

**УЧРЕЖДЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ
«ВОЕННАЯ АКАДЕМИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ»**

Объект авторского права

УДК 621.3

**ВАЛУШКО
Екатерина Яковлевна**

**ОБОСНОВАНИЕ СПОСОБОВ ОЦЕНКИ КООРДИНАТ
НАЗЕМНЫХ ИСТОЧНИКОВ РАДИОЛОКАЦИОННОГО ИЗЛУЧЕНИЯ
В СИСТЕМЕ ФРОНТАЛЬНОЙ ВОЗДУШНОЙ РАДИОТЕХНИЧЕСКОЙ
РАЗВЕДКИ**

**Автореферат диссертации
на соискание ученой степени кандидата технических наук
по специальности 20.02.14 – вооружение и военная техника,
комплексы и системы военного назначения**

Минск, 2025

Научная работа выполнена в учреждении образования «Военная академия Республики Беларусь».

Научный руководитель – *Калитин Сергей Борисович*, кандидат технических наук, доцент, заместитель генерального директора по науке общества с ограниченной ответственностью «Оборонные инициативы».

Официальные оппоненты: *Козлов Сергей Вячеславович*, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры информационных радио технологий (учреждение образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники»);

Боровой Александр Григорьевич, кандидат технических наук, доцент, ведущий научный сотрудник научно-исследовательской лаборатории военного факультета (учреждение образования «Белорусская государственная академия авиации»).

Оппонирующая организация – Государственное научное учреждение «Объединенный институт проблем информатики Национальной академии наук Беларуси».

Защита состоится 9 октября 2025 г. в 14:00 на заседании совета по защите диссертаций СД 04.01.01 при учреждении образования «Военная академия Республики Беларусь» (220057, г. Минск, пр. Независимости, 220, учреждение образования «Военная академия Республики Беларусь», телефон ученого секретаря 287-42-05, (+375297794536)).

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке учреждения образования «Военная академия Республики Беларусь».

Автореферат разослан «5» сентября 2025 г.

**Ученый секретарь
совета по защите диссертаций
кандидат технических наук, доцент**



П.В.Бойкачев

ВВЕДЕНИЕ

Анализ опыта военных конфликтов последних лет свидетельствует о лавинообразном росте количества и качества участвующих в них специализированных систем и комплексов вооружения. На этом фоне обостряется проблема сбора первичной информации о противнике, которая усугубляется принятием сторонами напряженных усилий по оперативной и тактической маскировке, информационному противоборству, радиоэлектронной борьбе.

В данных условиях особую значимость приобретает ситуационная осведомленность экипажа самолета о радиолокационной обстановке, достигаемая посредством ведения воздушной радиотехнической разведки (ВРТР). Для реализации этой функции уже длительное время используются станции предупреждения об облучении (СПО), которыми оснащаются все боевые самолеты. Возможности СПО, установленных на самолетах Военно-воздушных сил и войск ПВО Республики Беларусь, обеспечивают решение указанных выше задач, вместе с тем важнейший вопрос – определение местоположения источников радиолокационного излучения (ИРИ) остается в них нерешенным.

Основными подходами к решению задачи определения местоположения ИРИ с борта воздушного судна по пеленговой информации в реальных технических системах остаются классические – кинематический и триангуляционный. Анализ существующих работ по тематике определения местоположения ИРИ позволяет констатировать, что характерная для СПО задача фронтального наблюдения ИРИ теоретически не проработана, а полученные решения характерны для систем ВРТР бокового обзора, когда самолет-носитель, как правило, проходит линию траверза разведываемой цели.

Настоящая работа посвящена обоснованию конструктивных способов определения местоположения ИРИ в условиях их фронтального наблюдения. Под *конструктивностью* в данном случае понимается направленность решений на их практическую реализуемость, а именно – получение явных конечных математических выражений в виде прямого функционального преобразования первичных измеренных параметров, а также их инвариантность к ограничениям на количество и геометрию расположения измерительных позиций системы ВРТР.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Связь работы с научными программами (проектами) и темами

Содержание диссертационной работы соответствует п. 4 перечня приоритетных направлений научных исследований Республики Беларусь на 2021–2025 гг., утвержденного Указом Президента Республики Беларусь от 7 мая 2020 г. №156.

Связь с крупными научными программами характеризуется реализацией результатов диссертации в научно-исследовательской работе «Исследование потенциальных возможностей типовой станции предупреждения об облучении для определения координат источников радиолокационного излучения», шифр «Гополь», выполненной в соответствии с планом научной работы учреждения образования «Военная академия Республики Беларусь».

Цель, задачи, объект и предмет исследования

Цель исследования – расширение боевых возможностей типовой самолетной станции предупреждения об облучении.

Задачи исследования:

1. Анализ особенностей ведения воздушной радиотехнической разведки в современных условиях.

2. Анализ условий и характеристик исходных данных для оценивания местоположения наземных источников радиолокационного излучения в системе фронтальной воздушной радиотехнической разведки.

3. Обоснование псевдокинематического способа оценивания текущей дальности источника радиолокационного излучения в системе фронтальной воздушной радиотехнической разведки.

4. Обоснование триангуляционного способа оценивания координат с неравноточными измерениями пеленгов источника радиолокационного излучения в системе фронтальной воздушной радиотехнической разведки.

5. Оценка точностных характеристик разрешающей способности местопредопределения ИРИ.

Объект исследования – самолетная станция предупреждения об облучении как система фронтальной воздушной радиотехнической разведки.

Предмет исследования – условия ведения фронтальной воздушной радиотехнической разведки, способы определения местоположения наземных источников радиолокационного излучения в системе фронтальной воздушной радиотехнической разведки и результаты их использования.

Научная новизна

Научная новизна исследования характеризуется развитием методов теории многопозиционных измерений, заключающимся:

в разработке псевдокинематического способа оценивания текущей дальности источника радиолокационного излучения в системе фронтальной воздушной радиотехнической разведки. Разработанный способ характеризуется использованием результатов только позиционных измерений (координат системы ВРТР и азимутов ИРИ) и отсутствием элементов приближенных вычислений (итерационных процедур, аппроксимирующих полиномов и т. п.), что обеспечивает высокую конструктивность полученного теоретического решения. Получение конечной оценки текущей дальности ИРИ осуществляется методом наименьших квадратов, при этом аналитически доказанное существование математически строгого единственного решения обеспечивает абсолютную сходимость вычислений;

в получении однозначного и строгого в математическом смысле аналитического решения обобщенной задачи пространственной триангуляции с неравноточными измерениями. Полученное решение является инвариантным к количеству измерительных пунктов и геометрии их размещения, обеспечивает получение искомых оценок координат, оптимальных в смысле минимума квадрата ошибки, и обладает высокой конструктивностью ввиду использования в вычислительных процедурах простых операций линейной алгебры и отсутствия логических ограничений.

Положения, выносимые на защиту

1. Псевдокинематический способ оценивания текущей дальности цели по угломерным данным в системе фронтальной воздушной радиотехнической разведки, отличающийся математической формализацией условий задачи в классе векторно-матричных функций и использованием результатов измерений из нескольких последовательных измерительных позиций, что позволяет получить математически строгое аналитическое решение в виде прямого функционального преобразования первичных измеряемых параметров с помощью элементарных процедур линейной алгебры, обеспечивающее уменьшение ошибки оценивания текущей дальности цели в $2,1 \dots 3,8$ раз по сравнению с классическим двухпозиционным способом.

2. Способ аналитического решения обобщенной задачи пространственной триангуляции с неравноточными многопозиционными измерениями, основанный на сведении исходной задачи к решению определенной системы линейных уравнений с фиксированной размерностью основной матрицы (3×3) независимо от количества измерительных пунктов, отличающийся учетом значений среднеквадратической ошибки угловых измерений на каждом измерительном пункте, позволяющий получать вектор оценок координат источника радиолокационного излучения, оптимальных по критерию минимума среднего квадрата ошибки, обеспечивающий по сравнению с классическим способом уравнивания методом наименьших квадратов уменьшение линейной среднеквадратической ошибки

оценивания местоположения источника радиолокационного излучения в 1,8...3,5 раз и повышение вероятности визуального обнаружения наземной цели в 12,4...65 раз.

Личный вклад соискателя ученой степени

Основные результаты диссертационного исследования получены соискателем самостоятельно. Совместно с научным руководителем – кандидатом технических наук, доцентом Калитиным С. Б. проведен анализ актуальных вопросов воздушной радиотехнической разведки в современных вооруженных конфликтах, обосновано использование векторно-алгебраического подхода к решению задач определения местоположения источников радиолокационного излучения в системе фронтальной воздушной радиотехнической разведки, выполнена постановка обобщенной задачи пространственной триангуляции с неравноточными измерениями.

Апробация диссертации и информация об использовании ее результатов

Результаты диссертационного исследования были представлены:

на XI Международной научно-практической конференции «Актуальные вопросы науки и техники в сфере развития авиации» (Минск, УО «Военная академия Республики Беларусь», 21 мая 2021 г.);

VI Международной научно-практической конференции «Авиация: история, современность, перспективы развития» (Минск, УО «Белорусская государственная академия авиации», 25 ноября 2021 г.);

Международной научной конференции «Военное образование и наука в условиях цифровой трансформации знаний» (Минск, УО «Военная академия Республики Беларусь», 20–21 апреля 2022 г.);

XII Международной научно-практической конференции «Актуальные вопросы науки и техники в сфере развития авиации» (Минск, УО «Военная академия Республики Беларусь», 19 мая 2022 г.);

V Международной научно-технической (практической) конференции (Минск, НИИ ВС РБ, 25–26 мая 2022 г.);

XIII Международной научно-практической конференции «Актуальные вопросы науки и техники в сфере развития авиации» (Минск, УО «Военная академия Республики Беларусь», 27–28 апреля 2023 г.);

VIII Международной научно-практической конференции, посвященной 90-летию гражданской авиации Республики Беларусь (Минск, УО «Белорусская государственная академия авиации», 3 ноября 2023 г.);

XIV Международной научно-практической конференции «Актуальные вопросы науки и техники в сфере развития авиации» (Минск, УО «Военная академия Республики Беларусь», 11–12 апреля 2024 г.).

Результаты диссертационного исследования могут быть использованы:
при разработке перспективных систем воздушной радиотехнической разведки (справка о возможном практическом использовании результатов диссертационного исследования ООО «СКБ «Радиотехпроект» от 17.06.2024 г.);

при разработке алгоритмов функционирования перспективной самолетной станции предупреждения об облучении (справка о возможном практическом использовании результатов диссертационного исследования ООО «Оборонные инициативы» от 17.06.2024 г.);

при проведении тактико-специальных расчетов при планировании полетов на боевое применение и совершенствовании способов боевого применения СПО и их носителей (справка Командования ВВС и войск ПВО РБ от 24.06.2024 г. О возможном практическом использовании результатов диссертационного исследования Валушко Е.Я.).

Опубликование результатов диссертации

По теме диссертации опубликованы 13 печатных работ, соответствующих п. 18 Положения о присуждении ученых степеней и присвоении ученых званий в Республике Беларусь, из них 5 научных статей в рецензируемых изданиях, рекомендованных ВАК для публикации результатов диссертационных исследований, и 1 отчет о НИР (5,1 авторских листа).

Опубликованы тезисы 8 докладов на научных (научно-технических) конференциях (1,3 авторских листа).

Структура и объем диссертации

Диссертация состоит из введения, общей характеристики работы, четырех глав, заключения, списка литературы, приложений. Полный объем диссертации составляет 164 страниц. Объем, занимаемый иллюстрациями (45 шт.), таблицами (2 шт.), приложениями (6 шт.) составляет 68 страниц. Количество использованных библиографических источников, включая собственные публикации соискателя, – 92.

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

В **первой главе** диссертации представлены результаты анализа роли и места ВРТР в военных конфликтах XXI в., особенностей ведения ВРТР на современном поле боя, особенностей построения систем ВРТР и существующих способов определения местоположения ИРИ по угловым измерениям.

Выявлено, что современная тенденция боевого применения комплексов и систем вооружения – это максимальное тактическое и функциональное сближение их разведывательных и ударных подсистем, при этом концентрация ресурсов на первоочередное подавление РЛС в условиях высокой динамики современного боя диктует необходимость переноса значительной части разведывательных функций непосредственно на ударные воздушные суда. В данных условиях особую значимость приобретают СПО боевых самолетов, которые по своей сути являются станциями обзорной ВРТР (рисунок 1), осуществляющими фронтальное (в переднюю полусферу носителя) наблюдение ИРИ.

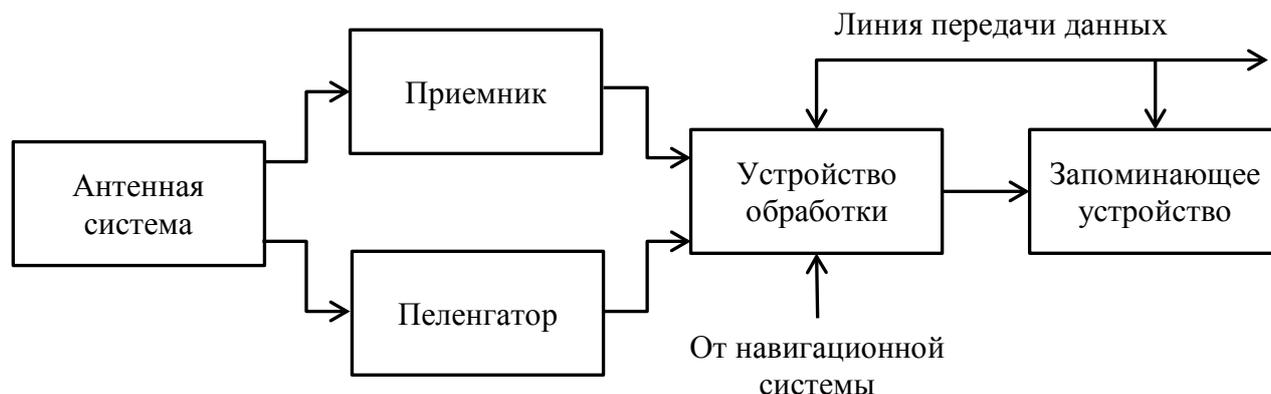


Рисунок 1 – Обобщенная структура типовой станции ВРТР

Акцентируется внимание, что типовые отечественные СПО, выполняя грубое пеленгование ИРИ, не осуществляют определение их местоположения. Наделение СПО функцией определения местоположения ИРИ является актуальной задачей, особенно значимой для военной авиации Республики Беларусь, не имеющей на вооружении специализированных самолетов ВРТР [2].

Анализ научных работ по тематике ВРТР позволил констатировать, что используемые способы определения местоположения ИРИ разработаны применительно к системам ВРТР бокового обзора, при этом методы решения задач местоопределения с избыточностью измерений напрямую заимствованы из геодезии, а для получения математически строгих теоретических решений используются, как правило, различные упрощения в постановке задач. Вопросы постановки и решения задач определения координат ИРИ при их фронтальном наблюдении, что актуально для СПО, системно не проработаны, а основным способом обработки избыточных измерений является уравнивание по методу наименьших

квадратов. Соответственно, высокую актуальность приобретает проблематика однозначного, математически строгого аналитического решения задач определения местоположения ИРИ в условиях его фронтального наблюдения.

Таким образом, актуальными научными задачами диссертационного исследования явились:

определение особенностей условий ведения фронтальной ВРТР, к которым относятся тактические условия и геометрия измерений, характеристики принимаемых сигналов и первичных измеряемых параметров, потенциальной точности определения местоположения ИРИ;

обоснование конструктивных и инвариантных к геометрии измерительной системы способов определения дальности ИРИ, декартовых координат ИРИ в условиях его фронтального наблюдения системой ВРТР.

Во **второй главе** диссертации проанализированы тактические условия и кинематические параметры фронтального ведения ВРТР. Выявлено, что на практике первичные позиционные измерения и оценка координат ИРИ практически всегда выполняются в горизонтальной плоскости, при этом считается, что высота полета носителя станции разведки обеспечивает наличие прямой видимости ИРИ. Типовой процесс применения СПО описывается ситуацией, представленной на рисунке 2.

В соответствии с ней станция разведки в процессе полета носителя обнаруживает излучение цели и из текущей точки маршрута M_0 измеряет его курсовой угол θ_0 . В последующем станцией многократно измеряются курсовые углы из множества других точек маршрута, при этом максимальное значение измеряемого курсового угла цели определяется характеристиками антенной системы станции и находится в пределах от -80 до 80° .

При таких условиях ведения ВРТР линия траверза ИРИ принципиально не достигается, а угол γ , под которым пересекаются линии пеленгов, всегда меньше 90° . В реальной боевой обстановке диапазоны значений дальностей ИРИ s , их курсовых углов θ и азимутов β , также как и скорости их изменения, определяются тактическими факторами и параметрами технических систем.

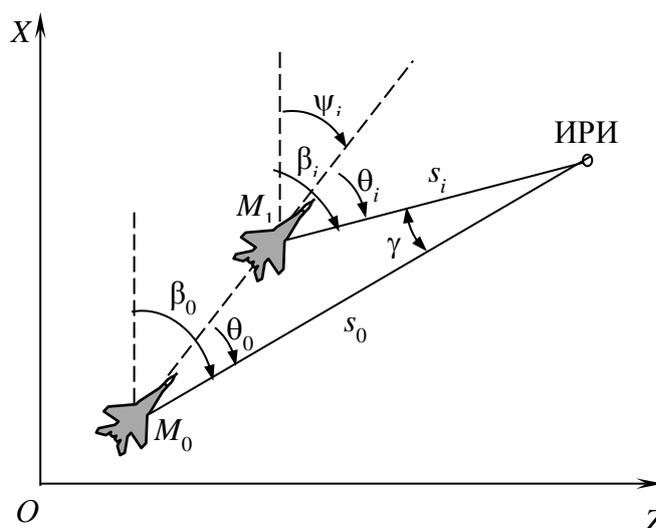


Рисунок 2 – Типовая геометрическая ситуация фронтальной ВРТР

Важной отличительной особенностью фронтального способа ведения разведки является увеличение мощности сигналов ИРИ P_c на входе приемного устройства СПО обратно пропорционально квадрату уменьшающейся дальности:

$$P_c = \frac{P_{\text{ИРИ}} G_{\text{ИРИ}} G \lambda^2}{4\pi D^2 4\pi}, \quad (1)$$

где $P_{\text{ИРИ}}$ – мощность излучения ИРИ;
 $G_{\text{ИРИ}}$ – коэффициент усиления антенны ИРИ в направлении на станцию ВРТР; λ – длина волны излучения ИРИ;
 G – коэффициент усиления антенны станции ВРТР; D – расстояние между антеннами ИРИ и станции ВРТР.

На рисунке 3 для нескольких РЛС ЗРК приведены зависимости значения мощности их сигналов на входе приемного устройства типовой СПО (с КУ антенны $G = 7$ дБ) от дальности.

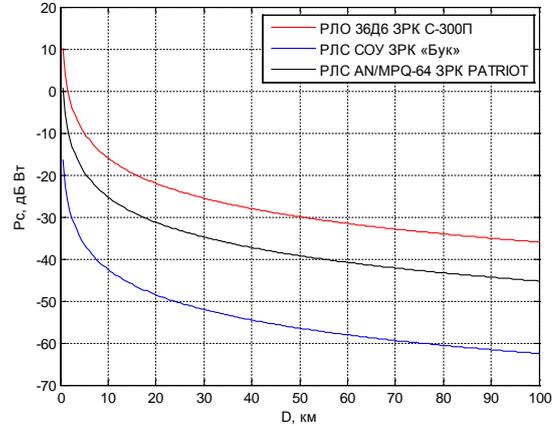


Рисунок 3 – Зависимость мощности сигналов РЛС на входе приемного устройства типовой СПО от дальности

В качестве угломерного устройства типовой станции разведки выступает амплитудный моноимпульсный пеленгатор. Из теории моноимпульсной радиолокации известно, что наибольший вклад в результирующую ошибку измерения пеленга в моноимпульсном пеленгаторе вносят две составляющие: случайные ошибки, возникающие при приеме сигнала на фоне внутренних шумов приемника, и систематическая погрешность, вызванная неравномерностью реальных ДНА, а также неидентичностью амплитудно-фазовых характеристик приемных каналов пеленгатора.

Среднеквадратическая ошибка пеленгования σ_θ , вызванная влиянием шумов приемного устройства, в соответствии с известными выражениями

$$\sigma_\theta = \frac{\Theta_{0,5}}{2\sqrt{P_c / P_{\text{ш}}}}, \quad \frac{P_c}{P_{\text{ш}}} = \frac{P_{\text{ИРИ}} G_{\text{ИРИ}} G \lambda^2}{(4\pi)^2 D^2 k_B k_{\text{ш}} T \Delta F} \quad (2)$$

прямо пропорционально зависит от дальности цели:

$$\sigma_\theta = \frac{\Theta_{0,5}}{2\sqrt{\rho / D^2}} = \frac{\Theta_{0,5}}{2\sqrt{\rho}} D, \quad (3)$$

где $\rho = \frac{P_{\text{ИРИ}} G_{\text{ИРИ}} G \lambda^2}{(4\pi)^2 k_B k_{\text{ш}} T \Delta F}$ – стационарный коэффициент, зависящий только от технических характеристик ИРИ и СПО.

Следовательно, при фронтальном ведении воздушной радиотехнической разведки σ_θ всегда уменьшается во времени, что может быть использовано при решении задач местоопределения.

В качестве способа уменьшения систематической погрешности амплитудного моноимпульсного пеленгатора типовой СПО было предложено использовать линейную аппроксимацию измеренной пеленгационной характеристики с последующим прибавлением вычисленных поправок.

Данный способ был апробирован в ходе эксперимента, проведенного в целях оценки потенциальной возможности реализации процедур амплитудного моноимпульсного пеленгования со штатной антенной самолетной СПО Л006 (рисунок 4 и 5).

Экспериментально-аналитическим способом было доказано, что линейная аппроксимация измеренной ПХ с последующим введением поправок позволяет в определенных условиях до четырех раз уменьшить значения систематической погрешности.

Учитывая, что в задачах определения местоположения объектов по угловым измерениям конечная точность зависит не только от ошибок измерений, но и от взаимного расположения объекта и измерительных пунктов, для типовых условий ведения фронтальной воздушной радиотехнической разведки (см. рисунок 2) были получены аналитические выражения для относительной погрешности определения текущей дальности цели δs (как функции от ошибок ξ_1, ξ_2 пеленгования ИРИ из двух точек) и среднеквадратической линейной ошибки σ_l определения местоположения цели на плоскости (как функции от пройденного пеленгатором пути L_x и СКО σ_0, σ_1 ошибок пеленгования ИРИ из двух точек):

$$\delta s = \cos \xi_2 + \frac{1}{\sin(\gamma + \xi_1 - \xi_2)} \left(\sin \xi_2 \cos(\gamma + \xi_1 - \xi_2) - \frac{s_1}{s_2} \sin \xi_1 \right) - 1, \quad (4)$$

$$\sigma_l = \sigma_{l1} \cdot \sigma_{l2} \cdot \sigma_{l3},$$

$$\sigma_{l1} = \sigma_0 s_0, \quad \sigma_{l2} = \frac{1}{\sin \beta_1}, \quad \sigma_{l3} = \sqrt{\frac{s_0^2}{L_x^2} \left(1 + \frac{\sigma_1^2}{\sigma_0^2} \right) - 2 \frac{\sigma_1^2}{\sigma_0^2} \frac{s_0}{L_x} \cos \beta_0 + \frac{\sigma_1^2}{\sigma_0^2}}. \quad (5)$$

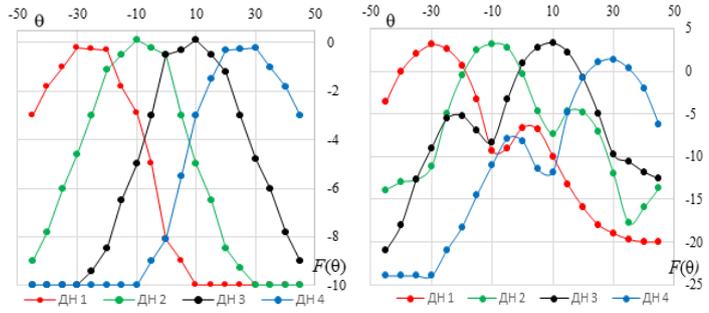


Рисунок 4 – Графики измеренного КУ антенны СПО на частотах 5 и 7 ГГц

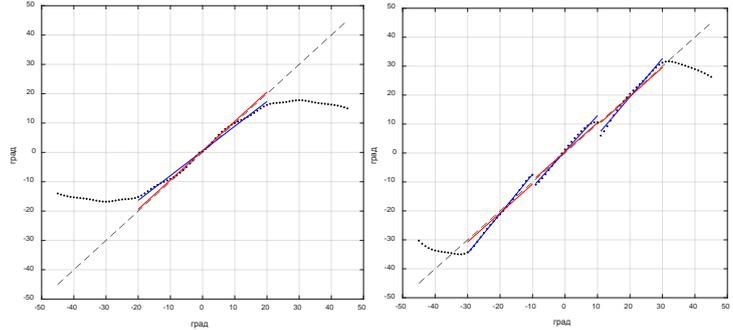


Рисунок 5 – Пеленгационные характеристики антенны СПО на частотах 5 и 7 ГГц

Анализ полученных зависимостей позволяет констатировать, что при фронтальном ведении воздушной радиотехнической разведки:

относительные ошибки оценки дальности при ее определении с двух соседних пунктов маршрута существенно ниже, чем в случае определения с начального и конечного пунктов;

среднеквадратическая линейная ошибка определения местоположения цели уменьшается с увеличением пути, пройденного носителем, не имеет глобального минимума и имеет большую скоростью уменьшения в случаях, когда текущий азимут цели находится в области значений $\beta < 52^\circ$.

В третьей главе для разработки способов оценки местоположения цели при фронтальном ведении разведки использован векторно-алгебраический подход, заключающийся в векторном представлении исходных данных и формализации уравнений связи координат измерителя и измеряемых параметров с координатами определяемого объекта в классе векторно-матричных функций.

Осуществлена математическая постановка и получены аналитические решения задачи определения дальности ИРИ псевдокинематическим способом.

С учетом условий, рассмотренных во второй главе, задача определения дальности ИРИ в векторно-алгебраическом представлении формулируется следующим образом (рисунок б):

на плоскости XOZ из конечного числа точек маршрута полета носителя станции разведки измеряются азимуты цели, истинные значения которых задаются направляющими векторами $\mathbf{p}_n = [p_{nx} \ p_{nz}]^T$. Измерения азимутов производятся в произвольные моменты времени и с некоторыми ошибками;

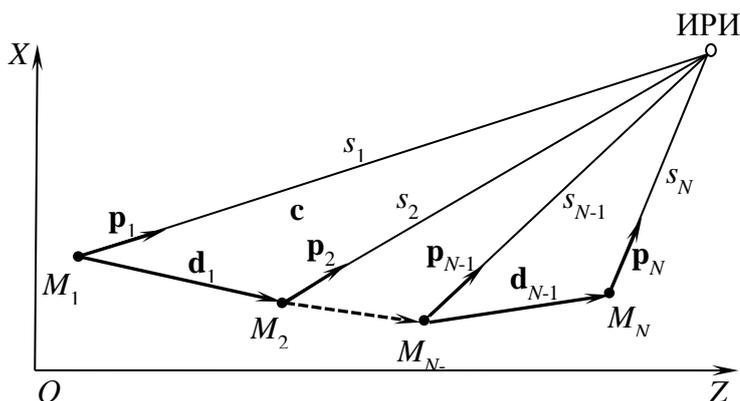


Рисунок б – Задача определения дальности ИРИ в векторном представлении

непосредственно координаты носителя не измеряются, но параметры его движения известны с высокой точностью, поэтому его перемещения между пунктами маршрута характеризуются полностью определенными векторами $\mathbf{d}_n = [d_{nx} \ d_{nz}]^T, n = \overline{1, (N-1)}$, которые не равны друг другу $\mathbf{d}_{n+1} \neq \mathbf{d}_n$.

Требуется найти оценку текущей дальности цели как последнего элемента вектора дальностей $\mathbf{s} = \{s_n\}$.

В идеализированном случае при отсутствии ошибок пеленгования векторные уравнения связи имеют вид системы из $(N-1)$ векторных уравнений:

$$s_n \mathbf{p}_n = \mathbf{d}_n + s_{n+1} \mathbf{p}_{n+1}, \quad n = \overline{1, N-1}. \quad (6)$$

Систему уравнений (6) можно назвать псевдокинематической, поскольку она характеризует изменения линии визирования цели и значений координат пеленгатора, но не использует непосредственно измеряемые кинематические параметры – скорость пеленгатора и угловую скорость линии визирования ИРИ.

Для удобства математических преобразований были введены вспомогательные матрицы

$$\mathbf{D} = \begin{bmatrix} \mathbf{d}_1^T \\ \dots \\ \mathbf{d}_{N-1}^T \end{bmatrix}, \mathbf{P} = \begin{bmatrix} \mathbf{p}_1^T \\ \dots \\ \mathbf{p}_N^T \end{bmatrix}, \mathbf{S} = \begin{bmatrix} s_1 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & s_2 & \dots & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & 0 & \dots & s_N \end{bmatrix}, \mathbf{J} = \begin{bmatrix} 1 & -1 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & 1 & -1 & \dots & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & \dots & 0 & 1 & -1 \end{bmatrix} \quad (7)$$

и осуществлен переход к одному матричному уравнению:

$$\mathbf{JSP} - \mathbf{D} = \mathbf{0}_{(N-1) \times 2} \quad (8)$$

где $\mathbf{0}_{(N-1) \times 2}$ – нулевая матрица размерности $(N-1) \times 2$.

При переходе от матрицы истинных направляющих векторов \mathbf{P} к матрице измеренных направляющих векторов $\tilde{\mathbf{P}}$ в правой части уравнения (8) появляется матрица невязок.

$$\mathbf{JSP} - \mathbf{D} = \mathbf{\Xi}, \quad (9)$$

где $\mathbf{\Xi} = \begin{bmatrix} \xi_{11} & \xi_{12} \\ \dots & \dots \\ \xi_{(N-1)1} & \xi_{(N-1)2} \end{bmatrix}$.

Решение данного матричного уравнения может быть найдено в виде оценок дальностей, доставляющих минимум квадратичному функционалу:

$$\rho = \|\mathbf{\Xi}\|^2 = \|\mathbf{JSP} - \mathbf{D}\|^2. \quad (10)$$

Для удобства и наглядности дальнейших преобразований евклидова норма (10) представлена в развернутой форме записи:

$$\rho = \|\mathbf{\Xi}\|^2 = \sum_{x,z} (\hat{s}_1 \tilde{p}_{1x,z} - \hat{s}_2 \tilde{p}_{2x,z} - d_{1x,z})^2 + (\hat{s}_2 \tilde{p}_{2x,z} - \hat{s}_3 \tilde{p}_{3x,z} - d_{2x,z})^2 + (\hat{s}_3 \tilde{p}_{3x,z} - \hat{s}_4 \tilde{p}_{4x,z} - d_{3x,z})^2 + \dots + (\hat{s}_{N-1} \tilde{p}_{(N-1)x,z} - \hat{s}_N \tilde{p}_{Nx,z} - d_{(N-1)x,z})^2. \quad (11)$$

Для нахождения минимума функционала (11) необходимо найти производную скаляра ρ по вектору $\hat{\mathbf{s}} = \{\hat{s}_n\}$, которая является N -мерным вектором вида $\partial \rho / \partial \hat{\mathbf{s}} = [\partial \rho / \partial \hat{s}_1 \quad \dots \quad \partial \rho / \partial \hat{s}_N]^T$.

Используя стандартные правила дифференцирования, получено:

$$\frac{\partial \rho}{\partial \hat{s}_1} = 2 \left(\hat{s}_1 (\tilde{p}_{1x}^2 + \tilde{p}_{1z}^2) - \hat{s}_2 (\tilde{p}_{1x} \tilde{p}_{2x} + \tilde{p}_{1z} \tilde{p}_{2z}) - (d_{1x} \tilde{p}_{1x} + d_{1z} \tilde{p}_{1z}) \right); \quad (12)$$

$$\left. \frac{\partial \rho}{\partial \hat{s}_n} \right|_{n=2, (N-1)} = 2 \left((d_{(n-1)x} - d_{nx}) \tilde{p}_{nx} + (d_{(n-1)z} - d_{nz}) \tilde{p}_{nz} - \hat{s}_{n-1} (\tilde{p}_{(n-1)x} \tilde{p}_{nx} + \tilde{p}_{(n-1)z} \tilde{p}_{nz}) + 2\hat{s}_n (\tilde{p}_{nx}^2 + \tilde{p}_{nz}^2) - \hat{s}_{n+1} (\tilde{p}_{nx} \tilde{p}_{(n+1)x} + \tilde{p}_{nz} \tilde{p}_{(n+1)z}) \right); \quad (13)$$

$$\frac{\partial \rho}{\partial \hat{s}_N} = 2 \left(\hat{s}_N (\tilde{p}_{Nx}^2 + \tilde{p}_{Nz}^2) - \hat{s}_{N-1} (\tilde{p}_{(N-1)x} \tilde{p}_{Nx} + \tilde{p}_{(N-1)z} \tilde{p}_{Nz}) + (d_{(N-1)x} \tilde{p}_{Nx} + d_{(N-1)z} \tilde{p}_{Nz}) \right). \quad (14)$$

После приравнивания выражений (12)–(14) нулю была получена система из N уравнений, линейных относительно переменных \hat{s}_n :

$$\begin{aligned} -\tilde{\mathbf{p}}_1^T \mathbf{d}_1 + \hat{s}_1 - \hat{s}_2 \tilde{\mathbf{p}}_1^T \tilde{\mathbf{p}}_2 &= 0; \\ \tilde{\mathbf{p}}_n^T (\mathbf{d}_{n-1} - \mathbf{d}_n) - \hat{s}_{n-1} \tilde{\mathbf{p}}_{n-1}^T \tilde{\mathbf{p}}_n + 2\hat{s}_n - \hat{s}_{n+1} \tilde{\mathbf{p}}_n^T \tilde{\mathbf{p}}_{n+1} &= 0, \quad n = \overline{2, (N-1)}; \\ \tilde{\mathbf{p}}_N^T \mathbf{d}_{N-1} + \hat{s}_N - \hat{s}_{N-1} \tilde{\mathbf{p}}_{N-1}^T \tilde{\mathbf{p}}_N &= 0. \end{aligned} \quad (15)$$

В векторно-матричной форме система уравнений (15) имеет вид:

$$\mathbf{W} \hat{\mathbf{s}} = \mathbf{g}. \quad (16)$$

В уравнении (16) \mathbf{W} и \mathbf{g} – это полностью определенные матрица размерностью $N \times N$ и вектор размерностью N :

$$\mathbf{W} = \begin{bmatrix} -1 & \tilde{\mathbf{p}}_2^T \tilde{\mathbf{p}}_1 & 0 & \dots & \dots & 0 \\ \tilde{\mathbf{p}}_2^T \tilde{\mathbf{p}}_1 & -2 & \tilde{\mathbf{p}}_2^T \tilde{\mathbf{p}}_3 & \dots & \dots & \dots \\ 0 & \tilde{\mathbf{p}}_2^T \tilde{\mathbf{p}}_3 & \dots & \dots & 0 & \dots \\ \dots & 0 & \dots & \dots & \tilde{\mathbf{p}}_{N-1}^T \tilde{\mathbf{p}}_{N-2} & 0 \\ \dots & \dots & 0 & \tilde{\mathbf{p}}_{N-1}^T \tilde{\mathbf{p}}_{N-2} & -2 & \tilde{\mathbf{p}}_{N-1}^T \tilde{\mathbf{p}}_N \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \tilde{\mathbf{p}}_{N-1}^T \tilde{\mathbf{p}}_N & -1 \end{bmatrix}, \quad \mathbf{g} = \begin{bmatrix} -\tilde{\mathbf{p}}_1^T \mathbf{d}_1 \\ \tilde{\mathbf{p}}_n^T (\mathbf{d}_{n-1} - \mathbf{d}_n) \\ \tilde{\mathbf{p}}_N^T \mathbf{d}_{N-1} \end{bmatrix}, \quad (17)$$

$n = \overline{2, (N-1)}.$

Компоненты матрицы \mathbf{W} формируются путем скалярного произведения направляющих векторов соседних измерений.

Компоненты вектора \mathbf{g} являются результатом перемножения строк матрицы $\tilde{\mathbf{P}}$ с одномерными столбцами матрицы \mathbf{Q} , составленной из известных векторов \mathbf{d}_n , $n = \overline{2, (N-1)}$: $\mathbf{Q} = [-\mathbf{d}_1 \quad (\mathbf{d}_{n-1} - \mathbf{d}_n) \quad \mathbf{d}_{N-1}]$.

По своей структуре матрица \mathbf{W} является симметрической трехдиагональной. На ее главной диагонали расположены целые числа, а на соседних диагоналях – скалярные произведения направляющих векторов соседних измерений. Остальные элементы матрицы равны нулю. В диссертационной работе приведено теоретическое доказательство обратимости матрицы \mathbf{W} , соответственно вектор оценок дальностей может быть найден из решения системы в стандартном виде:

$$\hat{\mathbf{s}} = \mathbf{W}^{-1} \mathbf{g}. \quad (18)$$

Решение (18) обеспечивает получение оценок вектора дальностей ИРИ по многократным измерениям пеленгов методом наименьших квадратов путем прямого функционального преобразования исходных данных независимо от количества выполненных измерений. Отсутствие элементов приближенных вычислений обеспечивает высокую конструктивность полученного теоретического решения.

Определение координат цели для решения задач целеуказания и применения оружия в подавляющем большинстве случаев осуществляется на плоскости. Вместе с тем получение теоретических решений для пространственных задач, как более общих, остается весьма актуальным, поскольку позволяет развивать результаты на проблемы определения местоположения объектов в ряде прикладных наук.

К основным факторам, требующим неперемного учета при постановке задачи определения координат цели относятся:

непрерывное уменьшение текущей дальности цели, приводящее к уменьшению ошибок пеленгования. При этом точность пеленгования ИРИ из разных точек M_n характеризуется известным вектором среднеквадратических ошибок $\sigma = [\sigma_1 \dots \sigma_N]^T$, в котором $\sigma_n > \sigma_{n+1}$, $n = \overline{1, N-1}$;

нерегулярность получения отсчетов пеленга цели ввиду случайности поступления принимаемых сигналов.

С учетом указанных факторов задача определения трехмерных координат цели представляет собой обобщенную задачу пространственной триангуляции с неравноточными измерениями. В векторно-алгебраическом представлении (рисунок 7) данная задача формулируется аналогично рассмотренной выше задаче определения дальности.

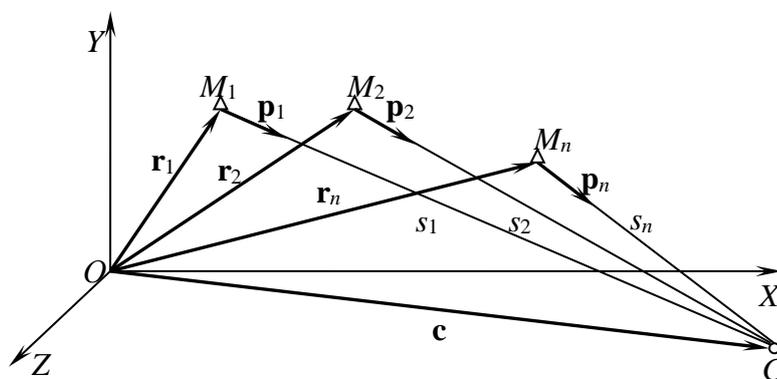


Рисунок 7 – Обобщенная задача пространственной триангуляции в векторно-алгебраической форме

При этом требуется найти вектор координат ИРИ $\mathbf{c} = [c_x \ c_y \ c_z]^T$ в виде прямого функционального преобразования:

$$\mathbf{c} = F(\mathbf{r}_n, \mathbf{p}_n, \sigma), \quad n = \overline{1, N}. \quad (19)$$

При отсутствии ошибок пеленгования ИРИ связь векторов координат измерительных пунктов и направляющих векторов с вектором координат ИРИ строго и однозначно описывается системой уравнений (20), в которой неизвестными являются вектор координат цели \mathbf{c} и вектор дальностей $\mathbf{s} = \{s_n\}$:

$$\mathbf{r}_n + s_n \mathbf{p}_n = \mathbf{c}, \quad n = \overline{1, N}. \quad (20)$$

Таким образом, для решения исходной задачи необходимо найти решение системы (20) при наличии ошибок угловых измерений с заданными характеристиками σ . Для получения аналитического решения был осуществлен переход от N векторных уравнений к одному векторно-матричному:

$$\mathbf{R} + \mathcal{D}(\mathbf{s})\mathbf{P} = \mathbf{e}\mathbf{e}^T, \quad (21)$$

где $\mathbf{R} = \begin{bmatrix} r_{1x} & r_{1y} & r_{1z} \\ \dots & \dots & \dots \\ r_{Nx} & r_{Ny} & r_{Nz} \end{bmatrix}$, $\mathbf{P} = \begin{bmatrix} p_{1x} & p_{1y} & p_{1z} \\ \dots & \dots & \dots \\ p_{Nx} & p_{Ny} & p_{Nz} \end{bmatrix}$, $\mathbf{s} = \begin{bmatrix} s_1 \\ \dots \\ s_N \end{bmatrix}$.

\mathbf{e} – вектор размерности N , у которого все элементы равны единице;

$\mathcal{D}(\cdot)$ – оператор построения диагональной матрицы из вектора.

Поскольку в измеренных пеленгах $\tilde{\mathbf{p}}_n$ присутствуют ошибки, то в правой части уравнения (21) появится матрица невязок:

$$\mathbf{R} + \mathcal{D}(\mathbf{s})\tilde{\mathbf{P}} - \mathbf{e}\mathbf{e}^T = \mathbf{\Xi}. \quad (22)$$

$$\mathbf{\Xi} = \begin{bmatrix} \xi_{1x} & \xi_{1y} & \xi_{1z} \\ \dots & \dots & \dots \\ \xi_{Nx} & \xi_{Ny} & \xi_{Nz} \end{bmatrix}, \quad \xi_{nx,y,z} = r_{nx,y,z} + \hat{s}_n \tilde{p}_{nx,y,z} - \hat{c}_{x,y,z}, \quad n = \overline{1, N}.$$

Измерения по условию задачи являются неравноточными, следовательно, необходимо, чтобы получаемое конечное решение было взвешенным относительно ошибок первичных угловых измерений σ_n . Для этого из вектора среднеквадратических ошибок $\sigma = [\sigma_1 \dots \sigma_N]^T$ формируются положительно определенные нормированные весовые коэффициенты $h_n = f_n(\sigma)$, $n = \overline{1, N}$, которые сводятся в вектор \mathbf{h} и диагональную матрицу \mathbf{H} :

$$\mathbf{h} = \begin{bmatrix} h_1 \\ \dots \\ h_N \end{bmatrix}, \quad \mathbf{H} = \mathcal{D}(\mathbf{h}) = \begin{bmatrix} h_1 & \dots & 0 \\ 0 & \dots & 0 \\ 0 & \dots & h_N \end{bmatrix}, \quad \sum_{n=1}^N h_n = 1. \quad (23)$$

Тогда неизвестные векторы \mathbf{c} и \mathbf{s} могут быть найдены в виде оценок $\hat{\mathbf{c}}, \hat{\mathbf{s}}$, минимизирующих сумму квадратов взвешенных невязок:

$$\rho = \sum_{n=1}^N \sum_{x,y,z} \xi_{nx,y,z}^2 h_n. \quad (24)$$

После нахождения частных производных $\partial \rho / \partial \hat{\mathbf{c}}$, $\partial \rho / \partial \hat{\mathbf{s}}$ и приравнивания их к нулю получены два векторно-матричных уравнения:

$$\mathbf{R}^T \mathbf{h} + \mathbf{P}^T \mathbf{H} \hat{\mathbf{s}} - \hat{\mathbf{c}} = \mathbf{\emptyset}_3, \quad (25)$$

$$\mathbf{g} + \hat{\mathbf{s}} - \mathbf{P} \hat{\mathbf{c}} = \mathbf{\emptyset}_N, \quad (26)$$

где $\text{diag}(\mathbf{R}\mathbf{P}^T)$ – оператор формирования вектора-столбца из главной диагонали полностью определенной квадратной матрицы $(\mathbf{R}\mathbf{P}^T)$;

$\mathbf{\emptyset}$ – нулевой вектор указанной размерности.

Из уравнения (26) следует, что $\hat{s} = P\hat{c} - g$. Подставив это выражение в (25), получим:

$$P^T H P \hat{c} - \hat{c} = P^T H g - R^T h. \quad (27)$$

От уравнения (27) можно перейти к уравнению вида

$$A \hat{c} = b, \quad (28)$$

где A и b – полностью известные матрица и вектор: $A = P^T H P - I_3$ (I_3 – единичная матрица размером 3×3); $b = \tilde{P}^T H \text{diag}(R \tilde{P}^T) - R^T h$.

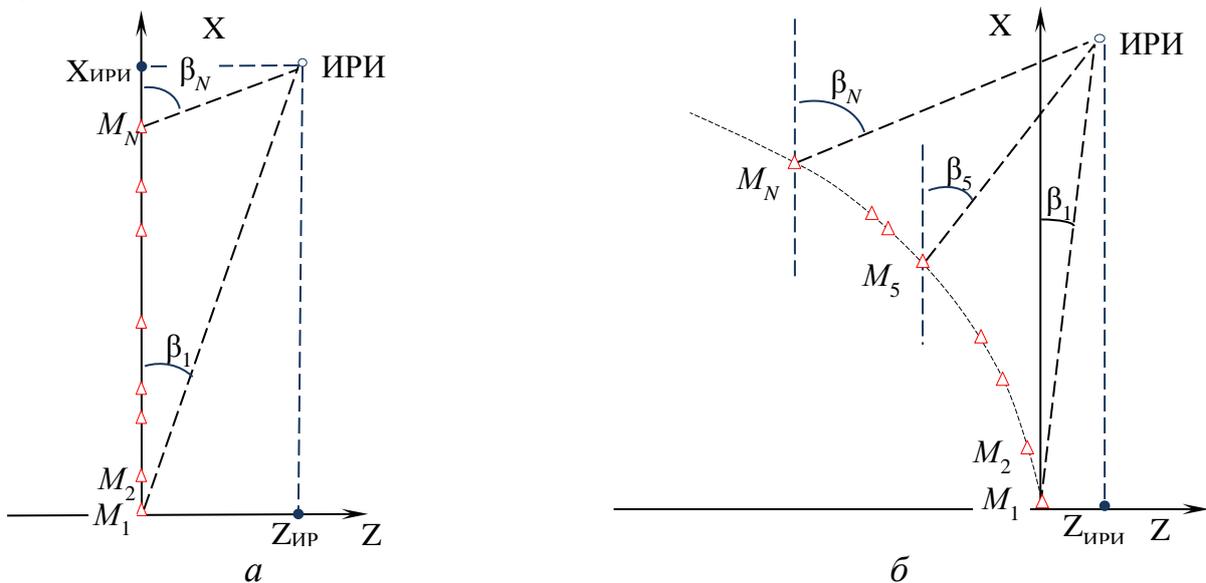
Система (28) является определенной системой неоднородных линейных уравнений, в которой $\text{rank} A = 3$, и оценка \hat{c} может быть найдена из выражения

$$\hat{c} = A^{-1} b. \quad (29)$$

Выражение (29) обеспечивает решение обобщенной задачи пространственной триангуляции (с неравноточными измерениями) в виде прямого функционального преобразования известных параметров – координат измерительных пунктов, измеренных пеленгов и полностью определенных весовых коэффициентов. Таким образом, поставленная задача является решенной.

Кроме очевидной лаконичности решение (29): является математически строгим и однозначным; инвариантно к геометрии измерительной системы (количеству и расположению измерительных пунктов); имеет постоянную, независимо от количества измерительных пунктов, размерность вспомогательной матрицы A и вектора b .

В четвертой главе для оценки точности определения дальности ИРИ псевдокинематическим способом с помощью разработанной имитационной математической модели были получены значения относительных ошибок δs и рассчитаны их характеристики при различных тактических условиях ведения разведки (рисунок 8).



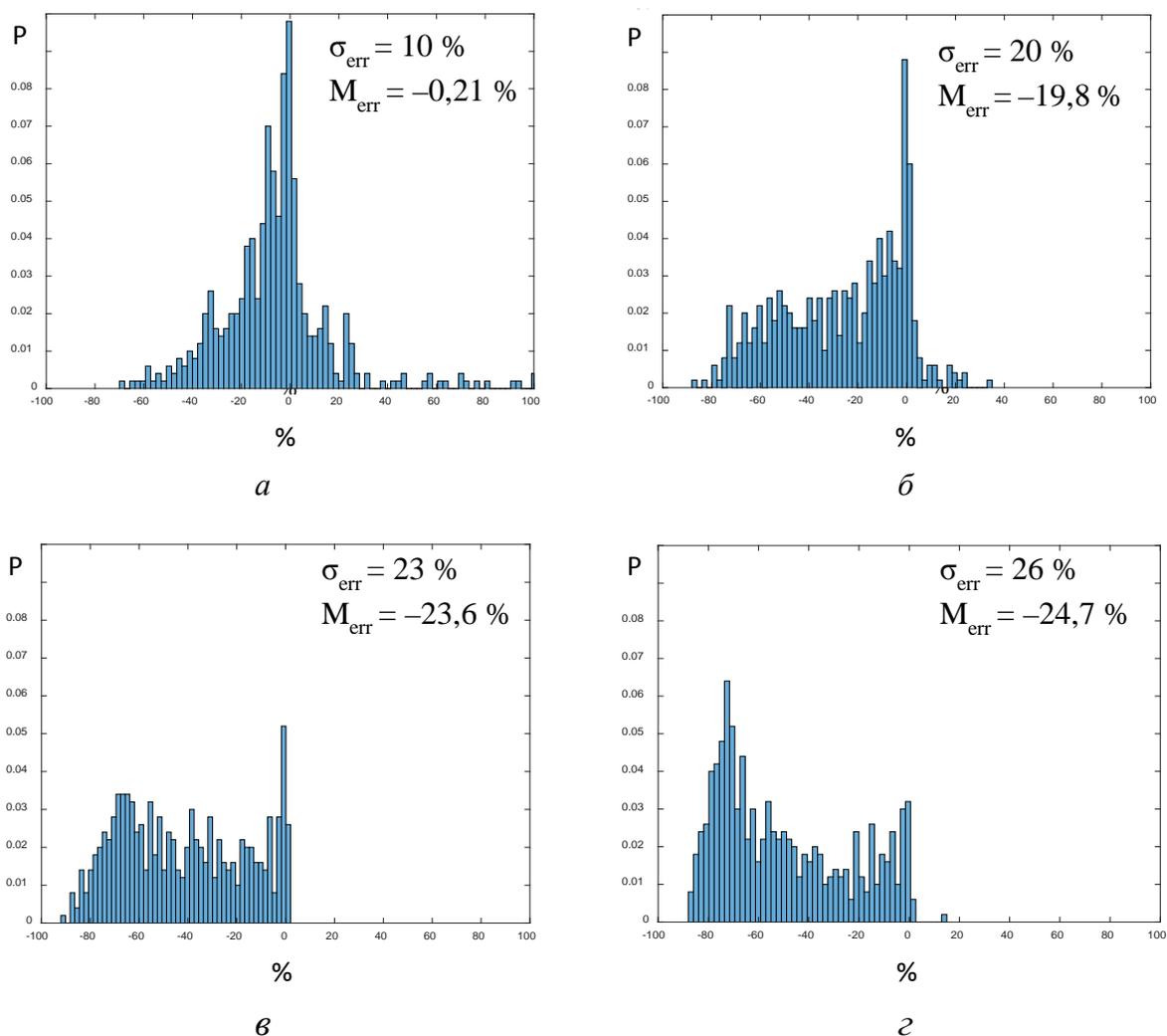
a – прямолинейная траектория; b – траектория с отворотом от ИРИ

Рисунок 8 – Моделируемые маршруты ведения ВРТР

На рисунке 9 приведены гистограммы вероятностей относительных ошибок δs определения текущей дальности ИРИ псевдокинематическим способом

для типовой тактической ситуации ведения ВРТР (см. рисунок 2) при разном количестве измерительных пунктов, использованных для получения оценки \hat{s}_N .

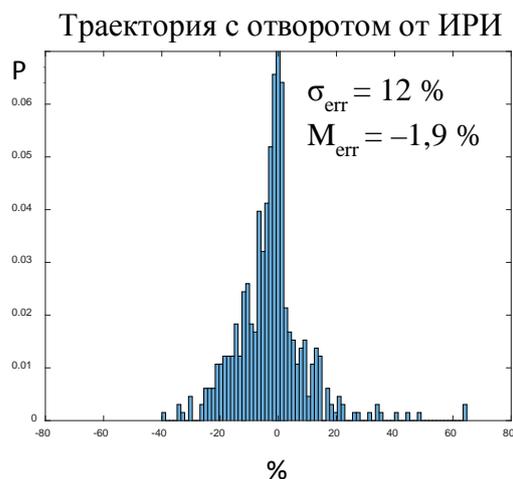
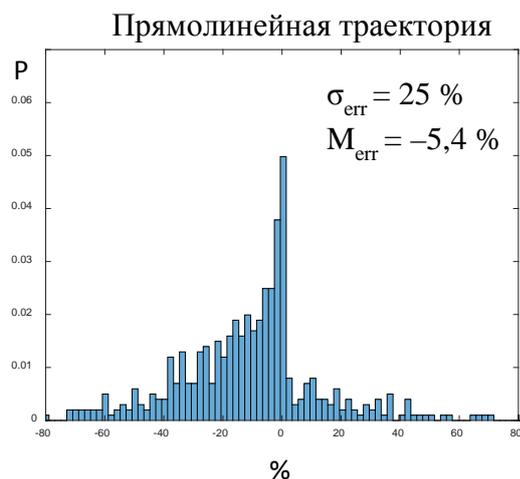
Из результатов моделирования следует, что наименьшее СКО относительной ошибки определения дальности достигается в случае получения оценки \hat{s}_N с использованием измерений из трех измерительных пунктов. Очевидно, сказывается влияние более высоких значений ошибок угловых измерений на более дальних расстояниях от ИРИ. Таким образом, для эффективного решения задачи определения дальности ИРИ достаточно трех измерений его азимута.



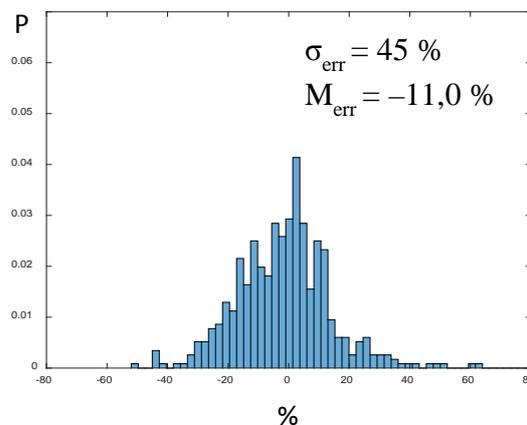
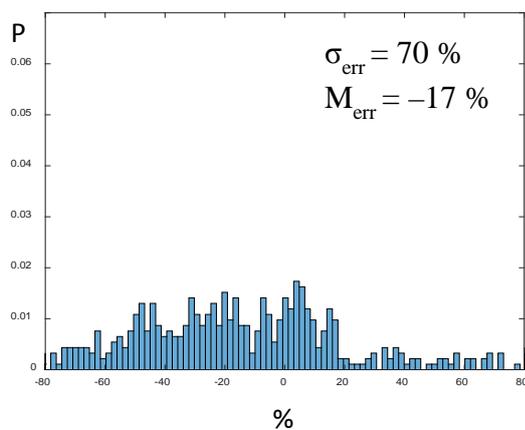
a – 3 измерительных пункта, *б* – 6 измерительных пунктов,
в – 9 измерительных пунктов, *г* – 12 измерительных пунктов;

Рисунок 9 – Гистограммы вероятностей ошибок определения дальности

На втором этапе вычислительного эксперимента исследовалась зависимость характеристик относительных ошибок δs определения дальности ИРИ псевдокинематическим способом от различных сочетаний трех измерительных позиций на маршруте полета носителя, а также осуществлялось вычисление текущей дальности ИРИ классическим двухпозиционным способом (по 4-му и 5-му измерительным пунктам) (рисунок 10).



a



б

a – 3-й, 4-й и 5-й измерительные пункты; *б* – 4-й и 5-й измерительные пункты

Рисунок 10 – Гистограммы вероятностей ошибок определения дальности при начальном азимуте ИРИ $\beta_1 = 5^\circ$

Типовая тактическая ситуация ведения ВРТР моделировалась для начального азимута ИРИ $\beta_1 = 5^\circ$ с выбором различных сочетаний трех из пяти измерительных позиций системы ВРТР. Для указанных тактических условий также осуществлялось вычисление текущей дальности ИРИ классическим двухпозиционным способом (по 4-му и 5-му измерительным пунктам).

Из результатов моделирования следует:

- 1) классический двухпозиционный способ определения дальности ИРИ обладает наименьшей точностью в сравнении с псевдокинематическим способом (при любых сочетаниях «троек» измерительных пунктов);
- 2) наилучшая точность оценки дальности ИРИ псевдокинематическим способом независимо от исходных условий моделирования достигается в случае использования измерений из трех последних измерительных пунктов;
- 3) маневр с отворотом позволяет уменьшить ошибки определения текущей дальности ИРИ в 1,5 ... 2 раза;

4) определение дальности ИРИ псевдокинематическим способом (по трем последним измерительным пунктам) по сравнению с классическим двухпозиционным способом позволяет уменьшить в 2,1...3,8 раза СКО ошибок оценивания и в 2 ... 20 раз – смещение получаемых оценок.

Использование разработанного псевдокинематического способа оценивания дальности ИРИ значительно расширяет боевые возможности типовой самолетной станции предупреждения об облучении, позволяя обеспечивать:

выдачу целеуказания и уничтожение наземных РЛС противника управляемыми ракетами класса «воздух – земля», «воздух – РЛС»;

оперативное изменение маршрута, профиля, высоты и скорости полета носителя, а также глубины боевых порядков (при действии в составе группы) при преодолении системы ПВО противника;

своевременное боевое маневрирование в зонах действия средств ПВО противника;

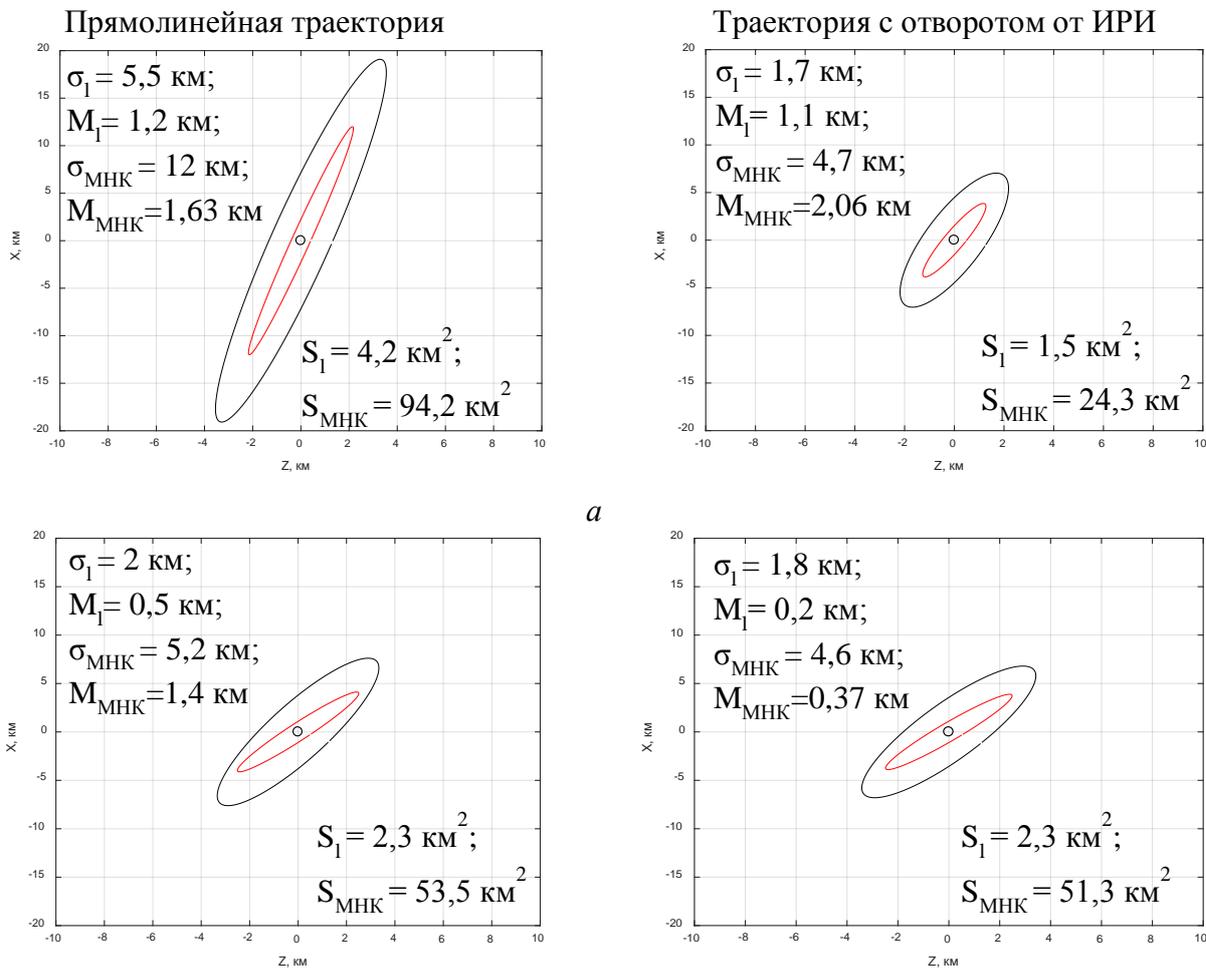
оперативное управление и обеспечение согласованности в действиях ударной авиационной группы, преодолевающей систему ПВО противника, а также других воздушных судов (демонстрационной группы, группы доразведки целей, группы постановки помех и т. д.).

При помощи ИММ для типовых тактических условий ведения ВРТР (см. рисунок 8) были рассчитаны оценки координат ИРИ двумя способами: классическим триангуляционным способом с уравниванием по МНК и разработанным векторно-алгебраическим способом. Весовые коэффициенты h_n в обоих случаях рассчитывались одинаково. Как следует из результатов имитационного моделирования (рисунок 11), независимо от начального азимута ИРИ, маршрута полета, количества используемых измерительных пунктов и точности угловых измерений векторно-алгебраический способ с весовой обработкой неравноточных измерений обладает большей точностью. Использование данного способа по сравнению с классическим триангуляционным способом, использующим уравнивание по МНК, позволяет уменьшить в 1,8...3,5 раза СКО линейной ошибки оценивания местоположения ИРИ и в 1,3...3,5 раз смещение оценки местоположения. Также необходимо отметить, что использование маневра типа «отворот» в ходе ведения ВРТР обеспечивает повышение точности оценок координат ИРИ в 1,5...3,2 раз (в зависимости от начального азимута ИРИ).

В качестве показателя боевой эффективности способов определения координат ИРИ рассчитывалась вероятность визуального обнаружения наземной цели $P_{\text{обн}} = P_n P_k t/t_n$, где t – время, необходимое на обнаружение наземной цели (заданное); t_n – время, затраченное на обнаружение наземной цели; P_n – вероятность накрытия ИРИ полосой визуального обзора; P_k – вероятность контакта с целью в течение времени, затраченного на ее поиск. Расчеты проводились при следующих тактических условиях: заданное время поиска цели – 15 мин; скорость полета – 600 км/ч; ширина просматриваемой полосы местности – 50 м.

Разница между вероятностями обнаружения цели разработанного векторно-алгебраического способа по сравнению с классическим при одинаковых

вероятностях накрытия полосой цели и одинаковых вероятностях контакта с целью составляет 12,6...65 раз при прямолинейной траектории и в 12,4...65 раз при траектории с отворотом от цели.



a

б

— — с весовыми коэффициентами; — — МНК.

a – начальный азимут ИРИ $\beta_1=5^\circ$; *б* – начальный азимут ИРИ $\beta_1=15^\circ$

Рисунок 11 – Эллипсы ошибок определения координат ИРИ при 15 измерительных позициях. Начальная ошибка пеленгования $\sigma_1=1^\circ$

Таким образом, уменьшение ошибок оценивания координат естественным образом приводит к увеличению вероятности обнаружения наземной цели.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Основные научные результаты диссертации

1. Проведен анализ особенностей ведения ВРТР в современных условиях, определено, что наделение СПО функцией определения местоположения ИРИ является актуальной задачей для военной авиации Республики Беларусь [2].

2. Выявлены основные недостатки существующих способов определения местоположения наземных ИРИ, к которым отнесены: отсутствие системно проработанных вопросов постановки и решения задач определения местоположения ИРИ при их фронтальном наблюдении; упрощения в постановке задач местоопределения; применение математического аппарата, предполагающего необходимость решения переопределенных систем нелинейных (тригонометрических и трансцендентных) уравнений. Также исследованы способы уменьшения случайной погрешности пеленгования ИРИ, вызванной влиянием шумов приемного устройства системы ВРТР. Экспериментально-теоретическим методом обоснована возможность уменьшения (в 3...4 раза) систематической погрешности пеленгования ИРИ, вызванной неравномерностью реальных ДНА МИП, за счет линейной аппроксимации измеренной ПХ [1].

3. Выполнен анализ условий и характеристик исходных данных для обоснования новых способов определения местоположения наземных ИРИ в системе фронтальной ВРТР. Обоснованы диапазоны ограничений характеристик тактических условий и кинематических параметров ведения фронтальной ВРТР. Выявлены отличительные особенности характеристик радиолокационных сигналов, принимаемых станцией ВРТР при фронтальном ведении разведки. Проведено исследование потенциальных ошибок определения местоположения ИРИ (определяемых только геометрией взаимного расположения ИРИ и измерительных пунктов системы ВРТР). Получены аналитические выражения для ошибки определения дальности ИРИ и ошибки определения координат ИРИ в условиях ведения фронтальной ВРТР [4]. На основе полученных выражений выявлены факторы, оказывающие наибольшее влияние на точность определения местоположения ИРИ.

4. Обоснован псевдокинематический способ определения текущей дальности ИРИ в системе фронтальной ВРТР, который предполагает использование результатов измерений углового положения ИРИ из текущей позиции носителя системы ВРТР и нескольких предшествующих. Для поставленной задачи методом наименьших квадратов получено аналитическое решение, обеспечивающее получение оценки текущей дальности ИРИ с помощью элементарных процедур линейной алгебры [3].

5. Для обоснования способа определения координат ИРИ в системе фронтальной ВРТР получено аналитическое решение обобщенной задачи пространственной триангуляции с неравноточными измерениями. Задача формализована в классе векторно-матричных функций, что позволяет свести ее решение к решению системы линейных уравнений с фиксированной размерностью основной матрицы (3×3 для задач в пространстве и 2×2 для задач на плоскости) независимо от количества используемых измерительных пунктов. Полученное аналитическое решение является строгим и однозначным, инвариантным к начальным условиям задачи (количеству и геометрии размещения измерительных пунктов) и обеспечивает получение оценок координат ИРИ, оптимальных в смысле минимума квадрата ошибки [5].

Рекомендации по практическому использованию результатов

Результаты диссертационного исследования могут быть использованы:

при разработке перспективных систем воздушной радиотехнической разведки (*справка ООО «СКБ «Радиотехпроект» от 17.06.2024 г. о возможном практическом использовании диссертационного исследования*);

при разработке алгоритмов функционирования перспективной самолетной станции предупреждения об облучении (*справка ООО «Оборонные инициативы» от 17.06.2024 г. о возможном практическом использовании результатов диссертационного исследования*);

при проведении тактико-специальных расчетов при планировании полетов на боевое применение и совершенствовании способов боевого применения СПО и их носителей (*справка командование ВВС и войск ПВО РБ от 24.06.2024 г. о возможном практическом использовании результатов диссертационного исследования*).

Соискатель



Е.Я. Валушко

СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ СОИСКАТЕЛЯ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ

Статьи в рецензируемых научных изданиях

1. Балтян (Валушко) Е. Я., Калитин С. Б. Оценка потенциальной возможности амплитудного моноимпульсного пеленгования в самолетной станции предупреждения об облучении // Вестн. Воен. акад. Респ. Беларусь. – 2021. – № 4 (73). – С. 61–68.

2. Балтян (Валушко) Е. Я., Сулимов В. Н., Пащенко Д. К. О функциях перспективной станции предупреждения об облучении самолета для повышения ситуационной осведомленности экипажа // Вестн. Воен. акад. Респ. Беларусь. – 2022. – № 1 (74). – С. 75–86.

3. Балтян (Валушко) Е. Я., Калитин С. Б. Псевдокинематический способ оценки дальности неподвижной цели по многократным угловым измерениям // Вестн. Воен. акад. Респ. Беларусь. – 2022. – № 3 (76). – С. 31–36.

4. Балтян (Валушко) Е. Я. Анализ погрешности определения местоположения цели при фронтальном способе ведения воздушной радиотехнической разведки // Вестн. Воен. акад. Респ. Беларусь. – 2023. – № 1 (78). – С. 32–38.

5. Балтян (Валушко) Е. Я., Калитин С. Б. Решение обобщенной задачи пространственной триангуляции с неравноточными измерениями // Вестн. Воен. акад. Респ. Беларусь. – 2023. – № 2 (79). – С. 18–25.

Тезисы докладов

6. Балтян (Валушко) Е. Я., Морозов В. М., Алмаков А. Г. О потенциальной возможности применения самолетной станции предупреждения об облучении для ведения воздушной радиотехнической разведки // Актуальные вопросы науки и техники в сфере развития авиации: сб. тез. докл. XI Междунар. науч.-практ. конф. авиац. ф-та УО «ВА РБ», Минск, 21 мая 2021 г. / Воен. акад. Респ. Беларусь ; редкол.: В. С. Иванюк [и др.]. – Минск, 2021. – С. 121.

7. Балтян (Валушко) Е. Я., Калитин С. Б. Экспериментальное исследование многолучевой антенны станции предупреждения об облучении // Авиация: история, современность, перспективы развития : сб. материалов VI Междунар. науч.-практ. конф. УО «БГАА», Минск, 25 нояб. 2021 г. / Белорус. гос. акад. авиац. ; редкол.: А. А. Жукова [и др.]. – Минск, 2022. – С. 476–478.

8. Балтян (Валушко) Е. Я., Калитин С. Б. Анализ способов фильтрации оценок сигнала в станции предупреждения об облучении // Военное образование и наука в условиях цифровой трансформации знаний : сб. тез. докл. Междунар. науч. конф. УО «ВА РБ», Минск, 20 – 21 апреля 2022 г. / Воен. акад. Респ. Беларусь . – Минск, 2022. – С. 170.

9. Балтян (Валушко) Е. Я., Калитин С. Б. Алгоритмическая компенсация неидентичности приемных каналов амплитудного пеленгатора // Актуальные вопросы науки и техники в сфере развития авиации : сб. тез. докл. XII Междунар.

науч.-практ. конф. авиац. ф-та УО «ВА РБ», Минск, 19 мая 2022 г. / Воен. акад. Респ. Беларусь ; редкол.: В. С. Иванюк [и др.]. – Минск, 2022. – С. 121.

10. Балтян (Валушко) Е. Я., Калитин С. Б. Функциональные возможности типовой самолетной станции предупреждения об облучении // Прикладные аспекты научной деятельности в области обороны и безопасности государства: 20-летний опыт НИИ вооруженных сил : тез. докл. V Междунар. науч.-техн. (практ.) конф., Минск, 25-26 мая. 2022 г. / Науч.-исслед. Ин-т Вооруж. Сил Респ. Беларусь ; редкол.: Р. Л. Грушко [и др.]. – Минск, 2022. – С. 216–217.

11. Валушко Е. Я., Калитин С. Б. Определение местоположения источников радиолокационного излучения триангуляционным методом при многократных неравноточных измерениях пеленгов // Актуальные вопросы науки и техники в сфере развития авиации : сб. тез. докл. XIII Междунар. науч.-практ. конф. авиац. ф-та УО «ВА РБ», Минск, 27–28 апреля 2023 г. / Воен. акад. Респ. Беларусь ; редкол.: В. С. Иванюк [и др.]. – Минск, 2023. – С. 83.

12. Валушко Е. Я., Калитин С. Б. Анализ ошибок определения координат источников радиолокационного излучения при фронтальном способе ведения воздушной РТР // Авиация: история, современность, перспективы развития . сб. материалов VIII Междунар. науч.-практ. конф. УО «БГАА», Минск, 3 нояб. 2023 г. / Белорус. гос. акад. авиац. ; редкол.: И. Г. Яцкевич [и др.]. – Минск, 2024. – С. 338–392.

13. Валушко Е. Я., Калитин С. Б. Анализ потенциальных ошибок определения дальности ИРИ при ведении фронтальной воздушной радиотехнической разведки // Актуальные вопросы науки и техники в сфере развития авиации : сб. тез. докл. XIV Междунар. науч.-практ. конф. авиац. ф-та УО «ВА РБ», Минск, 11–12 апр. 2024 г. / Воен. акад. Респ. Беларусь ; редкол.: В. С. Иванюк [и др.]. – Минск, 2024. – С. 110.

РЕЗЮМЕ

Валушко Екатерина Яковлевна

ОБОСНОВАНИЕ СПОСОБОВ ОЦЕНКИ КООРДИНАТ НАЗЕМНЫХ ИСТОЧНИКОВ РАДИОЛОКАЦИОННОГО ИЗЛУЧЕНИЯ В СИСТЕМЕ ФРОНТАЛЬНОЙ ВОЗДУШНОЙ РАДИОТЕХНИЧЕСКОЙ РАЗВЕДКИ

Ключевые слова: источник радиолокационного излучения, станция радиотехнической разведки, фронтальная воздушная радиотехническая разведка, станция предупреждения об облучении, псевдокинематический способ, триангуляционный способ с неравноточными измерениями

Цель работы: расширение боевых возможностей типовой самолетной станции предупреждения об облучении.

Методы исследования: метод наименьших квадратов, теория вероятностей, имитационное математическое моделирование.

Полученные результаты и их новизна: проведена оценка потенциальных возможностей типовой самолетной СПО по пеленгованию ИРИ. Обоснованы требования к перспективной самолетной СПО. Проведено аналитическое исследование ошибок определения местоположения цели триангуляционным методом. Разработан псевдокинематический способ оценки дальности неподвижной цели по многократным угловым измерениям. Разработан триангуляционный способ с неравноточными измерениями для определения оценки координат ИРИ. Проведен анализ псевдокинематического способа оценки дальности и триангуляционного способа оценки координат при многократных неравноточных измерениях в различных ситуационных условиях. Проведено аналитическое исследование потенциальных ошибок определения дальности цели при ведении воздушной фронтальной ВРТР.

Рекомендации по использованию: результаты диссертационного исследования могут быть использованы: при разработке перспективных систем воздушной радиотехнической разведки ООО «СКБ «Радиотехпроект»; алгоритмов функционирования перспективной самолетной станции предупреждения об облучении ООО «Оборонные инициативы» и проведении тактико-специальных расчетов при планировании полетов на боевое применение и совершенствовании способов боевого применения СПО и их носителей «Командование ВВС и войск ПВО РФ».

Область применения: боевое применение тактической авиации.

РЭЗІЮМЭ

Валушка Кацярына Якаўлеўна

АБГРУНТАВАННЕ СПАСАБАЎ АЦЭНКІ КААРДЫНАТАЎ НАЗЕМНЫХ КРЫНІЦ РАДЫЁЛАКАЦЫЙНАГА ВЫПРАМЕНЬВАННЯ У СІСТЭМЕ ФРАНТАЛЬНАЙ ПАВЕТРАНАЙ РАДЫЁТЭХНІЧНАЙ РАЗВЕДКА

Ключавыя словы: крыніца радыёлакацыйнага выпраменьвання, станцыя радыётэхнічнай разведкі, франтальная паветраная радыётэхнічная разведка, станцыя папярэджання аб апрамяненні, псеўдакінематычны спосаб, трыангуляцыйны спосаб з нераўнадакладнымі вымярэннямі

Мэта працы: пашырэнне баявых магчымасцяў тыпавай самалётнай станцыі папярэджання аб апрамяненні.

Метады даследавання: метады найменшых квадратаў, тэорыя верагоднасцяў, імітацыйнае матэматычнае мадэляванне.

Атрыманыя вынікі і іх навізна: праведзена ацэнка патэнцыяльных магчымасцяў тыпавай самалётнай СПА па пеленгаванню крыніц радыёлакацыйнага выпраменьвання. Абгрунтаваны патрабаванні да перспектыўнай самалётнай СПА. Праведзена аналітычнае даследаванне памылак вызначэння месцазнаходжання мэты трыангуляцыйным метадам. Распрацаваны псеўдакінематычны спосаб ацэнкі далёкасці нерухомай мэты па шматразовым кутнім вымярэннях. Распрацаваны трыангуляцыйны спосаб з нераўнадакладнымі вымярэннямі для вызначэння ацэнкі каардынатаў крыніцы радыёлакацыйнага выпраменьвання. Праведзены аналіз псеўдакінематычнага спосабу ацэнкі далёкасці і трыангуляцыйнага спосабу ацэнкі каардынатаў пры шматразовых нераўнадакладных вымярэннях у розных сітуацыйных умовах. Праведзена аналітычнае даследаванне патэнцыяльных памылак вызначэння далёкасці мэты пры вядзенні паветранай франтальнай радыётэхнічнай выведкі.

Рэкамендацыі па выкарыстанні: вынікі дысертацыйнага даследавання могуць быць выкарыстаны: пры распрацоўцы перспектыўных сістэм паветранай радыётэхнічнай выведкі ТАА «СКБ» Радыётэхпраект»; алгарытмаў функцыянавання перспектыўнай самалётнай станцыі папярэджання аб апрамяненні ТАА «Абаронныя ініцыятывы» і правядзенні тактыка-спецыяльных разлікаў пры планаванні палётаў на баявое прымяненне і ўдасканаленні спосабаў баявога прымянення СПА і іх носбітаў «Камандаванне ВПС і войскаў СПА РБ».

Вобласць ужывання: баявое прымяненне тактычнай авіяцыі.

RESUME

Valushko Ekaterina

JUSTIFICATION OF METHODS FOR ESTIMATING COORDINATES GROUND-BASED RADAR SOURCES IN THE FRONTAL AIR VENTILATION SYSTEM ELECTRONIC INTELLIGENCE

Keywords: radar radiation source, radio-technical reconnaissance station, frontal aerial radio-technical reconnaissance, radiation warning station, pseudo-kinematic method, triangulation method with uneven measurements

The purpose of the work: to expand the combat capabilities of a typical aircraft radiation warning station.

Research methods: least squares method, probability theory, simulation mathematical modeling.

The results obtained and their novelty: an assessment of the potential capabilities of a typical aircraft SPO for IRI bearing has been carried out. The requirements for a promising aircraft air defense system are substantiated. An analytical study of errors in determining the location of the target by the triangulation method has been conducted. A pseudokinematic method for estimating the range of a fixed target from multiple angular measurements has been developed. A triangulation method with non-precision measurements has been developed to determine the estimate of the coordinates of the IRI. The analysis of a pseudo-kinematic method for estimating range and a triangulation method for estimating coordinates with multiple non-precision measurements in various situational conditions is carried out. An analytical study of potential errors in determining the target range during aerial frontal aerial electronic reconnaissance has been conducted.

Recommendations for use: the results of the dissertation research can be used: during the development of promising aerial radio reconnaissance systems SKB «Radiotekhproekt»; when developing algorithms for the operation of a promising aircraft radiation warning station LLC «Defense Initiatives» and when conducting tactical and special calculations when planning fields for combat use and improving the methods of combat use of PDF and their carriers «Command of the Air Force and Air Defense Forces of the Republic of Belarus».

Scope of application: combat use of tactical aviation.

Подписано в печать . Формат 60×80/16. Бумага офсетная. Ризография.
Усл. печ. л. 2,93. Тираж 40 экз. Заказ .
Полиграфическое исполнение:
учреждение образования «Военная академия Республики Беларусь».
Свидетельство о государственной регистрации издателя, изготовителя,
распространителя печатных изданий
№ 2/81 от 19.03.2014.
Пр. Независимости, 220, 220057, Минск.