотношения сигнал/шум по формуле (1), необходимо учитывать только отметки от целей, полученные на дистанциях свыше 150 км, так как, только в этом случае цели попадают в категорию «низколетящих», то есть летящих ниже угла подъёма максимума ДН антенны РЛС. При очень малых углах над горизонтом, при которых точность формулы (1) вызывает сомнения, использовать наклонные дальности обнаруженных ВО для расчёта соотношения сигнал/шум недостаточно корректно. В связи с этим предлагается ограничиться наклонными дальностями до 340 км, что соответствует углу около 0,2 градуса.

Для низколетящих целей дальность их обнаружения связана с соотношением сигнал/шум как корень восьмой степени. При этом и сигнал, и шум в формуле приведены в единицах мощности. Так как радиолокатор оцифровывает эхосигнал с помощью АЦП в единицах напряжения, то при

переходе от единиц мощности к единицам напряжения дальность обнаружения будет связана с соотношением сигнал/шум как корень 4 степени. Поэтому, для пересчёта соотношения сигнал/шум, полученного РЛС от цели на дальностях свыше 150 км к эталонному значению, позволяющего производить усреднение полученных результатов, принятому нами на дальности 150 км, необходимо будет воспользоваться формулой (2):

$$\left(\frac{U_c}{U_{ш}}\right)_{i150} = \left(\frac{U_c}{U_{ш}}\right)_{iD} \cdot \left(\frac{D}{150}\right)^4 \quad (2)$$

где D – наклонная дальность до обнаруженной цели.

По вышеуказанным вопросам, целью является улучшение тактико-технических характеристик имеющегося на вооружении радиолокаторов П-18М, где основными задачами являются:

- повышение эффективности обнаружения малогабаритных беспилотных летательных аппаратов.
- повышение оперативности и надёжности при передаче данных об обнаруженных целях на командный пункт управления.

Выводы:

1) Анализ хода современных военных конфликтов показывает возрастающую роль беспилотных летательных аппаратов, требующую увеличения энергетического потенциала локаторов для обнаружения малоразмерных целей. Применения цифровой обработки информации и совершенствования искусственного интеллекта во всех сферах жизнедеятельности человека, делают возможным внедрения искусственного интеллекта на базе свёрточной нейронной сети в радиолокационную станцию разведки П-18М, распространённым по всей территории Казахстана, для доведения их характеристик до уровня, отвечающим современным требованиям.

2) Вторым важным направлением совершенствования локаторов является противодействие средствам радиоэлектронной борьбы, способных

подавлять радиоканалы связи радиолокационных станции с командными пунктами. Для решения данной проблемы, есть возможность применения тропосферной радиосвязи, которая, за счёт рассеивания радиоволн на неоднородностях тропосферы (влага, пыль и т.п.) может обеспечить эффект загоризонтной связи, в радиолокационной станции разведки П-18М метрового диапазона с функцией передачи данных без конструктивных изменений. Обеспечение надёжной передачи информации об обнаруженных целях по тропосферному каналу связи обеспечивается на большие расстояния, за счет передачи кодовой информации вместо зондирующего радиолокационного сигнала, об обнаруженных за оборот воздушных целях в тот момент, когда антенна РЛС (при вращении) направляется на азимут командного пункта.

ГЛАВА 3 ИССЛЕДОВАНИЯ И РАЗРАБОТКА АППАРАТНОГО КОМПОНЕНТА ИАПП

Современное управление вооруженными силами не представляется возможным без применения радиосвязи. При расположении РЛС П-18М далеко от командного пункта, стоит проблемный вопрос о передаче целеуказания на обнаруженные воздушные цели. Также проблемный вопрос стоит у пограничных застав, где необходимо организовать радиосвязь в горной местности. Обычно для обеспечения связи применяются радиостанции КВ и УКВ диапазона, а также спутниковая связь. В особый период использование спутниковой связи затруднено из-за лёгкого подавления данного вида связи. Наиболее распространённые, УКВ радиостанции используются на коротких дистанциях, обычно на расстояниях до линии горизонта. На более дальних расстояниях используют КВ радиосвязь, однако, из-за того, что для КВ радиосвязи требуется отражение радиосигналов от ионосферы, которое возможно только при небольших углах отражения радиоволн, КВ радиосвязь мало эффективна при расстояниях между корреспондентами менее 300 км. Этот диапазон расстояний между корреспондентами на котором УКВ радиостанции уже не могут обеспечить радиосвязь, а КВ радиостанции ещё не могут её обеспечить называется у связистов «мёртвой зоной».

Одним из решений данной проблемы является применение тропосферной радиосвязи, которая, за счёт рассеивания радиоволн на неоднородностях тропосферы (влага, пыль и т.п.) может обеспечить эффект загоризонтной связи. Однако такие станции используют для организации стационарных каналов связи, их нельзя организовать оперативно, они требуют применения специального дорогостоящего оборудования и специальных боевых расчётов.

Так как тропосферное распространение зависит от геофизических условий, то необходима их характеристика по пути трасс.

Климатические и метеорологические условия существенным образом влияют на режим рефракции радиоволн и интенсивность неоднородностей в тропосфере, что, в свою очередь, является основной причиной неустойчивости уровня сигнала на линиях ДТР. Сезонные, так же, как и суточные, изменения потерь рассеяния зависят от длины радиолинии ДТР.

Влияние погодных условий более отчетливо проявляется на трассах малой протяженности (до 300 км). На радиолиниях ДТР средний долговременный уровень принимаемого сигнала зависит от индекса преломления N_0 на уровне моря. Для прогнозирования среднемесячных уровней сигнала на различных трассах построены мировые карты распределения индекса преломления N_0 для худших условий рефракции в соответствующем климатическом районе [74]. Неровности поверхности земли (рельефа местности) могут привести к дополнительному ослаблению сигнала на радиолинии ДТР в тех случаях, когда вблизи передающей или приемной антенны со стороны, обращенной к корреспонденту, имеются экранирующие препятствия.

Казахстан расположен в южных широтах умеренного пояса. Территории Казахстана присущ сухой и резко континентальный климат. С продвижением вглубь материка в широтном направлении с запада на восток континентальность климата усиливается. С севера на юг последовательно сменяются: лесостепная, степная, полупустынная, пустынная и горная зоны.

Источники излучения РВ, выбранные для исследования, находятся в основном в Алматинской, Восточно-Казахстанской, Жамбылской и Южно-Казахстанской областях. Природные условия Алматинской области включают 5 климатических зон - от пустынь до вечных снегов. Климат резко континентальный, средняя температура января в равнинной части -15 С, в предгорьях - 6-8 С; июля - +16 С и +24+25 С соответственно.

В северо-восточном направлении рельеф местности представлен северным хребтом Жетысуского (Джунгарского) Алатау, Саур-Тарбагатайскими горами и Казахским мелкосопочником, которые представлены системой широтно-ориентированных хребтов, предгорными равнинами, внутригорными впадинами

и широкими котловинами. Характерные особенности орографии хребта - ярусное строение (ступенчатость) [75]. Коридор высот ярусов 600 м – 3500 м. Частично по пути трасс рельеф представляет степи, обширные равнины вдоль рек и пустыни.

В западном направлении рельеф местности представлен северным хребтом Заилийского Алатау, хребтом Каратау, которые представлены предгорными равнинами, внутри горными впадинами и широкими котловинами. Коридор высот 600 м – 3000 м. В основном преобладают полупустыни, пустыня Моинкум и степи. Климат засушливый и резко континентальный. Средняя температура января повышается от -18°C на севере до -3°C в самой южной части равнинного Казахстана. Абсолютная минимальная температура зимой -45°C . Лето продолжительное, сухое; на севере республики оно теплое, а на юге жаркое. Средняя температура июля возрастает с 19°C на севере до $28-30^{\circ}\text{C}$ на юге. Осадков почти везде мало.

В северном и северо-западном направлении рельеф местности представлен в основном возвышенностями Казахского мелкосопочника (400-1200 м) полупустынями, пустынями и степями. Климат континентальный, зима холодная, в отдельные годы суровая, с буранами. Средние температуры января от -16 до -17°C . Лето жаркое, засушливое, ветренное. Средние температуры июля $20-21^{\circ}\text{C}$. Годовое количество осадков на севере области составляет $250-300$ мм, на юге — $150-210$ мм, в низких горных районах — $300-400$ мм.

Расчет расстояний и азимутов между источниками излучения относительно приемника исследуемых РВ проводился исходя из следующих соображений:

- известны географические координаты двух точек на Земле. Кратчайшим расстоянием между ними является длина дуги круга, проведенного на сфере по этим двум точкам. Известно, что Земля — сфероид. Если двигаться по поверхности Земли из точки А в точку Б, выдерживая один и тот же путевой угол, пройденный вами путь не будет кратчайшим расстоянием между этими точками.

- чтобы достичь цели кратчайшим путем, необходимо постоянно корректировать путевой угол, чтобы траектория движения была приближена к дуге большого круга (ортодромии), которая и будет кратчайшим расстоянием между двумя точками.

- использован онлайн – калькулятор на сайте <https://planetcalc.ru>, с помощью которого можно рассчитать расстояние между двумя географическими точками, начальный и конечный азимут, а также путевые углы в путевых точках.

Отличие этого калькулятора от других, заключается в том, что в данном калькуляторе используется предельно точный алгоритм, разработанный польским ученым Тадеушем Винсенти (ThaddeusVincenty). Погрешность вычисления не превышает 0.5 мм. Рассчитанные значения азимута и расстояния имеют два знака после запятой.

Для расчетов необходимы только географические координаты (широта и долгота) начальных и конечных точек. Данный калькулятор будет полезен как гражданским, так и военным специалистам, проводящие подобные расчеты или на различных видах учений.

Для расчета профилей радиолиний использовалась программа «Микран», с помощью которой можно построить профиль радиолинии на основе данных, полученных с помощью радарной интерферометрической съёмки поверхности земного шара. Для построения профиля радиолинии достаточно задать географические координаты двух точек на местности, высоты подвеса антенн и частоту передатчика. Расчётная модель потерь на трассе предполагает прямую видимость без учёта климатических факторов. Построение профиля происходит без учёта растительности, строений и других искусственных предметов, поэтому реальная величина просвета отличается (в меньшую сторону) от рассчитываемой величины. Параметры первой точки название: высота подвеса антенны, широта и долгота. Параметры второй точки название: высота подвеса антенны, широта и долгота. Диапазон частот РЛС.

С помощью программы рассчитываются. - линия кривизны земной поверхности - профиль радиолинии - первая зона Френеля - линия прямой

видимости, обозначение границ радиолинии - просвет между поверхностью земли и нижней границей первой зоны Френеля - диаметр первой зоны Френеля.

Вывод: Тропосферное распространение радиоволн зависит от геофизических условий. Климатические и метеорологические условия существенным образом влияют на режим рефракции радиоволн и интенсивность неоднородностей в тропосфере, что, в свою очередь, является основной причиной неустойчивости уровня сигнала на линиях ДТР. Сезонные, так же, как и суточные, изменения потерь рассеяния зависят от длины радиолинии ДТР. Влияние погодных условий более отчетливо проявляется на трассах малой протяженности (до 300 км). На радиолиниях ДТР средний долговременный уровень принимаемого сигнала зависит от индекса преломления N_0 на уровне моря. Неровности поверхности земли (рельефа местности) могут привести к дополнительному ослаблению сигнала на радиолинии ДТР в тех случаях, когда вблизи передающей или приемной антенны со стороны, обращенной к корреспонденту, имеются экранирующие препятствия.

3.1. Возможности аппаратного компонента ИАПП

Тропосферные каналы широко используются в мире для организации радиосвязи как надёжное средство обеспечения коммуникаций на больших расстояниях. Особый интерес эти каналы связи представляют для силовых ведомств, так как эти каналы трудно подавить средствами радиоэлектронной борьбы. Эффективно данные каналы связи можно использовать в горной местности, когда отсутствует возможность использования спутниковых систем связи.

По методу Введенского Б.А. при расчетах, используют следующие формулы и параметры [12, 76]:

1) основная формула (3) функция ослабления

$$- B = B_{C1,2} + \Delta B_M + \Delta B_P + \Delta G + \Delta B \quad (3)$$

где $B_{C1,2}$ - величина ослабления поля, определяемая значениями D и λ ;

ΔB_M – поправка на метеоусловия;

ΔB_P – поправка на рельеф местности;

ΔG – поправка на потери усиления антенн;

ΔB – дополнительное ослабление за счет медленных и быстрых замираний.

2) затухание в свободном пространстве $F_{ср}$ вычисляется по формуле (4)

$$F \text{ (дБ)} = 20 \log_{10}(r/m) + 20 \log_{10}(f/Hz) - 147,55 \quad (4)$$

где r – расстояние, м;

f – частота, Гц.

3) ослабления поля $B_{с1}$ вычисляется по формуле (5)

$$B_{с1} \text{ (дБ)} = - (74 - 10 \lg \lambda + 0,05D_1) \quad (5)$$

где λ – длина волны, в см;

D_1 – расстояние в первой (ближней) зоне ДТР (км).

4) метеорологическая поправка ΔB_M определяется по формуле (6)

$$\Delta B_M \text{ (дБ)} = [(0,93 - 1,63 \cdot 10^{-3} \cdot D)(N_3 - 310)] \quad (6)$$

где $N_3 = 319$ зимой,

$N_3 = 335$ летом – для расстояния $D=100 \div 350$ км

5) поправка на рельеф местности ΔB_P определяется по формуле (7)

$$\Delta B_P = - 40 (\lg(1+(\beta_r + \beta_t)/\beta_r + \beta_t + 0,4D*[1+(\beta_r + \beta_t)/0,2D]) \quad (7)$$

где β_r (β_t) – угол закрытия приемной (передающей) антенны (угл.мин);

β_r – угол закрытия приемной антенны (угл.мин) – берем с наших данных;

β_t – угол закрытия передающей антенны (угл.мин) = к 0;

D – расстояние, км.

б) учет потерь усиления антенн ΔG (по таблице);

7) учет медленных замираний ΔB (по диаграмме).

В книге у Введенского Б.А. Дальнее тропосферное распространение радиоволн - М.Сов.радио, 1965.-416 с, в главе 8, где описан инженерный метод расчета функции ослабления напряженности поля (над главой 8 работали - Введенский Б.А., Колосов М.А., Арманд Н.А., Калинин А.И., Соколов А.В., Шабельников А.В., Ширей Р.А.) [12].

Первый полуэмпирический метод был предложен в США в 1955 г., основанный на анализе результатов экспериментов – Нортон К. и др. Использование углового расстояния для оценки потерь при передаче и дальности замирания при распространении через турбулентную атмосферу по неровной местности. Труды Института радиоинженеров, т. 43, №10, с. 1488 - 1526) [77].

Далее в СССР в 1957 г. был разработан первый вариант метода расчета функции ослабления напряженности поля при ДТР (сухопутная трасса, от 100 до 800 км, длина волны 3-150 см, низкорасположенные антенны 5-10 м над земной поверхностью).

Функция ослабления у Введенского обозначается буквой B , который зависит от (глава 8.1):

- D (расстояние) - км;
- λ (длины волны) - см;
- метеорологических условий;
- рельефа местности;
- потерь усиления антенн;
- быстрые замирания сигнала;
- медленные замирания сигнала.

Наши исходные данные:

1. расстояние r
2. частота $f = 155$ МГц или $\lambda = 1,935$ м ($\lambda = 1,935$ м = 193,5 см)
3. надежность связи $P = 0,98$, следовательно процент времени будет = 2
4. $E_{\text{пор}}$ или $P_{\text{пр}}$,

5. КНД антенн D_1 и $D_2 = 230$ (КУ двух антенн $230*230 = 52\,900$ в размах = 47,2 дБ)
6. $h_A = 5$ м
7. Пункт №1 $r = 41$ км
8. Пункт №2 $r = 203$ км
9. Пункт №3 $r = 264$ км
10. Пункт №4 $r = 266$ км
11. Коэффициент преломления у поверхности Земли $N = 310$ (зимой), $N = 335$ (летом)
12. сезон (лето, зима, осень, весна)

Условие: наш диапазон не обеспечивает функцию ослабления, так как у Введенского частота = 200 МГц.

У Введенского в главе 3.2. указывается, что при ДТР средние уровни сигналов выражают в дБ по отношению к уровням сигналов, которые были бы приняты в свободном пространстве на том же расстоянии.

Произведем расчет затухание в свободном пространстве $F_{сп}$, используя формулу (8) [78]:

$$F \text{ (dB)} = 20 \log_{10}(r/m) + 20 \log_{10}(f/Hz) - 147,55 \quad (8)$$

подставим наши значения, тогда

$$\begin{aligned} \text{Пункт №1 } F &= 20 \log_{10}(r/m) + 20 \log_{10}(f/Hz) - 147,55 = 20 \log_{10}41000 + 20 \\ &\log_{10}155000000 - 147,55 = 92,25 + 163,81 - 147,55 = - 108,51 \text{ дБ} \end{aligned}$$

Тогда результаты будут следующие, указанной в таблице 3.1.

Таблица 3.1 - Результаты затухание в свободном пространстве $F_{сп}$

	г, км	$F_{сп}$, дБ
Пункт №1	41	- 108,51
Пункт №2	203	- 122,41
Пункт №3	264	- 124,69
Пункт №4	266	- 124,76

У Введенского присутствует понятие «дифракционный горизонт» - это расстояние, с которого начинается зона ДТР, т.е. то расстояние, начиная с которого величина напряженности поля, вычисленная по дифракционным формулам, становится меньше, чем измеренная.

По формуле (9) дифракционное ослабления поля

$$B_{cd} = - (79 - 10 \lg \lambda) \text{ дБ} \quad (9)$$

Подставим наши значения $B_{cd} = - (79 - 10 \lg \lambda) = - (79 - 10 \lg 193,5) = - (79 - 22,87) = - 56,13 \text{ дБ}$

По формуле (10)

$$100 \leq D_1 \leq 100 (1 + \lg \lambda) \quad (10)$$

где D_1 – расстояние в первой (ближней) зоне ДТР

Подставим наши значения $100 \leq D_1 \leq 100 (1 + \lg \lambda) = 100 (1 + \lg 193,5) = 328,67$

Тогда получим $100 \leq D_1 \leq 328,67$

По формуле (5) определим ослабления поля B_{c1}

Пункт №1 $B_{c1} \text{ (дБ)} = - (74 - 10 \lg \lambda + 0,05 D_1) = - (74 - 10 \lg 193,5 + 0,05 * 41) = - (74 - 22,87 + 2,05) = - 53,18 \text{ дБ}$

Тогда результаты будут следующие, указанной в таблице 3.2

Таблица 3.2 - Результаты ослабления поля B_{c1}

	г, км	B_{c1} , дБ
Пункт №1	41	- 53,18
Пункт №2	203	- 61,28
Пункт №3	264	- 64,33
Пункт №4	266	- 64,43

Так как наши входные данные не входят в протяженность второй (дальней) зоны D_2 , мы не будем учитывать ослабления поля B_{C2} .

По формуле (6) рассчитаем метеорологическую поправку ΔB_M для расстояния $D = 100 \div 350$ км, где зимой $N_3 = 310$, летом $N_3 = 335$ (N_3 – среднее значение за месяц коэффициента преломления воздуха).

Во многих источниках, авторы указывают, что коэффициент преломления воздуха:

$$n = 1,00029 [79];$$

$$n = 1,0003 [80].$$

Коэффициент преломления тропосферы у поверхности Земли всего на три десятитысячных доли превышает единицу, поэтому удобнее на практике пользоваться индексом преломления, величина которого у земной поверхности равна $N=325$ [81].

Индекс преломления рассчитывается по формуле (11)

$$N = 77,6(P + 4810e/T)/T \quad (11)$$

где T — абсолютная температура, измеряемая в градусах Кельвина ($T = t^\circ\text{C} + 273$);

P — давление в мбар;

e — абсолютная влажность в мбар.

Подставив наши значения в формулу (11) получим $N = 77,6(P + 4810e/T)/T = 319$

Метеорологическая поправка ΔB_M зимой

$$\text{Пункт №1 } \Delta B_M \text{ (дБ)} = [(0,93 - 1,63 \cdot 10^{-3} \cdot D)(N_3 - 310)] = [(0,93 - 1,63 \cdot 10^{-3} \cdot 41)(319 - 310)] = 7,77 \text{ дБ}$$

Метеорологическая поправка ΔB_M летом

$$\text{Пункт №1 } \Delta B_M \text{ (дБ)} = [(0,93 - 1,63 \cdot 10^{-3} \cdot D)(N_3 - 310)] = [(0,93 - 1,63 \cdot 10^{-3} \cdot 41)(335 - 310)] = 21,58 \text{ дБ}$$

Метеорологическая поправка ΔB_M , когда $N_3=325$

$$\text{Пункт №1 } \Delta B_M (\text{дБ}) = [(0,93 - 1,63 \cdot 10^{-3} \cdot D)(N_3 - 310)] = [(0,93 - 1,63 \cdot 10^{-3} \cdot 41)(325 - 310)] = 12,95 \text{ дБ}$$

Тогда результаты будут следующие, указанной в таблице 3.3

Таблица 3.3 - Результаты метеорологической поправки ΔB_M

	г, км	ΔB_M , дБ зимой	ΔB_M , дБ летом	ΔB_M , дБ среднее
Пункт №1	41	7,77	21,58	12,95
Пункт №2	203	5,39	14,98	8,99
Пункт №3	264	4,5	12,49	7,49
Пункт №4	266	4,47	12,41	7,45

По формуле (7) определим поправку на рельеф местности

$$\begin{aligned} \text{Пункт №1 } \Delta B_P &= -40 (\lg(1 + (\beta_r + \beta_t) / (\beta_r + \beta_t + 0,4D)) * [1 + (\beta_r + \beta_t) / 0,2D]) = \\ &= -40 (\lg(1 + (7,2 + 0) / (7,2 + 0 + 0,4 \cdot 41)) * [1 + (7,2 + 0) / 0,2 \cdot 41]) = \\ &= -40 (\lg(1 + 7,2 / 23,6 * [1 + 7,2 / 8,2])) = -40 (\lg(1 + 0,16)) = -2,61 \end{aligned}$$

Тогда результаты будут следующие, указанной в таблице 3.4

Таблица 3.4 – Результаты поправок на рельеф местности ΔB_P

	г, км	ΔB_P , дБ
Пункт №1	41	-2,61
Пункт №2	203	-35,04
Пункт №3	264	-37,63
Пункт №4	266	-31,89

По таблице 3.5 - страница 186, определим учет потерь усиления антенн ΔG (дБ).

Таблица 3.5 – Результаты учета потерь усиления антенн ΔG

$G_t G_r$, дБ	60	70	80	90
ΔG , дБ	0	-4	-7	-10

КУ антенн двух антенн $230 \cdot 230 = 52\,900$ в размах = 47,2 дБ, тогда ΔG (дБ) = 0 дБ

В главе 6 следует, что потери усиления антенн не наблюдаются для антенн с усилением G меньшим 25-30 дБ, а также теория и эксперимент не позволяют с достаточной надежностью установить величину ΔG в зависимости от величины усиления антенн передающей G_T и приемной G_r , а также D и λ .

Тогда результаты будут следующие (рисунок 3.1), указанной в таблице 3.6.

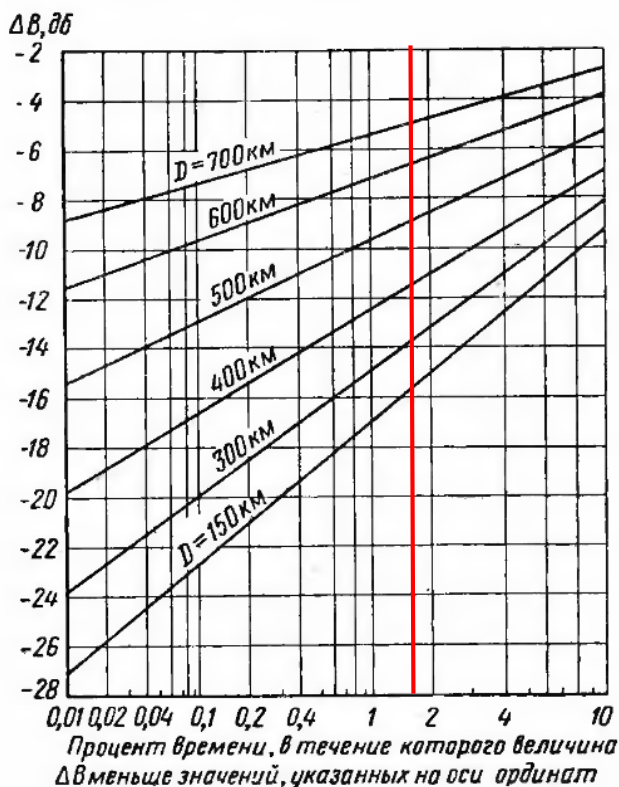


Рисунок 3.1 – Статистическое распределение глубины медленных замираний ΔB

Таблица 3.6 – Результаты медленных замираний ΔB

	г, км	ΔB , дБ
Пункт №1	41	- 16
Пункт №2	203	- 14
Пункт №3	264	- 14
Пункт №4	266	- 14

При передаче других видов информации (телевидения, бинарная информация) необходимо учитывать, как медленные, так и быстрые замирания с

учетом, конечно, выигрыша в усилении за счет разнесенного приема по формуле (3).

Тогда для пункта №1

$$-B = B_{C1} + \Delta B_M + \Delta B_P + \Delta G + \Delta B = -53,18 - 7,77 - 2,61 - 0 - 16 = -79,56 \text{ дБ}$$

Тогда результаты будут следующие, указанной в таблице 3.7.

Таблица 3.7 - Результаты функции ослабления -B

	г, км	- B, дБ
Пункт №1	41	- 79,56
Пункт №2	203	- 115,71
Пункт №3	264	- 120,46
Пункт №4	266	- 114,79

Таким образом для пункта №1

$$F_{\text{общ}} (\text{дБ}) = F_{\text{сп}} + B = -108,51 - 79,56 = -188,07 \text{ дБ}$$

Тогда итоговые результаты функции общих ослаблений по методу Введенского будут следующие, указанной в таблице 3.8.

Таблица 3.8 - Результаты функции общих ослаблений $F_{\text{общ}}$

	г, км	$F_{\text{общ}}$, дБ
Пункт №1	41	- 188,07
Пункт №2	203	- 238,12
Пункт №3	264	- 245,15
Пункт №4	266	- 239,55

По методу Манделя А.Е. при расчетах, используют следующие формулы и параметры [23]:

1) основная формула (12) общие ослабления

$$F_{\text{общ}} = F_{\text{сп}}(\text{дБ}) + F_{\text{мед}}(\text{дБ}) + F_{\text{б}}(\text{дБ}) + F_{\text{м}}(\text{дБ}) \quad (12)$$

2) затухание в свободном пространстве $F_{\text{сп}}$ по формуле (4)

3) медианное затухание $F_{\text{мед}}$ по формуле (13)

$$F_{\text{мед}} (\text{дБ}) = - 50 + 632/f - 0.216\sqrt{f} - 7.1 * r * 10^{-2} - \text{зима} \quad (13)$$

где f – частота, МГц;

r – расстояние, км.

4) быстрые замирания $F_{\delta}(P)$ по формуле (14)

$$F_{\delta}(P) = 10 \lg \left(- \frac{\lg P}{\lg 2} \right) \quad (14)$$

где P - надежность связи.

5) медленные замирания $F_M(P, r)$ по формуле (15)

$$F_M = E_{\min}(P, r) = 29,4 - 0,025r + (-38,6 + 0,036 r)P + 6(1 - 0,001r) * \lg(1 - P) \quad (15)$$

где P - надежность связи;

r – расстояние, км.

Исходные данные:

1. расстояние r
2. частота $f = 155$ МГц или $\lambda = 1,935$ м
3. надежность связи $P = 0,98$
4. $E_{\text{пор}}$ или $P_{\text{пр}}$,
5. КНД антенн D_1 и $D_2 = 230$
6. сезон (лето, зима, осень, весна)

Потери определяют 4 параметрами по формуле (11)

Общие ослабления сигнала = ослабление в свободном пространстве * коэффициент ослабления тропосферной ($F_{\text{общ}} = F_{\text{св}} * F_{\text{троп}}$)

По формуле (16)

$$P_{\text{пр}} = P_1 D_1 D_2 \lambda^2 / (4\pi r)^2 \quad (16)$$

Рассчитаем затухание в свободном пространстве $F_{сп}$ [79], используя формулу (4) подставим наши значения, тогда

$$\text{Для пункта №1 } F = 20 \log_{10}(r/m) + 20 \log_{10}(f/Hz) - 147,55 = 20 \log_{10}41000 + 20 \log_{10}155000000 - 147,55 = 92,25 + 163,81 - 147,55 = - 108,51 \text{ дБ}$$

$$\text{КУ двух антенн } 230*230 = 52\,900 \text{ в размах} = 47,2 \text{ дБ}$$

Потери в свободном пространстве с учетом КУ антенн:

$$\text{Для пункта №1 } F_{сп} = (108,51 - 47,2) \text{ дБ} = 61,31 \text{ дБ}$$

Тогда результаты будут следующие, указанной в таблице 3.9.

Таблица 3.9 – Результаты затухание в свободном пространстве $F_{сп} + \text{КУ}$

	г, км	$F_{сп}$, дБ	$F_{сп} + \text{КУ}$, дБ
Пункт №1	41	- 108,51	61,31
Пункт №2	203	- 122,41	75,21
Пункт №3	264	- 124,69	77,49
Пункт №4	266	- 124,76	77,56

Ослабление в тропосфере делятся на медианные, быстрые и медленные значения.

Медианный множитель взят из литературы [10, 16]:

Берем формулу для зимних условий по формуле (17)

$$F_{мед} \text{ (дБ)} = - 50 + 632/f - 0.216\sqrt{f} - 7.1 * r * 10^{-2} \text{ (f - МГц, r - км)} \quad (17)$$

где $F_{мед}$ - ослабление медианного уровня напряженности поля по отношению к свободному пространству в дБ.

Взяты зимние условия, так как в зимний период максимальное медианное затухание. Для обеспечения надежности связи берутся максимальные возможные затухание.

$$\text{Пункт №1 } F_{мед} = - 50 + 632/f - 0.216\sqrt{f} - 7.1 * r * 10^{-2} = - 50 + 632/155 - 0,216\sqrt{155} - 7,1 * 41 * 10^{-2} = - 50 + 4,08 - 2,69 - 2,911 = - 51,52 \text{ дБ}$$

Тогда результаты будут следующие, указанной в таблице 3.10.

Таблица 3.10 – Результаты ослабление медианного уровня $F_{\text{мед}}$

	г, км	$F_{\text{мед}}$, дБ
Пункт №1	41	- 51,52
Пункт №2	203	- 63,02
Пункт №3	264	- 67,35
Пункт №4	266	- 67,49

Определим быстрые замирания. Берем надежность связи $P = 0,98$ или отсутствие связи 2 минуты из 100 минут, n - число разнесенных антенн (установлена 1 антенна, значит берем формулу (17))

Так как установлена 1 антенна, берем формулу (18)

$$E_{\min} = F_{\sigma}(P) = 10 \lg \left(-\frac{\lg P}{\lg 2} \right) = 10 \lg(-(-0,008/0,301)) = -15,75 \text{ дБ} \quad (18)$$

Стандартное отклонение медленных замираний рассчитывается 2 способами:

- 1) по графику 4.11 [82];
- 2) по формуле (18) [16, 83].

По формуле (19):

$$F_M = E_{\min}(P,r) = 29,4 - 0,025r + (-38,6 + 0,036 r)P + 6(1-0,001r) * \lg(1 - P) \quad (19)$$

Пункт №1 $F_M = E_{\min}(P,r) = 29,4 - 0,025r + (-38,6 + 0,036 r)P + 6(1-0,001r) * \lg(1 - P) = 29,4 - 0,025*41 + (-38,6 + 0,036*41)0,98 + 6(1-0,001*41) * \lg(1 - 0,98) = 29,4 - 1,025 - 36,38152 + 5,754*(-1,69) = -8,00652 - 9,72426 = -17,73078 \text{ дБ}$

По графику 4.11 (при надежности связи 0.98, $\sigma = 6$ дБ, $r = 300$ км) соответствует -12,5 дБ.

Если сравнить по формуле (18) и по графику 4.11, то получается, что с увеличением расстояния, значение медленного замирания становится меньше.

Тогда результаты будут следующие, указанной в таблице 3.11.

Таблица 3.11 - Результаты медленных замираний F_M

	г, км	F_M , дБ
Пункт №1	41	-17,73
Пункт №2	203	-14,42
Пункт №3	264	-13,18
Пункт №4	266	-13,14
300 км	300	-12,5

Рассчитаем по формуле (20) множитель ослабления:

$$F_{\text{троп}} (\text{дБ}) = F_{\text{мед}}(\text{дБ}) + F_6(\text{дБ}) + F_M(\text{дБ}) \quad (20)$$

Для пункта №1 $F_{\text{троп}} (\text{дБ}) = - 51,52 - 15,75 - 17,73 = - 85$ дБ

Тогда результаты будут следующие, указанной в таблице 3.12.

Таблица 3.12 - Результаты множителей ослабления $F_{\text{троп}}$

	г, км	$F_{\text{троп}}$, дБ
Пункт №1	41	- 85
Пункт №2	203	- 93,19
Пункт №3	264	- 96,28
Пункт №4	266	- 96,38

Подставляя в формулу (21)

$$F_{\text{общ}} = F_{\text{сп}} * F_{\text{троп}} \quad (21)$$

($F_{\text{сп}}$ берем без учета КУ), тогда получим

Для пункта №1 $F_{\text{общ}} (\text{дБ}) = F_{\text{сп}} + F_{\text{троп}} = - 108,51 - 85 = - 193,51$ дБ

Тогда результаты будут следующие, указанной в таблице 3.13.

Таблица 3.13 - Результаты общего ослабления $F_{\text{общ}}$

	г, км	$F_{\text{общ}}$, дБ
Пункт №1	41	- 193,51
Пункт №2	203	- 215,6
Пункт №3	264	- 220,97
Пункт №4	266	- 221,14

Кроме ослабления радиоволн в тропосфере, присутствует затухание в тропосфере – это поглощение радиоволн гидрометеорами и газами атмосферы, а также рассеяние радиоволн гидрометеорами – дождем, снегом, градом, туманом.

По рис. 4.12 видно, что в нашем случае (для $\lambda=2$ м) зависимость коэффициента поглощения от частоты в молекулах кислорода и паров воды пренебрегаем (0 дБ), а по рис. 4.13, для $\lambda=2$ м существенного поглощения в гидрометеорах не испытывают [23].

По методу Сандулова Н.В. при расчетах, используют следующие формулы и параметры [22]:

1) общие потери L по формуле (22)

$$L = L_{\text{изотр}} + L_{\text{доп}} \quad (22)$$

Где вычисление дополнительных потерь $L_{\text{доп}}$ зависит от следующих составляющих (для худшего зимнего месяца) формула (23):

$$L_{\text{доп}} = L_{\text{мед}} + L_z + L_p + L_h + L_a + L_{\text{к}}, \text{ дБ} \quad (23)$$

где $L_{\text{мед}}$ – медианные потери, дБ;

L_z – потери от замирания, дБ;

L_p – потери, обусловленные влиянием неровностей рельефа местности, дБ;

L_h – потери, обусловленные влиянием земной поверхности при малых неровностях рельефа местности, дБ;

L_a – потери усиления антенн, дБ;

$L_{\text{к}}$ – климатические потери, дБ.

2) изотропные потери $L_{\text{изотр}}$ по формуле (24)

$$L_{\text{изотр}} (\text{дБ}) = 22 + 20\lg(R/\lambda) \text{ или } L_{\text{изотр}} = (4\pi R/\lambda^2) \quad (24)$$

где R – дальность в метрах;

λ – длина волны в метрах.

3) медианные потери $L_{\text{мед}}$ по формуле (25)

$$L_{\text{мед}} = 62,92e^{-\left(\frac{\lambda+18,19}{174}\right)^2} + (0,07608\lambda^{-0,4984} + 0,06596)R \quad (25)$$

где λ - длина волны (см);

R – дальность связи (км).

4) потери от замираний L_3 по формуле (26)

$$L_3 = L_{M3} + L_{б3} \text{ дБ} \quad (26)$$

где L_{M3} – потери от медленных замираний;

$L_{б3}$ – потери от быстрых замираний.

5) медленные замирания L_{M3} по формуле (27)

$$F_M = E_{\min}(P, r) = 29,4 - 0,025r + (-38,6 + 0,036 r)P + 6(1-0,001r) * \lg(1 - P) \quad (27)$$

где P - надежность связи;

r – расстояние, км.

6) быстрые замирания $L_{б3}$ по формуле (28)

$$L_{б3 \text{ од}} = -20 \lg \left(0,8414 \sqrt{-2 \ln \left(\frac{T\%}{100} \right)} \right) \quad (28)$$

где T – заданный процент времени безотказной работы, который равен 98%.

7) потери, обусловленные влиянием неровностей рельефа местности L_p по формуле (29)

$$L_p(\text{дБ}) = ae^{b\Delta} + ce^{d\Delta} \quad (29)$$

где a, b, c, d - коэффициенты, зависящие от дальности связи R определим по таблице 3.14. Для наших данных выберем приближенное значение R.

Таблица 3.14 - Коэффициенты аппроксимации при неровностях

R(km)	a	b	c	d
100	10,09	0,2266	-10,33	-1,994
150	9,399	0,1913	-9,604	-1,576
200	7,04	0,2457	-7,011	-1,612
250	7,808	0,1683	-7,757	-1,013
300	7,073	0,2235	-7,159	-1,404

8) угол закрытия трассы Δ по формуле (30)

$$\Delta = \theta_{\text{сум}} + 0,056\sqrt{h_a} \quad (30)$$

где $\theta_{\text{сум}} = \theta_{\text{пер}} + \theta_{\text{пр}}$ – углы горизонта со стороны передатчика и приемника;

Δ и θ – в градусах;

h_a – высота подъема передающей и приемной антенн в метрах.

9) потери, обусловленные влиянием земной поверхности при малых величинах отношения h/λ L_h по формуле (31)

$$L_h = a_1 e^{-\left(\frac{x-b_1}{c_1}\right)^2} + a_2 e^{-\left(\frac{x-b_2}{c_2}\right)^2} \quad (31)$$

где $x = h/\lambda = 5\text{м}/1,935\text{м} = 2,58$;

$a_1, b_1, c_1, a_2, b_2, c_2$ – коэффициенты, зависящие от дальности связи R (по таблице 3.15)

Таблица 3.15 - Коэффициент аппроксимации

R(км)	a_1	b_1	c_1	a_2	b_2	c_2
100	1,983e15	-54,05	9,514	18,74	-6,452	11,95
150	1,661e15	-45,48	8,023	14,88	-3,284	8,104
200	1,439e9	-52,15	12,28	3,78	3,267	3,428
300	7835	-4,066	3,974	-7425	-3,92	3,917
400	8,829e13	-47,8	9,207	-4457	-6,454	3,497

10) климатические потери L_k (зима, лето) (по графику)

В статье у к.т.н. Сандулова Н.В. использована методика расчета по книге Давыденко Ю.И. «Дальняя тропосферная связь», в которую внесены некоторые изменения, используемые в расчете экспериментальные графики заменены формулами и приведены конечные формулы, без их вывода [22].

Наши исходные данные:

1. расстояние r
2. частота $f = 155$ МГц или $\lambda = 1,935$ м = 193,5 см
3. надежность связи $P = 0,98$, следовательно процент времени будет = 2
4. $E_{пор}$ или $P_{пр}$,
5. КНД антенн D_1 и $D_2 = 230$ (КУ двух антенн $230*230 = 52900$ в размах = 47,2 дБ)
6. $h_A = 5$ м
7. Коэффициент преломления у поверхности Земли $N = 310$ (зимой), $N = 335$ (летом)
8. сезон (лето, зима, осень, весна)

В формулу (23) подставим наши значения по пункту №1 $L_{0изотр}$ (дБ) = $22 + 20\lg(R/\lambda) = 22 + 20\lg(41000/2) = - 108,23$ дБ

Тогда результаты будут следующие, указанной в таблице 3.16.

Таблица 3.16 - Результаты изотропных потерь $L_{0изотр}$

	r , км	$L_{0изотр}$, дБ
Пункт №1	41	- 108,23
Пункт №2	203	- 122,13
Пункт №3	264	- 124,41
Пункт №4	266	- 124,48

Определим медианные потери $L_{мед}$ (определяются по экспериментальным графикам), который можно аппроксимировать по формуле (25).

Тогда:

$$\text{для пункта №1 } L_{\text{мед}} = 62,92e^{-\left(\frac{\lambda+18,19}{174}\right)^2} + (0,07608\lambda^{-0,4984} + 0,06596)R =$$

$$62,92e^{-\left(\frac{193,5+18,19}{174}\right)^2} + (0,07608 \times 193,5^{-0,4984} + 0,06596)41 = 62,92e^{-1,48} +$$

$$0,07 \times 41 = 15,67 + 2,87 = 17,34 \text{ дБ};$$

Тогда результаты будут следующие, указанной в таблице 3.17.

Таблица 3.17 - Результаты медианных потерь $L_{\text{мед}}$

	г, км	$L_{\text{мед}}$, дБ
Пункт №1	41	- 17,34
Пункт №2	203	- 28,68
Пункт №3	264	- 32,95
Пункт №4	266	- 33,09

В случае необходимости определения медианных потерь для других длин волн можно приближенно считать, что значения медианных потерь обратно пропорциональны длине волны. Если потребуется оценить потери для летнего или другого времени года, то следует учесть сезонный ход потерь, который можно в среднем принять равным 12 дБ. Таким образом, для летних месяцев нужно значения, вычисленные по формуле (5), уменьшить на 12 дБ, а в осенние и весенние месяцы на 6 дБ.

Найдем потери от замираний L_z для цифрового канала по формуле (26).

Общие потери от замираний складываются из потерь от быстрых (с квазипериодом 0,1-10 с) и от медленных замираний (с квазипериодом от десятков минут до нескольких часов). При расчетах радиолиний в режиме передачи цифровых сигналов быстрые и медленные замирания следует учитывать отдельно. При расчете радиолиний в режиме передачи бинарных сигналов быстрые и медленные замирания следует учитывать отдельно (Бинарный сигнал - это двухуровневые или трехуровневые импульсные сигналы. Они представляют собой прямоугольные видеоимпульсы, форма которых соответствует логическому нулю или единице (под формой импульса понимается его длительность, размах и полярность)).

Вычислим величину быстрых замираний для одинарного приема $L_{бз\ од}$ по формуле (28). Быстрые замирания в канале дальней тропосферной связи в основном подчиняется релеевскому закону распределения.

Подставим наши значения в формулу (28)

$$\begin{aligned} L_{бз\ од} &= -20\lg\left(0,8414 \sqrt{-2 \ln\left(\frac{T\%}{100}\right)}\right) = -20\lg\left(0,8414 \sqrt{-2 \ln\left(\frac{98}{100}\right)}\right) \\ &= -20\lg\left(0,8414 \sqrt{-2 \ln\left(\frac{98}{100}\right)}\right) = -20\lg(0,8414\sqrt{0,04}) \\ &= -20\lg 0,169 = -15,43\text{дБ} \end{aligned}$$

Тогда $L_{бз\ од} = -15,43$ дБ

Величину $L_{бз}$ для сдвоенного и счетверенного приема предлагается определять по графикам [22]. Аппроксимировать эти графики с помощью формул не представляется возможным. Возможно только аппроксимация с помощью Smoothing Spline (Сглаживающие сплайны - это оценки функций $f(x)$, полученные из набора зашумленных наблюдений y_i цели $f(x_i)$, чтобы сбалансировать меру хорошего соответствия $f(x_i)y_i$ с производной мерой гладкости $f(x)$). Они обеспечивают средство для сглаживания зашумленных x_i, y_i данных. Наиболее знакомым примером является кубический сглаживающий сплайн, но есть много других возможностей, в том числе для случая, когда x векторная величина).

Сделаем расчет потерь от медленных замираний $L_{мз}$, которые оцениваются по изменению средних (медианных) значений уровня сигнала. Величина потерь от медленных замираний подчиняется логарифмически нормальному закону. При логарифмически нормальном законе нормальному распределению подчиняется не сама случайная величина, а ее логарифм.

Глубина замираний при логарифмически нормальном законе распределения определяется 2-мя параметрами: вероятностью $F(X)$, изменения

уровня сигнала по отношению к медианному уровню, и величиной стандартного отклонения σ .

Значение σ находим по формулам (32-34):

$$\sigma_{\text{лето}} = 4,676e^{-\left(\frac{r-124,9}{332,4}\right)^2} + 3,165e^{-\left(\frac{r-382,8}{508,3}\right)^2} \quad (32)$$

$$\sigma_{\text{зима}} = 5,116e^{-\left(\frac{r-205,7}{577,5}\right)^2} \quad (33)$$

$$\sigma_{\text{вю}} = 6,181e^{-\left(\frac{r-156,6}{547,8}\right)^2} \text{ для весны и осени} \quad (34)$$

При нахождении значений для весны и осени будем считать, что это средние значения между значениями для зимы и для лета.

Тогда для лета (зимы) пункт №1:

$$\sigma_{\text{лето}} = 4,676e^{-\left(\frac{41-124,9}{332,4}\right)^2} + 3,165e^{-\left(\frac{41-382,8}{508,3}\right)^2} = 4,676e^{-0,06} + 3,165e^{-0,45} = 4,4 + 2,01 = 6,41;$$

$$\sigma_{\text{зима}} = 5,116e^{-\left(\frac{r-205,7}{577,5}\right)^2} = 5,116e^{-\left(\frac{41-205,7}{577,5}\right)^2} = 4,72$$

Тогда результаты будут следующие, указанной в таблице 3.18.

Таблица 3.18 - Результаты величин стандартного отклонения σ

	г, км	лето	зима
Пункт №1	41	6,41	4,72
Пункт №2	203	7,21	5,11
Пункт №3	264	6,92	5,06
Пункт №4	266	6,9	5,06

Однако теоретические функции логарифмически нормального распределения для вычисленных значений стандартного отклонения от экспериментальных характеристик.

Для получения расчетных характеристик, близких к экспериментальным, необходимо вместо значений σ , применять значения σ_1 , который вычисляется по формуле (35):

$$\sigma_1 = 0,177e^{0,2585\sigma} - 23,48e^{-0,2856\sigma} \quad (35)$$

Тогда для лета (зимы) пункт №1

$$\begin{aligned} \sigma_{1\text{лето}} &= 0,177e^{0,2585\sigma} - 23,48e^{-0,2856\sigma} = \\ &= 0,177e^{0,2585 \times 6,41} - 23,48e^{-0,2856 \times 6,41} = 0,177e^{1,66} - 23,48e^{-1,83} = 0,93 - 3,76 = -2,83 \end{aligned}$$

$$\sigma_{1\text{зима}} = -5,5$$

Тогда результаты будут следующие, указанной в таблице 3.19.

Таблица 3.19 - Результаты величин стандартного отклонения σ_1

	г, км	лето	зима
Пункт №1	41	- 2,83	- 5,5
Пункт №2	203	- 1,85	- 4,8
Пункт №3	264	- 2,19	- 4,88
Пункт №4	266	- 2,22	- 4,88

Если возьмем значения $L_{мз}$ из расчета Манделя, тогда $L_{мз}$ для пункта №1 L_3 (дБ) = $L_{мз} + L_{бз} = -17,73 + (-15,43) = -33,16$ дБ

Тогда результаты будут следующие, указанной в таблице 3.20.

Таблица 3.20 - Результаты потерь от замираний L_3

	г, км	$L_{мз}$, дБ	$L_{бз}$, дБ	L_3 , дБ
Пункт №1	41	-17,73	- 15,43	- 33,16
Пункт №2	203	-14,42		- 29,85
Пункт №3	264	-13,18		- 28,61
Пункт №4	266	-13,14		- 28,57

Сделаем расчет потери L_p , обусловленные влиянием неровностей рельефа местности. Для этого сперва определим угол закрытия трассы Δ по формуле (29).

Нам углы закрытия известны, тогда результаты будут следующие, указанной в таблице 3.21.

Таблица 3.21 - Результаты потерь от замираний

	угл. минута	градусы
Пункт №1	00°07.2'	0,12°
Пункт №2	00°18.0'	0,3°
Пункт №3	00°18.0'	0,3°
Пункт №4	00°39.6'	0,66°

Тогда потери L_p для пункта №1 вычислим по формуле (28) $L_p(\text{дБ}) = ae^{b\Delta} + ce^{d\Delta} = 10,09e^{0,2266 \times 0,12} + (-10,33)e^{-1,994 \times 0,12} = 10,37 - 13,12 = -2,75$ дБ

Тогда результаты будут следующие, приведенной в таблице 3.22.

Таблица 3.22 - Результаты потерь, обусловленные влиянием неровностей рельефа местности L_p

	г, км	L_p , дБ
Пункт №1	41	- 2,75
Пункт №2	203	- 3,26
Пункт №3	264	- 2,49
Пункт №4	266	- 4,75

Найдем потери L_h по формуле (31) для пункта №1 $L_h = a_1 e^{-\left(\frac{x-b_1}{c_1}\right)^2} + a_2 e^{-\left(\frac{x-b_2}{c_2}\right)^2} = 1,983e15 e^{-\left(\frac{2,58+54,05}{9,514}\right)^2} + 18,74 e^{-\left(\frac{2,58+6,452}{11,95}\right)^2} = 1,983e15 \times 4,1e-16 + 10,46 = 0,813 + 10,46 = 11,27$ дБ

Тогда результаты будут следующие, приведенной в таблице 3.23.

Таблица 3.23 - Результаты потерь, обусловленные влиянием земной поверхности при малых величинах отношения h/λ L_h

	г, км	L_h , дБ
Пункт №1	41	- 11,27
Пункт №2	203	- 3,61
Пункт №3	264	- 5,06
Пункт №4	266	- 5,06

Определим климатические потери L_k по территории Алматинской области для зимы (рисунок 3.2) и лета (рисунок 3.3) [9].

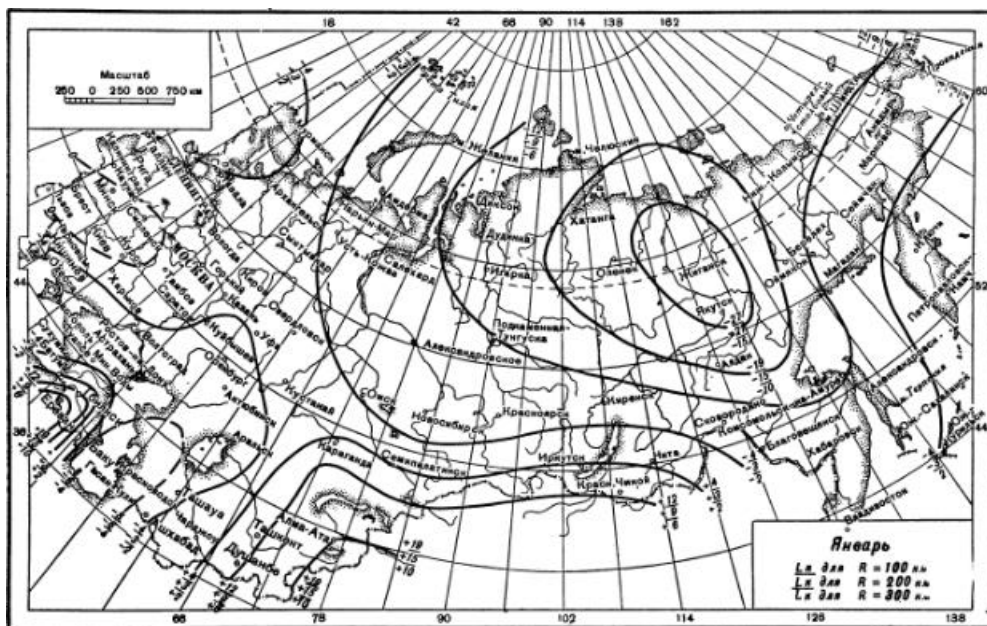


Рисунок 3.2 - Изменения потерь, обусловленных климатическими особенностями различных районов (январь)

В зимний период (январь) времени климатические потери будут равны:
 для пункта №3 и пункта №4 – 264 и 266 км ($R = 300$ км), $L_k = +10$ дБ;
 для пункта №2 – 203 км ($R = 200$ км), $L_k = +15$ дБ;
 для пункта №1 – 41 км ($R = 100$ км), $L_k = +19$ дБ;

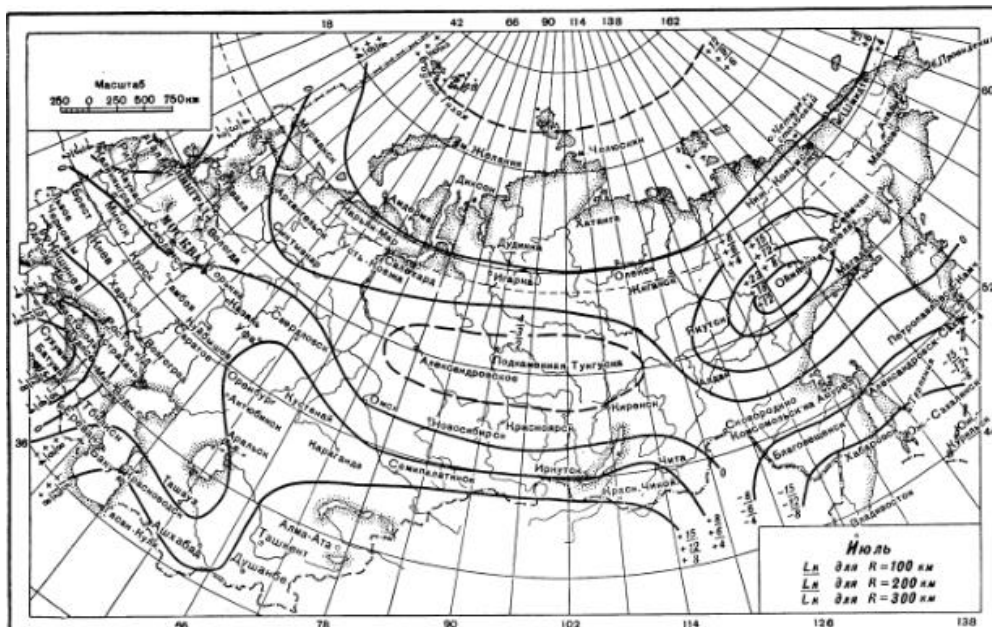


Рисунок 3.3 - Изменения потерь, обусловленных климатическими особенностями различных районов (июль)

В летний период (июль) времени климатические потери будет равен:
 для пункта №3 и пункта №4 – 264 и 266 км ($R = 300$ км), $L_k = +8$ дБ;
 для пункта №2 – 203 км ($R = 200$ км), $L_k = +12$ дБ;
 для пункта №1 – 41 км ($R = 100$ км), $L_k = +15$ дБ.

Тогда результаты будут следующие, приведенной в таблице 3.24.

Таблица 3.24 - Результаты климатических потерь L_k

	г, км	лето	зима
Пункт №1	41	+ 15 дБ	+ 19 дБ
Пункт №2	203	+ 12 дБ	+ 15 дБ
Пункт №3	264	+ 8 дБ	+ 10 дБ
Пункт №4	266	+ 8 дБ	+ 10 дБ

Определим дополнительные потери для лета (зимы) по формуле (23) для пункта №1 - лето $L_{доп} = L_{мед} + L_z + L_p + L_h + L_a + L_k = - 17,34 - 33,16 - 2,75 - 11,27 - 15 = - 79,52$ дБ

Тогда результаты будут следующие, приведенной в таблице 3.25.

Таблица 3.25 - Результаты дополнительных потерь $L_{доп}$

	г, км	$L_{доп}$, дБ лето	$L_{доп}$, дБ зима
Пункт №1	41	- 79,52 дБ	- 83,52 дБ
Пункт №2	203	- 77,4 дБ	- 80,4 дБ
Пункт №3	264	- 77,11 дБ	- 79,11 дБ
Пункт №4	266	- 79,47 дБ	- 81,47 дБ

Тогда общие потери на трассе определяются по формуле для пункта №1 $L(дБ) = L_0(дБ) + L_{доп}(дБ) = - 108,23 - 79,52 = - 187,75$ дБ (-191,75 дБ)

Таким образом результаты будут следующие, приведенной в таблице 3.26.

Таблица 3.26 - Результаты общих потерь L

	г, км	L, дБ лето	L, дБ зима
Пункт №1	41	- 187,75	- 191,75
Пункт №2	203	- 199,53	- 202,53
Пункт №3	264	- 201,52	- 203,52
Пункт №4	266	- 203,95	- 205,95

По методу МСЭ при расчетах, используют следующие формулы (36) и параметры [24-26]:

общие потери $L(q)$

$$L(q) = M + 30 \log f + 10 \log d + 30 \log \theta + L_N + L_c - G_t - G_r - Y(q) \quad (36)$$

где M , γ и $Y(90)$ - метеорологический параметр (по таблице) из Рекомендации МСЭ-R P.617-3

f - частота (МГц)

d - расстояние (км)

θ (рад) - угол рассеяния по формуле (37), угол между лучами радиогоризонта в плоскости большого круга, содержащего антенны, для средних атмосферных условий (рисунок 3.4) [24]

$$\theta = \theta_e + \theta_t + \theta_r \text{ (мрад)} \quad (37)$$

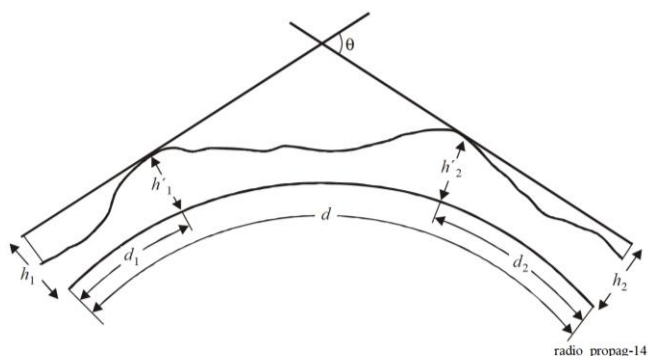


Рисунок 3.4 – Геометрия рассеивания

Эти углы могут быть вычислены по формулам (38-40) и формулами 132 и 133 [26] угол θ_e

$$\theta_e = d \times 10^3 / ka, \text{ мрад} \quad (38)$$

где d - длина трассы (км),

a - радиус Земли 6 370 км,

k - коэффициент эффективного радиуса Земли для средних атмосферных условий (должно использоваться значение $k = 4/3$, если более точное не известно) и высотами антенн ($h_{1,2}$ и $h'_{1,2}$) (м) и расстояниями ($d_{1,2}$) (км), которые показаны на рис. 14 из МСЭ. Справочник. Данные о РРВ для проектирование наземных линий связи пункта с пунктом;

θ_t - угол места горизонта приемной антенны

$$\theta_t = \frac{h'_1 - h_1}{d_1} - \frac{d_1 \times h_1}{2ka}, \text{ мрад} \quad (39)$$

где h_1 и h'_1 – высота антенны и препятствия над уровнем моря (м);

d_1 – расстояние между антенной и препятствием (км);

θ_r - угол места горизонта передающей антенны.

$$\theta_r = \frac{h'_2 - h_2}{d_2} - \frac{d_2 \times h_2}{2ka}, \text{ мрад} \quad (40)$$

где h_2 и h'_2 – высота антенны и препятствия над уровнем моря (м);

d_2 – расстояние между антенной и препятствием (км);

L_N - зависимость потерь передачи от высоты общего объема, вычисляется по формуле (41).

$$L_N = 20 \log(5 + \gamma H) + 4,34 \gamma h, \text{ дБ} \quad (41)$$

где γ - параметр структуры атмосферы (по таблице);

Параметры H и h вычисляются по формулам (42) и (43)

$$H = 10^{-3} \theta d / 4 \text{ (км)} \quad (42)$$

$$h = 10^{-6} \theta^2 k a / 8 \text{ (км)} \quad (43)$$

$Y(q)$ - коэффициент преобразования определяется по формуле (44)

$$Y(90) = - 2,2 - (8,1 - 2,3 \cdot 10^{-4} \cdot f) \exp(- 0,137 \cdot h) \quad (44)$$

L_c - потеря связи между раскрывом антенны и средой распространения, определяется по формуле (45)

$$L_c = 0,07 \exp[0,055(G_t + G_r)], \text{ дБ} \quad (45)$$

где G_t и G_r – коэффициенты усиления передающей и приемной антенн, дБ;

$Y(q) = C(q)Y(90)$ – коэффициент преобразования, дБ;

$Y(90)$ – указан в таблице;

$C(q)$ – указан в таблице.

Значения L_c , G_t и G_r использовать не будем.

Для расчета общего ослабления сигнала можно использовать метод расчета Международного союза электросвязи и использовать справочник [28]. А также рекомендации [26].

Исходные данные:

1. расстояние d :

Пункт №1 $d = 41$ км

Пункт №2 $d = 203$ км

Пункт №3 $d = 264$ км

Пункт №4 $d = 266$ км

Вычислим для каждого города геометрию рассеивания по рисунку 3.4 и занесем в таблицу 3.27.

Таблица 3.27 – Результаты геометрии рассеивания

	h_1 (м)	h_2 (м)	h'_1 (м)	h'_2 (м)	d_1 (км)	d_2 (км)
Пункт №1	680	515	625	625	18	28
Пункт №2	680	750	1800	2065	65	33
Пункт №3	680	640	875	1204	15	38
Пункт №4	680	1870	4100	2110	56	2

2. частота $f = 155$ МГц или $\lambda = 2$ м

3. надежность связи $P = 0,98$
4. $E_{пор}$ или $P_{пр}$,
5. КНД антенн D_1 и $D_2 = 250$
6. сезон (лето, зима, осень, весна)

В пункте 3.1 Потери в свободном пространстве (часть 1. Линии прямой видимости), подставим наши данные в формулу (46)

$$L_{bf}(\text{дБ}) = 32,4 + 20 \log f + 20 \log d \quad (46)$$

где L_{bf} – основные потери передачи в свободном пространстве (дБ);

f – частота (МГц);

d – длина трассы (км).

$$\text{Пункт №1 } L_{bf}(\text{дБ}) = 32,4 + 20 \log f + 20 \log d = 32,4 + 20 \log 155 + 20 \log 41 = 32,4 + 43,81 + 32,25 = - 108,46 \text{ дБ}$$

Таким образом результаты будут следующие, приведенной в таблице 3.28.

Таблица 3.28 - Результаты основных потерь передачи в свободном пространстве L_{bf}

Пункт №1	41 км	- 108,46 дБ
Пункт №2	203 км	- 122,36 дБ
Пункт №3	264 км	- 124,64 дБ
Пункт №4	266 км	- 124,71 дБ

Для определения типа климата для общего объема, используется климатическая карта (рисунок 3.5) [24]. Как видно из рисунка 3.5, для Алматинской области климатическая зона будет равняться 5. Для того чтобы определить коэффициент $C(q)$ используется таблица из Рекомендации МСЭ-R P.617-3.

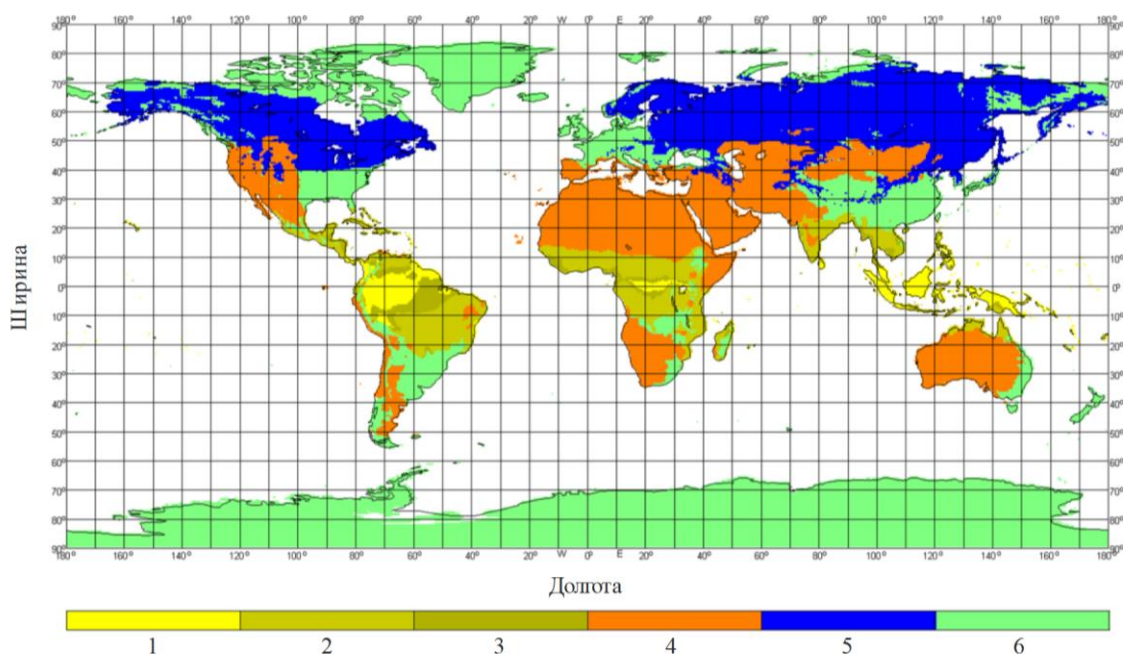


Рисунок 3.5 – Классификация климатических зон

Вычислим углы горизонта со стороны передатчика и приемника, используя формулы (37) [24] и (38-40) [28]:

$$\theta_e = d \times 10^3 / ka = 41 \cdot 10^3 / 1,3 \cdot 6370 = 41000 / 8493 \approx 4,8 \text{ мрад}$$

$$\theta_t = \frac{h'_1 - h_1}{d_1} - \frac{d_1 x h_1}{2ka} = \frac{625 - 680}{18} - \frac{18 x 680}{16986} = -3,05 - 0,72 = -3,77 \text{ мрад}$$

$$\theta_r = \frac{h'_2 - h_2}{d_2} - \frac{d_2 x h_2}{2ka} = \frac{625 - 515}{28} - \frac{28 x 515}{16986} = 3,93 - 0,85 = 3,08 \text{ мрад}$$

По полученным данным, вычислим угловое расстояние по формуле (37) [24]:

$$\theta = \theta_e + \theta_t + \theta_r = 4,8 - 3,77 + 3,08 = 4,11 \text{ мрад}$$

Таким образом результаты будут следующие, приведенной в таблице 3.29.

Таблица 3.29 - Результаты углов рассеяния θ

	d, км	θ_e , мрад	θ_t , мрад	θ_r , мрад	θ , мрад
Пункт №1	41 км	4,8	-3,77	3,08	4,11
Пункт №2	203 км	23,9	14,63	38,39	76,92
Пункт №3	264 км	31,08	12,4	13,44	56,92
Пункт №4	266 км	31,32	47,42	119,78	198,52

Для того, чтобы вычислить зависимость потерь передачи от высоты общего объема, найдем сперва по формулам (42) и (43) [24]:

$$H = 10^{-3}\theta d/4 = 10^{-3} \cdot 4,11 \cdot 41/4 \approx 0,04 \text{ км}$$

$$h = 10^{-6}\theta^2 ka/8 = 10^{-6} \cdot 4,11^2 \cdot 8493/8 \approx 0,02 \text{ км}$$

Тогда по формуле (41) [24]:

$$L_N = 20\log(5 + \gamma H) + 4,34\gamma h = 20 \log(5 + 0,27 \cdot 0,04) + 4,34 \cdot 0,27 \cdot 0,02 \approx 14,01 \text{ дБ}$$

Таким образом результаты будут следующие, приведенной в таблице 3.30.

Таблица 3.30 - Результаты зависимости потерь передачи от высоты общего объема

		<i>H, км</i>	<i>h, км</i>	<i>L_N, дБ</i>
Пункт №1	41 км	0,04	0,02	14,01
Пункт №2	203 км	3,9	6,28	23
Пункт №3	264 км	3,76	3,44	19,61
Пункт №4	266 км	13,2	41,84	67,68

Для определения коэффициента преобразования, в первую очередь вычислим $Y(90)$ используя формулу (44) [28]:

$$Y(90) = - 2,2 - (8,1 - 2,3 \cdot 10^{-4} \cdot f) \exp(- 0,137 \cdot h) = - 2,2 - (8,1 - 2,3 \cdot 10^{-4} \cdot 155) \exp(- 0,137 \cdot 0,02) = - 10,24 \text{ дБ}$$

$$C(50) = 0 \quad Y(50) = C(q)Y(90) = 0 \cdot (- 10,24) = 0 \text{ дБ}$$

$$C(90) = 1 \quad Y(90) = C(q)Y(90) = 1 \cdot (- 10,24) = - 10,24 \text{ дБ}$$

$$C(99) = 1,82 \quad Y(99) = C(q)Y(90) = 1,82 \cdot (- 10,24) = - 18,64 \text{ дБ}$$

Таким образом результаты будут следующие, приведенной в таблице 3.31.

Таблица 3.31 - Результаты коэффициента преобразования

		<i>Y(50), дБ</i>	<i>Y(90), дБ</i>	<i>Y(99), дБ</i>
Пункт №1	41 км	0	- 10,24	- 18,64
Пункт №2	203 км	0	- 5,59	- 10,17
Пункт №3	264 км	0	- 7,19	- 13,08
Пункт №4	266 км	0	- 2,23	- 4,06

После получения всех данных, подставим в первоначальную формулу по определению среднегодовой потери передачи без значения L_c , G_t и G_r используя формулу (36) [24]:

$$L(50) = M + 30 \log f + 10 \log d + 30 \log \theta + L_N - Y(q) = 29,73 + 30 \log 155 + 10 \log 41 + 30 \log 4,11 + 14,01 - 0 = 29,73 + 66,12 + 16,13 + 18,41 + 14,01 = 144,4 \text{ дБ}$$

$$L(90) = 154,64 \text{ дБ}$$

$$L(99) = 163,04 \text{ дБ}$$

Таким образом результаты будут следующие, приведенной в таблице 3.32.

Таблица 3.32 - Результаты общих потерь

		$L(50)$, дБ	$L(90)$, дБ	$L(99)$, дБ
Пункт №1	41 км	- 144,4	- 154,64	- 163,04
Пункт №2	203 км	- 198,09	- 203,68	- 208,26
Пункт №3	264 км	- 191,93	- 199,12	- 205,01
Пункт №4	266 км	- 256,3	- 258,53	- 260,36

Надо учесть, что конечные данные являются среднегодовые потери передачи и формула (36) является эмпирической формулой, основанной на данных для частотного диапазона 200 МГц и 4 ГГц и 5 ГГц [24].

В сухих, жарких пустынных климатических зонах ослабление достигает максимума летом. Годовые изменения месячных медианных значения для трасс средней дальности превышает 20 дБ, при этом суточные изменения чрезвычайно большие (дополнение 1) [24].

По методу Rice P.L. при расчетах, используют следующие формулы (47) и параметры (ежегодные потери $L(50)$) [29]:

$$L(50) = 20 \log f - 20 \log d + F(\theta d) + L_c - G_t - G_r - V(d_e) \quad (47)$$

где f - частота (МГц)

d - расстояние (км)

$F(\theta d)$ - функция ослабления, используемая при расчете средних базовых потерь при передаче для путей рассеяния (по графику)

θ - угол между лучами радиогоризонта в плоскости большого круга [24] по формуле (36)

Углы θ_e , θ_t и θ_r вычисляются по формулам (38-40)

$V(d_e)$ - параметр, используемый с рассчитанным долгосрочным эталонным значением L для прогнозирования средних долгосрочных потерь при передаче (по графику)

d_e - эффективное расстояние (км)

$$d_e = 130 / [1 + (d_{s1} - d_{s0}) / d] \text{ км, где } d_{s0} \leq d_{s1} \quad (48)$$

$$d_e = 130 + d_{s0} - d_{s1} \text{ км, где } d_{s0} > d_{s1} \quad (49)$$

где $d_{s1} = 65(100/f)^{1/3}$ км

$$d_{s0} = d - 3\sqrt{2h_{te}} - 3\sqrt{2h_{re}}, \text{ км} \quad (50)$$

где h_{te} и h_{re} - эффективные высоты антенны, м;

d - длина пути, км;

L_{bsr} - функция ослабления

$$L_{bsr} = 135.8 + 30 \log f + 30 \log \Theta + 10 \log d + 0.34 \Theta d, \text{ если } \Theta d \leq 10 \quad (51)$$

$$L_{bsr} = 131.4 + 30 \log f + 30 \log \Theta + 15 \log d + 0.27 \Theta d, \text{ если } 10 < \Theta d \leq 50 \quad (52)$$

Рассмотрим метод, опубликованное в мае 1965 году, а затем пересмотренное два года спустя метод [29].

Из таблицы 3.29 возьмем данные и продолжим вычисление, тогда результаты будут следующие, приведенной в таблице 3.33

Таблица 3.33 - Результаты углов рассеяния θ

	d , км	θ_e , град	θ_b , град	θ_r , град	θ , град	θ , рад	θd	$F(\theta d)$, дБ
Пункт №1	41 км	4,8	-3,77	3,08	4,11	0,00411	0,17	115
Пункт №2	203 км	23,9	14,63	38,39	76,92	0,07692	15,61	180
Пункт №3	264 км	31,08	12,4	13,44	56,92	0,05692	15,03	177
Пункт №4	266 км	31,32	47,42	119,78	198,52	0,19852	52,81	205

По графику 9.1 найдем функцию ослабления $F(\theta d)$ - по графику указан в радианах [29].

Коэффициент преломления у поверхности Земли $N = 310$ (зимой), $N = 335$ (летом), по графику возьмем 301.

Рассчитаем эффективное расстояние d_e пути распространения, функция d , f_{mc} , h_{te} и h_{re} , сечение 10. 1, (10.3).

$V(50, d_e)$ Параметр, используемый с рассчитанным долгосрочным эталонным значением L для прогнозирования средних долгосрочных потерь при передаче, рис. 10. 1 уравнения (10.4) и (Ш. 67).

Эмпирические оценки долгосрочного затухания мощности зависят от эффективного расстояния d_e , которое, как было установлено, превосходит другие параметры, такие как длина пути, угловое расстояние, расстояние между фактическими горизонтами или расстояние между теоретическими горизонтами по гладкой поверхности земли. Эффективное расстояние учитывает эффективную высоту антенны и некоторую поправку на частоту.

Определите θ_{s1} как угловое расстояние, на котором потери при дифракции и прямом рассеянии приблизительно равны на гладкой поверхности земли с эффективным радиусом $a=9000$ километров, и определите d_{s1} как $9000 \theta_{s1}$. Затем формула (53):

$$d_{s1} = 65(100/f)^{1/3} \text{ км} \quad (53)$$

Значение d_{S1} сравнивается с расстоянием от гладкой земли с формулой (50) между радиогоризонтами.

Было замечено, что долгосрочная изменчивость часовых медиан является наибольшей в среднем для значений d_{S0} , лишь немного превышающих d_{S1} . Эффективное расстояние d_e произвольно определяется по формулам (50) и (53):

Для пункта №1

$$d_{S1} = 65(100/f)^{1/3} \text{ км} = 65 (100/155)^{1/3} = 56 \text{ км}$$

$$d_{S0} = d - 3\sqrt{2h_{te}} - 3\sqrt{2h_{re}} = 41 - 3\sqrt{2 \times 5} - 3\sqrt{2 \times 5} = 41 - 9,49 - 9,49 = 22,02$$

км

$$\text{Если } d_e = 130 / [1 + (d_{S1} - d_{S0}) / d] = 130 / [1 + (56 - 22,02) / 41] = 130 / 1,83 = 71,04 \text{ км}$$

Тогда по рисунку 10.1 $V(50, d_e) = 0$

Следовательно $V(50, d_e)$ по рисунку 10.1 результаты будут следующие, приведенной в таблице 3.34

Таблица 3.34 - Результаты расстояний

	d, км	d_{S1} , км	d_{S0} , км	d_e , км	$V(50, d_e)$, дБ
Пункт №1	41	56	22,02	71,04	0
Пункт №2	203	56	184,02	258,02	4
Пункт №3	264	56	245,02	319,02	3,5
Пункт №4	266	56	247,02	321,02	3,5

Когда $F(\theta d)$, то функция ослабления вычисляется по формулам (51) и (52) [29]

$$\begin{aligned} L_{bsr} &= 135.8 + 30 \log f + 30 \log \Theta + 10 \log d + 0.34 \Theta d = \\ &= 135.8 + 30 \log 155 + 30 \log 0,00411 + 10 \log 41 + 0.34 \times 0,17 = \\ &= 135.8 + 65,71 - 71,58 + 16,13 + 0,0578 = 146,12 \text{ дБ} \end{aligned}$$

Таким образом результаты будут следующие, приведенной в таблице 3.35

Таблица 3.35 - Результаты функции ослабления

	d	θd	Lbsr, дБ
Пункт №1	41 км	0,17	- 146,12
Пункт №2	203 км	15,61	- 202,51
Пункт №3	264 км	15,03	- 200,15
Пункт №4	266 км	52,81	- 226,68

Рассмотрев некоторые варианты методов расчета ослабления коэффициента затухания в тропосфере [84], можно сделать следующие выводы:

1) с начала развития тропосферной связи, все расчеты ввелись полуэмпирическими и эмпирическими методами, одни ученые не признавали методы других ученых;

2) изменение климатических условий на Земле за последние 70 лет, привело к тому, что необходимо внести коррективы в некоторых методах расчета, так как температура, давление и влажность влияют на распространении радиоволн в тропосфере.

3) особенность методов Введенского Б.А. и Сандулова Н.В. заключается в том, что, эти методы учитывают углы закрытия трассы, но метод Сандулова Н.В. использует метод расчета Давыденко Ю.И. с изменениями по книге «Дальняя тропосферная связь».

4) все рассмотренные методы используют климатические условия, связанные с погодными условиями, который учитывают коэффициент преломления N в зимний или летний период времени.

5) медианные потери, быстрые замирания – подчиняется релеевскому закону, медленные замирания – подчиняется логарифмическому нормальному закону, не все эти параметры учитывают в расчетах, например, метод Введенского Б.А. учитывает только медленные замирания, метод Манделя А.Е. и Сандулова Н.В. учитывает все три значения, Международный союз электросвязи и метод Rice не учитывает все три значения.

б) углы горизонта учитывают три метода - метод Сандулова Н.В., Rice и Международный союз электросвязи, которые зависят от высоты установки

антенны, от высоты препятствия над уровнем моря, от расстояния между антеннами и от расстояния между антеннами и препятствиями.

7) Все методы учитывают частоту и расстояния между приемной и передающей антеннами.

Расчетные данные показывают, что результаты в советских и российских методах ненамного отличаются от зарубежных методов в пункте №2 и пункте №3. По пункту №1 идет резкое убывание в значениях по международным методам, а по пункту №4 наоборот возрастает значения в разы. В нижеприведенной таблице 3.36 показаны результаты расчетов по данным методам и справой стороны по измеренным данным, в измеренных данных показаны средние, максимальные и минимальные значения затуханий.

Таблица 3.36 – Окончательные результаты рассчитанных и измеренных данных коэффициента ослабления по городам

трасса	метод по Введенскому Б.А.		метод по Мандель А.Е.	метод по Сандулову Н.В.		метод по МСЭ	метод по Rice	измеренные данные		
	лето	зима		лето	зима			среднее	max	min
Пункт №1	- 201,88	- 188,07	- 193,51	- 187,75	- 191,75	- 163,04	- 146,12	-177,41	- 184,79	- 171,06
Пункт №2	- 247,71	- 238,12	- 215,6	- 199,53	- 202,53	- 208,26	- 202,51	-178,2	- 184,13	- 164,12
Пункт №3	- 253,14	- 245,15	- 220,97	- 201,52	- 203,52	- 205,01	- 200,15	- 172,58	- 177,43	- 169,79
Пункт №4	- 247,49	- 239,55	- 221,14	- 203,95	- 205,95	- 260,36	- 226,68			

3.2. Радиофизический полигон для экспериментального исследования аппаратного компонента ИАПШ

На базе радиолокатора П-18М, принадлежащего Военно-инженерному институту радиоэлектроники и связи, был создан стенд для регистрации тропосферного распространения радиоволн [85, 86]. Так как радиолокационные станции не являются измерительными средствами, то потребовалась калибровка приёмного тракта РЛС, чтобы результаты измерений преобразовывались в единицы мощности принятых радиосигналов [87]. Стенд состоит из: машины антенно – мачтового устройства, аппаратной машины, силового прицепа ПС-1.

Калибровка стенда производилась с помощью специально разработанного в ТОО СКТБ «Гранит» выносного гетеродина (рисунок 3.6).



Рисунок 3.6 – Выносной гетеродин

Результаты калибровки приведены на рисунке 3.7 [88].



Рисунок 3.7 - Чувствительность радиоприёмного тракта РЛС П-18М

После калибровки стенда, на радиолокационной станции вместо рабочей программы радиолокатора устанавливалось специальное программное обеспечение, предназначенное для регистрации и обработки принятых радиосигналов от территориально удалённых радиолокаторов.

В состав программно-аппаратного комплекса для регистрации сигналов на РЛС П-18М входят:

- выносной гетеродин с измерительным приёмником и программным обеспечением для калибровки радиолокатора (разработана лабораторная работа по измерению диаграмм направленности);
- программа SendBufr для передачи информации, непосредственно оцифрованной АЦП на выходе приёмного устройства, на компьютер оператора РЛС;
- программа OcsAS для визуального контроля процесса приёма регистрируемой информации;
- программа RecBufr_3 для записи принятой информации в файл;
- программа KorrRecData_3, удаляющая избыточную служебную информацию из записанного файла, для удобства дальнейшей обработки;
- программа SyntAS, осуществляющая оптимальную фильтрацию зарегистрированного сигнала для выделения сигналов РЛС.

Приемником исследуемых радиоволн является РЛС П-18 метрового диапазона, и поэтому при выборе позиции должно учитываться существенное влияние рельефа местности на формирование диаграммы направленности станции в вертикальной плоскости. Наилучшей позицией является ровная горизонтальная площадка радиусом 500 – 1000 м на открытой местности или вблизи водной поверхности.

Допустимые пределы неровности позиции:

- на расстоянии 100 м от антенны - не более 0,55 м;
- на расстоянии 500 м – до 3 м;
- на расстоянии 1000 м – до 5 м.

Уклон позиции допускается не более $+0,5 \div 2^\circ$. Площадка должна выбираться на расстоянии не менее 1000 м от леса и населенных пунктов сельского типа и не менее 2000 м от населенных пунктов городского типа. Отдельные деревья и мелкий кустарник на работу станции не влияют. Углы закрытия не должны превышать $15'$.

Выбрать идеальную позицию невозможно, поскольку позиция в учебном центре уже выбрана. Необходимо измерить углы закрытия для существующей

позиции с целью анализа диаграммы направленности и соответственно направлений, с которых исследуемые сигналы возможно не будут приниматься.

Углы закрытия измерены с помощью перископической артиллерийской буссоли ПАБ-2М, которая предназначена для определения азимутов направлений, ориентирования орудий и приборов, для измерения горизонтальных углов, углов наклона и расстояний при выполнении топогеодезической привязки.

Устройство, комплект буссоли, подготовка к работе и работа с буссолью приведены в учебном пособии [89].

Конструктивно буссоль выполнена таким образом, что при установке на буссольном кольце и буссольном барабане нулевых отсчетов, визирная ось монокуляра будет параллельна индексам (установочным рискам) на корпусе ориентир-буссоли.

Магнитная стрелка имеет свойство ориентироваться в плоскости магнитного меридиана. При ориентировании магнитной стрелки ее концы, а значит и визирная ось монокуляра (при нулевом отсчете по буссольной шкале), располагаются в плоскости магнитного меридиана.

Основные тактико-технические характеристики ПАБ-2М приведены в таблице 3.37.

Таблица 3.37 – ТТХ ПАБ-2М

№ п/п	Наименование характеристики	Показатели
1	Оптические: - увеличение монокуляра, карт - поле зрения, дел. угл. (град)	8 0-83 (5°)
2	Конструктивные: Цена наименьшего деления: - угломерного и буссольного колец - угломерного и буссольного барабанов - отчетной шайбы монокуляра - барабана вертикальной наводки монокуляра	1-00 0-01 1-00 0-01
3	Пределы измерения углов: - горизонтальных, дел. угл. (град) - вертикальных, дел. угл. (град)	60-00 (360°) ±3-00(±18°)
4	Перископичность, мм	350

Вывод: Позиция расположения РЛС П-18М – приемника исследуемых радиосигналов в основном удовлетворяет соответствующим требованиям. В зависимости от времен года проходимость сигналов (мощность принимаемых сигналов может меняться (экранирующий эффект деревьев).

1) Подготовлены нормативные документы и согласованы с вышестоящим командованием:

- о порядке привлечения офицеров к работам на стенде;
- о порядке доступа военнослужащих и гражданских лиц, участвующих в проекте, на территорию полигона ВИИРЭС;
- о порядке доступа к каналам служебной связи;
- о порядке получения информации о графиках работы РЛС.

2) Установлено программное обеспечение для регистрации исследуемых радиоволн, в том числе:

- проведена инсталляция программного обеспечения (ПО);
- проведена комплексная отладка программного обеспечения с устранением замечаний по удобству пользования;
- составлена инструкция о порядке запуска ПО для исследований и восстановления штатного ПО РЛС;
- проведено обучение пользованием ПО членов исследовательской группы.

3) Составлены графики и инструкции подготовки РЛС к измерениям:

- инструкция по проведению контрольного осмотра РЛС перед началом и по окончании измерений [90], внесены изменения в руководство по эксплуатации РЛС;
- инструкция по проверке функционирования РЛС перед началом и по окончании измерений [91], внесены изменения в руководство по эксплуатации РЛС;
- инструкция по проведению регистрации тропосферных сигналов.

4) Составлены методики регистрации записи и расшифровки сигналов:

- определён порядок составления планов работ по регистрации радиосигналов;
- определён порядок нумерации файлов измерений и их хранения;
- проведено обучение членов исследовательской группы;
- проведено практическое занятие для курсантов ВИИРЭС по тропосферному распространению радиосигналов.

5) Проводились наблюдения и регистрация сигналов РЛС:

- сделаны контрольные записи радиосигналов на всех контрольных радиотрассах;
- выявлен факт многопутного (многомодового) распространения радиоволн;
- выявлен ранее не известный в науке эффект наличия оптимального пути распространения радиоволн при отклонении антенны от азимута кратчайшего пути;
- выявлены высокоскоростные флуктуации уровней радиосигналов;
- выявлен ранее не известный в науке эффект наличия стратосферных неоднородностей, рассеивание радиосигналов от которых соизмеримо с сигналами от тропосферных неоднородностей.

6) Разработана инструкция по обработке данных.

7) Выполнен сравнительный анализ теоретических расчётов затухания сигналов в тропосфере по разным методикам расчётов и результатов реальных измерений для контрольных радиотрасс. Выявлены существенные несовпадения результатов расчётов и реальных измерений, требующие теоретического толкования.

3.3. Выбор и обоснования измерительных трасс для мониторинга тропосферных каналов радиосвязи аппаратного компонента ИАПШ

Для мониторинга тропосферных каналов радиосвязи аппаратного компонента интеллектуальной аппаратно-программной платформы можно выбрать следующие измерительные трассы:

1. Измерение уровня сигнала: это позволит контролировать мощность принимаемого сигнала и его изменения во времени. Измерение уровня сигнала позволит выявить возможные проблемы с передачей данных по тропосферному каналу, такие как падение или потеря сигнала.

2. Измерение задержки сигнала: это позволит контролировать время, затраченное на передачу сигнала через тропосферной канал. Измерение задержки сигнала позволит выявить возможные проблемы с задержкой данных, которые могут повлиять на качество передачи и работу аппаратного компонента.

3. Измерение уровня шума: это позволит контролировать уровень шума, который влияет на качество передачи данных по трансферному каналу. Измерение уровня шума поможет выявить возможные проблемы с интерференцией и определить оптимальное время для передачи данных.

4. Измерение ошибок передачи: это позволит контролировать количество ошибок, происходящих при передаче данных через тропосферный канал. Измерение ошибок передачи поможет выявить возможные проблемы с целостностью данных и определить необходимость принятия мер для исправления этих ошибок.

5. Выбор данных измерительных трасс обоснован необходимостью контроля ключевых параметров передачи данных по тропосферным каналам радиосвязи. Измерение уровня сигнала, задержки сигнала, уровня шума и ошибок передачи позволит обеспечить стабильную и надежную работу аппаратного компонента интеллектуальной аппаратно-программной платформы.

Тропосферное распространение радиоволн во многом зависит от метеорологических условий и рельефа местности. Сезонные, так же, как и суточные, изменения потерь рассеяния зависят от длины радиолинии. Влияние погодных условий более отчетливо проявляется на трассах малой протяженности (до 300 км).

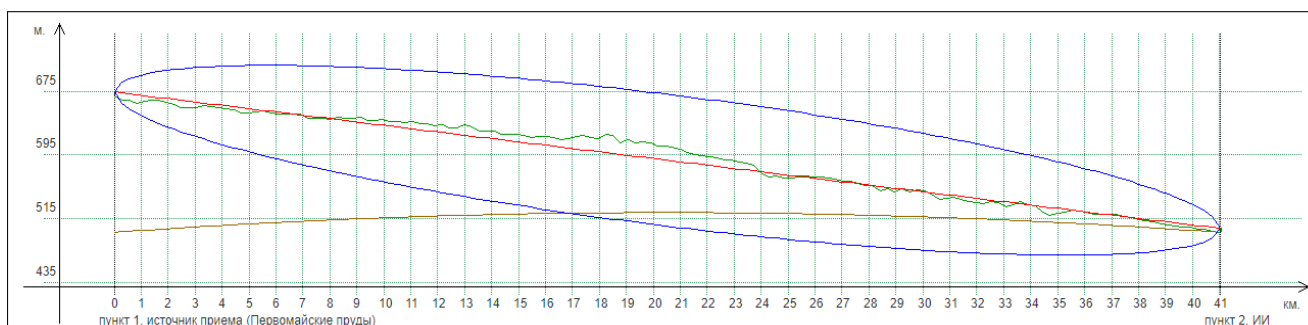
Для измерительных трасс были выбраны как трассы различной протяженности, так и трассы одинаковой протяженности, но с различным рельефом местности. Характеристики трасс приведены в таблице 3.38.

Таблица 3.38 – Характеристики трасс

Номер трассы	Ориентация	Протяженность, км	Рельеф
1	север	41	равнина
2	северо-восток	265	равнина
3	восток	226	гористый
4	юго-восток	266	гористый

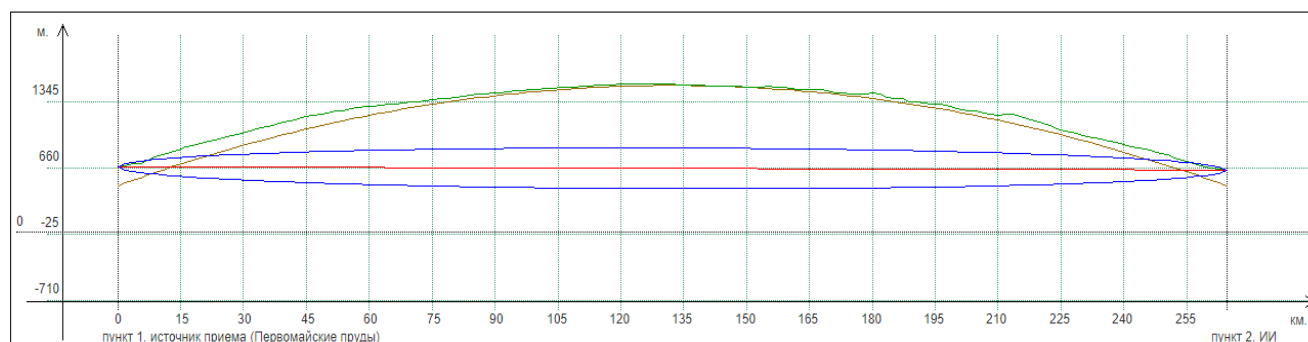
На рисунке 3.8 приведены примеры рельефа испытательных трасс.

Длина интервала, км: 41.02
 Потери в свободном пространстве, дБ.: 108.22
Внимание: полузакрытый интервал.



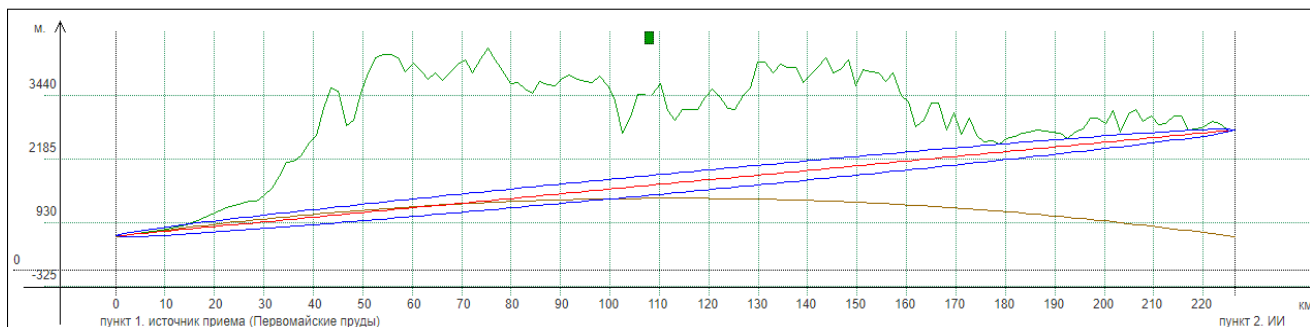
Трасса № 1

Длина интервала, км: 264.53
 Потери в свободном пространстве, дБ.: 124.41
Внимание: закрытый интервал.



Трасса № 2

Длина интервала, км: 226.37
 Потери в свободном пространстве, дБ.: 123.06
Внимание: закрытый интервал.



Трасса № 3









- | | | | |
|---|--|---|---------------------------------|
|  | - линия кривизны земной поверхности |  | - профиль радиолинии |
|  | - первая зона Френеля |  | - линия прямой видимости |
|  | - мачты антенн |  | - обозначение границ радиолинии |
|  | - просвет между поверхностью земли и нижней границей первой зоны Френеля |  | - диаметр первой зоны Френеля |

Рисунок 3.8 - Рельеф местности на измерительных трассах

Для точного наведения антенны измерительной РЛС на азимут наблюдаемого радиолокатора было изготовлено специальное устройство для обеспечения точного (до 1 градуса) позиционирования антенны по азимуту.

3.4. Результаты экспериментальных исследований тропосферного распространения радиосигналов аппаратного компонента ИАПШ

Результаты наблюдений и регистрации сигналов РЛС показан на рисунке 3.9 [92]. Приводятся данные о датах и времени регистрации радиолокационной информации. Показаны типичные виды принятых радиолокационных сигналов с многопутным (многомодовым) характером распространения радиоволн.



Рисунок 3.9 - Принятый сигнал РЛС П-18М учебного центра от РЛС П-18М контрольного пункта №1

Выполнены расчёты высот рассеивающих областей (рисунок 3.10), ряд из которых находится в стратосфере.

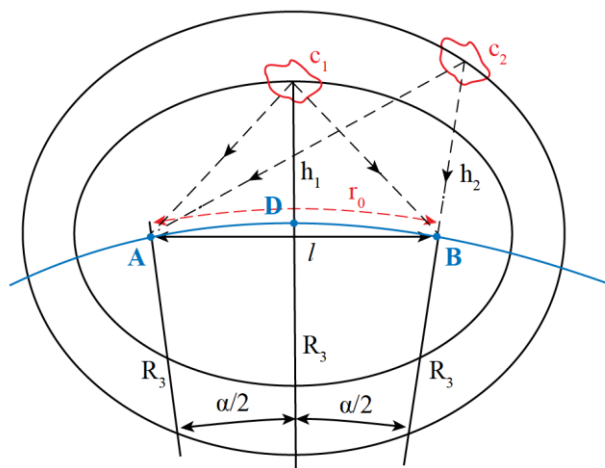


Рисунок 3.10 - Распространение радиоволн, рассеивающихся на неоднородностях атмосферы

Минимальная и максимальная возможные высоты расположения рассеивающих областей рассчитываются по формулам (54) и (55), соответственно:

$$h_1 \approx \sqrt{\frac{(\Delta t_1 c + r_0)^2 - 8R_3^2 \left(1 - \cos\left(\frac{r_0}{2R_3}\right)\right)}{2}} \quad (54)$$

$$h_2 \approx \frac{(r_0 + \Delta t_2 c)^2 - 2R_3^2 \left(1 - \cos\frac{r_0}{R_3}\right)}{2(r_0 + \Delta t_2)} \quad (55)$$

Выполнены расчёты времени приёма множественных переотражений из-за многопутного прохождения сигналов (таблица 3.39).

Таблица 3.39 – Расчет времени приема множественных переотражений

Время, дата	t_{max}	t_{min}	t_{cp}	СКО
	мкс			
11:55 29.04.2021	74	72	73,94	0,12
10:55 05.05.2021	166	30	74,92	37,88
12:24 28.05.2021	124	120	120,74	1
17:15 07.06.2021	56	42	44,87	1,85
15:49 24.06.2021	48	44	45,47	0,93
10:53 12.02.2022	36	4	10,88	3,06
06:31 31.03.2022	46	14	23,28	5,31
15:53 13.05.2022	32	16	25,35	3,11
23:12 27.05.2022	26	6	15,48	6,76
08:42 28.05.2022	26	20	22,67	1,52
09:02 28.05.2022	28	6	14,22	3,9
13:32 02.06.2022	24	20	22,4	1,92
13:50 02.06.2022	26	6	20	4,86
17:15 03.08.2022	84	68	74,64	6,75
16:12 23.09.2022	26	8	18,33	5,41

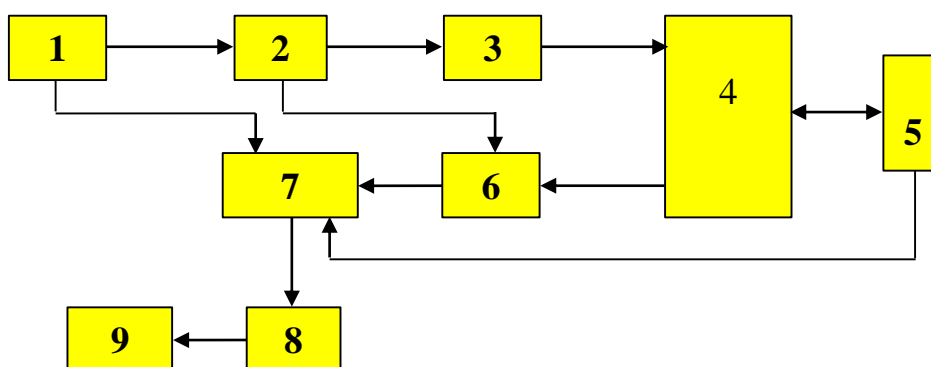
При типовом периоде зондирования РЛС П-18М равном 6 миллисекундам, возможна передача информации со скоростью не менее $6000\text{мкс}/166\text{мкс}=36$ бит в секунду даже при обычной импульсной модуляции.

3.5. Исследование возможности использования аппаратного компонента ИАПП для передачи данных

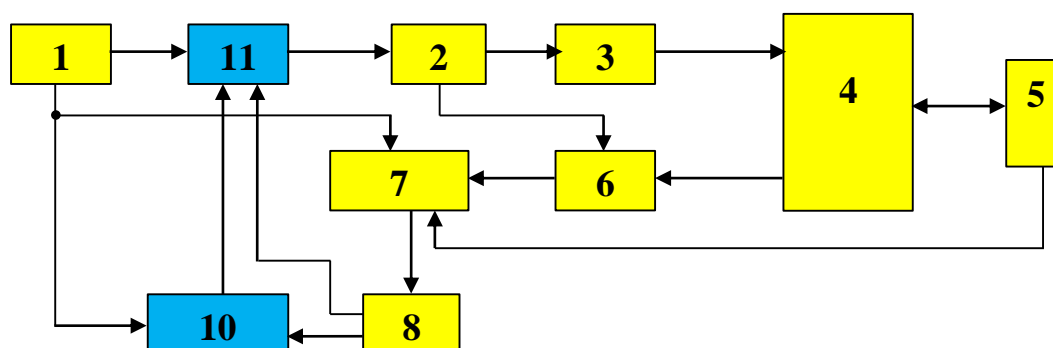
Мобильная радиолокационная станция РЛС П-18М предназначена для обнаружения воздушных объектов, определения их координат (азимута и дальности), выдачи радиолокационной информации (РЛИ) на автоматизированные и неавтоматизированные командные пункты или пункты управления радиотехнических подразделений. Преимущества П-18М, работающей в метровом диапазоне волн, - простота, надежность и всепогодность. При этом она обладает высокой точностью измерения координат - дальности и азимута. Главным её качеством является уверенное определение на больших дальностях объектов различных классов, в том числе и малоразмерных, а также устойчивое сопровождение обнаруженных целей в сложной метеорологической обстановке.

На рисунке 3.11а приведена блок-схема ближайшего аналога, РЛС П-18М. Станция содержит последовательно соединённые блок синхронизации (СБХ) 1,

блок синтезатора (СБС) 2, усилитель мощности (УМ) 3, блок защиты - антенный коммутатор (БЗАК) 4, антенно-мачтовое устройство (АМУ) 5, один из выходов БЗАК 4 подключён ко входу приёмного устройства ПРМ 6, выход которого подключён ко входу аппаратуры предварительной обработки информации (АПОРЛИ) 7, другие входы которого связаны с выходом блока синхронизации (СБХ) и со входом автоматизированного рабочего места (АРМ), а выход автоматизированного рабочего места (АРМ) 8 подключен к входу автоматизированной системы управления (АСУ) 9.



а. 1 - блок синхронизации (СБХ), 2 - блок синтезатора (СБС), 3 - усилитель мощности (УМ), 4 - блок защиты - антенный коммутатор (БЗАК), 5 - антенно-мачтовое устройство (АМУ), 6 - приёмное устройство (ПРМ), 7 - аппаратура предварительной обработки информации (АПОРЛИ), 8 - автоматизированное рабочее место (АРМ), 9 - автоматизированные системы управления (АСУ)



б. 1 - блок синхронизации (СБХ), 2 - блок синтезатора (СБС), 3 - усилитель мощности (УМ), 4 - блок защиты - антенный коммутатор (БЗАК), 5 - антенно-мачтовое устройство (АМУ), 6 - приёмное устройство (ПРМ), 7 - аппаратура

предварительной обработки информации (АПОРЛИ), 8 - автоматизированное рабочее место (АРМ), 10 – кодер, 11 – переключатель

Рисунок 3.11 - Блок-схема РЛС П-18М кругового обзора метрового диапазона (а-без функций передачи данных, б-с функцией передачи данных)

Станция имеет возможность автоматической передачи данных об обнаруженных целях в автоматизированную систему управления (АСУ) противовоздушной обороной. Функционально сконструирована с возможностью введения новых аппаратных и программных блоков (модификаций).

Станция, ближайший аналог, функционирует следующим образом (рисунок 3.11а). СБХ 1 формирует такты кода зондирующего сигнала для СБС 2, в котором происходит фазо-кодовая манипуляция высокочастотного зондирующего сигнала, и сигнал начала зондирующего импульса для синхронизации АПОРЛИ 7. Зондирующий сигнал усиливается до нужного уровня в УМ 3 и, через коммутатор БЗАК 4 передаётся в АМУ 5 для излучения в пространство. При приёме отражённых сигналов радиосигналы принятые АМУ 5, через коммутатор БЗАК 4 поступают на приёмное устройство ПРМ 6, где происходит их частотная селекция и перенос на более низкую частоту с помощью вспомогательных сигналов гетеродинов, формируемых СБС 2. Сигналы с выхода приёмного устройства поступают на АПОРЛИ 7, где они преобразуются из аналоговых сигналов в цифровые, дополняются кодами азимутального угла, поступаемыми с АМУ 5, и передаются в АРМ 8, для выделения информации об обнаруженных воздушных целях. Далее информация о воздушных целях передаётся в АСУ 9 по IP каналам связи.

К недостаткам ближайшего аналога относится возможность передачи данных в АСУ только по выделенным IP каналам связи.

Все вышеописанные аналоги передают информацию об обнаруженных целях в АСУ или на командный пункт. При больших расстояниях и отсутствии проводной связи информация передаётся по каналам коротковолновой связи. Для этого к РЛС придаются КВ радиостанции с оператором связи. Связь КВ

радиостанций зависит от времени суток, сезона, состояния ионосферы и магнитных бурь. Она не всегда устойчива.

РЛС в качестве зондирующего сигнала используют фазокодированные сигналы, которые подобны сигналам, используемым при передаче данных. Из уровня техники известно, что тропосферная связь в ультракоротковолновом диапазоне возможна на большие расстояния и при этом обладает высокой помехоустойчивостью. Мощность передатчика и коэффициент усиления антенны РЛС П-18М соответствуют требованиям к станциям тропосферной связи этого диапазона волн.

Решение задачи является преодоление указанных выше недостатков существующих аналогов и обеспечение надёжной передачи информации об обнаруженных целях по тропосферному каналу связи на большие расстояния посредством передачи вместо зондирующего радиолокационного сигнала кодовой информации об обнаруженных за оборот воздушных целях в тот момент, когда антенна РЛС (при вращении) направляется на азимут командного пункта.

Технический результат заключается в обеспечении надёжности передачи информации об обнаруженных целях на большие расстояния с сохранением возможности автоматического сопряжения с АСУ без участия дополнительной радиостанции.

Указанное техническое решение достигается тем, что в устройство, включающее блок синхронизации (СБХ), последовательно соединённые блок синтезатора (СБС), усилитель мощности (УМ), блок защиты - антенный коммутатор (БЗАК), антенно-мачтовое устройство (АМУ), один из выходов БЗАК подключён ко входу приёмного устройства ПРМ, выход которого подключён ко входу аппаратуры предварительной обработки информации (АПОРЛИ), другие входы которого связаны с выходом блока синхронизации (СБХ) и с входом автоматизированного рабочего места (АРМ), дополнительно введены переключатель и кодер, на входы которого подаются сигналы с выходов АРМ и СБХ, а выход подключён ко входу переключателя, на другие входы

которого подаются сигналы с выходов АРМ и СБХ, сигнал с его выхода поступает на вход СБС.

Введение кодера обеспечивает накопление, кодирование информации об обнаруженных воздушных целях, направляемой ранее непосредственно в АСУ, и её хранение до наступления момента передачи.

Введение переключателя обеспечивает переключение режимов работы РЛС между режимом радиолокационного обнаружения и режимом передачи данных, накопленных в кодере.

Для лучшего понимания сущность предлагаемого технического решения поясняется с привлечением графических материалов, где на рисунке 3.11б представлена блок-схема предлагаемой разработки.

Радиолокационная станция кругового обзора метрового диапазона с функцией передачи данных, содержит (рисунок 3.11б) последовательно соединённые блок синхронизации (СБХ) 1, переключатель 11, блок синтезатора (СБС) 2, усилитель мощности (УМ) 3, блок защиты - антенный коммутатор (БЗАК) 4, антенно-мачтовое устройство (АМУ) 5, выход БЗАК 4 подключён к входу приёмного устройства ПРМ 6 на другой вход которого поступает сигнал с выхода СБС 2, а выход подключён ко входу аппаратуры предварительной обработки информации (АПОРЛИ) 7, другие входы которого связаны с выходами СБХ 1 и АМУ 5, а выход - с входом автоматизированного рабочего места (АРМ) 8, выходы которого подключены ко входам переключателя 11 и кодера 10, при этом другой вход кодера 10 связан с другим выходом СБС 2, а выход – с другим входом переключателя 11.

Предлагаемое техническое решение работает следующим образом (рисунок 3.11б). СБХ 1 формирует такты кода зондирующего сигнала, которые подаются через переключатель 11 на СБС 2, в котором происходит фазо-кодовая манипуляция высокочастотного зондирующего сигнала, и сигнал начала зондирующего импульса для синхронизации АПОРЛИ 7. Зондирующий сигнал усиливается до нужного уровня в УМ 3 и, через коммутатор БЗАК 4 передаётся в АМУ 5 для излучения в пространство. При приёме отражённых сигналов

радиосигналы принятые АМУ 5, через коммутатор БЗАК 4 поступают на приёмное устройство ПРМ 6, где происходит их частотная селекция и перенос на более низкую частоту с помощью вспомогательных сигналов гетеродинов, формируемых СБС 2. Сигналы, с выхода приёмного устройства 6, поступают на АПОРЛИ 7, где они преобразуются из аналоговых сигналов в цифровые, дополняются кодами азимутального угла, поступаемыми с АМУ 5, и передаются в АРМ 8, для выделения информации об обнаруженных воздушных целях. Далее информация о воздушных целях передаётся в кодер 10. Информация накапливается в кодере 10 до тех пор, пока код угла, поступающий в АРМ 8 вместе с данными от АПОРЛИ 7, не станет равным азимуту командного пункта, на котором установлена АСУ. При совпадении кода угла с заданным азимутом, АРМ 8 посылает управляющие команды на переключатель 11, после чего данные из накопителя (10) содержащие информационный сигнал об обнаруженных за оборот воздушных целях, синхронизируемые сигналом СБХ 1 начинают поступать через переключатель (11) на СБС 2, в котором происходит фазо-кодовая манипуляция высокочастотного сигнала информационными данными об обнаруженных воздушных целях. По окончании передачи данных по команде АРМ 8 переключатель 11 возвращается в исходное состояние и РЛС снова переходит в режим радиолокационного обнаружения целей.

Сравнительный анализ показал, что предложенное техническое решение отличается от известных устройств подобного назначения рядом преимуществ, а именно:

- высокая помехоустойчивость тропосферного канала связи;
- возможность передачи данных на несколько АСУ, находящихся на разных азимутах;
- возможность передачи служебных сообщений, подготовленных оператором АРМ.

В то же время, использование предлагаемой радиолокационной станции исключает необходимость наличия коротковолновой радиостанции и оператора связи при удалённой передаче данных в АСУ командного пункта.

Реализация предлагаемой радиолокационной станции не вызывает затруднений, так как все входящие в неё отдельно взятые блоки и узлы общеизвестны, широко описаны в технической литературе и могут быть использованы при выполнении предлагаемого устройства без дополнительной доработки.

Защищено патентом на полезную модель № 7426 Республики Казахстан [1].

Делается расчёт количества целеуказаний о воздушных объектах, которое можно передать за один период зондирования радиолокатора П-18М.

3.6. Изготовление и проведение испытаний антенны аппаратного компонента ИАПП

В качестве источников и приёмника исследуемых радиоволн применялись радиолокационные станции П-18М, работающие в частотном диапазоне (140 – 170) МГц. В ходе работ был зафиксирован уверенный приём сигналов от удалённых РЛС [93]. Полученные данные позволяют сделать предположение о реальной возможности использовать серийные мобильные УКВ-радиостанции средней мощности для работы с тропосферными каналами связи. Для проверки этой возможности необходимо создать антенну, имеющую коэффициент усиления, соизмеримый с усилением антенны П-18М, но обладающую возможностью сворачивания до небольших габаритов, не превышающих багажника легкового автомобиля.

Антенна РЛС П-18М представляет собой антенную решетку, состоящую из шестнадцати одинаковых волновых каналов, расположенных в два этажа (по восемь волновых каналов на этаже).

Габаритные размеры антенны:

- в горизонтальной плоскости – 15,4 м;
- в вертикальной плоскости – 2,45 м;

Характеристики антенной решетки:

- коэффициент усиления антенны – 230.

- коэффициент бегущей волны (КБВ) – не менее 65 % (КСВ не менее 1,5);
- ширина ДНА в горизонтальной плоскости по уровню 0,5 мощности – 6–8°.

Пронализировав характеристики различных типов антенн и учитывая перечисленные выше требования, в качестве прототипа была выбрана зигзагообразная антенна, состоящая из двух разнесенных по вертикали и параллельно включенных рамочных антенн в качестве основы для проектирования антенной решетки. Основные преимущества зигзагообразной антенны перед антеннами типа «волновым канал» - их широкополосность. В пределах диапазона частот, на которые рассчитана зигзагообразная антенна, она обладает сравнительно постоянными параметрами, удовлетворительно согласуется с фидером, ее коэффициент усиления изменяется в небольшой степени. Возможность легкого изготовления без применения специального оборудования (могут быть выполнены из подручных материалов).

Для расчёта параметров выбранной зигзагообразной антенны была использована программа MMANA-GAL, опыт применения которой для моделирования антенн УКВ-диапазона уже имелся [94]. Программа позволяет комфортно подготавливать данные для расчётов в модифицированном MININEC3 и анализировать полученный результат. Для создания модели антенны и вывода результатов в MMANA можно использовать как текстовый, так и графический режимы. Кроме подготовки-обработки данных MININEC3, MMANA включает в себя множество дополнительных функций, облегчающих работу проектировщику антенн.

Результаты расчёта габаритов антенной решетки из зигзагообразных квадратных антенн показал, что размер ее по вертикали должен быть 1,52 метра, что не приемлемо для мобильного ее разварачивания. Была поставлена задача уменьшить размер антенной решетки по высоте. Для этого было проведено моделирование пределов допустимого сжатия зигзагообразной антенны в вертикальной плоскости для уменьшения вертикальных габаритов (рисунки 3.12, 3.13 и 3.14) без существенного ухудшения её характеристик. Критерием при

оптимизации вертикальных размеров являлось сохранение высокого коэффициента усиления антенны при минимизации реактивной составляющей её сопротивления в рабочем диапазоне частот.

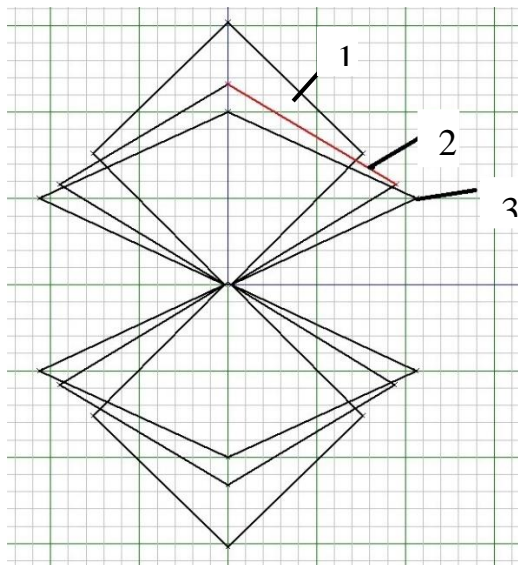


Рисунок 3.12 – Зигзагообразные антенны: 1-квадратная, 2-сжатая рабочая, 3- сильно сжатая

MMANA-GAL basic C:\Users\Paradox_888\Desktop\антенны харченко\18 мая квадратная антенна Харченко\7.таблица квадрат восьмерка.maa

Файл Правка Инструменты Установки Помощь MMANA-GALpro

Геометрия Вид Вычисления Диаграмма направленности

Wide band two rhomb with plane-reflector

Частота 155 МГц

Земля

Свободное пространство

Идеальная

Реальная Параметры

Высота 3.00 м

Материал медь

ДЛИНА ВОЛНЫ = 1.934 (m)
 ВСЕГО ТОЧЕК ДЛЯ РАСЧЕТА = 133
 НИЖНЯЯ ТОЧКА АНТЕННЫ = 2.240 М
 ЗАПОЛНЕНИЕ МАТРИЦ...
 РАСЧЕТ МАТРИЦ...
 ТОЧКА U (В) I (мА) Z (Ом) KСВ
 w5c 1.00+j0.00 11.45-j0.79 86.93+j6.00 1.75
 РАСЧЕТ ТОКОВ...
 РАСЧЕТ ДИАГРАММЫ НАПРАВЛЕННОСТИ ...
 РАСЧЕТ АНТЕННЫ УСПЕШНО ЗАВЕРШЕН
 0.14 sec

No.	F (МГц)	R (Ом)	jX (Ом)	KСВ 50	Gh (dBd)	Ga (dBi)	F/B (dB)	Elev(gp)	Земля	Высота	Поляр.
1	155.0	86.93	6.0	1.75	---	10.9	---	8.9	Реал.	3.0	гориз.

Рисунок 3.13 – Параметры зигзагообразной антенны с квадратными излучателями

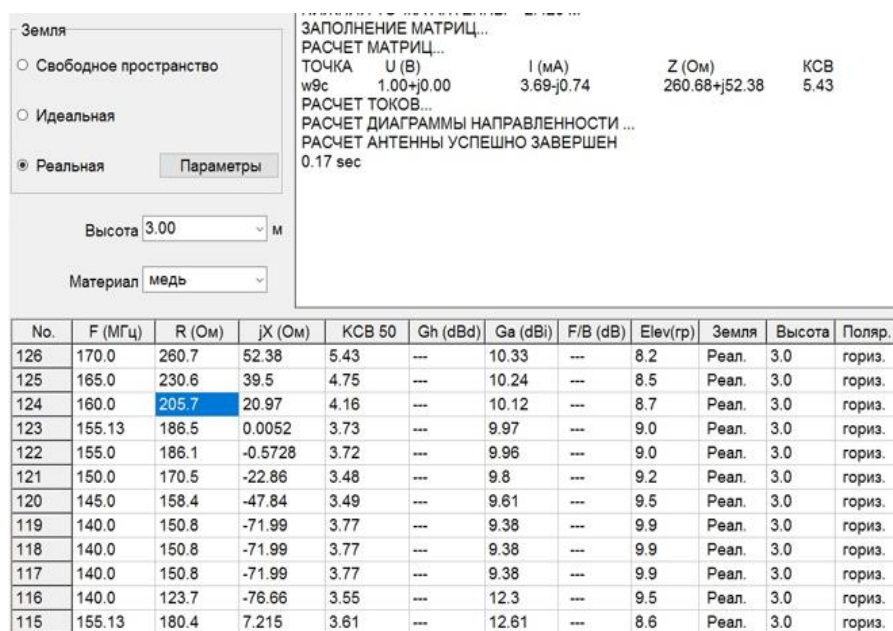


Рисунок 3.14 – Параметры зигзагообразной сжатой антенны

Из рисунок 3.13 (моделирование антенны с квадратными излучателями) следует, что на частоте 155 МГц активное и реактивное входное сопротивление значение КСВ в допустимых пределах и составит соответственно 86.93, 6 Ом и 1.75.

Из закладки 2 следует, что на частоте 155.13 МГц наблюдается резонанс (значение реактивной составляющей сопротивления минимальное), но значение активной соавляющей сопротивления увеличилось в 2,14 раз и составило 186.5 Ом. С увеличением/уменьшением частоты от средней частоты 155 МГц, значение реактивной составляющей сопроитления начинает резко увеличиваться. Значение КСВ также ухудшилось и составляетна основной частоте 3,73.

Поэтому была выбрана сжатая антенна размерами 5565-5480 по диагоналям зигзагообразной антенны (рисунок 3.15). Значение активной составляющей $R=186,5$ Ом и реактивной составляющей $jX=+0.0052$ Ом (выделено жирным шрифтом на рисунке 3.14). Вертикальный размер сжатой антенны меньше квадратной на $152\text{ см}-116\text{ см} = 36\text{ см}$ (с учетом 2-х этажей на 72 см). Нецелесообразность дальнейшего сжатия антенны объясняется ниже.

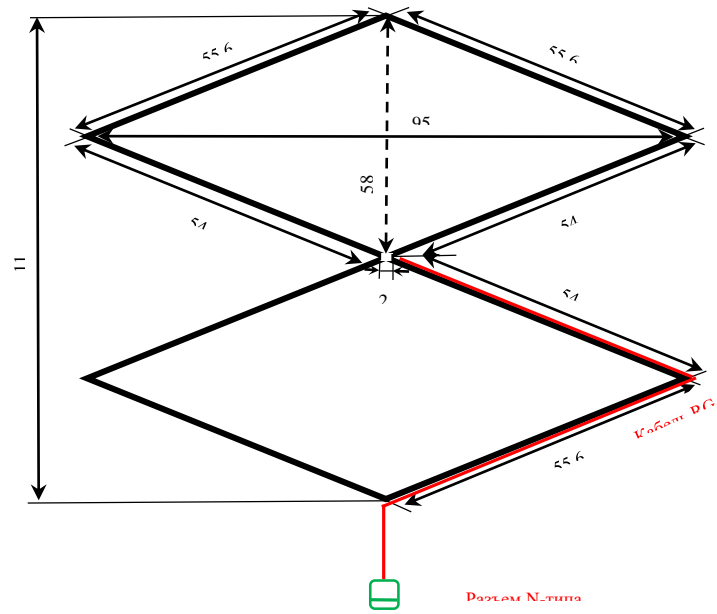


Рисунок 3.15 – Антенна Харченко (биквадрат)

Рассмотрим влияние расстояния между верхним и нижним этажом 2-х ярусной антенной решетки и горизонтального влияния между зигзагообразными антеннами. Для этого расстояние между антеннами по вертикали и горизонтали изменялось в зависимости от различного соотношения к длине волны ($f=155.13$ МГц, $\lambda=1.925$ м). Данные приведены в таблице 3.40.

Таблица 3.40 – Результаты активных и реактивных сопротивлений вертикального и горизонтального этажей

Высота над землей H=3 м Резонансная частота	Вертикальный этаж										
	5860 -5770 –размер сжатой антенны		5565- 5480 размер рабочей(средне сжатой)антенны		КСВ	G	Верт. дист. в λ	Вертикальная дистанция между этажами в метрах	Зазор между этажами	Зазор между этажами	
155,13 =	R	jX	R	jX	50	a	□□□ □		5860-5770 (50смx2=1м высота 2-х эт)	5565-5480 (58смx2=1.16м высота 2-х этаж.)	
	270.4	-6.3					0,55				
	263.5	+4.68	180.4	+7.25			0,61	x1,93	=1,18	1,18-1=0,18	1,18-1,16=0,02 м
	258.3	+14.5	177.2	+5.07			0,65				
	252	+27.5	172.6	+6.173			0,7		=1,353	1,353-1=0,353	1,353-1,16=0,193 м
	250	+40.3	168.7	+8.712			0,75				
	250.2	+45.1	167.6	+10.03			0,77		=1,49	1,49 -1=0,49	1,49 -1,16 = 0,33 м
	252.6	+51.8	166.4	+12.27			0,8		=1,55		
	262.6	+59.8					0,85				
	279.7	+60.3	170.1	+21.05			0,9				
	313.3	+28.8	188.6	+21.86			1				
	317	-4.2	201.	+9.65			1,07		= 2, 07		
	314	-15.8	203.2	+2.9			1,1				
			203.5	+0.103			1,113		= 2, 15	2,15-1=1,15	2,15-1,16=1,00 м
	304	-34.4	202.4	-9.97			1,17		= 2,26		
	300.7	-39.1	200.9	-13.56			1,2				
	292.7	-44	197.	-18.06			1,3				
	293	-36	196.4	-13.94			1,4		=2, 7		
	295	-27.9	196.3	-9			1,45				
	297.5	-15.8	195.2	-2.56			1,5				
Горизонтальный этаж											
	R	jX	R	jX					53см x 2=1,06м	47,5смx2=95см	
			215	-41.66			0,5	x1,93	=0,966		0,966-0,95=0,016
	330	-68,5	195	-33.9			0,55		=1,063	1,063-	1,063-0,95=0,113
	284	-54,2	184.8	-30.1			0,6		=1,16	1,16 -1,06=0,1	1,16 -0,95=0,21
	267,5	-42,1	177.1	-25.5			0,65		=1,256	1,256-	1,256-0,95=0,3 м
	257,6	-29,9	171.6	-20.01			0,7		= 1,35	1,35 -	1,35 -0,95=0,4 м
	252,4	-17,8	167.9	-14.0			0,75		=1,45	1,45 -	1,45 -0,95=0,5 м
	250	-6,5	166.1	-7.88			0,8		=1,55	1,55 -	1,55 -0,95=0,6 м
	252	+3,54					0,85		=1,64	1,64 -	1,64 -0,95=0,7 м
	256	+12	167.3	+3.287			0,9		=1,74	1,74 -	1,74 -0,95=0,8 м
	261,77	+18,5					0,95		=1,84	1,84 -	1,84 -0,95=0,9 м

Из таблицы 3.40 следует, что для сильно сжатой антенны при разных вертикальных и горизонтальных сдвигах между этажами антенн значения активных и реактивных составляющих реактивного сопротивления не соответствуют требуемым значениям. Поэтому в качестве рабочей антенны выбрана средне сжатая антенна (размеры 5565-5480). Выбрано расстояние

между фазовыми центрами антенн по вертикали $0,77\lambda$ (0,33м), ему соответствует активная составляющая $R=167,6$ Ом и реактивная составляющая $jX=+10,03$ Ом (выделено жирным шрифтом в таблице 3.40). По горизонтали расстояние между антеннами выбрано $0,8\lambda$ (0,6 м), ему соответствует активная составляющая $R=166,1$ Ом и реактивная составляющая $jX= -7,88$ Ом (выделено жирным шрифтом в таблице 3.40). Как видно при вертикальном и горизонтальном расстоянии значения реактивных составляющих находятся в допустимых пределах, а активные составляющие почти равны, что создает удобство применения трансформатора сопротивления.

Поэтому были выбраны, исходя из допустимых параметров антенной зигзагообразной решетки, были выбраны значения: 0.33 м по вертикали и 0.6 м по горизонтали.

В дальнейшем путем добавления рядов антенной решетки по горизонтали, состоящих из двух вертикальных зигзагообразных антенн, мы получили антенную решетку 2x8 (рисунок 3.16) [95].

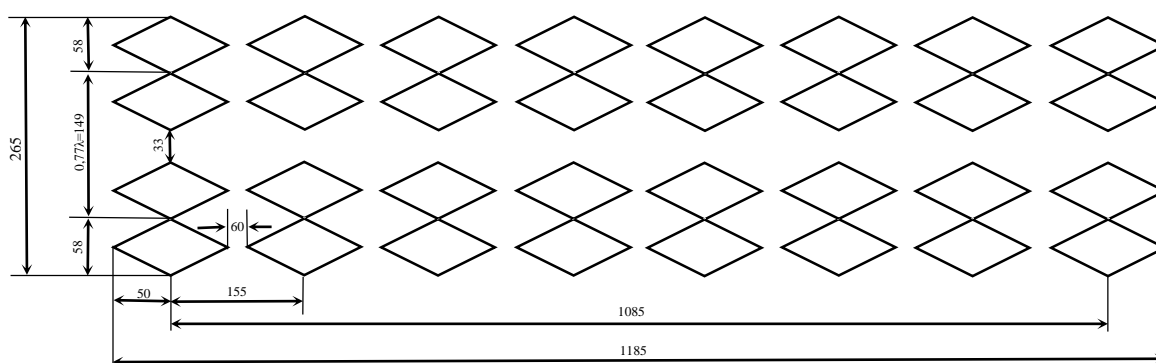


Рисунок 3.16 – Общий вид рассчитанной антенной решетки

Параметры антенной решетки (2x8) показаны на рис. 3.17. Как видно из закладки 3 для антенной решетки (2x8) для частоты 155 МГц значение реактивной составляющей $X = 0.3$ Ом (резонанс), значение активного сопротивления $R = 152$ Ом. Коэффициент усиления равен 22.37 дБ (173 раз). Значение КСВ в средней части диапазона равно - 3.06. Его значение значительно ухудшается в верхней части диапазона частот и достигает 5,25.

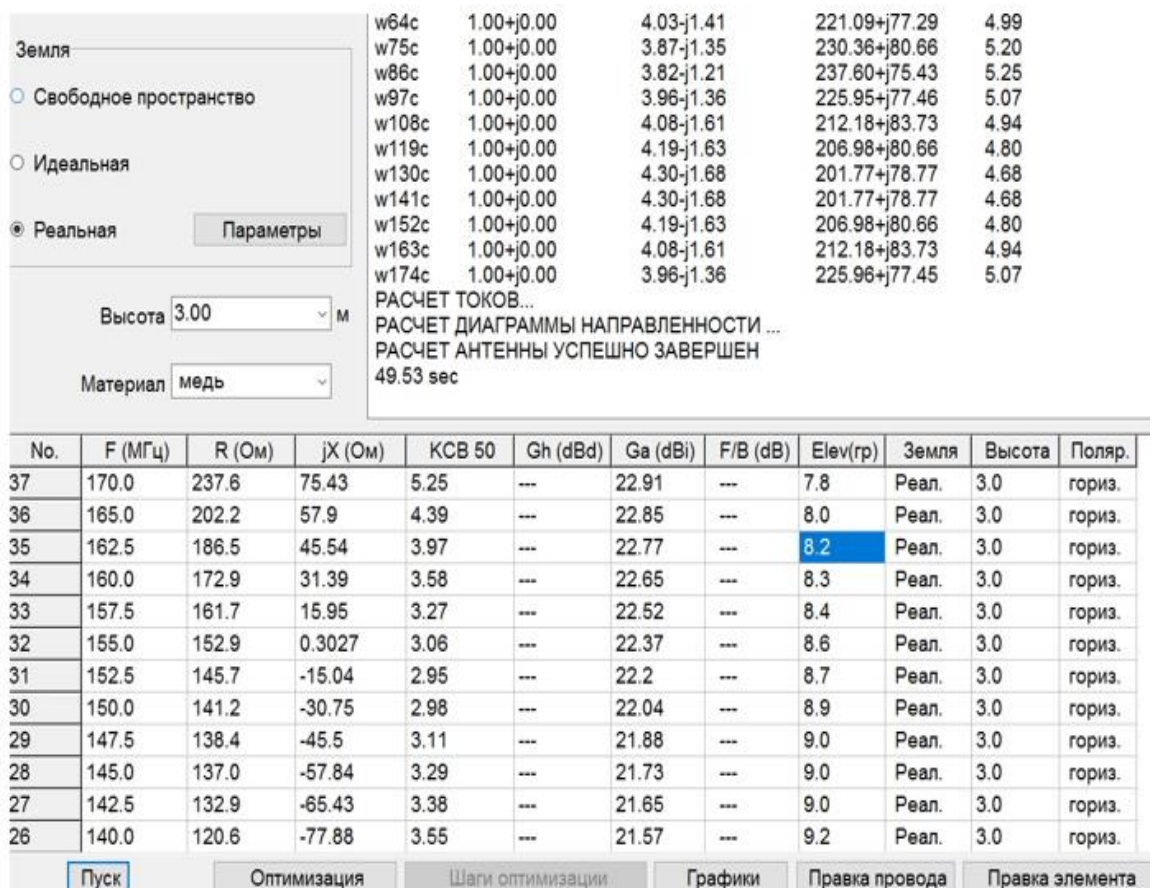


Рисунок 3.17 – Параметры вычисления общей антенной решетки (2x8)

В результате мы рассчитали размеры антенной решетки, которые показаны на рисунке 3.16.

Также приведены измеренные параметры R и jX 16 - антенн зигзагообразной антенной решетки в диапазоне частот 140 – 170 МГц (рисунок 3.18, таблица 3.41).

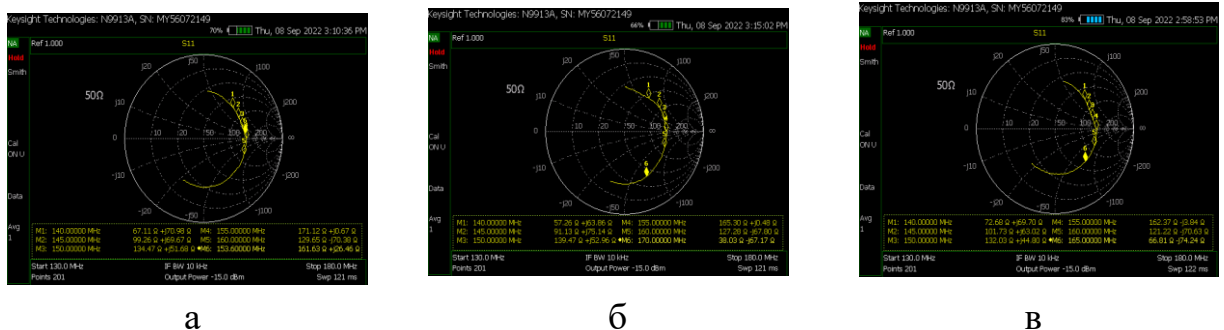


Рисунок 3.18 – Диаграмма Смита (а – 1 излучатель, б – 3 излучатель, в – 8 излучатель)

Таблица 3.41 - Измеренные параметры R и jX антенн зигзагообразной антенной решетки в диапазоне частот 140 – 170 МГц

№ п/п	140 МГц		145 МГц		150 МГц		155 МГц		160 МГц		165 МГц		170 МГц		Примечани е
	R	jX	R	jX	R	jX	R	jX	R	jX	R	jX	R	jX	
1	67	+71	99	+70	134	+70	171	+1	130	-70	68	-77	37	-61	
2	68	+67	101	+67	139	+54	158	+2	120	-61	67	-74	35	-57	
3	57	+64	91	+75	139	+53	165	+1	127	-68	71	-80	38	-67	
4	69	+71	99	+70	134	+52	166	+1	124	-71	65	-76	35	-57	
5	65	+70	98	+70	138	+56	160	+1	120	-66	66	-74	36	-57	
6	59	+72	95	+73	137	+55	161	-2	119	-70	66	-77	36	-58	
7	62	+68	92	+72	134	+53	161	-2	120	-72	65	-77	35	-59	
8	73	+70	102	+63	132	+45	162	-4	121	-71	67	-74	38	-56	
9	61	+69	92	+72	129	+54	163	-1	128	-68	67	-76	35	-58	
10	71	+66	101	+70	145	+56	168	-7	116	-73	59	-75	32	-56	
11	69	+80	99	+79	140	+59	177	-3	126	-70	63	-70	35	-72	
12	71	+71	104	+66	130	+47	153	-1	117	-61	62	-66	33	-50	
13	68	+64	96	+70	139	+56	162	-3	117	-71	63	-76	35	-57	
14	67	+67	98	+67	132	+55	155	-3	113	-67	61	-72	33	-55	
15	77	+71	108	+73	146	+55	162	-7	113	-66	62	-67	36	-49	
16	75	+62	102	+66	140	+54	167	-4	124	-73	67	-68	38	-59	

Примечание:

- 1.Измерения проводились на улице.
- 2.Кабель GOST RG 58, 1м 32 см (байонет), BNC.
- 3.Калибровка кабеля 1м 49 см на 155 МГц.

Выводы:

1. Размер антенной решетки из зигзагообразных сжатых антенн по вертикали относительно решетки из зигзагообразных квадратных антенн уменьшился на 72 см.

2. Активное сопротивление сжатой (рабочей) зигзагообразной антенны на средней частоте 155 МГц равно 186.5 Ом (в 2.14 больше чем в квадратной), значение реактивного сопротивления равно – 0.57 Ом (6 Ом в квадратной), значение КСВ равно 3.72 (1.75 в квадратной).

3. Для антенной решетки 2x8 для частоты 155 МГц значение реактивной составляющей $jX = 0.3$ Ом (резонанс), значение активного сопротивления $R = 152$ Ом. Коэффициент усиления равен 22.37 дБ (173 раз). Значение КСВ в средней части диапазона равно 3.06. Его значение значительно ухудшается в верхней части диапазона частот и доходит до 5,25.

4. При выборе антенны, как правило, необходимо искать компромиссное решение для того, чтобы получить требуемые электрические параметры при возможно меньших размерах.

5. Коэффициент усиления антенной решетки из зигзагообразных антенн (2x8) равен 173 раза, что в 1,6 раз меньше коэффициента усиления антенной решетки из волновых каналов (2x8). Ширина ДНА в горизонтальной плоскости по уровню 0,5.

ГЛАВА 4 ИССЛЕДОВАНИЯ И РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНОГО КОМПОНЕНТА ИАПП

4.1. Применение программного компонента ИАПП для первичной обработки радиолокационных данных

Обосновывается выбор типа нейронной сети, размеров изображений, описывается ход экспериментов и полученные результаты по скорости обработки.

В радиолокаторе П-18М для обнаружения целей используется алгоритм рангового обнаружителя со стабилизацией уровня ложной тревоги на уровне 10^{-6} . Этот алгоритм обеспечивает достижение вероятности правильного обнаружения 0,8 при превышении сигнала над шумом не менее чем на 10 дБ. На аналоговых же радиолокаторах П-18 опытный оператор обязан был обнаруживать цели при соотношении сигнал/шум 1 дБ. На рисунке 4.1 приведён типовой вид эхосигнала, отражённого от цели, при котором обеспечивается автоматическое обнаружение.

Успехи в проектировании нейронных сетей, достигнутые в последние годы, свидетельствуют о том, что обученная нейронная сеть может различать унифицированные изображения на фоне шумов лучше человека, такие как дорожные знаки или автомобильные. Это дало основание предположить, что применение искусственного интеллекта позволит обнаруживать цели с соотношением сигнал/шум почти на 10 дБ меньшим, чем при используемом в настоящее время алгоритме. Радиолокационное изображение цели на индикаторе кругового обзора строго связано с шириной диаграммы направленности РЛС и длительностью радиолокационного импульса.

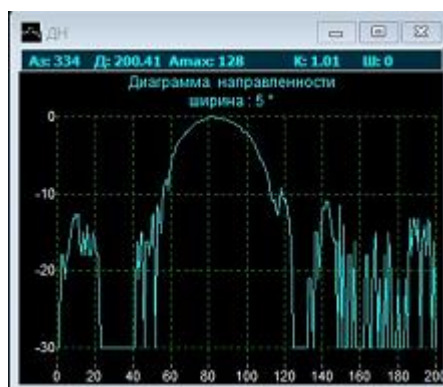


Рисунок 4.1 – Эхосигнал от цели, принятый радиолокатором П-18М

В настоящей работе исследовалась возможность применения свёрточной нейронной сети для обнаружения целей при малых соотношениях сигнал/шум. Анализ литературы по распознаванию и выделению заданных объектов на изображении показал, что свёрточные нейросети менее восприимчивы к шумам на исходных изображениях и позволяют лучше классифицировать искомые объекты [96].

Входными данными для нейронной сети был информационный массив, получаемый радиолокатором за один оборот. Хотя изображение рисуется на экране компьютера в виде экрана кругового обзора круглой формы (рисунок 4.2), но, по сути, это двумерный информационный массив азимут-дальность, в который записывается информация об уровне сигнала [97].

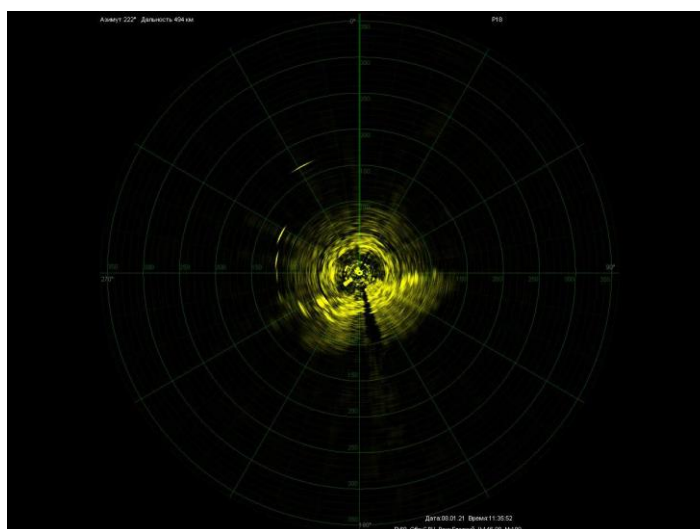


Рисунок 4.2 – Исходный буфер радиолокатора

Массивы данных сохранялись в формате «*.dat», в виде матриц с размерностью 2048 (по количеству угловых дискретов азимута) на 1200 (число отсчётов по дальности) (рисунок 4.3).

```
0: 00000 00000 00000 00000 00000 00000 00109 00169 00165 00133 00079 00063 00042 00031 00013
1: 00000 00000 00000 00000 00000 00000 00130 00213 00216 00189 00123 00095 00070 00052 00019
2: 00000 00000 00000 00000 00000 00000 00070 00131 00175 00170 00110 00077 00056 00043 00019
3: 00000 00000 00000 00000 00000 00000 00055 00116 00166 00165 00109 00076 00054 00043 00019
4: 00000 00000 00000 00000 00000 00000 00078 00161 00165 00164 00108 00075 00053 00042 00018
5: 00000 00000 00000 00000 00000 00000 00066 00158 00167 00166 00110 00077 00055 00044 00020
6: 00000 00000 00000 00000 00000 00000 00146 00311 00377 00284 00191 00132 00088 00052 00027
7: 00000 00000 00000 00000 00000 00000 00152 00352 00442 00336 00220 00162 00112 00078 00042
8: 00000 00000 00000 00000 00000 00000 00150 00349 00439 00325 00209 00163 00116 00080 00040
9: 00000 00000 00000 00000 00000 00000 00137 00274 00336 00266 00178 00143 00098 00057 00026
10: 00000 00000 00000 00000 00000 00000 00124 00249 00302 00267 00179 00144 00099 00058 00035
11: 00000 00000 00000 00000 00000 00000 00132 00191 00195 00211 00147 00116 00076 00049 00024
12: 00000 00000 00000 00000 00000 00000 00210 00251 00190 00144 00108 00079 00045 00026 00016
13: 00000 00000 00000 00000 00000 00000 00265 00306 00203 00128 00098 00084 00054 00029 00013
14: 00000 00000 00000 00000 00000 00000 00263 00299 00201 00133 00100 00085 00056 00032 00012
15: 00000 00000 00000 00000 00000 00000 00250 00327 00259 00200 00141 00101 00067 00052 00027
16: 00000 00000 00000 00000 00000 00000 00187 00300 00202 00135 00101 00086 00057 00033 00019
17: 00000 00000 00000 00000 00000 00000 00104 00210 00164 00155 00113 00092 00061 00046 00035
18: 00000 00000 00000 00000 00000 00000 00093 00172 00201 00204 00144 00119 00090 00066 00043
19: 00000 00000 00000 00000 00000 00000 00116 00244 00248 00239 00164 00138 00094 00060 00034
20: 00000 00000 00000 00000 00000 00000 00129 00243 00245 00240 00168 00148 00103 00060 00023
21: 00000 00000 00000 00000 00000 00000 00135 00276 00260 00232 00164 00133 00083 00046 00014
22: 00000 00000 00000 00000 00000 00000 00125 00230 00228 00228 00162 00124 00074 00036 00008
```

Рисунок 4.3 – Структура исходного буфера

Для обучения сверточной сети было необходимо выделить из матриц с размерами 2048*1200 изображения целей (подматрицы) в графическом формате, который может быть использован для обучения нейронной сети. Был использован графический формат «*.jpg». Для конвертации использована градиентная цветовая модель из библиотеки «matplotlib» с диапазоном цветов от 0 (чёрный) до 255 (жёлтый).

Размеры подматриц были выбраны равными 256*240, что соответствует пространству, которое может преодолеть скоростная воздушная цель за один оборот локатора (зона допоиска цели). По многочисленным записям радиолокационной обстановки, сделанных на радиолокаторе П-18М в различных точках стояния, разных погодных условиях и при разных видах воздушных целей, были сформированы буферы эталонных изображений. Примеры подматриц со «стандартными» размерами, использованных для обучения нейронной сети, приведены на рисунке 4.4.

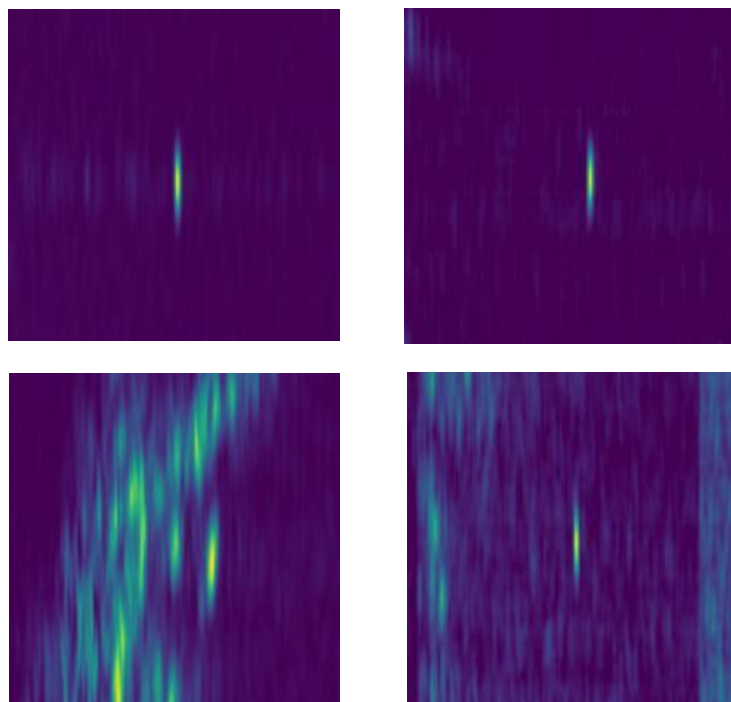


Рисунок 4.4 - Примеры обучающих изображений

Данные о каждом эталоне сохранялись в базе данных для возможности их многократного использования. Подматрицы, исходные матрицы и известные заранее координаты целей сохранялись в специальном формате в виде файлов «*.пру». Это расширение файлов стандартно для библиотеки программ «numpy» на языке программирования python, используемой в экспериментах. Для разметки данных использовался инструмент roboflow (рисунок 4.5), с помощью которого на типовых изображениях выделялась область, в которой находился эхосигнал от цели.

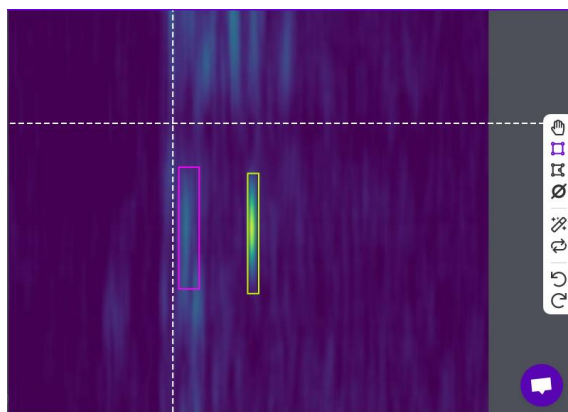


Рисунок 4.5 - Разметка данных

С помощью инструмента «bounding box» были созданы два класса объектов: strays (помехи) и target (цели). Все полученные подмассивы были разделены на 3 группы в пропорции training (обучение) - 70%, validation (проверка) - 20% и testing (тестирование) - 10%. При этом в проверочную группу включались изображения, использованные на этапе обучения, а в тестовую группу изображения, ранее неизвестные нейронной сети.

Компьютер, на котором работала нейронная сеть при экспериментах, имеет следующие характеристики:

1. Windows 10 Корпоративная 64 бита;
2. Процессор: Intel Core i7-10700 CPU @ 2.90GHz; ОЗУ: 32 Гб.

Нейронная сеть была реализована на базе фреймворков Tensorflow, YOLOv, Pytorch. Фреймворк YOLOv был модифицирован для снижения его зависимости от обновлений входящих в него компонентов. Была использована модели нейросети - 157 слоев, 7015519 параметров, 0 градиентов, скорость обработки составила 15,8 гигафлопс [98].

Для ускорения обработки был оптимизирован алгоритм преобразования файла «*.dat» в изображение, что позволило сократить время обработки одного файла «*.dat» получаемого за каждый оборот антенны.

По результатам обработки 151 файлов радиолокационных изображений, были получены следующие данные о скорости обработки массивов формата «*.dat».

1. Максимальное время обработки – 212 мс;
2. Минимальное время обработки – 191 мс;
3. Среднее значение обработки – 198 мс;
4. Среднеквадратичное отклонение – 3,44 мс.

Так как для испытуемой сверточной нейронной сети требуется не более 212 мс для обработки радиолокационного изображения одного оборота, то такая нейронная сеть может применяться в РЛС П-18М, имеющей максимальную скорость обзора пространства 6 оборотов в минуту (один оборот за 10 секунд) и в других радиолокаторах с большей скоростью обзора пространства.

4.2. Экспериментальное исследование первичной обработки радиолокационной информации на базе программного компонента ИАПП

Приводятся результаты экспериментов по сравнению работ рангового обнаружителя РЛС П-18М и обнаружителя на основе искусственного интеллекта.

Для сравнения использовались файлы с записями радиолокационной обстановки, используемые в ТОО СКТБ «Гранит» для отладки алгоритмов первичной и вторичной обработки. В частности, в файле «P18_20130507_1247.pkt», использованном для сравнения, содержится информация о воздушной обстановке, когда в зоне видимости РЛС находится 4 воздушных объекта (2 гражданских борта, следующих по воздушным коридорам, и два истребителя, совершающих крутые развороты). На рисунке 4.6, для примера, приведён вид экрана кругового обзора на 9 обороте антенны РЛС после начала записи воздушной обстановки. Ранговый обнаружитель программы АРМ был настроен на обеспечение вероятности ложной тревоги 10^{-8} .

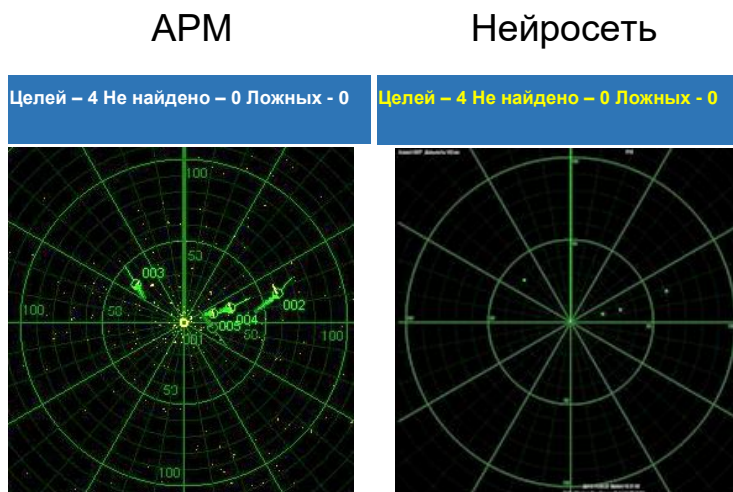


Рисунок 4.6 - Вид экрана кругового обзора

Маневрирующие цели являются сложными объектами для обнаружения и сопровождения. Для целей летящих прямолинейно и равномерно существуют эффективные алгоритмы пролонгации траектории, с помощью которых определяется область пространства, в которой должна находиться цель, если даже она не была обнаружена пороговым обнаружителем из-за флуктуации ЭПР

цели. В этой ограниченной области производится повторный поиск цели с меньшим пороговым уровнем. Такую процедуру называют «допоиском» цели. В случае не обнаружения цели после понижения порога, программное обеспечение перемещает отметку цели на индикаторе кругового обзора, меняя её цвет. Программа АРМ РЛС П-18М не фиксирует факты «допоиска» цели при её сопровождении, также как и информацию о реальном соотношении сигнал/шум при обнаружении. Поэтому отсутствовала возможность получить объективную информацию для сравнения о реальных энергетических характеристиках обнаружителей.

В связи с этим, в качестве критерия для сравнения эффективности двух различных обработок выбран параметр - коэффициент проводки. В общем виде коэффициент проводки определяется как отношение времени сопровождения цели t , к сумме времён сопровождения и пропусков цели $t+\tau$ при проведении трассы (56).

$$K_{np} = \frac{t}{t + \tau} \quad (56)$$

Так как антенна радиолокатора вращалась равномерно со скоростью 4 оборота в минуту, то время каждого оборота составляло 15 секунд. Контрольная запись содержала информацию о 102 оборотах антенны РЛС, из которых были выбраны 36 оборотов, в течении которых в зоне обнаружения были маневрирующие истребители.

Сравнительные данные по обнаружению целей, приведены в таблице 4.1. Для сокращения размера таблицы, информация о части оборотов, на которых цели обнаруживались обоими обнаружителями, не приведена.

Таблица 4.1 – Сравнительные данные по обнаружению целей

обороты	№ цели			
	1		2	
	Нейросеть	АРМ	Нейросеть	АРМ
1	12	-	-	-
2	12	*	18	-
3	-	*	20	-
4	12	12	22	-
5	13	13	24	*
6	14	14	26	*
18	34	34	28	-
22	34	34	25	-
23	33	33	24	-
27	29	29	-	22**
28	28	28**		21**
29	27	27**		21**
30	25	25**		20**
31	24	24**		-
32	24	-		
33	23			
34	22			
35	22			
36	-			

«-» - цель не обнаружена

«*» - предобнаружение

«**» - пролонгация потерянной цели

При обработке информации учитывалось, что программа автоматизированного рабочего места (АРМ) оператора серийного изделия заводит трассу на третьем подряд обнаружении, и только в это время цели присваивается номер, и она отображается на экране. Данная ситуация помечается в таблице символом «*». Символом «**» обозначен факт нахождения отметки цели на экране, но не обнаружении её алгоритмом «доиска». Для сравнения использовалась программа АРМ версии ArmP18mk2_31 от 06 октября 2023 года.

Цель №1 фиксировалась в воздухе хотя бы одним обнаружителем 35 раз, из них была обнаружена программой АРМ 26 раз, а нейронной сетью 34 раза. Коэффициенты проводки составили для программы АРМ 0,74, а для нейронной

сети – 0,97. Цель №2 фиксировалась в воздухе хотя бы одним обнаружителем 25 раз, из них была обнаружена программой АРМ 19 раз, а нейронной сетью 25 раза. Коэффициенты проводки составили для программы АРМ 0,76, а для нейронной сети – 1.

Вывод: таким образом, улучшение коэффициента проводки при использовании нейросети для обнаружения сложноманеврирующих целей составило в первом случае $0,97/0,74=1,3$ раза и для второй цели $1/0,76=1,3$ раза.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Все поставленные задачи для достижения цели диссертации выполнены в полном объеме и позволили получить следующие результаты:

1. Исследован и предложен метод обработки радиолокационной информации с использованием свёрточной нейронной сети, позволяющий снизить порог обнаружения РЛС;

2. Разработан способ передачи цифровых данных в радиолокационном сигнале радиолокатора П-18М;

3. Создан алгоритм и программное обеспечение, где свёрточную нейронную сеть можно использовать для первичной обработки в радиолокаторах с темпом обзора пространства менее 1 секунды;

4. Проведены экспериментальные исследования тропосферного распространения радиоволн, как на равнинных, так и на горных трассах в диапазоне УКВ для различных сезонов и времен суток;

5. Оценка эффективности и точности работы интеллектуальной аппаратно-программной платформы показала, что обнаружила эффект многопутности распространения радиоволн при тропосферном и стратосферном распространении;

6. Внедрение обнаружителя на базе нейронной сети можно осуществить без аппаратных переделок в РЛС П-18М.

ПРАКТИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ

Разработки можно использовать на других радиолокационных станциях разведки, например на РЛС 5Н84АМ, для повышения эффективности обнаружения малогабаритных беспилотных летательных аппаратов, а также в РЛС для обнаружения БПЛА.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Пат. 7426 Республика Казахстан, МПК G01S 13/04 (2006.01). РЛС кругового обзора метрового диапазона волн с функцией передачи данных [Текст] / К. Ж. Исабаев; Алматы. РГУ «ВИИРЭиС» МО РК. – № 2022/0348.2; заявл. 25.04.22; опубл. 09.09.22, Бюл. № 36.
2. Украина поставила в Египет три модернизированные НПП "Аэротехника-МЛТ" РЛС П-18МА [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://bmpd.livejournal.com/3485301.html>. – Загл. с экрана. – (дата обращения 28.02.2023)
3. Управление войск (сил) [Текст] // Военная энцикл.: в 8 т. / под ред. С. Б. Иванов. – М., 2004. – Т. 8. – С. 191–192.
4. Якимкина, Н. И. Технологические инновации: проблемы и перспективы развития [Текст] / Н. И. Якимкина // Контентус. – 2015. – № 12 (41). – С. 166–171.
5. Коммуникация [Текст] // Толковый словарь живого великорус. яз.: в 4 т. / авт.-сост. В. И. Даль. – 2-е изд. – СПб., 1881. – Т. 2. – С. 149.
6. Алпеев, А. С. Терминология безопасности: кибербезопасность, информационная безопасность [Текст] / А. С. Алпеев // Вопр. кибербезопасности. – 2014. – № 5 (8). – С. 39–42.
7. Колосов, В. А. Геополитика и политическая география [Текст]: учеб. для студентов вузов / В. А. Колосов, Н. С. Мироненко. – М.: Аспект-Пресс, 2001. – 478 с.
8. Давыденко, Ю. И. Дальняя тропосферная связь [Текст] / Ю. И. Давыденко. – М.: Воен. изд-во, 1968. – 212 с.
9. Калинин, А. И. Распространение радиоволн и работа радиолиний [Текст] / А. И. Калинин, Е. Л. Черенкова. – М.: Связь, 1971. – 440 с.
10. Калинин, А. И. Расчет трасс радиорелейных линий [Текст] / А. И. Калинин. – М.: Связь, 1964. – 248 с.

11. Введенский, Б. А. Дальнее тропосферное распространение радиоволн [Текст] / Б. А. Введенский. – М.: Сов. радио, 1965. – 416 с.
12. Гусятинский И. А. Дальняя тропосферная радиосвязь [Текст] / И. А. Гусятинский, А. С. Немировский, А. В. Соколов, В. Н. Троицкий. – М.: Связь, 1968. – 248 с.
13. Черенкова, Е. Л. Распространение радиоволн [Текст]: учеб. для ВУЗов связи / Е. Л. Черенкова, О. В. Чернышев. – М.: Радио и связь, 1984. – 272 с.
14. Шур, А. А. Характеристики сигнала на тропосферных радиополосах [Текст] / А. А. Шур. – М.: Связь, 1972. – 105 с.
15. Долуханов, М. П. Распространение радиоволн [Текст]: учеб. для вузов / М. П. Долуханов. – М.: Связь, 1972. – 336 с.
16. Клиот, Е. И. Исследование помехоустойчивости тропосферной радиополосы с адаптацией частоты [Текст] / Е. И. Клиот, Д. Г. Козлов // Радиотехника. – 1994. – № 11. – С. 62–68.
17. Серов, В. В. Развитие тропосферной связи в МНИРТИ. История и перспективы применения [Текст] / В. В. Серов, А. М. Сеченых // Информост-Радиоэлектроника и Телекоммуникации. – 2006. – № 4 (46). – С. 37–39.
18. Серов, В. В. Особенности распространения радиоволн в загоризонтных системах радиосвязи [Текст] / В. В. Серов // Электросвязь. – 2009. – № 1. – С. 38–42.
19. Серов, В. В. Тропосферная связь. История и перспективы [Текст] / В. В. Серов // Технологии Электромагнитной совместимости (ЭМС). – 2012. – № 2 (41). – С. 55–60.
20. Борисенко, Т.М. Принципы построения линии загоризонтной связи с выбором оптимальной частоты [Текст] / Т.М. Борисенко, А. А. Мацков, Р. Н. Муха, В. В. Серов, М. И. Цодикова // Технологии Электромагнитной совместимости (ЭМС). – 2012. – № 2 (41). – С. 61–67.
21. Методика энергетического расчета канала дальней тропосферной радиосвязи, адаптированная для вычисления на ПЭВМ [Текст] / Н. В. Сандулов,

В. И. Шлома, Д. А. Кожурякин, С. В. Макаров // REDS. – 2017. – № 4. – С. 446–453.

22. Мандель, А. Е. Распространение радиоволн [Текст]: учеб. пособие / А. Е. Мандель, В. А. Замотринский. – Томск: Том. гос. ун-т систем упр. и радиоэлектроники, 2006. – 164 с.

23. Методы прогнозирования и данные о распространении радиоволн, необходимые для проектирования тропосферных радиорелейных систем [Текст]: рекомендация МСЭ-R P.617-3. – Женева, 2014.

24. Методы прогнозирования и данные о распространении радиоволн, необходимые для проектирования тропосферных радиорелейных систем [Текст]: рекомендация МСЭ-R P.617-4. – Женева, 2018.

25. Методы прогнозирования и данные о распространении радиоволн, необходимые для проектирования тропосферных радиорелейных систем [Текст]: Рекомендация МСЭ-R P.617-5. – Женева, 2020.

26. [Перспективы развития тропосферной станции. От аналоговой до нейронных сетей \[Текст\]](#) / Б. Т. Жумабаев, К. Ж. Исабаев, В. Г. Петровский, А. А. Ковтун // Актуальные проблемы современной науки и производства. Материалы V Всерос. науч.-техн. конф. Рязан. гос. радиотехн. ун-т им. В. Ф. Уткина. – Рязань, 2020. – С. 3–12.

27. Данные о распространении радиоволн для проектирования наземных линий связи пункта с пунктом [Текст]: справ. – Женева: Бюро радиосвязи МСЭ, 2009. – 112 с.

28. Transmission loss predictions for tropospheric communications circuits [Text] / P. L. Rice, A. G. Longley, K. A. Norton, A. P. Barsis // NBS Tech. – 1967. – Note 101 Vol, 1. – U.S. Dep. of Commerce. (Available as AD687-820, Natl. Tech Inf. Serv., Springfield, Va.).

29. Varsha, N. Deep learning for radar data processing [Text] / N. Dr. Varsha, S. Smitha, V. Jithesh // International journal of research and analytical reviews (IJRAR). – 2020. – Vol. 7, Issue 3. – P. 478–481.

30. Convolutional neural networks for radar HRRP target recognition and rejection [Text] / J. Wan, B. Chen, B. Xu [et al.] // EURASIP journal on advances in signal processing. – 2019. – P. 1–17. – DOI: [10.1186/s13634-019-0603-y](https://doi.org/10.1186/s13634-019-0603-y).

31. Sun, N. Detection and classification of maritime target with micro-motion based on CNNs [Text] / N. Sun, X. Chen // [Journal of radars](#). – 2018. – N 7(5). – P. – 565–574. – DOI: [10.12000/JR18077](https://doi.org/10.12000/JR18077).

32. Recognizing the HRRP by combining CNN and BiRNN with attention mechanism [Text] / J. Wan, B. Chen, Y. Liu [et al.] // IEEE Access. – 2020. – N 8. – P. 20828–20837. – [10.1109/ACCESS.2017.DOI](https://doi.org/10.1109/ACCESS.2017.DOI)

33. Through-wall radar classification of human posture using convolutional neural networks [Text] / A. Kılıç, İ. Babaoğlu, A. Babalık, A. Arslan // [International journal of antennas and propagation](#). – 2019. – Vol. 2019(1). – P. 1–10. – DOI: [10.1155/2019/7541814](https://doi.org/10.1155/2019/7541814).

34. Боевой устав Сухопутных войск [Текст]. – М.: Воениздат, 1982. – Ч. 3: Взвод, отделение, танк. – 225 с.

35. Гречко, А. А. Вооруженные Силы Советского государства [Текст] / А. А. Гречко. – 2 изд. – М.: Воениздат, 1975. – 437 с.

36. Horváth, T. Исторический Обзор Развития Военно-командных Пунктов [Текст] / T. Dr. Horváth // [Hadmérnök](#). – 2019. – N 14(1). – P. 50–60. – <https://doi.org/10.32567/hm.2019.1.5>.

37. Словарь военных терминов [Текст] / сост. А. М. Плеханов. — М.: [Воениздат](#), 1988. – 335 с.

38. Управление войсками (силами) [Текст] // Военный энциклопедический слов. / под ред. А. П. [Горкина](#). – М., 2001. – Т. 2. – С. 684.

39. Мальцев, И. Ф. Основы управления подразделениями и войсками [Текст]: учеб. для вузов / И. Ф. Мальцев. – М.: Воениздат, 2019.

40. Тактика [Текст] / под ред. В. Г. Резниченко. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Воениздат. 1987. – 496 с.

41. Оповещение о чрезвычайных ситуациях и действия по сигналам

гражданской обороны [Текст]: метод. пособие / под ред. М. И. Фалеева. – 3-е изд., стер. – М.: ИРБ, 2004. – 437 с.

42. Никифоров, А. В. Теоретические основы автоматизации управления в иерархических АСУ войсками [Текст] / А. В. Никифоров // Sciences of Europe. – 2016. – Т 9-3 (9). – Р. 32–44.

43. Хонькин, С. Н. Военная связь — уроки прошлого и современность [Текст] / С. Н. Хонькин // Наука. Общество. Оборона. – 2024. – Т. 12, № 1(38). – С. 6–6. – <https://doi.org/10.24412/2311-1763-2024-1-6-6>.

44. Поляков, В. Т. Посвящение в радиоэлектронику [Текст] / В. Т. Поляков. – М.: Радио и связь, 1988. – 352 с.

45. Леонов, А. И. Радиолокация в противоракетной обороне [Текст] / А. И. Леонов. – М.: [Воениздат](#), 1967. – 136 с.

46. Радиолокационные станции бокового обзора [Текст] / под ред. А. П. Реутова. – М.: Сов. радио, 1970. – 360 с.

47. Радиолокационные станции воздушной разведки [Текст] / под ред. Г. С. Кондратенкова. – М.: Воениздат, 1983. – 152 с.

48. Мищенко, Ю. А. Загоризонтная радиолокация [Текст] / Ю. А. Мищенко. – М.: Воениздат, 1972. – 96 с.

49. [Бартон, Д.](#) Радиолокационные системы [Текст] / сокращ. пер. с англ. под ред. К. Н. Трофимова. – М.: Воениздат, 1967. – 480 с.

50. [Лобанов, М. М.](#) Развитие советской радиолокационной техники [Текст] / [М. М. Лобанов](#). – М.: Воениздат, 1982. – 239 с.

51. [Шембель, Б. К.](#) У истоков радиолокации в СССР [Текст] / Б. К. Шембель. – М.: Сов. радио, 1977. – 80 с.

52. [Водопьянов, Ф. А.](#) Радиолокация [Текст] / Ф. А. Водопьянов. – М.: Госпланиздат, 1946. – 159 с.

53. Рыжов, К. В. 100 великих изобретений [Текст] / К. В. Рыжов. – М.: Вече, 2009. – 480 с.

54. Bowen, E.G. Radar Days [Text] / E. G. Bowen. – CRC Press, 1998. – 231 p.

55. Большая советская энциклопедия [Текст]: в 30 т. / гл. ред. А. М. Прохорова. – 3-е изд. – М.: Сов. энцикл., 1975. – Т. 21: Проба-Ременсы. – 640 с.
56. Центральная радиолоборатория в Ленинграде [Текст]: ист. очерк / под ред. И. В. Бренёва. – М.: Сов. радио, 1973. – 271 с.
57. [Военно-исторический музей артиллерии, инженерных войск и войск связи](#). Коллекция документов генерал-лейтенанта М. М. Лобанова по истории развития радиолокационной техники [Текст]. ф. 52Р, оп. № 13.
58. Лобанов, М. М. Из прошлого радиолокации [Текст]: крат. очерк / М. М. Лобанов. – М.: [Воениздат](#), 1969. – 212 с.
59. [Лобанов, М. М. Начало советской радиолокации \[Текст\] / М. М. Лобанов.](#) – М.: Сов. радио, 1975. – 288 с.
60. Лобанов, М. М. Мы – военные инженеры [Текст] / М. М. Лобанов. – М.: [Воениздат](#), 1977. – 223 с.
61. Лобанов, М. М. [Развитие советской радиолокационной техники \[Текст\] / М. М. Лобанов.](#) – М.: [Воениздат](#), 1982. – 240 с.
62. [Лобанов, М. М. Глава седьмая. О Совете по радиолокации при Государственном комитете обороны \[Текст\] / М. М. Лобанов // Начало советской радиолокации.](#) – М., 1975. – С. 188–198.
63. Ильичев, В. А. От «Ревеня» до «Примы». Из истории развития радиолокационных станций [Текст] / В. А. Ильичев, А. Н. Заруцкий // [Воен-ист. журн.](#) – 2023. – № 8. – С. 82–87.
64. Центральное военное управление [Текст] // Энциклопедический словарь Брокгауза и Ефрона. – СПб., 1903. – Т. 38: Цензурный комитет-Человек. – С. 28–32.
65. Марков, А. С. Кибербезопасность и информационная безопасность как бифуркация номенклатуры научных специальностей [Текст] / А. С. Марков // [Вопр. кибербезопасности.](#) – 2022. – № 1. – С. 2–9.
66. Логинов, Е. Л. Модернизация ЕЭС России: переход к интеллектуальной программно-аппаратной платформе синхронизированного управления распределенными энергетическими объектами [Текст] / Е. Л.

Логинов, Е. Н. Барикаев // Вестн. Моск. ун-та МВД России. – 2013. – № 3. – С. 171–174.

67. Свириденко, В. А. Аппаратно-программная платформа для ИКН-терминалов. Речевые технологии [Текст] / В. А. Свириденко // Speech Technologies. – 2012. – № 1. – С. 61–73.

68. Повышение уровня доверия к аппаратно-программным платформам с целью предупреждения компьютерных атак из-за уязвимостей в BIOS [Текст] / А. Ю. Боровиков, О. А. Маслов, С. А. Мордвинов, А. А. Есафьев // Вопр. кибербезопасности. – 2021. – № 6 (46). – С. 68–77.

69. Issabayev, K. Features of measuring the radiation pattern at the P-18M radar [Text] / K. Issabayev // Proceedings of the 1st International Scientific Conference «Academics and Science Reviews Materials» (November 10-11, 2022). – Helsinki, Finland, 2022. – P.25–29.

70. Соколов, А. В. Вопросы перспективной радиолокации [Текст] / А. В. Соколов. – М.: Радиотехника, 2003. – 512 с.

71. Гареев, М. Ш. Обоснованная система исходных данных для проведения сокращенных полигонных испытаний опытных образцов вооружения [Текст] / М. Ш. Гареев, Р. Е. Григорюнов, С. В. Подчезерцев // Научно-технические ведомости Санкт-Петербургского государственного политехнического университета. – СПб., 2013. – С. 293–296.

72. Википедия. Измерения. Метод измерений замещением [Электронный ресурс]. – Режим доступа: URL: <https://ru.wikipedia.org/wiki/Измерение>. – Загл. с экрана. – (дата обращения 27.07.2023).

73. К вопросу о наблюдении малоразмерных беспилотных летательных аппаратов [Текст] / А. Е. Ананенков, Д. В. Марин, В. М. Нуждин [и др.] // Тр. Моск. авиац. ин-та (МАИ). – 2016. – Вып. 91. – С. 1–18.

74. Перспективы применения тропосферных станций СМ-диапазона радиоволн с временным дуплексом в телекоммуникационных системах малонаселенных отдаленных регионов [Текст] / В. Г. Анисимов, В. Н. Переломов, Л. О. Мырова, Д. А. Аминев // Материалы XXI Междунар. науч.

конф. «Распределенные компьютерные и телекоммуникационные сети: управление, вычисление, связь (DCCN-2018). Москва, 17-21 сент. 2018 г.». – М., 2018. – С. 113–120.

75. Давыденко, Ю. И. Особенности распространения метровых радиоволн [Текст] / Ю. И. Давыденко. – М.: Воен. изд-во, 1960. – 171 с.

76. Issabayev, K. Overview of the method for calculating the attenuation coefficient (attenuation) of a signal in the troposphere (the method of Vvedensky B.A.) [Text] / K. Issabayev, M. Kalipanov, N. Imansakipova // Proceedings of the 1st International Scientific Conference «World Scientific Reports» (November 17-18, 2022). – Paris, 2022. – P. 281–288.

77. Norton, K. A. and oth. The use of angular distance in estimating transmission loss and fading range for propagation through a turbulent atmosphere over irregular terrain [Text] / K. A. Norton, P. Rice, L. Vogler // Proc. IRE. – 1955. – Vol. 43, N 10. – P. 1488–1526.

78. Thumm, M. Hochfrequenzmesstechnik: Verfahren und Messsysteme [Text] / M. Thumm, W. Wiesbeck, S. Kern. – Springer-Verlag, – 1998. – 270 p.

79. Тихомирова С. А. Физика. 11 класс [Текст]: учеб. для общеобразоват. учреждений (базовый уровень) / С. А. Тихомирова, Б. М. Яворский. – М.: Мнемозина, 2012. – 270 с.

80. Гололобов, Д. В. Распространение радиоволн и антенно-фидерные устройства [Текст]: метод. пособие для студ. спец.: 45 01 02 «Системы радиосвязи, радиовещание и телевидения» дневной и вечерней форм обучения: в 3 ч. / Д. В. Гололобов, В. Б. Кирильчук. – Мн.: БГУИР, 2003. – Ч. 1: Распространение радиоволн. – 124 с.

81. Кижнер, Л. И. Параметры вертикального профиля индекса преломления тропосферы над северной частью Атлантического океана [Текст] / Л. И. Кижнер, Н. А. Мальцева // Вестн. Том. гос. ун-та. – 2012. – № 365. – С. 175–180.

82. Черенкова, Е. Л. Распространение радиоволн [Текст]: учеб. для ВУЗов связи / Е. Л. Черенкова, О. В. Чернышев. – М.: Радио и связь, 1984. – 272 с.

83. Долуханов, М. П. Дальнее распространение ультракоротких волн [Текст] / М. П. Долуханов. – М.: Связьиздат, 1962. – 172 с.

84. Исабаев, К. Ж. [Сравнительный анализ методов расчета коэффициента затухания тропосферной радиосвязи \[Текст\]](#) / К. Ж. Исабаев, Н. Б. Имансакипова, Г. К. Джангулова // [Sciences of Europe](#). – 2022. – № 106 (106). – С. 92–106.

85. Новый полигон для радиофизических исследований в Казахстане [Текст] / Б. Т. Жумабаев, И. В. Васильев, В. Г. Петровский, К. Ж. Исабаев // Изв. Нац. АН Респ. Казахстан. Сер. Физ.-мат. – 2021. – № 6. – С. 6–14.

86. Перспективы малоканальных тропосферных станций метрового диапазона [Текст] / И. В. Васильев, О. С. Атыкенов, В. Г. Петровский [Текст] // Сборник трудов Междунар. науч.-практ. конф., посвящ. 100-летию войск связи «Инфокоммуникационные технологии: Современное состояние и пути развития». – 2019. – С. 63–69.

87. Власов, И. Б. Калибровка радиотракта радиотелескопа РТ-7,5 при мониторинге сигналов навигационных космических аппаратов [Текст] / И. Б. Власов, В. П. Михайлицкий, В. С. Рыжов // Вестн. Моск. гос. техн. ун-та (МГТУ) им. Н. Э. Баумана. Сер.: Приборостроение. – 2014. – № 6. – С. 96–107.

88. Исабаев, К. Ж. [Опыт калибровки приёмного устройства РЛС П-18М для проведения научных измерений \[Текст\]](#) / К. Ж. Исабаев // Современные технологии в науке и образовании - СТНО-2021. Сб. тр. IV Междунар. науч.-техн. форума: в 10 т. – Рязань, 2021. – Т. 1. – С. 66–69.

89. Гончаров, А. Д. Приборы артиллерийской разведки [Текст]: учеб. пособие / А. Д. Гончаров, А. В. Громов, В. В. Зиновьев. – СПб.: НИУ ИТМО, 2012. – 232 с.

90. Некоторые аспекты проведения комплексного технического осмотра модернизированных радиолокационных станций [Текст] / И. В. Васильев, В. Г. Петровский, К. Т. Мусаев, А. С. Рахимбердиев // Научные тр. Воен.-инженер. ин-та радиоэлектроники и связи (ВИИРЭиС). – 2020. – № 4 (42). – С. 55 – 59.

91. Васильев, И. В. Некоторые аспекты проведения ежедневного контроля функционирования модернизированных радиолокационных станций [Текст] / И.

В. Васильев, К. Т. Мусаев, В. Г. Петровский // Научные тр. Воен.-инженер. ин-т радиоэлектроники и связи (ВИИРЭиС). – 2021. – № 3 (45). – С. 42–46.

92. Исабаев, К. Ж. Использование тропосферного канала радиосвязи в мобильных радиолокаторах метрового диапазона волн для передачи информации об обнаруженных целях [Текст] / К. Ж. Исабаев // Проблемы автоматизации и упр. Техн. средства систем контроля, диагностики и упр. – 2023. – № 3. – С. 138–145.

93. Detection of irregularities in the stratosphere using VHF radarss [Text] / I. V. Vassilyev, B. T. Zhumabayev, A. D. Mustabekov [et al.] // Vestnik Koncerna VKO “Almaz – Antey”. – 2022. – N 3. – P. 32–40. – <https://doi.org/10.38013/2542-0542-2022-3-32-40>.

94. Использование программ-моделировщиков при обучении антенных устройств [Текст] / В. Г. Петровский, И. В. Васильев, О. В. Миловзоров, С. В. Насонов // Развитие цифровой радиоэлектроники в Республике Казахстан: состояние и перспективы (10 апр. 2020 г.) Материалы Междунар. науч.- практ. конф. – Алматы, 2020. – С. 135–141.

95. Мобильная зигзагообразная антенная решетка [Текст]. заяв. № 2024/0399.2 о выдаче патента Республики Казахстан на изобретение.

96. [Применение и внедрение сверточных нейросетей в радиолокационную станцию \[Текст\]](#) / К. Ж. Исабаев, Н. Б. Имансакипова, Г. С. Шакиева, Д. Демин // [The Scientific Heritage](#). – 2022. – № 102 (102). – С. 46–55.

97. Исабаев, К. Ж. Результаты применения искусственного интеллекта для обнаружения целей при малых соотношениях сигнал/шум [Текст] / К. Ж. Исабаев // Проблемы автоматизации и упр. Техн. средства систем контроля, диагностики и упр. – 2024. – № 1. – С. 130–138.

98. Исабаев, К. Ж. Оценка времени обработки радиолокационной информации свёрточной нейронной сетью [Текст] / К. Ж. Исабаев // Проблемы автоматизации и упр. Техн. средства систем контроля, диагностики и упр. – 2024. – № 1. – С. 138–145.

ПРИЛОЖЕНИЯ

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ  **РЕСПУБЛИКА КАЗАХСТАН**

REPUBLIC OF KAZAKHSTAN

ПАТЕНТ
PATENT

№ 7426

ПАЙДАЛЫ МОДЕЛЬГЕ / НА ПОЛЕЗНУЮ МОДЕЛЬ / FOR UTILITY MODEL



(21) 2022/0348.2

(22) 25.04.2022

(45) 28.04.2023

(54) Деректерді тарату функциясы бар метрлік толқын диапазоны айналмалы шолу радиолокациялық станциясы
Радиолокационная станция кругового обзора метрового диапазона волн с функцией передачи данных
All-around looking radar of meter wave range with data transmission function

(73) Қазақстан Республикасы Қорғаныс Министрлігінің «Радиоэлектроника және байланыс әскери-инженерлік институты» республикалық мемлекеттік мекемесі (KZ)
Республиканское государственное учреждение «Военно-инженерный институт радиоэлектроники и связи» Министерства обороны Республики Казахстан (KZ)
Republican State Institution «Military Engineering Institute of Radio Electronics and Communications» of the Ministry of Defense of the Republic of Kazakhstan (KZ)

(72) Васильев Иван Вениаминович (KZ)	Vassilyev Ivan Veniaminovich (KZ)
Жумабаев Бейбит Тенелович (KZ)	Zhumabayev Beibit Tanelovich (KZ)
Исабаев Кайыртай Жұлдызтаевич (KZ)	Issabayev Kaiyrtay Zhuldyztayevich (KZ)
Мустабеков Аскар Досбосынович (KZ)	Mustabekov Askar Dosbosynovich (KZ)
Петровский Василий Григорьевич (KZ)	Petrovskiy Vassiliy Grigoryevich (KZ)



ЭЦҚ кол қойылды
Подписано ЭЦП
Signed with EDS

Е. Оспанов
Е. Оспанов
Y. Ospanov

«Ұлттық зияткерлік меншік институты» РМҚ директоры
Директор РГП «Национальный институт интеллектуальной собственности»
Director of the «National Institute of Intellectual Property» RSE

Патентті күшінде ұстау ақысы уақытылы төленген жағдайда патенттің күші
Қазақстан Республикасының бүкіл аумағында қолданылады.

Патентке пайдалы модельдің толық сипатта масы www.kazpatent.kz ресми сайтында
«Қазақстан Республикасының пайдалы модельдерінің мемлекеттік тізілімі» бөлімінде қолжетімді

* * *

Действие патента распространяется на всю территорию Республики Казахстан
при условии своевременной оплаты поддержания патента в силе.

Полное описание полезной модели к патенту доступно на официальном сайте www.kazpatent.kz
в разделе «Государственный реестр полезных моделей Республики Казахстан».

* * *

Subject to timely payment for the maintenance of the patent in force
the patent shall be effective on the entire territory of the Republic of Kazakhstan.

Full description of the patent for utility model are available on the official website www.kazpatent.kz
in the section «State Register of Utility Models of the Republic of Kazakhstan».



Қазақстан Республикасы Әділет министрлігінің
«Ұлттық зияткерлік меншік институты» РМК
Нұр-Сұлтан қаласы, Мәңгілік Ел даңғылы, ғимарат 57А

РГП «Национальный институт интеллектуальной собственности»
Министерства юстиции Республики Казахстан
Город Нур-Султан, проспект Мангилик Ел, здание 57А

«National Institute of Intellectual Property» RSE,
Ministry of Justice of the Republic of Kazakhstan
Nur-Sultan, 57A Mangilik El Avenue

Тел./Tel.: +7 (7172) 62-15-15
E-mail: kazpatent@kazpatent.kz
Website: www.kazpatent.kz