

На правах рукописи

СЕРГУШЕВ Алексей Геннадьевич

**РАЗРАБОТКА МЕТОДОВ РАСЧЕТА
ВЕРОЯТНОСТИ ОБНАРУЖЕНИЯ ПРОСТРАНСТВЕННО
ПРОТЯЖЕННЫХ ЦЕЛЕЙ РАДИОЛОКАЦИОННЫМИ СТАНЦИЯМИ
НАДВОДНОГО ОБНАРУЖЕНИЯ ПРИ РАДИОПРОТИВОДЕЙСТВИИ
СО СТОРОНЫ ПРОТИВНИКА**

05.12.14 – Радиолокация и радионавигация

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Санкт-Петербург
2011

Работа выполнена в Северо-Западном государственном заочном техническом университете на кафедре метрологии.

Научный руководитель заслуженный работник высшей школы РФ,
доктор технических наук, профессор
Игорь Федорович ШИШКИН

Официальные оппоненты: лауреат Государственной премии СССР,
заслуженный изобретатель РФ,
доктор технических наук, профессор
Юрий Митрофанович ПЕРУНОВ

кандидат технических наук
Владимир Владимирович ЛУШОВ

Ведущая организация **ОАО «Холдинговая компания "Ленинец»**

Защита состоится ____ _____ 2012 г. в ____ часов на заседании диссертационного совета Д219.004.01 при Санкт-Петербургском государственном университете телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича по адресу: Россия, Санкт-Петербург, наб. р. Мойки, 61.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича.

Автореферат разослан " ____ " _____ 20__ г.

Отзывы на автореферат, заверенные печатью, в двух экземплярах просим направлять на имя ученого секретаря диссертационного совета по адресу: 191186, Санкт-Петербург, наб. р. Мойки, 61.

Ученый секретарь
диссертационного совета,
доктор технических наук, профессор

В. В. СЕРГЕЕВ

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность исследования. Традиционно в морской радиолокации считается, что морские радиолокационные цели являются точечными (надводные корабли, катера, буи и т.п.).

На самом деле за кораблями, катерами и другими движущимися морскими целями всегда тянется кильватерный след, протяженность которого может составлять несколько десятков километров, а от форштевня расходятся корабельные волны, обладающие также значительной протяженностью. Эта система следов хорошо видна не только в оптическом диапазоне, но и на экранах радиолокационных станций (РЛС) при выключенной временной регулировке чувствительности (ВРЧ) и образует пространственно протяженную радиолокационную цель. Пространственно протяженную цель образует и группа кораблей совместно со следами, движущаяся в составе строя или ордера, или даже без учета следов.

В настоящей работе под пространственно протяженными целями понимаются такие цели, геометрические размеры которых много больше разрешающей способности РЛС, используемых для их обнаружения.

В результате применения средств радиоэлектронной борьбы (РЭБ) вероятность обнаружения кораблей радиолокационными станциями надводного обнаружения снижается. В связи с этим становится актуальным радиолокационное обнаружение кораблей по следам в условиях радиопротиводействия. Однако задача радиолокационного обнаружения пространственно протяженных целей в условиях радиопротиводействия со стороны противника до настоящего времени не рассматривалась. Это и определяет актуальность диссертационного исследования.

Состояние вопроса. В конце 60-х-начале 70-х годов было доказано, что все морские РЛС способны обнаруживать следы надводных кораблей. Большой вклад в разработку методов и средств радиолокационного обнаружения следов кораблей внесли Ф. Г. Басс, А. В. Благонравов, В. С. Даль, А. А. Загородников, В. А. Иванов, Д. Б. Канарейкин, А. И. Калмыков, А. З. Киселев, К. К. Ляпин, Ю. И. Минайкин, И. Е. Островский, В. А. Потехин, А. Д. Розенберг, В. А. Сырвачев, И. Е. Ушаков, И. М. Фукс, И. Ф. Шишкин, W. D. Garret, R. D. Peltzer, P. M. Smith и др.

Методика расчета вероятности обнаружения точечных целей (теория поиска) была создана Б. Купманом и развита отечественными учеными, такими как В. А. Абчук, Н. С. Волгин, В. А. Горбунов, И. Я. Динер, Д. П. Ким, В. П. Лапшин, О. А. Мрыкин, В. В. Попович, В. Г. Суздаль и др.

Задача расчета вероятности обнаружения пространственно протяженных целей была сформулирована и решена И. Ф. Шишкиным и его учениками И. К. Милеевой, В. А. Сырвачевым и др. При этом расчет вероятности обнаружения пространственно протяженных целей в условиях радиопротиводействия со стороны противника не рассматривался.

Научная задача исследования. В условиях радиопротиводействия со стороны противника расчет вероятности обнаружения пространственно протяженных целей впервые рассматривается в этой диссертации. Это определяет научную задачу диссертации: *исследование влияния радиопротиводействия со стороны противника на вероятность обнаружения пространственно протяженных целей.*

Объектом исследования в диссертации является вероятность обнаружения пространственно протяженных целей на морской поверхности.

Цель работы заключается в разработке методов расчета вероятности обнаружения пространственно протяженных целей на морской поверхности радиолокационными станциями надводного обнаружения при радиопротиводействии со стороны противника.

Задачи исследования. Для достижения поставленной цели в процессе выполнения работы потребовалось решить следующие задачи:

1) провести анализ влияния радиопротиводействия со стороны противника на вероятность обнаружения пространственно протяженных целей на морской поверхности;

2) получить в общем виде формулы для расчета вероятности обнаружения пространственно протяженных целей на морской поверхности;

3) разработать методы расчета вероятности обнаружения пространственно протяженных целей на морской поверхности;

4) рассчитать и проанализировать вероятности обнаружения пространственно протяженных целей в условиях радиопротиводействия со стороны противника;

5) сравнить вероятности обнаружения пространственно протяженных целей с вероятностями обнаружения точечных целей при радиопротиводействии со стороны противника.

Методы исследования. При решении поставленных в диссертации вопросов использованы методы исследования операций, теоретической радиолокации, теории радиоэлектронной борьбы. В основу исследования положены работы И. Ф. Шишкина в области радиолокации морской поверхности. Математическое моделирование проводилось на персональной электронно-вычислительной машине (ЭВМ) типа IBM PC в программе Mathcad 14.0.

Научная новизна диссертации заключается в разработке методов и анализе результатов расчета вероятности обнаружения пространственно протяженных целей на морской поверхности радиолокационными станциями надводного обнаружения при радиопротиводействии со стороны противника.

Научные результаты и положения, выносимые на защиту. На защиту выносятся:

1) классификация целей на морской поверхности, являющихся объектами радиолокационного поиска;

2) выбор критерия (вероятности обнаружения) для сравнения радиолокационных станций надводного обнаружения пространственно протяженных и точечных целей на морской поверхности при радиопротиводействии со стороны противника;

3) методика расчета вероятности радиолокационного обнаружения пространственно протяженных целей на морской поверхности;

4) результаты анализа влияния радиопротиводействия на вероятность радиолокационного обнаружения пространственно протяженных целей на морской поверхности;

5) сравнительная оценка вероятностей радиолокационного обнаружения пространственно протяженных и точечных целей на морской поверхности при радиопротиводействии со стороны противника.

Достоверность научных результатов. Достоверность полученных в диссертации научных результатов определяется корректной постановкой научной задачи исследования, использованием адекватного математического аппарата, сходимостью полученных в работе результатов в частных случаях к известным ранее положениям и результатами математического моделирования.

Личный вклад автора. Основные научные результаты, выводы и рекомендации, содержащиеся в диссертации, получены автором самостоятельно.

Теоретическая ценность работы заключается в разработанных методах расчета вероятности обнаружения пространственно протяженных целей на морской поверхности радиолокационными станциями надводного обнаружения при радиопротиводействии со стороны противника.

Практическая ценность работы. Полученные в работе научные результаты, выводы и рекомендации позволяют оценить эффективность перспективных радиолокационных станций надводного обнаружения в условиях радиопротиводействия со стороны противника.

Реализация и внедрение результатов диссертации. Результаты диссертационной работы внедрены и используются в производственной деятельности: ООО «Научно-технический центр "Протей», ФГУ «Тест-С.-Петербург», ЗАО «Морские Комплексы и Системы»; в учебном процессе Северо-Западного государственного заочного технического университета, а также некоторых других ВУЗов.

Апробация работы. Основные научные результаты диссертационной работы были доложены и обсуждались на 21-й научно-технической конференции и научном семинаре, в том числе, на международном семинаре «Интеграция информации и геоинформационные системы» (Санкт-Петербург, 2005), международной научно-практической конференции «Научные исследования и их практическое применение. Современное состояние и пути развития '2007» (Одесса, 2007), 20-й Межвузовской научно-технической конференции «Военная радиоэлектроника: опыт использования и проблемы, подготовка специалистов» (Санкт-Петербург – Петродворец, 2009).

Публикации. По материалам диссертации опубликовано 46 печатных научных работ, в том числе монография, 17 статей, 13 докладов, 12 рефератов и тезисов докладов, 3 веб-сайта в сети Internet. Шесть статей опубликовано в ведущих научных изданиях из Перечня ВАК Минобрнауки РФ. Девять работ опубликовано автором самостоятельно (без соавторов). Все публикации приведены в списке использованной литературы.

Структура и объем работы. Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав, заключения, списка использованной литературы, включающего в себя 141 библиографическую ссылку (из них 126 отечественных, 15 иностранных) и 5 приложений, сброшюрованных самостоятельно. Работа содержит 147 страниц, в том числе 57 рисунков, 7 фотографий.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность исследования, определены объект, цель и задачи исследования. Описаны методы исследования и показана научная новизна

диссертации. Представлены положения, выносимые на защиту, структура и объем диссертации.

В первой главе приведена классификация пространственно протяженных целей на морской поверхности. Получены формулы для вероятности их обнаружения и рассмотрено влияние на нее радиопротиводействия со стороны противника.

Возможность радиолокационного обнаружения следов надводных кораблей определяется механизмом рассеяния радиоволн взволнованной морской поверхностью. Взволнованная морская поверхность может быть представлена двухмасштабной моделью Б. Ф. Курьянова в виде суперпозиции крупных («зыбь») и мелких («рябь») пологих неровностей. Взаимодействие турбулентного движения в кильватерном следе надводного корабля с поверхностным ветровым волнением приводит к гашению высокочастотных составляющих в спектре морского волнения, а расходящиеся корабельные волны меняют угол облучения высокочастотных составляющих в спектре морского волнения. Исходя из модели резонансного рассеяния радиоволн взволнованной морской поверхностью (Ф. Г. Басс, И. М. Фукс), отраженная радиоволна формируется за счет рассеяния на высокочастотных составляющих в спектре морского волнения. Сглаживание турбулентностью высокочастотных составляющих в спектре морского волнения приводит к увеличению зеркальных отражений и ослаблению радиолокационных сигналов, отражаемых обратно в направлении на источник радиоволн. В результате, турбулентный кильватерный след надводного корабля обнаруживается на экранах индикаторов радиолокационных станций в виде четкой темной полосы на фоне отражений от волн на морской поверхности (рис. 1) [4, 5]. За зоной отражений от морской поверхности радиолокационными станциями обнаруживаются расходящиеся корабельные волны (рис. 2) [4, 5]. И корабельные волны, и турбулентный кильватерный след образуют пространственно протяженные цели и обнаруживаются с помощью любой морской РЛС. Однако целесообразно ввести в РЛС специальный канал обнаружения следов на морской поверхности. Подробно этот вопрос изложен в монографии [7].

Пространственно протяженные цели подразделяются на следующие виды. След надводного корабля на морской поверхности представляет собой простую пространственно протяженную цель. Надводный корабль и его след образуют сложную пространственно протяженную цель. Группа надводных кораблей как со следами, так и без них, составляет групповую пространственно протяженную цель.

В отличие от точечных целей, пространственно протяженные цели характеризуются не только эффективной площадью рассеяния (ЭПР), но и пространственными характеристиками (протяженностью, ориентацией в пространстве, конфигурацией, сомкнутостью или разомкнутостью фронта поиска групповой пространственно протяженной цели).

Пространственные характеристики цели определяют увеличение вероятности обнаружения пространственно протяженных целей по сравнению с вероятностью обнаружения точечных целей. При радиолокационном поиске сложной пространственно протяженной цели на морской поверхности (рис. 3) в условиях радиопротиводействия со стороны противника (применения средств постановки помех и технологий снижения радиолокационной заметности) невозможность наблюдения корабля на экранах РЛС не исключает его обнаружение (рис. 2).

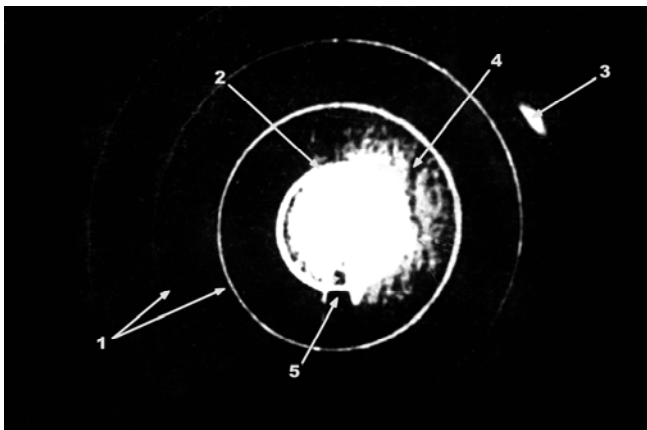


Рис. 1. Радиолокационное изображение кильватерного следа и надводного корабля, закончившего поворот на 180° :

- 1 – неподвижные кольца дальности,
- 2 – отражения от морского волнения вокруг судна,
- 3 – корабль, 4 – кильватерный след,
- 5 – затенение кормовыми надстройками корабля

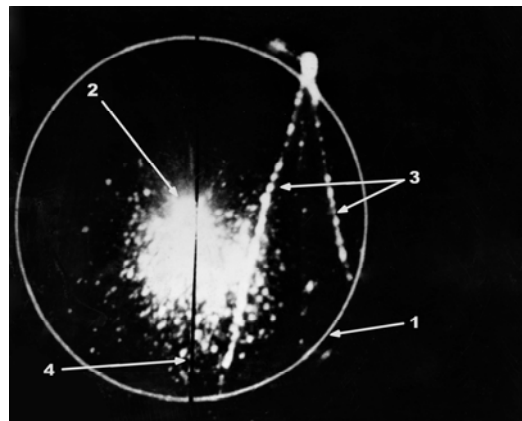


Рис. 2. Радиолокационное изображение расходящихся корабельных волн:

- 1 – подвижное кольцо дальности,
- 2 – отражения от морского волнения вокруг судна,
- 3 – расходящиеся корабельные волны от встречного судна,
- 4 – механический визир

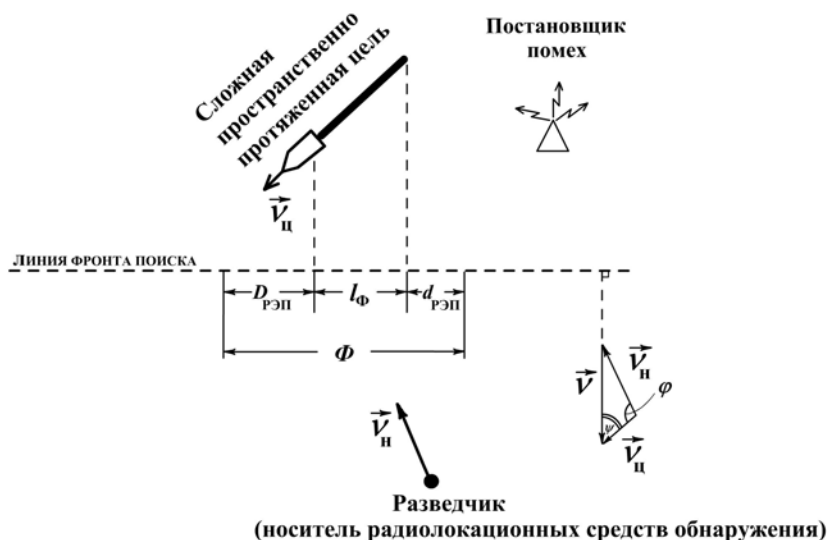


Рис. 3. Геометрические построения при радиолокационном поиске сложной пространственно протяженной цели на морской поверхности в условиях радиопротиводействия со стороны противника

Изображенный на рис. 3 корабль в теории поиска представляется точкой и не имеет пространственной протяженности.

В соответствии с рис. 3 введем необходимые определения:

1) линия фронта поиска – это прямая линия, перпендикулярная вектору относительной скорости перемещения разведчика и цели:

$$v = \sqrt{v_{ц}^2 + v_{н}^2 - 2 \cdot v_{ц} \cdot v_{н} \cdot \cos \varphi}, \quad (1)$$

где φ – угол между векторами скорости цели $v_{ц}$ и разведчика $v_{н}$;

2) проекция цели на линию фронта поиска называется фронтальной проекцией цели l_{φ} ;

$$3) \text{ величина } \Phi = D_{\text{РЭП}} + d_{\text{РЭП}} + l_{\Phi} \quad (2)$$

называется фронтом поиска и состоит из отрезков прямых на линии фронта поиска, отражающих факт участия в поиске цели (где $D_{\text{РЭП}}$, $d_{\text{РЭП}}$ – дальности радиолокационного обнаружения корабля и его следа при радиопротиводействии со стороны противника).

Угол φ является случайной величиной и при полной априорной неопределенности относительно местопребывания цели в пространстве поиска плотность распределения

$$f(\varphi) = \frac{1}{2\pi} \text{ при } 0 \leq \varphi \leq 2\pi.$$

Площадь, обследуемая разведчиком при радиолокационном поиске в единицу времени, определяется ее математическим ожиданием. Исходя из (1) и (2), в гл. 1 получено выражение для математического ожидания площади, обследуемой в ходе поиска за единицу времени, при случайном курсе носителя(ей) средств(а) радиолокационного обнаружения φ относительно курса пространственно протяженной цели с плотностью распределения $f(\varphi)$ при радиопротиводействии со стороны противника:

$$\begin{aligned} \Pi &= \int_0^{2\pi} f(\varphi) \cdot \Phi(\varphi) \cdot v(\varphi) d\varphi = \\ &= \frac{1}{2\pi} \cdot \int_0^{2\pi} (D_{\text{РЭП}} + d_{\text{РЭП}}) \cdot v(\varphi) d\varphi + \frac{1}{2\pi} \cdot \int_0^{2\pi} l_{\Phi}(\varphi) \cdot v(\varphi) d\varphi, \end{aligned} \quad (3)$$

называемого производительностью поиска.

Формула (3) имеет аддитивную структуру:

$$\Pi = \Pi_{\text{С}} + \Pi_{\text{П}} = (\Pi_{\text{СЦ}} + \Pi_{\text{СС}}) + \Pi_{\text{ПЦ}}. \quad (4)$$

Первое слагаемое $\Pi_{\text{С}}$ определяет собственную производительность поиска пространственно протяженной цели (корабля $\Pi_{\text{СЦ}}$ и его следа $\Pi_{\text{СС}}$), а второе слагаемое $\Pi_{\text{П}}$ – приобретенную производительность поиска за счет пространственных характеристик цели $\Pi_{\text{ПЦ}}$.

Собственная производительность поиска $\Pi_{\text{С}}$ зависит от дальности радиолокационного обнаружения пространственно протяженной цели, от курса разведчика и цели и возникает в результате поисковой активности разведчика, проявляющей в том, что он обнаруживает цель, попавшую в зону действия РЛС надводного обнаружения.

Приобретенная производительность поиска $\Pi_{\text{П}}$ не зависит от дальности действия РЛС надводного обнаружения и возникает в результате использования разведчиком геометрических размеров протяженной цели и «протраливания» целью пространства, эквивалентного самостоятельному поиску.

В зависимости от оперативно-тактической ситуации радиолокационный поиск в условиях радиопротиводействия может быть пуассоновским или поиском с возрастающей интенсивностью. Пуассоновский поиск соответствует поиску по случайной траектории с постоянной интенсивностью и ординарным потоком обнаружения це-

лей. При поиске с возрастающей интенсивностью каждая область пространства обследуется только один раз.

Как показано в теории поиска, вероятность обнаружения точечной цели $P(t)$ за время радиолокационного поиска t при полной априорной неопределенности относительно местопребывания цели в акватории площадью S для пуассоновского поиска, как и в реальных условиях, находится из выражения:

$$P(t) = 1 - \exp\left(-\frac{\Pi}{S} \cdot P_{\text{по}} \cdot t\right), \quad (5)$$

где $P_{\text{по}}$ – вероятность правильного обнаружения сигнала, отраженного от радиолокационной цели, при фиксированном пороге обнаружения сигнала.

Вероятность обнаружения цели $P(t)$ за время поиска t является, по своему физическому смыслу, накопленной или интегральной вероятностью обнаружения цели(ей) за время радиолокационного поиска.

Попадание цели в зону обнаружения РЛС еще не означает, что она будет обнаружена. Радиолокационный сигнал имеет стохастическую природу и может быть обнаружен лишь с вероятностью $P_{\text{по}}$.

При радиолокационном поиске пространственно протяженных целей производительность поиска Π определяется выражением (4). Исходя из этого, в гл. 1 получена в общем виде формула для расчета вероятности обнаружения пространственно протяженной цели для пуассоновского поиска при радиопротиводействии со стороны противника:

$$P(t) = 1 - \exp\left(-\frac{(\Pi_{\text{сц}} + \Pi_{\text{сц}}) + \Pi_{\text{шц}}}{S} \cdot P_{\text{по}} \cdot t\right). \quad (6)$$

Аналогично в гл. 1 получена в общем виде формула для расчета вероятности обнаружения пространственно протяженной цели для поиска с возрастающей интенсивностью при радиопротиводействии со стороны противника:

$$P(t) = \frac{(\Pi_{\text{сц}} + \Pi_{\text{сц}}) + \Pi_{\text{шц}}}{S} \cdot P_{\text{по}} \cdot t. \quad (7)$$

Из выражений (6) и (7) следует, что вероятность обнаружения пространственно протяженной цели характеризуется приобретенной производительностью поиска и всегда выше, чем вероятность обнаружения точечной цели. На вероятность обнаружения пространственно протяженной цели существенное влияние оказывают ее ориентация по отношению к курсу разведчика, характер ее маневрирования, скорости цели и разведчика.

При радиопротиводействии со стороны противника уменьшается собственная производительность поиска $\Pi_{\text{с}}$, при этом приобретенная производительность $\Pi_{\text{п}}$ не меняется. Поэтому в условиях радиопротиводействия со стороны противника вероятность обнаружения пространственно протяженных целей снижается меньше, чем точечных.

Во второй главе разработаны методы расчета вероятности обнаружения пространственно протяженных целей одиночным разведчиком.

Вероятность обнаружения пространственно протяженной цели одиночным разведчиком определяется исходя из соотношения между дальностями радиолокацион-

ного обнаружения цели (корабля $D_{РЭП}$ или его следа $d_{РЭП}$) при радиопротиводействии со стороны противника и протяженностью (длиной) цели l .

При $D_{РЭП} > l + d_{РЭП}$ для вероятности обнаружения пространственно протяженной цели для пуассоновского поиска в гл. 2 получена формула:

$$P(t) = 1 - \exp\left(-\frac{\Pi_{ЦЦ}}{S} \cdot P_{По} \cdot t\right), \quad (8)$$

а для поиска с возрастающей интенсивностью в гл. 2 получена формула:

$$P(t) = \frac{\Pi_{ЦЦ}}{S} \cdot P_{По} \cdot t, \quad (9)$$

где $\Pi_{ЦЦ} = 2 \cdot D_{РЭП} \cdot \bar{v}$, \bar{v} – среднее значение относительной скорости.

Таким образом, при условии $D_{РЭП} > l + d_{РЭП}$, формулы (6), (7) переходят в известные формулы (8), (9) Б. Купмана для расчета вероятности обнаружения точечной цели, а протяженностью цели l можно пренебречь.

При $D_{РЭП} \leq l + d_{РЭП} \cap D_{РЭП} > d_{РЭП}$ вероятность обнаружения пространственно протяженной цели рассчитывается по формулам (6), (7), которые соответствуют расчету вероятности обнаружения сложной пространственно протяженной цели. При этом радиолокационное обнаружение цели происходит либо при попадании цели в зону действия РЛС надводного обнаружения разведчика, либо за счет использования разведчиком протяженности цели или «протраливания» целью пространства поиска в зависимости от ее курса.

При $D_{РЭП} \leq l + d_{РЭП} \cap D_{РЭП} \leq d_{РЭП}$ для вероятности обнаружения пространственно протяженной цели в гл. 2 получена формула для пуассоновского поиска:

$$P(t) = 1 - \exp\left(-\frac{\Pi_{СС} + \Pi_{ПЦ}}{S} \cdot P_{По} \cdot t\right), \quad (10)$$

а для поиска с возрастающей интенсивностью в гл. 2 получена формула:

$$P(t) = \frac{\Pi_{СС} + \Pi_{ПЦ}}{S} \cdot P_{По} \cdot t, \quad (11)$$

где $\Pi_{СС} = 2 \cdot d_{РЭП} \cdot \bar{v}$, \bar{v} – среднее значение относительной скорости.

Расчет приобретенной производительности поиска рассмотрим на примере поиска линии корабельных волн, показанных на рис. 2. Поскольку встреча с линией равновероятна под любым углом, среднеожидаемый размер проекции цели на нормаль к курсу разведчика равен $0,637l$ (l – длина линии).

Если скорость разведчика v_H значительно больше скорости цели v_C , то поисковой активностью цели можно пренебречь и приобретенная производительность поиска вычисляется по формуле:

$$\Pi_{П} = \Pi_{ПЦ} \approx 0,637 \cdot l \cdot v_H. \quad (12)$$

Если v_C настолько больше v_H , что поисковая активностью цели, наоборот, является доминирующим фактором, то приобретенная производительность поиска вычисляется по формуле:

$$\Pi_{П} = \Pi_{ПЦ} \approx \sin \alpha \cdot l \cdot v_C, \quad (13)$$

где α – угол между курсом цели и линией корабельных волн.

В промежуточных случаях, а также при других конфигурациях цели, расчетные формулы оказываются более сложными.

Анализ формул (12), (13) показывает, что при ориентации кильватерного следа вдоль курса цели вероятность обнаружения цели может быть повышена только за счет использования его протяженности (длины). Для этого разведчик должен двигаться ($v_H \neq 0$). Проводить радиолокационное обнаружение с береговых постов целесообразно лишь для обнаружения следов, ориентация которых в пространстве не совпадает с направлением их движения.

При радиопротиводействии со стороны противника дальности радиолокационного обнаружения пространственно протяженной цели (корабля $D_{РЭП}$ и его следа $d_{РЭП}$) могут снижаться. Соотношение между дальностями радиолокационного обнаружения и протяженностью цели меняется. Собственная производительность поиска уменьшается, а приобретенная остается неизменной. Расчет вероятности обнаружения выполняется при этом исходя из соотношения $D_{РЭП}$ и $l + d_{РЭП}$ по одной из формул (6)–(11).

В гл. 2 диссертации также рассмотрена задача расчета вероятности обнаружения групповой пространственно протяженной цели одиночным разведчиком.

Поскольку при совместных действиях кораблей, следующих строем или в составе ордера, их маневрирование не может быть независимым, то задачей радиолокационного обнаружения считается обнаружение хотя бы одного из кораблей или его следа. При этом необходимо учесть, что разведчик может пройти сквозь групповую пространственно протяженную цель, не установив контакта даже при $P_{ПО} = 1$, в том случае, если расстояние между отдельными целями больше, чем $(D_{РЭП} + d_{РЭП})$, в зависимости от вида группы. Поэтому целесообразно ввести понятие сомкнутого и разомкнутого фронтов поиска. Под сомкнутым фронтом будем понимать такой фронт поиска, при котором разведчик не может пройти сквозь группу, не обнаружив ни одной цели. Под разомкнутым фронтом, будем понимать такой фронт, при котором разведчик может пройти сквозь группу, не обнаружив ни одной цели.

В гл. 2 доказано, что условие сомкнутости фронта поиска групповой пространственно протяженной цели для строя пеленга (фронта, кильватера) определяется трансцендентным неравенством вида (рис. 4):

$$z(\varphi) = \frac{r}{v} \cdot |v_H \cdot \sin(\varphi + \alpha) - v_{Ц} \cdot \sin \alpha| - \frac{l}{v} \cdot v_H \cdot |\sin \varphi| - (D_{РЭП} + d_{РЭП}) \leq 0, \quad (14)$$

где r – расстояние между отдельными целями группы;

а для строя клина трансцендентным неравенством вида:

$$z(\varphi) = \max_{i \in I} \left\{ \frac{r_i}{v} \cdot |v_H \cdot \sin(\varphi + \alpha_i) - v_{Ц} \cdot \sin \alpha_i| \right\} - \frac{l}{v} \cdot v_H \cdot |\sin \varphi| - (D_{РЭП} + d_{РЭП}) - \min \left\{ \frac{l}{v} \cdot v_H \cdot |\sin \varphi| + (D_{РЭП} + d_{РЭП}), \frac{r_j}{v} \cdot |v_H \cdot \sin(\varphi + \alpha_j) - v_{Ц} \cdot \sin \alpha_j| \right\} \leq 0, \quad (15)$$

где $I = \{1, 2, 3\}$,

$$j \in I \left\{ j \mid r_j \cdot |v_H \cdot \sin(\varphi + \alpha_j) - v_{Ц} \cdot \sin \alpha_j| = \min_{i \in I} [r_i \cdot |v_H \cdot \sin(\varphi + \alpha_i) - v_{Ц} \cdot \sin \alpha_i|] \right\}.$$

Решение трансцендентных неравенств (14), (15) с достаточной для практических расчетов точностью $0,5^\circ$ производится методом перебора.

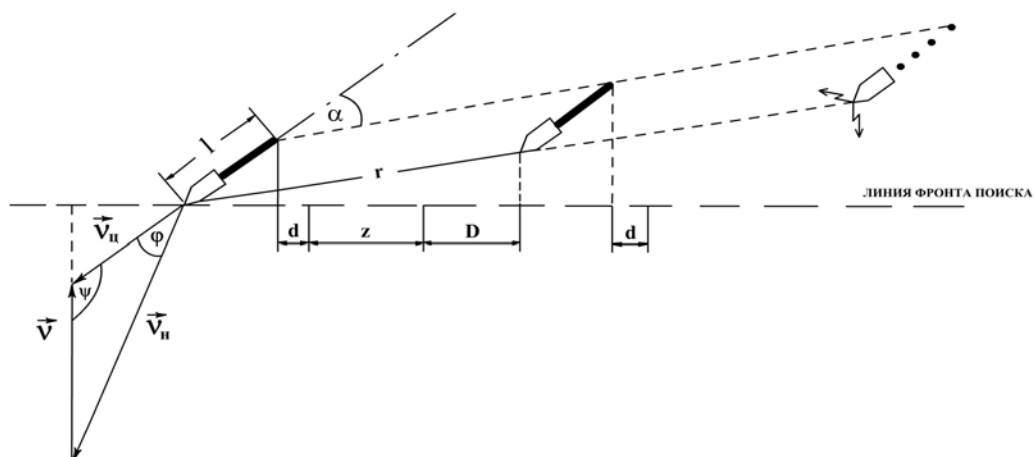


Рис. 4. Геометрические построения при радиолокационном поиске групповой пространственно протяженной цели на морской поверхности в условия радиопротиводействия со стороны противника

В гл. 2 диссертации выведены формулы для расчета вероятности обнаружения групповой пространственно протяженной цели. Вероятность обнаружения групповой пространственно протяженной цели зависит от дальности ее радиолокационного обнаружения, скорости цели и разведчика, курса цели и ее пространственных характеристик (протяженности, ориентации в пространстве, конфигурации, сомкнутости или разомкнутости фронта поиска). Радиопротиводействие со стороны противника приводит к тому, что фронт поиска групповой пространственно протяженной цели становится разомкнутым и вероятность обнаружения уменьшается. При этом вероятность обнаружения групповой пространственно протяженной цели выше вероятности обнаружения точечной цели и, кроме приведенных выше факторов, зависит от конфигурации строя (ордера) и количества целей, составляющих группу, а также от мощности помехи, расстояния между разведчиком и постановщиком помех и от направления на постановщик помех.

В третьей главе на основе методов расчета вероятности обнаружения, разработанных в гл. 2 диссертации, предложен метод расчета вероятности обнаружения одиночной пространственно протяженной цели на морской поверхности группой носителей радиолокационных средств обнаружения (нарядом поисковых сил) при радиопротиводействии со стороны противника.

При независимом действии N носителей радиолокационных средств обнаружения вероятность обнаружения определяется как вероятность обнаружения пространственно протяженной цели хотя бы одним из них, в соответствии с теоремой сложения поисковых потенциалов Б. Купмана.

При организованном обследовании акватории нарядом поисковых сил возникает необходимость расчета вероятности обнаружения пространственно протяженных целей исходя из того, что радиолокационное обнаружение цели одним из разведчиков будет означать ее обнаружение всей группой. При этом необходимо учитывать, что пространственно протяженная цель может пройти сквозь строй или ордер, не

установив контакта даже при $P_{\text{ПО}} = 1$, если расстояние между разведчиками в строю или в ордере больше $(D_{\text{РЭП}} + d_{\text{РЭП}})$.

Вероятность обнаружения одиночной пространственно протяженной цели нарядом поисковых сил рассчитывается с помощью, предложенного в гл. 3, принципа взаимности, который заключается в перестановке $v_{\text{Ц}} \rightleftharpoons v_{\text{Н}}$ в формулах (12), (13). Условием применимости принципа взаимности является сомкнутость фронта поиска. При радиопротиводействии со стороны противника фронт поиска становится разомкнутым и принцип взаимности неприменим.

В гл. 3 диссертации показано, что вероятность обнаружения одиночной пространственно протяженной цели нарядом поисковых сил зависит от конфигурации цели, ориентации цели по отношению к курсу разведчиков, характера маневрирования цели, сомкнутости или разомкнутости фронта поиска, скорости цели и разведчиков.

При радиопротиводействии со стороны противника вероятность обнаружения одиночной пространственно протяженной цели нарядом поисковых сил, помимо перечисленных выше факторов, зависит от мощности помехи, расстояния между разведчиками и постановщиком помех и от направления на постановщик помех.

В четвертой главе приводятся результаты исследования влияния радиопротиводействия со стороны противника на вероятность обнаружения пространственно протяженных целей на морской поверхности как одиночным разведчиком, так и нарядом поисковых сил, использующим РЛС надводного обнаружения.

Исследования гл. 4 диссертации выполнены на конкретных примерах. Расчеты вероятности обнаружения пространственно протяженных целей при радиопротиводействии со стороны противника выполнены для двух случаев:

1) радиолокационного обнаружения одиночного корабля и группы кораблей, спроектированных по технологии уменьшения радиолокационной заметности надводных кораблей (так называемой технологии «Стелс»), и их кильватерных следов как одиночным разведчиком, так и нарядом поисковых сил;

2) радиолокационного обнаружения одиночного корабля и группы кораблей и их кильватерных следов при воздействии активных маскирующих помех как одиночным разведчиком, так и нарядом поисковых сил.

Расчеты вероятности обнаружения пространственно протяженных целей при радиопротиводействии со стороны противника выполнены по методикам, разработанным в гл. 2 и 3 диссертации. Расчет вероятности обнаружения одиночного корабля и группы кораблей, спроектированных по технологии «Стелс», проводился исходя из типовых значений ЭПР корабля. Расчет вероятности обнаружения одиночного корабля и группы кораблей при воздействии активных маскирующих помех проводился исходя из типовых параметров помех.

На рис. 5, 6 представлены графики накопленных вероятностей обнаружения одиночного корабля, спроектированного по технологии «Стелс» (линия штрихами), и «стелс-корабля» вместе с кильватерным следом (сплошная линия), одиночного корабля, спроектированного без применения технологии «Стелс» (линия точками), и корабля вместе с кильватерным следом (штрихпунктирная линия) как одиночным

разведчиком, так и нарядом поисковых сил. Стрелками снизу вверх показано увеличение вероятности обнаружения за счет обнаружения кильватерного следа.

На рис. 7, 8 представлены графики накопленных вероятностей обнаружения одиночного корабля (линия штрихами) и корабля вместе с кильватерным следом (сплошная линия) в условиях активных маскирующих помех и графики вероятностей обнаружения одиночного корабля (линия точками) и корабля вместе с кильватерным следом (штрихпунктирная линия) при отсутствии активных маскирующих помех как одиночным разведчиком, так и нарядом поисковых сил. Стрелками снизу вверх показано увеличение вероятности обнаружения за счет обнаружения кильватерного следа.

На рис. 9 представлены графики накопленных вероятностей обнаружения группы кораблей, спроектированных по технологии «Стелс» (линия штрихами), и группы «стелс-кораблей» вместе с кильватерными следами (сплошная линия), группы кораблей, спроектированных без применения технологии «Стелс» (линия точками), и группы кораблей вместе с кильватерными следами (штрихпунктирная линия) одиночным разведчиком. На рис. 10 представлены графики накопленных вероятностей обнаружения группы кораблей (линия штрихами) и группы кораблей вместе с кильватерными следами (сплошная линия) в условиях активных маскирующих помех, группы кораблей (линия точками) и группы кораблей вместе с кильватерными следами (штрихпунктирная линия) при отсутствии преднамеренных помех одиночным разведчиком. Стрелками снизу вверх показано увеличение вероятности обнаружения за счет обнаружения кильватерных следов группы кораблей.

В результате проведенных в гл. 4 исследований показано, что:

1) радиолокационное обнаружение пространственно протяженных целей снижает эффективность применения технологии «Стелс». При этом накопленная вероятность обнаружения пространственно протяженной цели выше по сравнению с вероятностью обнаружения точечной цели в несколько раз;

2) радиолокационное обнаружение пространственно протяженных целей снижает эффективность преднамеренных помех РЛС надводного обнаружения, в частности, активных маскирующих помех. Так, например, накопленная вероятность обнаружения пространственно протяженной цели выше вероятности обнаружения точечной цели в условиях активных маскирующих помех в несколько раз. Существующие виды преднамеренных помех в данном случае не эффективны.

Невозможность радиолокационного обнаружения надводных кораблей при радиопротиводействии со стороны противника не исключает радиолокационного обнаружения кораблей по их следам (рис. 1 и 2).

Таким образом, радиолокационное обнаружение пространственно протяженных целей можно рассматривать как своеобразный ход в радиоэлектронной борьбе, позволяющий решить задачу радиолокационного обнаружения морских целей противника при радиопротиводействии с его стороны. Способы маскировки и имитации следов, оставляемых кораблями на морской поверхности, в настоящее время неизвестны.

В заключении приведены основные научные результаты диссертационной работы и положения, выносимые на защиту, а также сведения об апробации и использовании результатов диссертации.

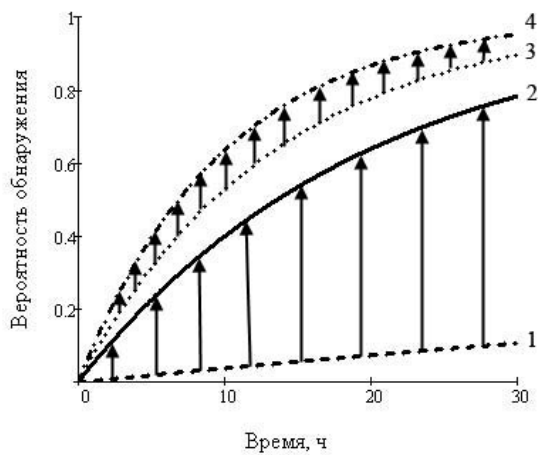


Рис. 5. Вероятности обнаружения «стелс-корабля» (1), «стелс-корабля» вместе с кильватерным следом (2), корабля (3), корабля вместе с кильватерным следом (4) одиночным разведчиком

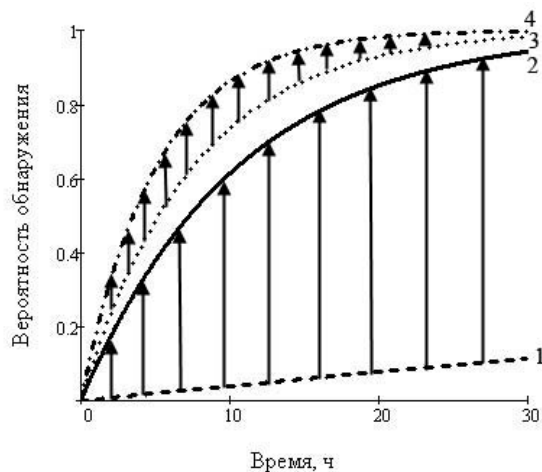


Рис. 6. Вероятности обнаружения «стелс-корабля» (1), «стелс-корабля» вместе с кильватерным следом (2), корабля (3), корабля вместе с кильватерным следом (4) нарядом поисковых сил

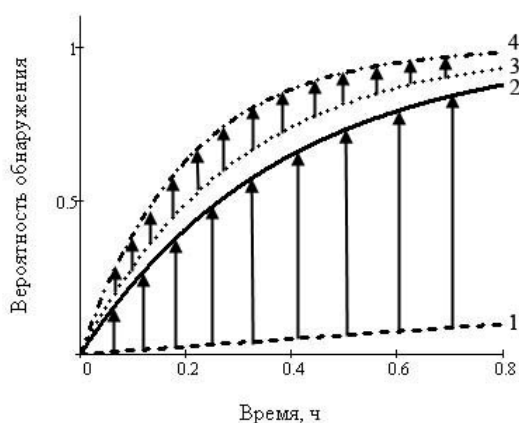


Рис. 7. Вероятности обнаружения корабля (1), корабля вместе с кильватерным следом (2) в условиях активных маскирующих помех и корабля (3), корабля вместе с кильватерным следом (4) одиночным разведчиком

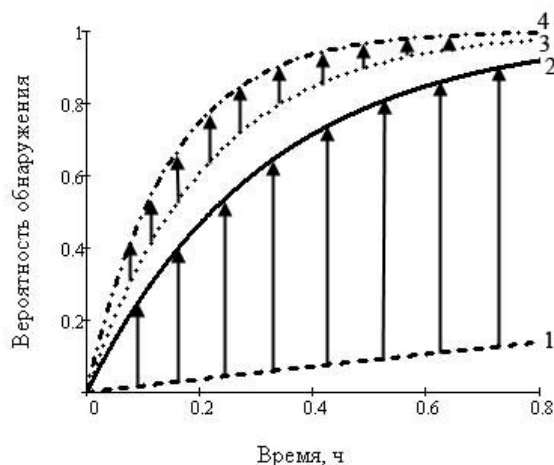


Рис. 8. Вероятности обнаружения корабля (1), корабля вместе с кильватерным следом (2) в условиях активных маскирующих помех и корабля (3), корабля вместе с кильватерным следом (4) нарядом поисковых сил

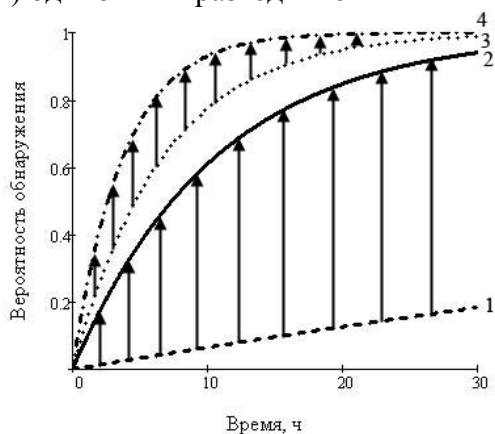


Рис. 9. Вероятности обнаружения группы «стелс-кораблей» (1), группы «стелс-кораблей» вместе с кильватерными следами (2), группы кораблей (3), группы кораблей вместе с кильватерными следами (4) одиночным разведчиком

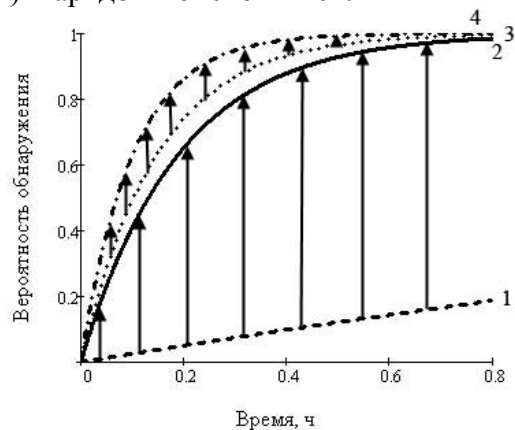


Рис. 10. Вероятности обнаружения группы кораблей (1), группы кораблей вместе с кильватерными следами (2) в условиях активных маскирующих помех и группы кораблей (3), группы кораблей вместе с кильватерными следами (4) одиночным разведчиком

Приложения содержат: алгоритм вычисления интеграла численным методом по обобщенной формуле трапеций на равномерной сетке с обеспечением заданной точности методом Рунге (прил. А); расчет приобретенной производительности поиска пространственно протяженных морских объектов простейшей формы (прил. Б); выражения для оценки эффективности поиска морских объектов с помощью контактных датчиков (прил. В); результаты исследования особенностей радиолокационного поиска пространственно протяженных морских объектов с летательных аппаратов (прил. Г); исследование сходимости формул, полученных в диссертации, к формулам теории поиска точечных целей Б. Купмана (прил. Д).

НОВЫЕ НАУЧНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ, ПОЛУЧЕННЫЕ В ДИССЕРТАЦИИ

1. Предложена классификация целей на морской поверхности, являющихся объектами радиолокационного поиска, и дано их математическое описание, учитывающее не только ЭПР цели, но и ее пространственные характеристики (протяженность, ориентацию в пространстве, конфигурацию, сомкнутость или разомкнутость фронта поиска групповой пространственно протяженной цели).

2. Разработаны методы расчета вероятности обнаружения пространственно протяженных целей на морской поверхности при радиопротиводействии со стороны противника.

3. Показано, что вероятность обнаружения пространственно протяженных целей снижается меньше, чем точечных при радиопротиводействии со стороны противника.

4. Доказано, что за счет радиолокационного обнаружения следов надводных кораблей удастся повысить вероятность их радиолокационного обнаружения в несколько раз. Радиолокационное обнаружение следов надводных кораблей позволяет повысить помехоустойчивость РЛС надводного обнаружения.

5. Радиолокационное обнаружение пространственно протяженных целей позволяет повысить эффективность обнаружения современных надводных кораблей, использующих технологию «Стелс», и кораблей, применяющих средства постановки помех РЛС надводного обнаружения.

СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Статьи в ведущих научных изданиях, рекомендуемых Перечнем ВАК Минобрнауки РФ для публикации научных работ

1. Сергушев, А. Г. Эффективность «поиска сети» абонентскими терминалами сотовой связи / А. Г. Сергушев // Вестник связи. – 2008. – № 3. – С. 30–34.

2. Сергушев, А. Г. Контрастный прием сигналов при трассологических наблюдениях / И. Ф. Шишкин, А. Г. Сергушев // Научно-технические ведомости СПбГПУ. Информатика. Телекоммуникации. Управление. – 2009. – № 1(72). – С. 67–72.

3. Сергушев, А. Г. К вопросу об эффективности приборов поиска объектов / И. Ф. Шишкин, А. Г. Сергушев // Известия ВУЗов. Приборостроение. – Т. 52. – 2009. – № 5. – С. 5–10.

4. Сергушев, А. Г. Трассология в военно-морском искусстве / И. Ф. Шишкин, А. Г. Сергушев // Морской сборник. – 2009. – № 8(1950). – С. 28–33.

5. Сергушев, А. Г. Трассология в навигации / И. Ф. Шишкин, А. Г. Сергушев // Судостроение. – 2010. – № 1. – С. 53–56.

6. Сергушев, А. Г. Поляризационная селекция локационных сигналов при трассологических наблюдениях / И. Ф. Шишкин, А. Г. Сергушев // Научно-технические ведомости СПбГПУ. Информатика. Телекоммуникации. Управление. – 2010. – № 1(93). – С. 42–48.

Другие публикации, в том числе в рецензируемых изданиях

7. Сергушев, А. Г. Радиолокационные станции наблюдения за морской поверхностью: Монография / И. Ф. Шишкин, А. Г. Сергушев. – СПб.: Издательство СЗТУ, 2009. – 96 с.

8. Сергушев, А. Г. Эффективность поиска пространственно протяженных целей в условиях радиопротиводействия со стороны противника / И. Ф. Шишкин, А. Г. Сергушев // Радиотехника. Метрология: Доклады юбилейной научно-технической конференции студентов, аспирантов и сотрудников института / СЗПИ. – СПб., 2000. – С. 145–153.

9. Сергушев, А. Г. Трассология в акваториях / И. Ф. Шишкин, А. Г. Сергушев // Гироскопия и навигация. Материалы IV конференции молодых ученых «Навигация и управление движением»: рефераты лекций и докладов. – СПб., 2002. – №3(38). – С. 143.

10. Сергушев, А. Г. Трассология в акваториях / И. Ф. Шишкин, А. Г. Сергушев // Навигация и управление движением. Сборник докладов IV конференции молодых ученых / ГНЦ РФ – ЦНИИ «Электроприбор». – СПб., 2002. – С. 268–273.

11. Сергушев, А. Г. Эффективность поисковых средств / И. Ф. Шишкин, А. Г. Сергушев // Международная научно-практическая конференция студентов, аспирантов и молодых научных сотрудников ФСАП СЗТУ «Анализ и прогнозирование систем управления»: труды / СЗТУ. – СПб., 2002. – С. 96–99.

12. Сергушев, А. Г. Трассология в акваториях. Технические средства для трассологических наблюдений и их эффективность / И. Ф. Шишкин, А. Г. Сергушев // Гироскопия и навигация. Материалы V конференции молодых ученых «Навигация и управление движением». – 2003. – №4(43). – С. 116.

13. Сергушев, А. Г. Теория поиска / И. Ф. Шишкин, А. Г. Сергушев // Международная научно-практическая конференция молодых ученых, студентов и аспирантов ФСАП СЗТУ «Анализ и прогнозирование систем управления»: труды / СЗТУ. – СПб., 2003. – С. 239–248.

14. Сергушев, А. Г. Теория поиска / И. Ф. Шишкин, А. Г. Сергушев // Проблемы машиноведения и машиностроения: межвузовский сборник / СЗТУ. – СПб., 2003. – Вып. 30. – С. 14–23.

15. Сергушев, А. Г. Производительность поиска / И. Ф. Шишкин, А. Г. Сергушев // Проблемы машиноведения и машиностроения: межвузовский сборник / СЗТУ. – СПб., 2003. – Вып. 30. – С. 24–28.

16. Сергушев, А. Г. Трассология в акваториях / И. Ф. Шишкин, А. Г. Сергушев // Проблемы машиноведения и машиностроения: межвузовский сборник / СЗТУ. – СПб., 2003. – Вып. 30. – С. 29–41.

17. Сергушев, А. Г. Эффективность поисковых средств / И. Ф. Шишкин, А. Г. Сергушев // Проблемы машиноведения и машиностроения: межвузовский сборник / СЗТУ. – СПб., 2003. – Вып. 30. – С. 42–45.

18. Сергушев, А. Г. Поиск пространственно протяженных целей / И. Ф. Шишкин, А. Г. Сергушев // Международный семинар «Интеграция информации и геоинформационные системы '2003»: тезисы докладов. – СПб., 2003. – С. 27–28.

19. Сергушев, А. Г. Поиск пространственно протяженных целей / И. Ф. Шишкин, А. Г. Сергушев // Международный семинар «Интеграция информации и геоинформационные системы '2003»: труды. – СПб., 2003. – С. 129–133.

20. Сергушев, А. Г. Общая теория поиска пространственно протяженных целей. Основные направления работ / И. Ф. Шишкин, А. Г. Сергушев // Проблемы машиноведения и машиностроения: межвузовский сборник / СЗТУ. – СПб., 2003. – Вып. 31. – С. 8–10.

21. Сергушев, А. Г. Трехмерный поиск / И. Ф. Шишкин, А. Г. Сергушев // Проблемы машиноведения и машиностроения: межвузовский сборник / СЗТУ. – СПб., 2003. – Вып. 31. – С. 11–14.

22. Сергушев, А. Г. Поиск в одномерном пространстве / И. Ф. Шишкин, А. Г. Сергушев // Проблемы машиноведения и машиностроения: межвузовский сборник / СЗТУ. – СПб., 2003. – Вып. 31. – С. 15–18.

23. Сергушев, А. Г. Радиолокационные методы для трассологических наблюдений / И. Ф. Шишкин, А. Г. Сергушев // V конференция молодых ученых «Навигация и управление движением»: материалы / ГНЦ РФ – ЦНИИ «Электроприбор». – СПб., 2004. – С. 156–161.
24. Сергушев, А. Г. Теория поиска / И. Ф. Шишкин, А. Г. Сергушев // Международный семинар «Интеграция информации и геоинформационные системы '2005»: тезисы докладов. – СПб., 2005. – С. 35.
25. Сергушев, А. Г. Теория поиска / И. Ф. Шишкин, А. Г. Сергушев // Международный семинар «Интеграция информации и геоинформационные системы '2005»: труды. – СПб., 2005. – С. 167–169.
26. Сергушев, А. Г. Трассология в навигации / И. Ф. Шишкин, А. Г. Сергушев // Международная научно-практическая конференция «Научные исследования и их практическое применение. Современное состояние и пути развития '2006». Т. 5. Транспорт. Физика и математика. Химия: сборник научных трудов. – Одесса: Черноморье, 2006. – С. 46–47.
27. Сергушев, А. Г. Трассология в навигации / И. Ф. Шишкин, А. Г. Сергушев // Международная научно-практическая конференция «Научные исследования и их практическое применение. Современное состояние и пути развития '2007». Т. 1. Транспорт. Физика и математика: сборник научных трудов. – Одесса: Черноморье, 2007. – С. 32–33.
28. Сергушев, А. Г. Применение навигационных РЛС миллиметрового диапазона волн для трассологических наблюдений с целью повышения безопасности судоходства / И. Ф. Шишкин, А. Г. Сергушев // Международная научно-практическая конференция «Научные исследования и их практическое применение. Современное состояние и пути развития '2008». Т. 1. Транспорт. Физика и математика. История: сборник научных трудов. – Одесса: Черноморье, 2008. – С. 10–13.
29. Сергушев, А. Г. Географические информационные системы в трассологии / А. Г. Сергушев // Международная научно-практическая конференция «Современные направления теоретических и прикладных исследований '2009». Т. 2. Транспорт. Физика и математика: сборник научных трудов. – Одесса: Черноморье, 2009. – С. 30–31.
30. Сергушев, А. Г. Радар-процессоры для трассологических наблюдений / А. Г. Сергушев // Международная научно-практическая конференция «Современные направления теоретических и прикладных исследований '2009». Т. 2. Транспорт. Физика и математика: сборник научных трудов. – Одесса: Черноморье, 2009. – С. 31–32.
31. Сергушев, А. Г. Система поддержки принятия решений в трассологии / А. Г. Сергушев // Международная научно-практическая конференция «Современные направления теоретических и прикладных исследований '2009». Т. 2. Транспорт. Физика и математика: сборник научных трудов. – Одесса: Черноморье, 2009. – С. 32–33.
32. Сергушев, А. Г. Комплексование судовых навигационных средств в целях повышения безопасности судоходства / А. Г. Сергушев // Международная научно-практическая конференция «Перспективные инновации в науке, образовании, производстве и транспорте '2009». Т. 1. Транспорт. Технические науки: сборник научных трудов. – Одесса: Черноморье, 2009. – С. 47–48.
33. Сергушев, А. Г. Наука о следах на воде / И. Ф. Шишкин, А. Г. Сергушев // Проблемы машиноведения и машиностроения: межвузовский сборник / СЗТУ. – СПб., 2009. – Вып. 39. – С. 100–106.
34. Сергушев, А. Г. Реализация метода контрастного приема локационных сигналов для трассологических наблюдений в береговой радиолокационной станции / И. Ф. Шишкин, А. Г. Сергушев // Проблемы машиноведения и машиностроения: межвузовский сборник / СЗТУ. – СПб., 2009. – Вып. 39. – С. 107–113.
35. Сергушев, А. Г. Применение береговой радиолокационной станции для трассологических наблюдений / И. Ф. Шишкин, А. Г. Сергушев // Проблемы машиноведения и машиностроения: межвузовский сборник / СЗТУ. – СПб., 2009. – Вып. 39. – С. 114–118.
36. Сергушев, А. Г. Поиск морских объектов в условиях радиоэлектронной борьбы / И. Ф. Шишкин, А. Г. Сергушев // Проблемы машиноведения и машиностроения: межвузовский сборник / СЗТУ. – СПб., 2009. – Вып. 39. – С. 119–124.

37. Сергушев, А. Г. Наука о следах на воде / И. Ф. Шишкин, А. Г. Сергушев // Научно-практическая конференция «Актуальные вопросы метрологии»: сборник материалов / СЗТУ. – СПб., 2010. – С. 121–126.
38. Сергушев, А. Г. Радиолокационные станции наблюдения за морской поверхностью / И. Ф. Шишкин, А. Г. Сергушев // Научно-практическая конференция «Актуальные вопросы метрологии»: сборник материалов / СЗТУ. – СПб., 2010. – С. 127–130.
39. Сергушев, А. Г. Поиск морских объектов в условиях радиоэлектронной борьбы / А. Г. Сергушев // Научно-практическая конференция «Актуальные вопросы метрологии»: сборник материалов / СЗТУ. – СПб., 2010. – С. 131–134.
40. Сергушев, А. Г. Поиск одиночных морских целей в условиях радиоэлектронной борьбы / А. Г. Сергушев // Научно-практическая конференция «Актуальные вопросы метрологии»: сборник материалов / СЗТУ. – СПб., 2010. – С. 135–139.
41. Сергушев, А. Г. Поиск групповых морских целей в условиях радиоэлектронной борьбы / А. Г. Сергушев // Научно-практическая конференция «Актуальные вопросы метрологии»: сборник материалов / СЗТУ. – СПб., 2010. – С. 140–141.
42. Сергушев, А. Г. Действия поисковых сил в условиях радиоэлектронной борьбы / А. Г. Сергушев // Научно-практическая конференция «Актуальные вопросы метрологии»: сборник материалов / СЗТУ. – СПб., 2010. – С. 142.
43. Сергушев, А. Г. Трассология в акваториях. Научно-технический сайт / И. Ф. Шишкин, А. Г. Сергушев. – <http://www.trassology.spb.ru/>, 2010. – 25 с.
44. Сергушев, А. Г. Теория поиска. Научно-технический сайт / И. Ф. Шишкин, А. Г. Сергушев. – <http://www.scanning.spb.ru/>, 2010. – 33 с.
45. Сергушев, А. Г. Официальный сайт Научной школы в области радиолокации морской поверхности. Научно-технический сайт / И. Ф. Шишкин, А. Г. Сергушев. – <http://www.trasse.ru/>, 2010. – 13 с.
46. Sergushev, A. G. Space-Extensive Targets Radar Search in the Presence of Noise / I. F. Shishkin, A. G. Sergushev // Information Fusion and Geographic Information Systems. Proceedings of the Third International Workshop / Lecture Notes in Geoinformation and Cartography (LNG&C). – Berlin: Springer, 2007. – P. 316–322.

Подписано к печати 01.12.2011

Объем 1 печ.л. Тираж 100 экз. Зак. _____

Отпечатано в СПбГУТ. 191186 СПб., наб. р. Мойки, 61