

На правах рукописи



Волков Антон Михайлович

**РАДИОПОДАВЛЕНИЕ СРЕДСТВ РАДИОТЕХНИЧЕСКОЙ РАЗВЕДКИ
В ИНТЕРЕСАХ ЗАЩИТЫ РАДИОЛОКАЦИОННЫХ СРЕДСТВ**

Специальность 2.2.16.

Радиолокация и радионавигация
(технические науки)

Автореферат

диссертации на соискание учёной степени
кандидата технических наук

Москва – 2024

Работа выполнена на кафедре 405 «Теоретическая радиотехника» Московского авиационного института (национального исследовательского университета)

Научный руководитель: - **Юдин Василий Николаевич**
доктор технических наук, профессор,
Московский авиационный институт
(национальный исследовательский университет)

Официальные оппоненты: - **Павлов Виктор Анатольевич**
доктор технических наук, доцент,
главный специалист отдела системных
исследований управления разработки
средств радиоэлектронного подавления
АО «НТЦ РЭБ», г. Москва

- **Агапов Олег Александрович**
кандидат технических наук,
начальник лаборатории
АО «НПО дальней радиолокации», г. Москва

Ведущая организация: ФГБУ 3 Центральный научно-исследовательский институт Министерства обороны Российской Федерации, г. Москва

Защита состоится «17» сентября 2024 года в «10:00» на заседании диссертационного совета 24.2.327.01 в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Московский авиационный институт» (национальный исследовательский университет)» по адресу: 125993, г. Москва, Волоколамское шоссе, д. 4.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)» и на сайте МАИ по ссылке:

https://mai.ru/events/defence/?ELEMENT_ID=179072

Автореферат разослан «__» _____ 2024 г.

Отзывы, заверенные печатью, просим направлять по адресу:
125993, г. Москва, Волоколамское шоссе, д. 4, Ученый совет МАИ.

Ученый секретарь диссертационного совета



А.А. Горбунова

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования обусловлена высоким уровнем развития современной техники радиотехнической разведки (РТР) и необходимостью защиты радиолокационных средств (РЛС) различного назначения от средств РТР. Техническое совершенство и широкое распространение средств РТР привело к возникновению серьезных проблем для РЛС различного назначения. Информация, получаемая от средств РТР, может быть использована противной стороной при организации противодействия функционированию РЛС средствами радиоэлектронной борьбы (РЭБ) и/или огневого поражения.

К традиционным мерам защиты от средств РТР, применяемым при разработке и эксплуатации современных РЛС, относятся уменьшение мощности зондирующего излучения, снижение уровней боковых лепестков диаграммы направленности (ДН) антенны, перестройка несущей частоты и частоты повторения импульсов, использование «трудноразведуемых» сигналов. Кроме того, могут быть применены многопозиционное построение, а также сокращение времени излучения и быстрая смена позиций РЛС.

Однако перечисленные меры оказываются эффективными не всегда и не в достаточной степени. Сказанное объясняется, прежде всего, высоким уровнем развития современной техники РТР. Достижимые уровни чувствительности приемных трактов средств РТР обычно достаточны для обнаружения сигналов, излучаемых в направлениях главных и ближних боковых лепестков ДН антенны РЛС, а также, во многих случаях, в направлениях дальних боковых лепестков. Как правило, в современных средствах РТР реализуется мгновенный обзор рабочих угловых секторов (за счет использования слабонаправленных и многолучевых антенн) и рабочих диапазонов частот (за счет использования широкополосных и многоканальных по частоте приемных устройств). Высоких уровней развития достигли также методы и средства измерения параметров, распознавания и сортировки обнаруживаемых сигналов, местоопределения, идентификации разведываемых РЭС, определения их носителей.

Другая причина недостаточной эффективности традиционных мер защиты РЛС от средств РТР заключается в том, что они не всегда реализуемы. Например, оказывается проблематичным энергетическое скрывание высокопотенциальных РЛС, работающих в составе наземных средств противовоздушной обороны (ПВО) и других. Скрывание параметров излучения РЛС путем их перестройки по труднопредсказуемым законам также не всегда позволяет достичь желаемого результата. Допустимая полоса перестройки несущей частоты РЛС обычно не превышает нескольких процентов от центральной частоты рабочей полосы. Применение широкополосных сигналов с различными видами внутриимпульсной частотной и фазовой модуляции также не всегда обеспечивает достаточные уровни скрытности РЛС от средств РТР. Существуют и другие причины, затрудняющие решение задач снижения разведываемости РЛС.

Указанные обстоятельства приводят к тому, что современные средства РТР могут, как правило, успешно решать задачи обнаружения, определения параметров излучения, идентификации и местоопределения высокопотенциальных РЛС с направлений главного и боковых (как ближних, так и дальних) лепестков ДН их антенн.

В связи со сказанным, актуальны другие подходы к повышению защищенности РЛС от средств РТР (снижению разведваемости РЛС), основанные, в частности, на радиоподавлении средств РТР. Суть таких подходов заключается в создании радиопомех средствами РТР, ведущим разведку защищаемых РЛС.

Степень разработанности темы

Проблеме разработки способов защиты радиоэлектронных средств (РЭС) от средств разведки уделяется внимание в работах Ю.К. Меньшакова, А.А. Хорева, Ю.Ф. Каторина, П.А. Кострыкина, А.И. Куприянова, Н.Ф. Николенко, В.Е. Дулевича, С.Г. Вороны, Ю.М. Перунова, В.В. Цветнова, С.В. Козлова, Н.Н. Литвинова, Г.И. Тузова, Л.Е. Варакина, В.И. Борисова и других авторов. В этих работах проблема защиты РЭС от средств РТР освещена преимущественно с позиций традиционных подходов (уменьшение импульсной мощности излучения, снижение уровней боковых лепестков ДН антенны, многопозиционное построение РЛС, использование трудноразведываемых (скрытных) зондирующих сигналов и т. д.).

Анализ публикаций по обсуждаемой тематике на предмет разработок нетрадиционных подходов к повышению защищенности РЛС от средств РТР позволяет выделить работы Ю.К. Меньшакова, Н.Ф. Николенко. В этих работах, в основном, упоминается возможность воздействия на средства РТР радиопомехами, однако отсутствуют количественный анализ и конкретные технически реализуемые предложения. Отдельно следует выделить работу В.С. Набилкина, в которой предложено использовать поляризационно-модулированные помехи для подавления средств РТР в целях повышения скрытности РЛС.

Объект и предмет исследования

В диссертационной работе в качестве объекта исследования рассматривается защищенность РЛС от средств РТР. Предмет исследования – методы и способы защиты РЛС, основанные на радиоподавлении средств РТР.

Целью работы является повышение защищенности РЛС за счет разработки технически реализуемых предложений по радиоподавлению средств РТР.

Для достижения поставленной цели решаются следующие **задачи**:

1. Обоснование актуальности противодействия РТР средствами радиоподавления в интересах защиты РЛС.
2. Определение содержания и возможностей противодействия средствам РТР в интересах защиты РЛС методами радиоподавления.
3. Определение трудностей, возникающих при реализации радиоподавления средств РТР, и путей их преодоления.

4. Разработка технически реализуемых предложений по защите РЛС от средств РТР методами радиоподавления.

5. Разработка критериев и количественных показателей эффективности радиоподавления средств РТР в интересах защиты РЛС.

6. Анализ эффективности разработанных предложений по защите РЛС от средств РТР методом модельного эксперимента.

Научная новизна

В рамках исследования получены следующие новые научные результаты:

1. Разработан методический аппарат анализа защищенности РЛС от средств РТР методами шумовой маскировки излучения РЛС, включающий:

– критерии подавления средств РТР в интересах защиты РЛС;

– показатели количественной оценки эффективности радиоподавления средств РТР в интересах защиты РЛС;

– методики определения требуемой мощности САП шумового прикрытия, реализующих защиту РЛС от средств РТР применительно к различным сценариям прикрытия;

– методики оценки эффективности защиты РЛС от средств РТР, основанные на предложенных количественных показателях.

2. Предложен подход к обеспечению электромагнитной совместимости защищаемого РЛС и средств шумового прикрытия РЛС, размещаемых на платформе РЛС, на позиции РЛС, за пределами позиции РЛС, а также встроенных в антенно-передающий тракт РЛС, основанный на прицельной по времени маскировке излучения РЛС шумовыми импульсами «ответного» или «накрывающего» типа.

3. Предложен оригинальный способ защиты РЛС от средств РТР, предполагающий использование «отвлекающих передатчиков», традиционно решающих задачи защиты РЛС от противорадиолокационных ракет, в интересах шумовой маскировки бокового излучения РЛС.

4. Предложен оригинальный способ защиты РЛС от средств РТР, позволяющий реализовать маскировку как бокового, так и зондирующего излучения РЛС, основанный на использовании антенны, передающего устройства и энергетического ресурса защищаемого РЛС в интересах шумовой маскировки излучения РЛС.

5. Предложен оригинальный способ защиты РЛС от средств РТР, основанный на совместном использовании средств шумовой маскировки излучения РЛС, встроенных в антенно-передающий тракт защищаемого РЛС, и имитатора излучения РЛС, расположенного на удаленной позиции, позволяющий создать неопределенность положения РЛС на местности.

Теоретическая и практическая значимость результатов диссертации состоит в следующем:

1. Результаты работы по выявлению содержания и возможных подходов к организации защиты РЛС от средств РТР с использованием средств радиоподавления могут быть использованы при определении стратегии

защиты РЛС от различных угроз, связанных с действием средств РТР, на ранних этапах проектирования РЛС.

2. Технически реализуемые предложения по организации защиты РЛС от средств РТР, разработанные в диссертации, могут быть использованы в работах по проектированию новых и модернизации существующих образцов РЛС.

3. Разработанный в диссертации аппарат анализа эффективности защиты РЛС от средств РТР, основанный на определении «зональных показателей» методом модельного эксперимента, может быть использован при проведении аналогичных работ, что позволит экономить материальные и временные ресурсы.

Личный вклад

Автором разработаны новые технически реализуемые предложения по защите радиолокационных средств от средств радиотехнической разведки методами радиоподавления и показатели их эффективности, а также описательные, математические и компьютерные имитационные модели. Автором проведены модельные эксперименты и анализ эффективности разработанных предложений.

Внедрение результатов

Результаты диссертационной работы, а именно разработанный методический аппарат анализа защищенности РЛС от средств РТР методами шумовой маскировки, использован на предприятии ПАО «НПО «Алмаз» в ОКР «Триумфатор-М» и ОКР «Триумфатор-М1», что подтверждено соответствующим актом внедрения.

Методы исследования, использованные в диссертационной работе, включают системный и математический анализ, теорию статистической радиотехники и радиоэлектронной борьбы, компьютерное имитационное моделирование.

Положения, выносимые на защиту:

1. Предложенный способ защиты РЛС от средств РТР, основанный на прицельной по времени маскировке излучения РЛС шумовыми импульсами (ШИ) «накрывающего» или «ответного» типа, позволяет обеспечить электромагнитную совместимость защищаемого РЛС и средств активных помех (САП) прикрытия РЛС по каналу прямого распространения ШИ на трассе «САП - РЛС» при размещении САП на позиции и на платформе РЛС.

2. Предложенный способ защиты РЛС от средств РТР, основанный на использовании средств шумовой маскировки излучения РЛС, размещаемых на позиции защищаемого РЛС и построенных на базе традиционных средств защиты РЛС от противорадиолокационных управляемых ракет (ПРУР) путем реализации в этих средствах дополнительного режима «Защита от средств РТР», позволяет снизить суммарные затраты на защиту РЛС от средств РТР и ПРУР, при этом применительно к РЛС малой и средней дальности с характеристиками, рассмотренными в работе, реализуется шумовая маскировка бокового излучения в угловых секторах, где уровни боковых лепестков ДН защищаемого РЛС не превышают (-50 ... -30) дБ.

3. Предложенный способ защиты РЛС от средств РТР, основанный на применении встроенных в РЛС средств шумовой маскировки излучения и использующих антенну и передающее устройство РЛС, позволяет обеспечить маскировку как бокового, так и зондирующего излучения РЛС за счет использования только собственного энергетического ресурса РЛС, при этом требуемая величина $q_{\text{МШ/ЗС}}$ отношения мощностей маскирующего шума (МШ) и зондирующего сигнала (ЗС) зависит от вероятностей $D_{\text{РТР}}$ и $F_{\text{РТР}}$ правильного обнаружения и ложной тревоги обнаружителя из состава подавляемого средства РТР, а уменьшение дальности радиолокации, возникающее из-за действия шумовых эхоимпульсов от лоцируемых объектов, может быть установлено на допустимом уровне путем соответствующего увеличения базы зондирующего сигнала РЛС.

Степень достоверности и апробация результатов

Достоверность полученных результатов работы подтверждается применением корректных математических и описательных моделей, отсутствием противоречий между теоретическими предположениями и полученными результатами модельных экспериментов, а также логической обоснованностью выводов.

Материалы диссертационной работы обсуждались на 17-й Международной конференции «Авиация и космонавтика – 2018» (Москва, МАИ, 2018 г.), международной молодежной научной конференции Гагаринские чтения – 2019 (Москва, МАИ, 2019 г.), 18-й Международной конференции «Авиация и космонавтика – 2019» (Москва, МАИ, 2019 г.), международной молодежной научной конференции Гагаринские чтения – 2020 (Москва, МАИ, 2020 г.), международной научной конференции «2020 Systems of signals generating and processing in the field of onboard communications» (Москва, МТУСИ, 2020 г.), 19-й Международной конференции «Авиация и космонавтика» (Москва, МАИ, 2020 г.), 20-й Международной конференции «Авиация и космонавтика» (Москва, МАИ, 2021 г.).

Структура и объем работы

Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, списка сокращений и условных обозначений, списка литературы и одного приложения. Диссертация содержит 180 страниц текста, 74 рисунка, 9 таблиц. Список литературы включает 85 наименований.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во **введении** обоснована актуальность темы диссертационной работы, формулированы цели и задачи, научная новизна, теоретическая и практическая значимость полученных результатов, изложены положения, выносимые на защиту, и приведена структура диссертации.

В **первом разделе** приводятся общие сведения о современных средствах РТР на основе анализа литературы, изложены традиционные методы защиты РЛС от средств РТР и анализ их эффективности, приводится подробное обоснование необходимости противодействия обнаружению координат

(местоопределению) РЛС средствами РТР на основании расчета достижимых уровней ошибок местоопределения РЛС угломерным методом с применением алгоритмов определения координат, оптимизированных по критериям наименьших квадратов и наибольшего правдоподобия.

Во втором разделе определены возможности защиты РЛС от средств РТР методами радиоподавления, выявлена сущность и определена классификация радиоподавления средств РТР в интересах защиты РЛС, изложены физико-математические основы активной маскировки, имитации и искажения излучения защищаемого РЛС, приводятся требования к активной маскирующей радиопомехе и критерии подавления средства РТР, определена мощность САП шумового прикрытия РЛС, требуемая для подавления средства РТР, приведены зональные показатели эффективности радиоподавления средства РТР методом шумовой маскировки излучения защищаемого РЛС, проблемы электромагнитной совместимости защищаемого РЛС и САП шумовой маскировки излучения РЛС, приведены возможные варианты применения помех имитирующего и искажающего действия в интересах защиты РЛС.

Для подавления средства РТР помехой маскирующего действия должен быть выполнен критерий подавления. Общее условие подавления средства РТР в развернутом виде (строгий критерий):

$$\frac{P_{\text{ШП вх. СРТР}}}{P_{\text{с. вх. СРТР}}} = \frac{P_{\text{САП}} G_{\text{САП}}^{\text{СРТР}} G_{\text{СРТР}}^{\text{САП}} \gamma_{\text{САП}}^{\text{СРТР}} (r_{\text{РЛС}}^{\text{СРТР}})^2}{P_{\text{РЛС}} G_{\text{РЛС}}^{\text{СРТР}} G_{\text{СРТР}}^{\text{РЛС}} \gamma_{\text{РЛС}}^{\text{СРТР}} (r_{\text{САП}}^{\text{СРТР}})^2 K_{\text{ШП}f}} \geq K_{\text{под}} (\text{ПК}_{\text{треб}}), \quad (1)$$

где $P_{\text{ШП вх. СРТР}}$ – мощность шумовой радиопомехи (ШП) на входе приемника средства РТР (СРТР); $P_{\text{с. вх. СРТР}}$ – мощность сигнала РЛС на входе приемника СРТР; $P_{\text{РЛС}}$ – импульсная мощность излучения РЛС; $P_{\text{САП}}$ – мощность САП на входе его передающей антенны; $G_{\text{РЛС}}^{\text{СРТР}}$ – коэффициент усиления антенны РЛС в направлении СРТР; $G_{\text{САП}}^{\text{СРТР}}$ – коэффициент усиления антенны САП в направлении СРТР; $G_{\text{СРТР}}^{\text{РЛС}}$ – коэффициент усиления приемной антенны СРТР в направлении РЛС; $G_{\text{СРТР}}^{\text{САП}}$ – коэффициент усиления антенны СРТР в направлении САП; λ – длина волны излучения РЛС; $\gamma_{\text{РЛС}}^{\text{СРТР}}$, $\gamma_{\text{САП}}^{\text{СРТР}}$ – коэффициенты, учитывающие рассогласование поляризаций антенн РЛС и СРТР, САП и СРТР; $r_{\text{РЛС}}^{\text{СРТР}}$ – расстояние между РЛС и СРТР, $r_{\text{САП}}^{\text{СРТР}}$ – расстояние между САП и СРТР; $K_{\text{ШП}f}$ – относительная ширина спектра ШП (параметр прицельности ШП по частоте).

В случае реализации шумовой маскировки излучения защищаемого РЛС строгий критерий предполагает создание на входе приемника подавляемого средства РТР отношения ШП / (сигнал защищаемого РЛС) по мощности, величина которого превышает заданное значение – коэффициент подавления. Для практики характерны ситуации, когда на стороне защищаемого РЛС

какие-либо сведения относительно средств РТР противной стороны отсутствуют, либо имеются лишь ограниченные сведения.

В указанных условиях организация шумовой маскировки излучения РЛС в требуемой зоне возможна путем перехода к использованию упрощенного критерия (условия) подавления средства РТР, имеющего вид

$$\frac{P_{САП} G_{САП}^A (r_{РЛС}^A)^2}{P_{РЛС} G_{РЛС}^A (r_{САП}^A)^2} \geq K_{\text{под}} (\text{ПК}_{\text{треб}}), \quad (2)$$

где $G_{САП}^A$ и $G_{РЛС}^A$ – коэффициент усиления антенны соответственно САП и РЛС в направлении произвольной рассматриваемой точки А; $r_{САП}^A$ и $r_{РЛС}^A$ – расстояния соответственно от САП и от РЛС до произвольной рассматриваемой точки А; $K_{\text{под}}(\text{ПК}_{\text{треб}})$ – коэффициент подавления, зависящий от показателя качества радиоподавления $\text{ПК}_{\text{треб}}$, аналогичный таковому в общем условии подавления (1). Упрощенный критерий предполагает создание ШП с плотностью потока мощности, превышающей плотность потока мощности излучения РЛС в рассматриваемой точке в требуемое число раз, определяемое коэффициентом подавления.

Для использования упрощенного критерия подавления средства РТР применительно к любой рассматриваемой точке необходимо обеспечить только отсутствие углового разрешения защищаемого РЛС и САП шумового прикрытия из этой точки средством РТР. Совокупность точек, в которых упрощенный критерий выполняется, образует «зону маскировки излучения РЛС» (ЗМИ РЛС), которая является пространственным показателем эффективности шумовой маскировки РЛС, и представляет интерес, так как на практике, как правило, отсутствуют сведения о средствах РТР.

В работе рассматриваются РЛС обнаружения ВЦ малой и средней дальностей действия с типовыми характеристиками, приведенными в таблице 1.

Таблица 1 - Характеристики РЛС

Параметр РЛС	РЛС малой дальности	РЛС средней дальности
Импульсная мощность, кВт	60	200
Длина волны, см	4	7
Коэффициент усиления антенны в максимуме ДН, дБ	40	40
Уровень боковых лепестков ДН антенны, дБ		
ближних	-22	-22
дальних	-50	-50
Ширина ДН антенны, град		
по азимуту	1	2
по углу места	3	1,5
Сектор обзора, град		
по азимуту	360	360
по углу места	60	60
Сканирование главным лепестком ДН		
по азимуту	механическое	механическое
по углу места	электронное	электронное
Индикаторная дальность, км	30	250
Тип сигнала	Импульсный	Импульсный, ЛЧМ

Пример 1. Расчет зонального показателя ЗМИ РЛС применительно к защите РЛС малой дальности действия. Исходные данные для расчетов: усиление антенн САП в направлении максимумов ДН $G_{САП}^{max} = 10$ дБ параметр прицельности ШП по частоте $K_{ШПf} = 1$; коэффициент подавления $K_{под}(ПК_{треб}) = 1$.

Рисунок 1 относится к случаю, когда антенны четырех САП расположены на позиции РЛС. Диаграмма направленности антенны каждого САП перекрывает соответствующую зону шириной 90° по азимуту независимо от процесса сканирования ДН антенны РЛС (ширина ДН антенн САП по азимуту $\theta_{\beta САП} = 90^\circ$, разнос ДН антенн по азимуту $\Delta_{\beta САП} = 45^\circ$). Координаты РЛС: (300;300) км. Координаты САП: САП₁ - (301;301) км; САП₂ - (299;301) км; САП₃ - (299;299) км; САП₄ - (301;299) км. Фиолетовым цветом обозначены ДН антенн САП, черным цветом – ДН антенны РЛС. Зона, в пределах которой излучение РЛС замаскировано, обозначена красным цветом. Серым цветом обозначена часть рассматриваемой плоскости, в которой излучение РЛС не замаскировано.

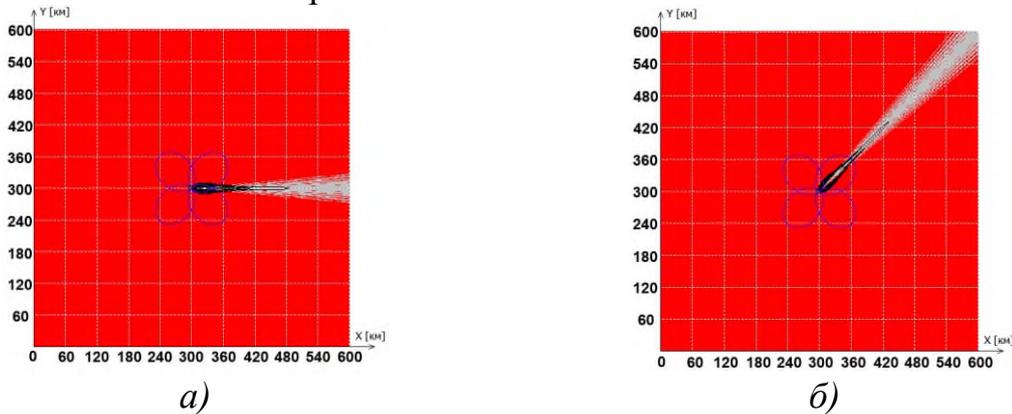


Рисунок 1 - ЗМИ РЛС малой дальности, при расположении САП шумового прикрытия на позиции РЛС

$$a) P_{САП1} = P_{САП2} = P_{САП3} = P_{САП4} = 7000 \text{ Вт}, \quad \beta_{ГЛ РЛС} = 90^\circ$$

$$b) P_{САП1} = P_{САП2} = P_{САП3} = P_{САП4} = 7000 \text{ Вт}, \quad \beta_{ГЛ РЛС} = 45^\circ$$

Пример 2. Расчет зонального показателя ЗМИ РЛС применительно к защите РЛС средней дальности действия (см. рисунок 2). Исходные данные для расчетов: $G_{САП}^{max} = 10$ дБ; $K_{ШПf} = 1$; $K_{под}(ПК_{треб}) = 1$.

Расположение средств и условные обозначения на рисунке 2 аналогичны обозначениям рисунка 1.

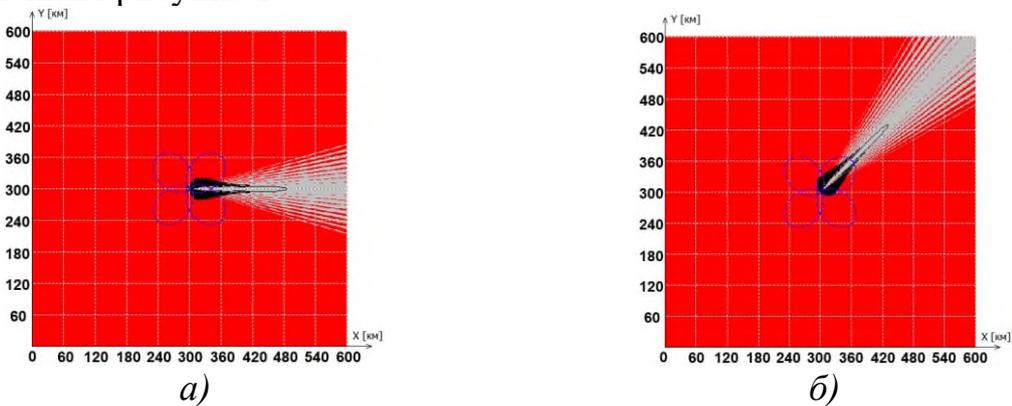


Рисунок 2 - ЗМИ РЛС средней дальности, при расположении САП шумового прикрытия на позиции РЛС

$$a) P_{САП1} = P_{САП2} = P_{САП3} = P_{САП4} = 15000 \text{ Вт}, \quad \beta_{ГЛ РЛС} = 90^\circ$$

$$b) P_{САП1} = P_{САП2} = P_{САП3} = P_{САП4} = 15000 \text{ Вт}, \quad \beta_{ГЛ РЛС} = 45^\circ$$

В третьем разделе определены трудности, возникающие при организации активного радиоподавления РЛС и возможные пути их преодоления, разработаны технически реализуемые предложения по организации радиоподавления средств РТР в интересах защиты РЛС, определена сущность и приведены параметры предлагаемых способов защиты РЛС и оценка влияния шума, маскирующего излучение РЛС, на дальность радиолокации.

При организации радиоподавления средств РТР в интересах защиты РЛС возникают следующие трудности:

- для обеспечения возможностей шумовой маскировки, а также имитации и искажения излучения защищаемого РЛС, формируемого в угловом секторе главного и(или) первых боковых лепестков ДН антенны, требуются САП с очень высокими уровнями энергопотенциала, сопоставимым с энергопотенциалом защищаемого РЛС, который в случае РЛС обнаружения ВЦ и многофункциональных РЛС может достигать ($10^8 \dots 10^9$) Вт и более;

- активное прикрытие РЛС должно обеспечиваться в широком секторе боковых лепестков ДН защищаемого РЛС или (и) по частоте;

- при решении задач шумовой маскировки излучения защищаемого РЛС неизбежно возникает необходимость обеспечения электромагнитной совместимости (ЭМС) этого РЛС и САП шумового прикрытия;

- аддитивное взаимодействие излучения САП шумовой маскировки и зондирующего излучения защищаемого РЛС неизбежно приводит к уменьшению дальности радиолокационного наблюдения РЛС («сжатую» зоны видимости РЛС).

Меры по преодолению трудностей, возникающих при организации радиоподавления средств РТР, предложенные в диссертационной работе, позволили разработать технически реализуемые предложения по организации защиты РЛС от средств РТР следующими способами.

Шумовая маскировка излучения РЛС, основанная на использовании САП, размещаемых на позиции РЛС, позволяет реализовать маскировку бокового излучения РЛС. Электромагнитная совместимость САП и РЛС обеспечивается за счет использования шумовых импульсов «накрывающего» или «ответного типов».

Под позицией РЛС понимается участок местности, в пределах которого развертывается штатный комплект технических средств РЛС, в том числе, средств защиты РЛС. Защищаемое РЛС и САП шумового прикрытия разнесены в пространстве. Расстояние $r_{САП}^{РЛС}$ между точками стояния САП и РЛС не должно превышать $R_{м.з}$ радиус мертвой зоны, а также $r_{САП}^{РЛС}$ не должно превышать величину $\delta_{СРТР}$ линейного разрешения на местности, обеспечиваемого подавляемым СРТР. Второе условие означает, что РЛС и САП не разрешаются пеленгатором средства РТР.

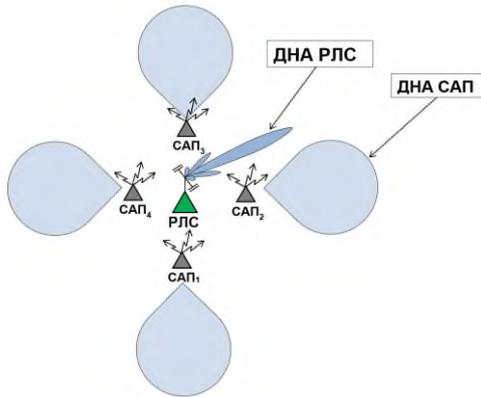


Рисунок 3 - Вариант размещения САП на позиции РЛС

передатчиков», традиционно используемых как средство защиты РЛС от противорадиолокационных управляемых ракет путем введения дополнительного режима – «защита от средств РТР» Вид ЗМИ РЛС применительно к защите РЛС малой и средней дальности для рассматриваемого варианта шумовой маскировки аналогичен приведенным на рисунках 1 и 2.

Шумовая маскировка бокового излучения РЛС от орбитальных средств РТР предполагает, что защищаемое РЛС и САП шумового прикрития разнесены в пространстве. Антенна САП ориентирована в верхнюю полусферу в направлении орбиты космического ЛА (КЛА) радиотехнической разведки противной стороны. Если орбита КЛА неизвестна, антенна САП шумовой маскировки ориентируется в зенит. Ширина ДН антенны САП удовлетворяет условию обеспечения требуемой зоны маскировки. Расстояние $r_{САП}^{РЛС}$ не должно превышать величину $\delta_{СРТР}$ линейного разрешения на местности, обеспечиваемого подавляемым средством РТР (РЛС и САП не разрешаются пеленгатором средства РТР). Маскировка импульсов бокового излучения защищаемого РЛС выполняется прицельно по времени. Способ поясняется на рисунке 4, где обозначено: $r_{САП}^{РЛС}$ расстояние между САП и РЛС; $\theta_{САП}$ – ширина ДН антенны САП; ЗИ и БИ – зондирующее и боковое излучение РЛС; ШИ – шумовое излучение САП.

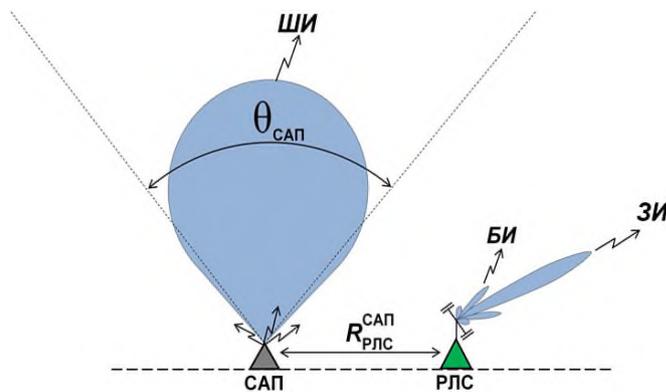


Рисунок 4 - Способ защиты бокового излучения РЛС от орбитальных средств РТР

Ширина ДН антенны САП и ориентация ДН выбираются из условия обеспечения маскировки бокового излучения РЛС в пределах заданного углового сектора.

Возможно размещение на позиции РЛС нескольких САП, каждое из которых «обслуживает» свой угловой сектор. Вариант такого размещения с участием четырех САП, обслуживающих совместно зону 360°, представлен на рисунке 3. САП реализуются на базе т.н. «отвлекающих

Шумовая маскировка излучения РЛС, основанная на использовании САП, встроенного в антенно-передающий тракт РЛС, позволяет реализовать маскировку как бокового, так и зондирующего (по главному лепестку ДН) излучения РЛС. При этом САП шумового прикрития использует общие с защищаемым РЛС передающий

тракт и антенну. Основная антенна и усилительный тракт передатчика РЛС используются не только для излучения зондирующих сигналов, но также в интересах шумового прикрытия этого РЛС.

Реализация такого подхода поясняется схемой, представленной на рисунке 5, где обозначено: ФЗС – формирователь зондирующего сигнала; ФМШ – формирователь маскирующего шума; Упр – управление; Сум – суммирование; Ус – усиление; ППП – переключатель «прием-передача»; Пр – приемник; ЗС – зондирующий сигнал; ЭС – эхосигнал; ЭШ – «эхошум»; МШ – маскирующий шум; $A_{РЛС}$ – антенна РЛС.

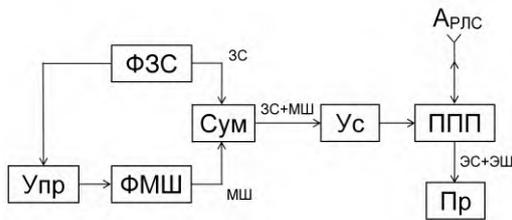


Рисунок 5 - Функциональная схема антенно-передающего тракта РЛС со встроенным САП

и конца (задний фронт) шумового импульса; $\tau_{ШИ}$ – длительность шумового импульса; $\tau_{упр}$ – временное упреждение переднего фронта ШИ относительно переднего фронта ЗИ. Момент $t_{ш.кон}$ окончания ШИ всегда запаздывает относительно заднего фронта ЗИ, при этом длительность шумового импульса $\tau_{ШИ} = t_{ш.кон} - t_{ш.нач} > \tau_{ЗИ}$. Величина этого запаздывания определяет радиус $R_{м.з}$ «расширенной мертвой зоны» защищаемого РЛС согласно соотношению

$$R_{м.з} = \frac{c(\tau_{ШИ} - \tau_{упр})}{2}, \quad (3)$$

где c – скорость распространения радиоволн.

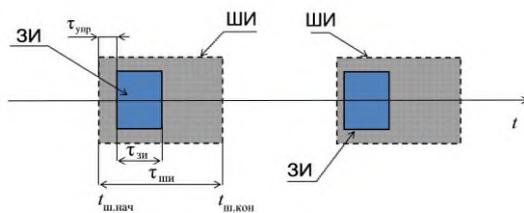


Рисунок 6 - Маскирующие шумовые импульсы «накрывающего» типа

Важным параметром рассматриваемого способа является отношение

$$q_{ШИ/ЗИ}^2 = \frac{P_{ШИ}}{P_{ЗИ}} \quad (4)$$

мощностей $P_{ШИ}$ и $P_{ЗИ}$ шумового и зондирующего импульсов, которое должно быть установлено в передающем тракте защищаемого РЛС при формировании рабочего излучения, представляющего собой смесь «ЗИ+ШИ». Величина $q_{ШИ/ЗИ}^2$ должна обеспечивать требуемые значения вероятностей правильного обнаружения ($D_{РТР}$) и ложной тревоги ($F_{РТР}$) при обнаружении ЗИ в приемном

Электромагнитная совместимость РЛС и САП обеспечивается за счет использования *маскирующих шумовых импульсов «накрывающего» типа*. Сущность способа поясняется на рисунке 6, где обозначено: ЗИ – импульс зондирующего (или бокового) излучения РЛС; ШИ – шумовой импульс; $t_{ш.нач}$ и $t_{ш.кон}$ – моменты начала (передний фронт) и

конца (задний фронт) шумового импульса; $\tau_{ШИ}$ – длительность шумового импульса; $\tau_{упр}$ – временное упреждение переднего фронта ШИ относительно переднего фронта ЗИ. Момент $t_{ш.кон}$ окончания ШИ всегда запаздывает относительно заднего фронта ЗИ, при этом длительность шумового импульса $\tau_{ШИ} = t_{ш.кон} - t_{ш.нач} > \tau_{ЗИ}$. Величина этого запаздывания определяет радиус $R_{м.з}$ «расширенной мертвой зоны» защищаемого РЛС согласно соотношению

тракте подавляемого средства РТР. Соотношение, связывающее величину $q_{\text{ШИ/ЗИ}}^2(D_{\text{РТР}}, F_{\text{РТР}})$ с вероятностями $D_{\text{РТР}}, F_{\text{РТР}}$ имеет вид:

$$q_{\text{ШИ/ЗИ}}^2(D_{\text{РТР}}, F_{\text{РТР}}) = \frac{Lg(D_{\text{РТР}})}{Lg(F_{\text{РТР}}) - Lg(D_{\text{РТР}})}. \quad (5)$$

Результаты расчетов по формуле (5) представлены в виде графиков на рисунке 7.

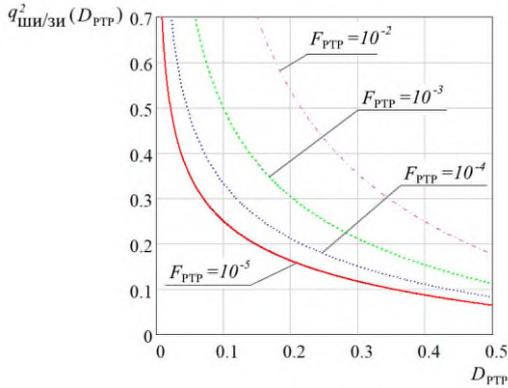


Рисунок 7 - Зависимость отношения мощностей шумового и зондирующего импульсов от $D_{\text{РТР}}$ при различных значениях $F_{\text{РТР}}$

Анализ результатов расчетов показывает, что величина $q_{\text{ШИ/ЗИ}}^2$, достаточная для качественной маскировки зондирующего импульса, излучаемого защищаемым РЛС, может быть относительно небольшой. Так, если $q_{\text{ШИ/ЗИ}}^2 = 0,3$, то вероятность правильного обнаружения ЗИ на фоне ШИ в приемном тракте средства РТР при вероятности ложной тревоги $F_{\text{РТР}} = 10^{-4}$ составляет $D_{\text{РТР}} = 0,12$.

Коэффициент сжатия зоны радиолокационного наблюдения при действии маскирующего шума в виде ШИ:

$$K_{\text{сж}} = \sqrt[4]{1 - \frac{K_{\text{разл}}(\text{ПК}_{\text{РЛ}})}{\left(\frac{P_{\text{ЗИ}}}{P_{\text{ШИ}}}\right)}} = \sqrt[4]{1 - K_{\text{разл}}(\text{ПК}_{\text{РЛ}})q_{\text{ШИ/ЗИ}}^2}. \quad (6)$$

Из (6) видно, что если $q_{\text{ЗИ/ШИ}}^2 > K_{\text{разл}}(\text{ПК}_{\text{РЛ}})$ (выполняется условие наблюдения ЗИ на фоне ШИ), то всегда $K_{\text{сж}} \leq 1$, то есть действие шума, маскирующего рабочее излучение РЛС, приводит к уменьшению дальности радиолокационного наблюдения.

На рисунке 8 приведено семейство графиков зависимости $K_{\text{сж}} = f(q_{\text{ШИ/ЗИ}}^2 | K_{\text{разл}}(\text{ПК}_{\text{РЛ}}))$, рассчитанное согласно формуле (6). Выполненный анализ и рассмотрение графиков позволяет заключить, что уменьшение дальности радиолокационного наблюдения за

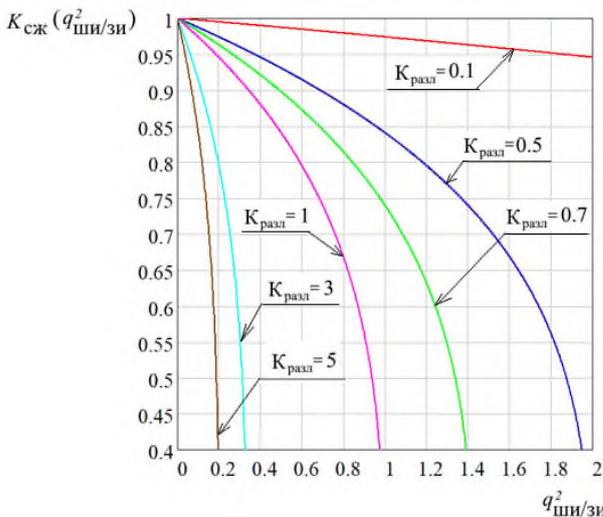


Рисунок 8 - Зависимость $K_{\text{сж}}$ от отношения мощностей шумового и зондирующего импульсов при различных значениях $K_{\text{разл}}(\text{ПК}_{\text{РЛ}})$

счет действия эхошума совместно с эхосигналом может быть установлено на допустимом уровне выбором базы зондирующего сигнала, поскольку $K_{\text{разл}}(\text{ПК}_{\text{РЛ}})$ определяется базой сигнала (Юдин В.Н. Основные энергетические соотношения при анализе эффективности противорадиолокационной маскировки ЛА: учебное пособие. М.: Изд-во МАИ, 2000. 84 с.). Основным недостатком предлагаемого способа состоит в том, что он не обеспечивает скрытие углового направления на РЛС.

Имитационно-шумовое прикрытие РЛС заключается в том, что в состав средств защиты радиолокационного средства, содержащего средства шумовой маскировки рабочего излучения, встроенные в антенно-передающий тракт РЛС (см. рисунок 5), включается имитатор антенно-передающего тракта защищаемого РЛС, размещаемый на дополнительной пространственно удаленной позиции (рисунок 9). Расстояние между РЛС и имитатором выбирается так, чтобы они воспринимались средствами РТР как два пространственно разнесенных объекта. Имитатор создает ложную позицию защищаемого РЛС, что позволяет устранить отмеченный выше недостаток способа маскировки излучения РЛС на базе САП, встроенного в антенно-передающий тракт РЛС.

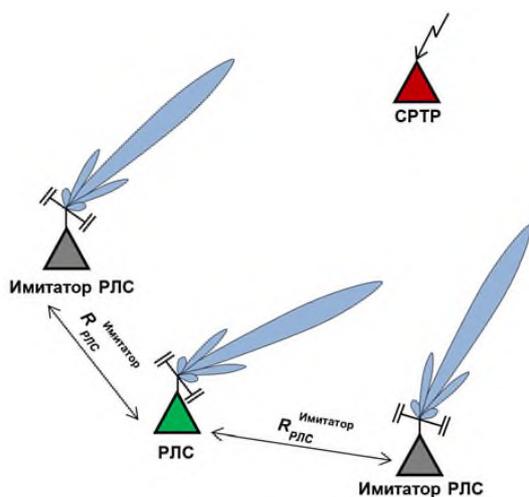


Рисунок 9 - Имитационно-шумовое прикрытие РЛС

В четвертом разделе приводятся описание компьютерной расчетно-имитационной модели и анализ эффективности разработанных предложений по организации радиоподавления средств РТР в интересах защиты РЛС методом компьютерного моделирования.

Для оценки эффективности шумовой маскировки излучения РЛС в данной работе использованы следующие показатели: *индекс энергетической скрытности (ИЭС)* и *угловая панорама энергетической скрытности (УПЭС)*.

В процессе моделирования имитируется радиолокационный обзор сектора азимутальных углов $\beta \in [\beta_{\min}, \beta_{\max}]$ и углов места $\varepsilon \in [\varepsilon_{\min}, \varepsilon_{\max}]$ (рисунок 10).

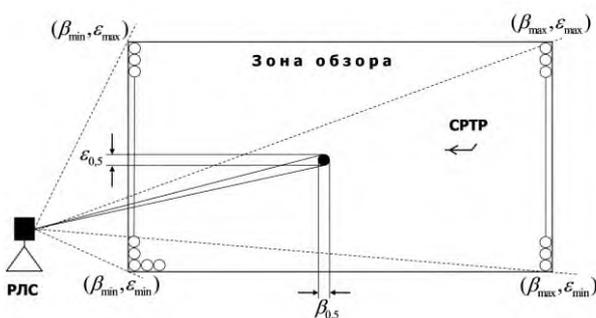


Рисунок 10 - Радиолокационный обзор угловой зоны

В процессе обзора РЛС, имеющая фазированную антенную решётку (ФАР), зондирует в той или иной очередности угловые направления (β_i, ε_j) , $\beta_i \in [\beta_{\min}, \beta_{\max}]$, $\varepsilon_j \in [\varepsilon_{\min}, \varepsilon_{\max}]$, $i = 1, 2, \dots, N_\beta$, $j = 1, 2, \dots, N_\varepsilon$, где N_β, N_ε – число угловых ячеек по азимуту и углу места, соответственно. Шаг сканирования ДН по координатам β и ε не превышает ширину главного

лепестка ДН $\beta_{0,5}$ и $\varepsilon_{0,5}$ по этим координатам. В пределах зоны обзора в точке с координатами $(R_{РЛС}^{СРТР}, \beta_{СРТР}, \varepsilon_{СРТР})$ в сферической системе координат с центром в точке стояния РЛС расположено СРТР, которое принимается

неподвижным на время одного цикла обзора РЛС, вследствие чего, очередность зондирования угловых ячеек (β_i, ε_j) (программа обзора) РЛС в рассматриваемом случае несущественна. Здесь $R_{РЛС}^{СРТР}$ – расстояние между РЛС и средством РТР. При отсутствии САП вычисленное значение $P_{с. вх. СРТР}(i, j), i = 1, 2, \dots, N_\beta, j = 1, 2, \dots, N_\varepsilon$ сравнивается с величиной чувствительности $W_{СРТР}$ приемника средства РТР. Если $P_{с. вх. СРТР}(i, j) \geq W_{СРТР}$, то выносится решение о том, что СРТР обнаруживает излучение РЛС, при этом производится присвоение: $УПЭС(i, j) = 1$, в противном случае присваивается $УПЭС(i, j) = 0$. При наличии шумовой маскировки излучения РЛС помимо вычисления мощности сигнала РЛС на входе приемника СРТР производится расчет мощности ШП на входе приемника СРТР и вычисляется условие подавления средства РТР (1). Если при фиксированном положении (β_i, ε_j) ГЛ ДН РЛС условие подавления (1) выполняется, то выносится решение о том, что средство РТР не обнаруживает излучение РЛС, при этом производится присвоение: $УПЭС(i, j) = 0$, в противном случае присваивается $УПЭС(i, j) = 1$.

Двумерный массив $УПЭС(i, j)$, сформированный после просмотра всех угловых ячеек $(\beta_i, \varepsilon_j), i = 1, 2, \dots, N_\beta, j = 1, 2, \dots, N_\varepsilon$, представляет собой *угловую панораму энергетической скрытности* излучения РЛС. *Индекс энергетической скрытности* рассчитывается по формуле

$$ИЭС = \frac{N_\beta N_\varepsilon - \sum_{i=1}^{N_\beta} \sum_{j=1}^{N_\varepsilon} УПЭС(i, j)}{N_\beta N_\varepsilon} \cdot 100 \% \quad (7)$$

При выводе УПЭС на экран ПЭВМ производится окрашивание соответствующих точек в разные цвета. Угловые ячейки, при зондировании которых излучение РЛС обнаруживается средством РТР, окрашиваются в красный цвет, а остальные – в зеленый. Таким образом формируется наглядное представление об уровне энергетической скрытности РЛС.

Результаты модельных экспериментов

Шумовая маскировка бокового излучения РЛС с помощью САП, размещаемых на позиции РЛС. Расположение РЛС и САП при проведении модельного эксперимента для варианта шумовой маскировки бокового излучения РЛС с помощью САП, размещаемых на позиции РЛС, в прямоугольной системе координат соответствует приведенному во втором разделе при расчетах ЗМИ РЛС, при этом относительно РЛС средство РТР расположено на дальности, определяемой прямой видимостью.

На рисунках 11-14 приведены результаты модельных экспериментов для варианта шумовой маскировки бокового излучения РЛС с помощью САП, размещаемых на позиции РЛС применительно к РЛС малой и средней дальности.

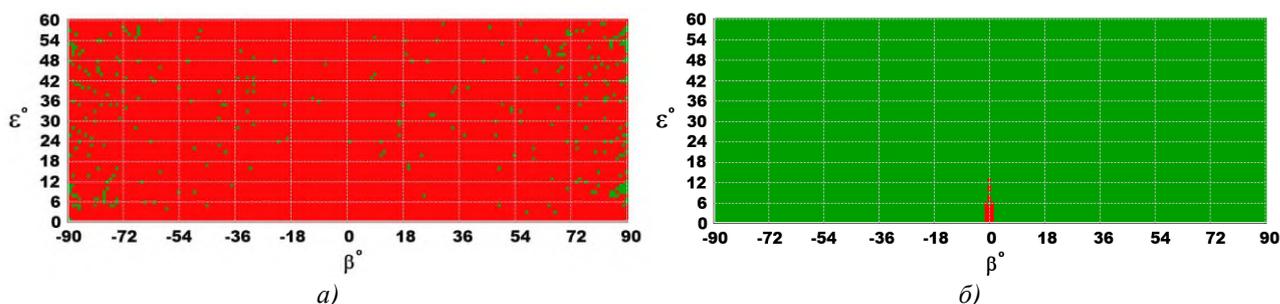


Рисунок 11 - УПЭС для РЛС малой дальности при $R_{\text{РЛС}}^{\text{СРТР}} = 300$ км:

а) без шумового прикryтия (ИЭС=2,9%); б) при наличии шумового прикryтия (ИЭС=99,8%)

Угловые ячейки, при зондировании которых излучение РЛС обнаруживается средством РТР, окрашиваются в красный цвет, а остальные – в зеленый.

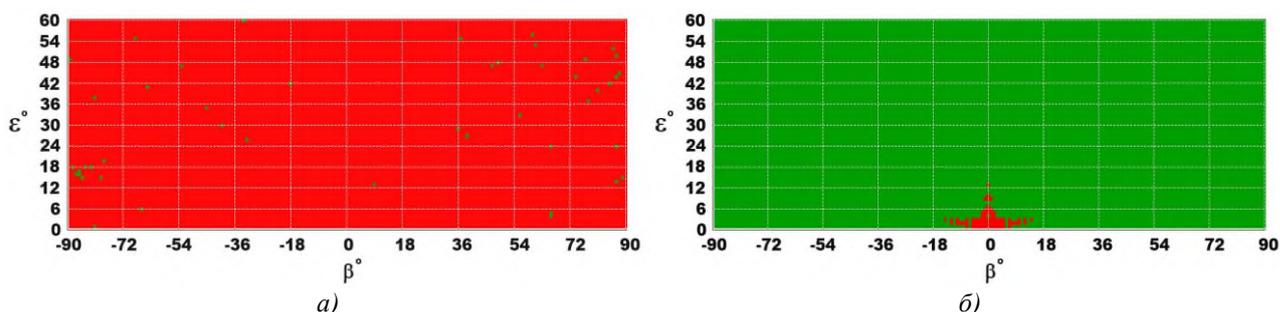


Рисунок 12 - УПЭС для РЛС средней дальности при $R_{\text{РЛС}}^{\text{СРТР}} = 300$ км:

а) без шумового прикryтия (ИЭС=0,4%); б) при наличии шумового прикryтия (ИЭС=99,3%)

Угловые ячейки, при зондировании которых излучение РЛС обнаруживается средством РТР, окрашиваются в красный цвет, а остальные – в зеленый.

Из рисунков 11 - 12 (б) видно, что применение САП, размещаемых на позиции РЛС, с целью шумовой маскировки бокового излучения во всех рассмотренных конфигурациях приводит к высоким показателям энергетической скрытности излучения (ИЭС в пределах от 99,3% до 99,8%). При этом, красная область УПЭС, в пределах которой излучение РЛС может быть обнаружено средством РТР, расположенным в заданной точке пространства, отличается по форме для различных типов РЛС. Данное обстоятельство вызвано различием параметров рассматриваемых РЛС, а именно мощности излучения и ширины ДН в главных плоскостях. Так для РЛС средней дальности ширина ДН по азимуту в два раза больше чем для РЛС малой дальности (см. таблицу 1). В свою очередь, для РЛС малой дальности ширина ДН по углу места в два раза больше чем для РЛС средней дальности. При этом, импульсная мощность излучения РЛС средней дальности в 3,33 раза превышает импульсную мощность РЛС малой дальности.

Далее приведены результаты модельного эксперимента, в котором изменялось расстояние $R_{\text{РЛС}}^{\text{СРТР}}$ при фиксированном положении РЛС и САП, а также при фиксированном угле визирования РЛС-СРТР. При этом, соответствующие значения коэффициентов усиления антенн РЛС и СРТР не изменялись ($G_{\text{РЛС}}^{\text{СРТР}} = const$ и $G_{\text{СРТР}}^{\text{РЛС}} = const$), но изменялись параметры чувствительности $W_{\text{СРТР}}$ приемника СРТР (в случае без шумового прикryтия) или коэффициента подавления $K_{\text{под}}(\text{ПК}_{\text{треб}})$ приемника средства РТР (в случае

применения шумового прикрытия). На рисунках 13 и 14 приводятся соответствующие семейства графиков зависимостей ИЭС от $R_{\text{РЛС}}^{\text{СРТР}}$ для РЛС малой и средней дальности действия. Приведенные ниже данные позволяют получить более полное представление об уровне энергетической скрытности защищаемого РЛС в рамках рассматриваемой задачи.

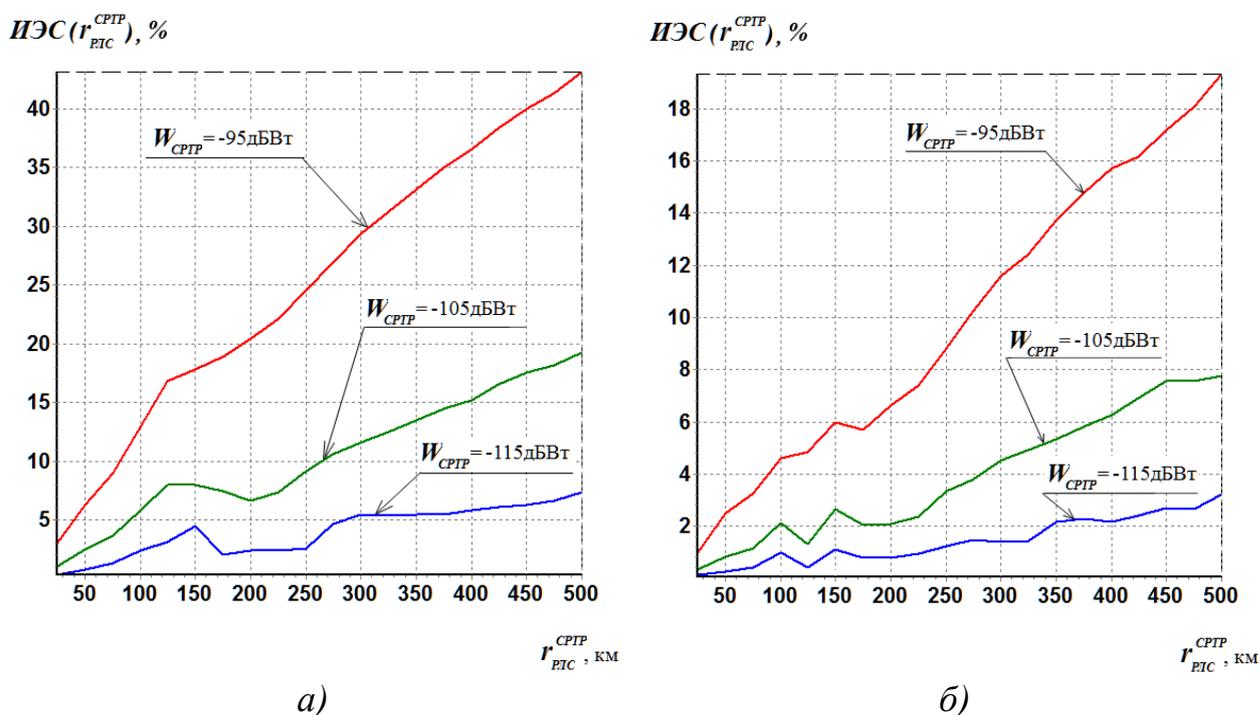


Рисунок 13 - Семейство графиков зависимости ИЭС от $R_{\text{РЛС}}^{\text{СРТР}}$ при различных значениях $W_{\text{СРТР}}$ без шумового прикрытия

а) РЛС малой дальности; б) РЛС средней дальности

Из рисунка 13 видно, что при увеличении расстояния $R_{\text{РЛС}}^{\text{СРТР}}$ до 500 км при прочих равных условиях при отсутствии САП для $W_{\text{СРТР}} = -95$ дБВт ИЭС не превышает 42% для РЛС малой дальности, а для РЛС средней дальности составляет $\sim 19\%$. При увеличении $W_{\text{СРТР}}$ чувствительности приемника СРТР на 10 дБВт для РЛС как малой, так и средней дальности ИЭС уменьшается приблизительно в два раза при прочих равных условиях. При увеличении чувствительности $W_{\text{СРТР}}$ до уровня -115 дБВт как для РЛС малой дальности ИЭС, так и для РЛС средней дальности ИЭС не превышает единиц процентов. Указанные аргументы позволяют сделать вывод о низком уровне энергетической скрытности РЛС рассматриваемых типов при отсутствии средств шумового прикрытия, предназначенных для защиты РЛС от средств РТР.

Из рисунка 14 видно, что в случае применения САП при прочих равных условиях как для РЛС малой дальности, так и для РЛС средней дальности при увеличении расстояния $R_{\text{РЛС}}^{\text{СРТР}}$ до 30 км и более ИЭС стремится к 100%, при этом в окрестностях $R_{\text{РЛС}}^{\text{СРТР}} = 10,5$ км и $R_{\text{РЛС}}^{\text{СРТР}} = 12,5$ км наблюдаются «провалы» ИЭС.

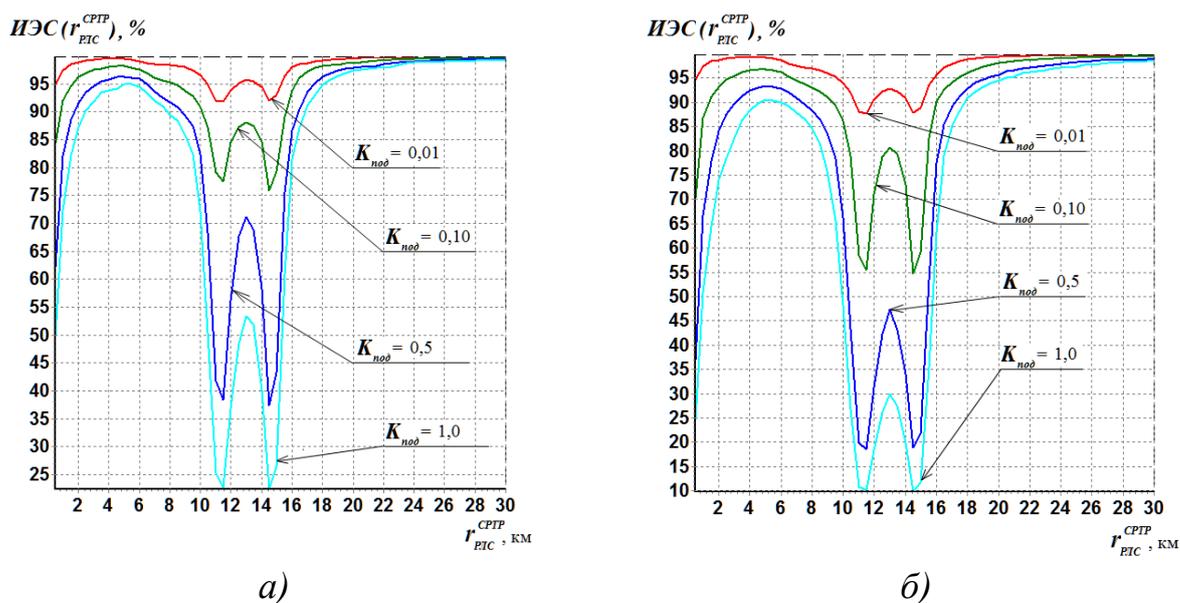


Рисунок 14 - Семейство графиков зависимости ИЭС от $R_{РЛС}^{СРТР}$ при различных значениях $K_{под}(ПК_{треб})$

при наличии шумового прикryтия
 а) РЛС малой дальности; б) РЛС средней дальности

Указанное обстоятельство обуславливаются пространственным положением БЛ ДН антенн РЛС. При размещении средства РТР в области БЛ ДН антенны РЛС мощность сигнала РЛС на входе приемника средства РТР увеличивается, вследствие чего ИЭС снижается до значений $\sim 23\%$ для РЛС малой дальности и до 10% для РЛС средней дальности. При уменьшении значения $R_{РЛС}^{СРТР}$ от 5 км до нуля значения ИЭС изменяются от 95-100% до нуля для РЛС малой дальности и от 87-100% до нуля для РЛС средней дальности. При этом, уменьшение значения $K_{под}(ПК_{треб})$ влечет увеличение ИЭС.

Анализ результатов модельного эксперимента для варианта шумовой маскировки бокового излучения РЛС с помощью САП, размещаемых на позиции РЛС позволяет сделать следующие выводы.

1. Применение САП, размещаемых на позиции РЛС, во всех рассмотренных конфигурациях позволяет достичь высоких показателей энергетической скрытности (ИЭС в пределах от 99,3% до 99,8%).

2. Для РЛС малой дальности при прочих равных условиях, достигаются более высокие показатели энергетической скрытности по сравнению с РЛС средней дальности, что обусловлено более низким энергопотенциалом.

3. При уменьшении расстояния между РЛС и СРТР в 10 раз при прочих равных условиях ИЭС уменьшается на 0,2% для РЛС малой дальности и не изменяется для РЛС средней дальности.

4. Шумовая маскировка с помощью САП, размещаемых на позиции РЛС, не обеспечивает скрытие излучения в области ближних боковых лепестков, что более явным образом проявляется для РЛС средней дальности.

5. Применение САП шумовой маскировки излучения, размещаемых на позиции РЛС, позволяет обеспечить высокий уровень энергетической скрытности РЛС от средств РТР, что свидетельствует об эффективности предложенного способа защиты РЛС.

Шумовая маскировка бокового излучения РЛС от орбитальных средств РТР. Расстояние между защищаемым РЛС и подавляемым СРТР составляет, $R_{\text{РЛС}}^{\text{СРТР}} = 300$ км, что соответствует сценарию разведки с низкоорбитального космического аппарата (КА). Указанный сценарий поясняется на рисунке 15.

Параметры подавляемого средства РТР:

- КУ антенны $G_{\text{СРТР}} = 4,5$ дБ;
- ширина ДН антенны в горизонтальной и вертикальной плоскостях $\Delta\beta_{\text{СРТР}} = \Delta\varepsilon_{\text{СРТР}} = 90^\circ$.
- антенна направлена на защищаемую РЛС.

Параметры САП:

- мощность $P_{\text{САП}} = 15$ кВт;
- КУ антенны $G_{\text{САП}} = 4,5$ дБ
- ширина ДН антенны в горизонтальной плоскости $\Delta\beta_{\text{САП}} = 90^\circ$;
- ширина ДН антенны в вертикальной плоскости $\Delta\varepsilon_{\text{САП}} = 90^\circ$;
- антенна направлена в верхнюю полусферу.

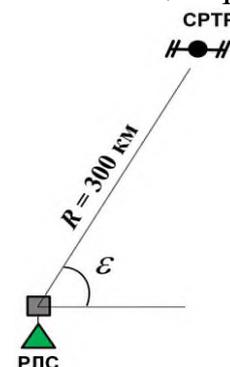


Рисунок 15 - Сценарий орбитальной РТР

На рисунках 16, 17 приведены результаты модельного эксперимента (ИЭС и УПЭС) для варианта шумовой маскировки от орбитальных средств РТР для РЛС малой и средней дальности.

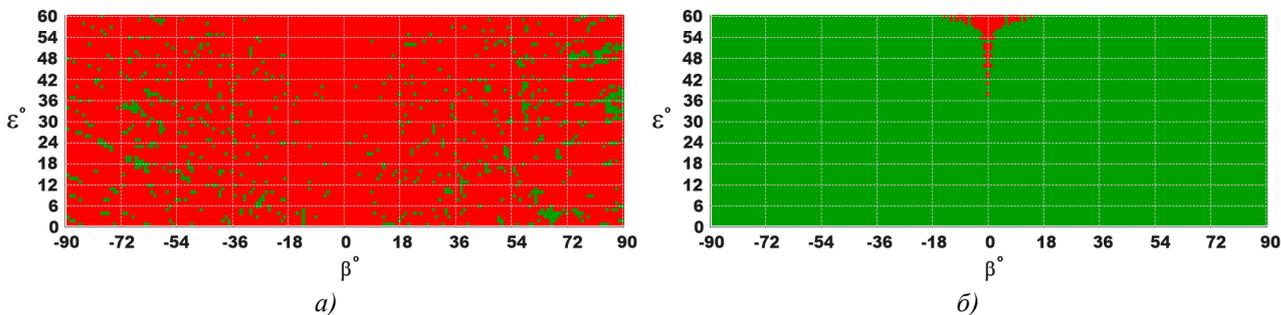


Рисунок 16 - УПЭС для РЛС малой дальности при $R_{\text{РЛС}}^{\text{СРТР}} = 300$ км:

а) без шумового прикрития (ИЭС=7,7%); б) при наличии шумового прикрития (ИЭС=99,1%)

Угловые ячейки, при зондировании которых излучение РЛС обнаруживается средством РТР, окрашиваются в красный цвет, а остальные – в зеленый.

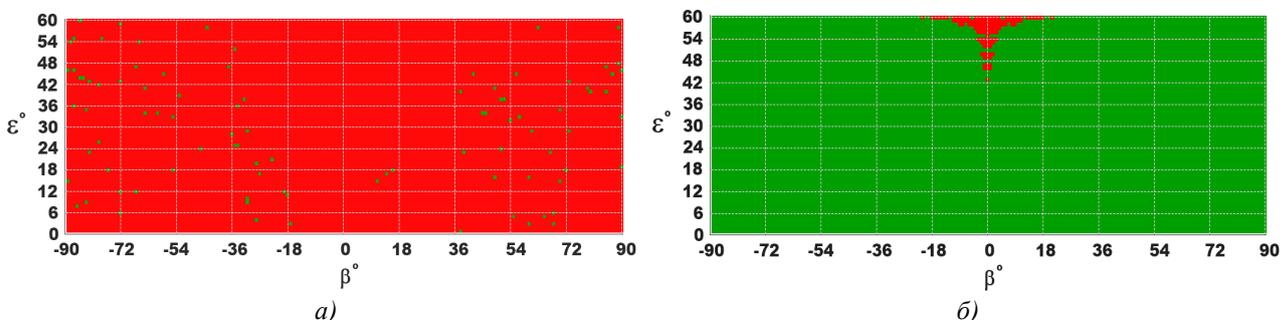


Рисунок 17 - УПЭС для РЛС средней дальности при $R_{\text{РЛС}}^{\text{СРТР}} = 300$ км:

а) без шумового прикрития (ИЭС=0,9%); б) при наличии шумового прикрития (ИЭС=98,9%)

Угловые ячейки, при зондировании которых излучение РЛС обнаруживается средством РТР, окрашиваются в красный цвет, а остальные – в зеленый.

Анализ результатов модельного эксперимента для варианта шумовой маскировки бокового излучения РЛС от орбитальных средств РТР позволяет сделать следующие выводы.

1. В случае отсутствия шумового прикрытия при ведении РТР с низкоорбитальных КА РЛС имеет низкую скрытность излучения (ИЭС составляет для РЛС малой дальности 0,9%, а для РЛС средней дальности равен 7,7%).

2. Применение внешних САП, размещаемых на небольшом удалении от РЛС, позволяет достичь высоких показателей энергетической скрытности (ИЭС в пределах от 99,1% до 98,9% в зависимости от типа РЛС).

Шумовая маскировка с помощью САП, встроенного в антенно-передающий тракт РЛС

На рисунках 18 и 19 приведены результаты модельного эксперимента (ИЭС и УПЭС) для варианта шумовой маскировки с помощью САП, встроенного в антенно-передающий тракт РЛС (без шумового прикрытия и при наличии шумового прикрытия). При этом, средство РТР относительно РЛС расположено на дальности, определяемой прямой видимостью.

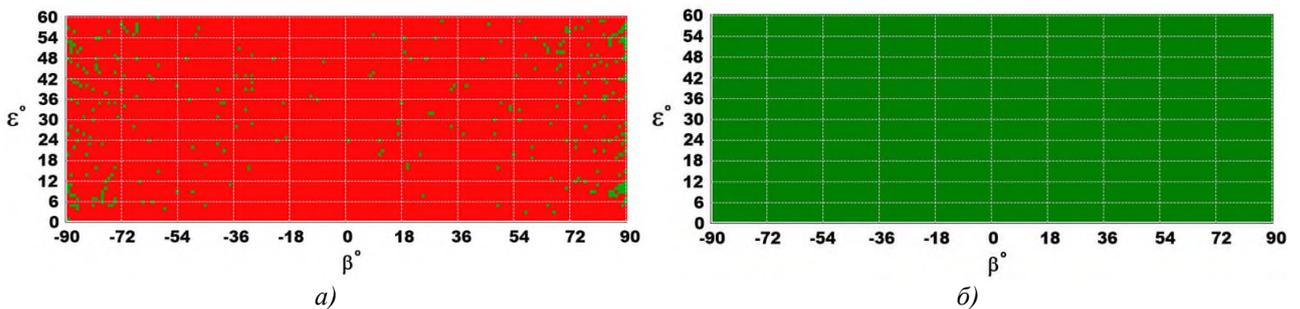


Рисунок 18 - УПЭС для РЛС малой дальности при $R_{\text{РЛС}}^{\text{СРТР}} = 300$ км:

а) без шумового прикрытия (ИЭС=2,9%); *б)* при наличии шумового прикрытия (ИЭС=100%)

Угловые ячейки, при зондировании которых излучение РЛС обнаруживается средством РТР, окрашиваются в красный цвет, а остальные – в зеленый.

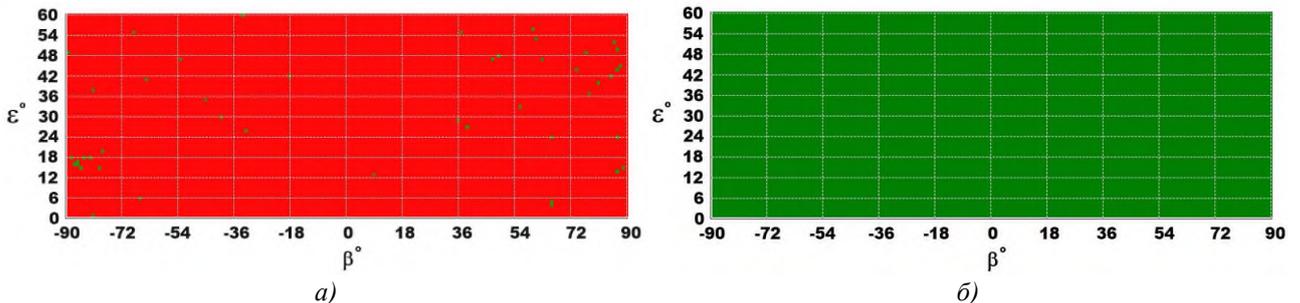


Рисунок 19 - УПЭС для РЛС средней дальности при $R_{\text{РЛС}}^{\text{СРТР}} = 300$ км:

а) без шумового прикрытия (ИЭС=0,4%); *б)* при наличии шумового прикрытия (ИЭС=100%)

Угловые ячейки, при зондировании которых излучение РЛС обнаруживается средством РТР, окрашиваются в красный цвет, а остальные – в зеленый.

Анализ результатов модельного эксперимента для варианта шумовой маскировки с помощью САП, встроенного в антенно-передающий тракт РЛС позволяет сделать следующие выводы.

1. В отсутствии шумового прикрытия энергетическая скрытность РЛС стремится к нулю. При этом, при прочих равных условиях РЛС малой дальности имеет несколько более высокий ИЭС по сравнению с РЛС средней дальности, что обусловлено разницей в уровнях мощности излучения данных типов РЛС.

2. Применение САП, встроенного в антенно-передающий тракт РЛС, во всех рассмотренных конфигурациях приводит к полному энергетическому скрытию излучения РЛС во всей зоне обзора (ИЭС=100%) вне зависимости от типа РЛС и расстояния между РЛС и СРТР.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В рамках исследования были рассмотрены вопросы защиты РЛС от средств РТР методами радиоподавления.

В диссертационной работе получены следующие основные результаты.

1. Определены содержание и возможные пути организации противодействия средствам РТР методами радиоподавления в интересах защиты РЛС.

2. Выявлены проблемы технического характера, возникающие при организации радиоподавления средств РТР в интересах защиты РЛС, и предложены пути преодоления этих проблем.

3. Разработаны технически реализуемые предложения по построению радиолокационно-помехового комплекса, обладающего повышенной защищенностью от средств РТР, электромагнитной совместимостью компонентов, реализуемым энергопотреблением и приемлемым уменьшением дальности радиолокации, основанные на использовании:

- способов шумовой маскировки излучения РЛС накрывающего и ответного типов;

- «мертвой зоны» РЛС для организации шумовой маскировки зондирующего и бокового излучения РЛС;

- средств шумовой маскировки излучения защищаемого РЛС, встроенных в антенно-передающий тракт РЛС;

- средств шумовой маскировки излучения защищаемого РЛС, расположенных на позиции РЛС;

- средств имитации излучения РЛС.

4. Выполнен анализ эффективности защиты РЛС от средств РТР с использованием предложенных в диссертации способов защиты методами модельного эксперимента на базе разработанной в диссертации системы количественных показателей эффективности. Результаты анализа подтверждают высокую эффективность разработанных в диссертации технически реализуемых предложений по способам защиты РЛС от средств РТР.

СПИСОК РАБОТ ОПУБЛИКОВАННЫХ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Публикации в журналах из перечня ВАК:

1. Юдин В.Н., Волков А.М. Уровни ошибок пассивной угломерной локации источников излучения при увеличении объема обрабатываемой информации // *Электросвязь*. – 2019. – № 12. – С. 56-61.
2. Юдин В.Н., Волков А.М. Достижимые уровни ошибок угломерной пассивной локации источников излучения на базе метода наибольшего правдоподобия // *Электросвязь*. – 2020. – № 4. – С. 25-30.
3. Юдин В.Н., Волков А.М. Ошибки разностно-фазового пеленгования излучателей, обладающих фазоугловой зависимостью // *Электросвязь*. – 2020. – № 12. – С. 50-53.
4. Юдин В.Н., Волков А.М. Радиоподавление средств радиотехнической разведки в интересах защиты радиолокационных средств // *Электросвязь*. – 2022. – № 2. – С. 52-60.
5. Юдин В.Н., Волков А.М. Маскировка излучения радиолокационного средства от радиотехнической разведки с использованием встроенного генератора шума // *Электросвязь*. – 2022. – № 8. – С. 39-44.

Публикации Scopus:

6. Yudin V.N., Volkov A.M. Achievable Error Levels of the Goniometric Location of Radiation Sources Based on the Least Squares Method with an Increase of the Amount of Information Processed // *2020 Systems of Signals Generating and Processing in the Field of on Board Communications*. – IEEE Conference Record #48371. – 2020. – P. 1-5 – DOI: 10.1109/IEEECONF48371.2020.9078624.

Прочие публикации:

7. Волков А.М. Компьютерная расчетно-имитационная модель для исследования характеристик точности угломерного метода радиолокации / А.М. Волков, В.Н. Юдин // *Авиация и космонавтика - 2018: Тезисы 17-ой Международной конференции, Москва, 19–23 ноября 2018 года*. – Москва: Типография "Люксор", 2018. – С. 247.
8. Волков А.М. Сравнение алгоритмов угломерного метода определения координат источников излучения, оптимизированных по критериям наименьших квадратов и наибольшего правдоподобия / А.М. Волков // *Гагаринские чтения - 2019: Сборник тезисов докладов XLV Международной молодежной научной конференции, Москва, Барнаул, Ахтубинск, 16–19 апреля 2019 года / Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)*. – Москва, Барнаул, Ахтубинск: Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет), 2019. – С. 510.
9. Волков А.М. Достижимые уровни точности угломерной локации источников излучения на базе метода наименьших квадратов / А.М. Волков, В.Н. Юдин, А.К. Григорян // *18-я Международная конференция "Авиация и космонавтика - 2019": Тезисы, Москва,*

18–22 ноября 2019 года / Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет). – Москва: Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет), 2019. – С. 118.

10. Волков, А. М. Достижимые уровни точности угломерной локации источников излучения на базе метода наибольшего правдоподобия / А.М. Волков // Гагаринские чтения - 2020: Сборник тезисов докладов, Москва, 27 декабря 2019 года – 17 апреля 2020 года. – Москва: Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет), 2020. – С. 618-619.

11. Волков, А.М. Ошибки пеленгования излучателей, обладающих фазоугловой зависимостью / А.М. Волков, В.Н. Юдин // 19-я Международная конференция «Авиация и космонавтика»: Тезисы 19-ой Международной конференции, Москва, 23–27 ноября 2020 года. – Москва: Издательство "Перо", 2020. – С. 337.

12. Волков А.М. Радиоподавление средств РТР путем шумовой маскировки рабочего излучения защищаемого РЛС / А.М. Волков, В.Н. Юдин // Авиация и космонавтика: Тезисы 20-ой Международной конференции, Москва, 22–26 ноября 2021 года. – Москва: Издательство "Перо", 2021. – С. 304-305.