На правах рукописи

Степанов Максим Андреевич

Влияние флуктуаций скорости ветра в турбулентной атмосфере на характеристики обнаружения РЛС с СДЦ

Специальность: 05.12.14 – Радиолокация и радионавигация

Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук

Красноярск – 2009

Работа выполнена в Государственном образовательном учреждении высшего профессионального образования «Новосибирский государственный технический университет».

Научный руководитель: доктор технических наук, профессор
Киселев Алексей Васильевич

Официальные оппоненты: доктор технических наук, профессор
Панько Сергей Петрович
кандидат технических наук, доцент
Тяпкин Валерий Николаевич

Ведущая организация: ОАО «Научно-исследовательский институт измерительных приборов»

Защита состоится «9» апреля 2009г. в 15 часов на заседании диссертационного совета ДМ 212.099.04 при Сибирском федеральном университете по адресу г. Красноярск, ул. академика Киренского, 28, ауд. Б402.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Сибирского федерального университета по адресу: 660074, г. Красноярск, ул. академика Киренского, 26, ауд. Г.274.

Автореферат разослан «___» _____ 2009г.

Ученый секретарь
диссертационного совета
ДМ 212.099.04 Саломатов Ю.П.

Введение

Актуальность темы.

В работе многих радиолокационных устройств большую роль играют отражения от распределенных пассивных атмосферных помех. В радиолокации одной из важнейших задач является обнаружение движущихся целей. Поэтому с самых истоков радиолокационной техники этой задаче уделялось большое внимание. Одним из основных методов выделения сигнала от движущейся цели на фоне пассивных помех является использование доплеровского смещения частоты эхосигналов от движущихся объектов. Устройства, осуществляющие выделение сигналов от движущихся целей получили название систем селекции движущихся целей (СДЦ).

Первые радиолокационные станции (РЛС) с системами СДЦ появились в 50-х годах. В процессе эксплуатации таких РЛС было выяснено, что они обеспечивают характеристики хуже расчетных. Одной из основных причин снижения эффективности называлась несоответствие выбранной модели помехи реальной помеховой обстановке. Дальнейшие работы по улучшению систем СДЦ заключались в применении цифровой обработки сигналов, увеличению линейности приемного тракта перед устройством СДЦ, уменьшению аппаратурных нестабильностей, составлению более точных моделей помех. Все это привело к резкому повышению эффективности систем СДЦ, но проблема постоянного уточнения помеховой обстановки остается актуальной и по сей день. Многие модели пассивных помех излишне упрощены.

В частности, форма доплеровского спектра от объемно-распределенных помех традиционно аппроксимируется колоколообразной зависимостью. Турбулентность атмосферы при такой аппроксимации моделируется расширением спектра. Тонкая структура турбулентности не учитывается. В то же время, экспериментальные исследования атмосферных явлений показывают, что турбулентность представляет собой довольно сложный процесс. Форма

доплеровского спектра эхосигнала от турбулентных метеообразований может существенно отличаться от колоколообразной зависимости.

В настоящее время в метеорологии турбулентность принято моделировать трехмерным нормальным случайным процессом с довольно сложными корреляционными связями. Логично ожидать, что эти связи должны сказываться на форме доплеровского спектра эхосигнала, а следовательно на эффективности работы системы СДЦ. В первую очередь, это может привести к изменению вероятностных характеристик обнаружения целей, визируемых на фоне пассивных помех.

Таким образом, имеет место следующее. Экспериментальные исследования процессов в атмосфере показывает, что общепринятый упрощенный порядок учета влияния турбулентностей на свойства эхосигналов и характеристики обнаружения РЛС с СДЦ не всегда корректен. Это определило цель и задачи настоящей работы.

Цель работы: используя принятую в метеорологии модель турбулентности атмосферы оценить, насколько сильно турбулентность влияет на характеристики обнаружения РЛС с СДЦ.

Для достижения цели решены следующие **основные задачи**:

1. Установить связь характеристик обнаружения РЛС со свойствами турбулентных объемно-распределенных помех, описываемых принятыми в метеорологии моделями.

2. Оценить влияние свойств турбулентности на характеристики обнаружения РЛС с СДЦ.

3. Определить границы применимости классической модели учета турбулентных явлений в атмосфере.

4. Получить оценки влияния выбора модели турбулентности на современные типовые радиолокационные станции.

Методы исследования. При проведении исследований в работе использовались методы статистической радиотехники и математической стати-

стики, теория флуктуации локационных сигналов, теория селекции движущихся целей, а так же методы цифрового моделирования.

Достоверность и обоснованность теоретических результатов обеспечивается строгостью применяемого математического аппарата, а также подтверждением теоретических выводов результатами математического моделирования на ЭВМ.

Положения, выносимые на защиту.

1. При оценке характеристик обнаружения РЛС с СДЦ необходимо учитывать радиус пространственной корреляции флуктуаций вектора скорости ветра в атмосфере.

2. При сильной корреляции флуктуаций вектора скорости ветра в атмосфере вероятность правильного обнаружения РЛС с СДЦ может существенно отличаться от вероятности, оцененной без учета корреляционных явлений в турбулентной атмосфере.

3. При оценке характеристик обнаружения РЛС с СДЦ влияние пассивных помех можно учитывать при помощи поправочных коэффициентов, не зависящих от типа используемого обнаружителя.

Научная новизна работы.

1. Установлено влияние радиуса пространственной корреляции турбулентности на характеристики обнаружения РЛС с СДЦ.

2. Показано, что при оценке характеристик обнаружения РЛС с СДЦ необходимо различать случаи сильной и слабой корреляции флуктуации вектора скорости ветра.

3. Предложено проводить учет влияния пассивных помех от турбулентных метеообразований на характеристики обнаружения при помощи поправочных коэффициентов, не зависящих от типа используемого обнаружителя. Получены соотношения для их расчета.

Практическая ценность результатов.

Полученные результаты могут найти применение при проектировании РЛС.

1. Получены соотношения для оценки характеристик обнаружения РЛС с СДЦ с учетом радиуса пространственной корреляции флуктуаций вектора скорости ветра турбулентных метеообразований.

2. Определены границы, в пределах которых необходимо проводить оценку характеристик обнаружения РЛС с СДЦ с учетом корреляционных связей флуктуаций скорости ветра.

Личный вклад автора.

Все выносимые на защиту результаты работы получены автором лично. Из 13 опубликованных работ 4 работы написаны в соавторстве. В работах, опубликованных в соавторстве, результаты исследования, связанные с темой работы, получены автором.

Апробация работы.

Основные положения работы докладывались на следующих конференциях:

1. Современные проблемы радиотехники. СПР – 2003, Новосибирск, 26-28 ноября 2003 г.

2. 10-я международная научно-техническая конференция студентов и аспирантов «Радиоэлектроника, электротехника и энергетика» М., МЭИ, 2004.

3. Сибирская научно-техническая конференция «Наука. Промышленность. Оборона», Новосибирск, НГТУ, 2004.

4. 7-я международная конференция «Актуальные проблемы электронного приборостроения 2004» – Новосибирск, НГТУ, 2004.

5. «Наука. Технологии. Инновации», Новосибирск, НГТУ, 2004.

6. The 5th IEEE-Russia Conference MEMIA-2005.

7. The 9th Russian-Korean International Symposium on Science and Technology - KORUS-2005.

8. 8-я международная конференция «Актуальные проблемы электронного приборостроения 2006» – Новосибирск, НГТУ, 2006.

9. 9-я международная конференция «Актуальные проблемы электронного приборостроения 2008» – Новосибирск, НГТУ, 2008.

Публикации. По теме опубликовано: 14 работ. Из них 2 статьи в ведущих рецензируемых журналах, рекомендованных ВАК; 9 публикаций в трудах всероссийских и международных конференций; 3 – депонированные рукописи.

Структура диссертации. Диссертация состоит из введения, четырех разделов, заключения списка использованных источников из 94 наименований и трех приложений. Диссертация изложена на 187 страницах текста. Работа содержит 31 таблицу и 84 рисунка.

Содержание работы

Введение содержит обоснование актуальности диссертационной работы, цель и задачи исследований, научные результаты и положения, выносимые на защиту. Кратко изложено содержание работы по разделам.

В первом разделе приведен обзор свойств пассивных объемно-распределенных помех и алгоритмов СДЦ.

Традиционно в радиолокации при моделировании доплеровского спектра эхосигнала от турбулентных метеообразований используют соотношение:

$$G_{BX}(\omega) = \frac{1}{\sqrt{2\cdot\pi}\cdot\sigma_\omega}\exp\left(-\frac{(\omega-\omega_0)^2}{2\cdot\sigma_\omega^2}\right), \qquad (1)$$

где ω_0 – среднее значение доплеровского смещения частоты эхосигнала; σ_ω – среднеквадратический разброс частот отраженного сигнала.

В настоящее время в метеорологии турбулентность моделируют как трехмерный случайный процесс с экспоненциальной корреляционной функцией.

В подразделе показано, что колоколообразная аппроксимация формы доплеровского спектра (1) может существенно отличаться от его экспериментально полученной реализации. Кроме того, проведено математическое моделирование работы гипотетической РЛС в условиях

пассивных помех от турбулентных метеообразований. При этом установлено, что форма кратковременного (существующего на небольшом интервале времени) доплеровского спектра, сформированного по принятым в метеорологии алгоритмам, может существенно отличаться от его аппроксимации по (1) (см. рис. 1).

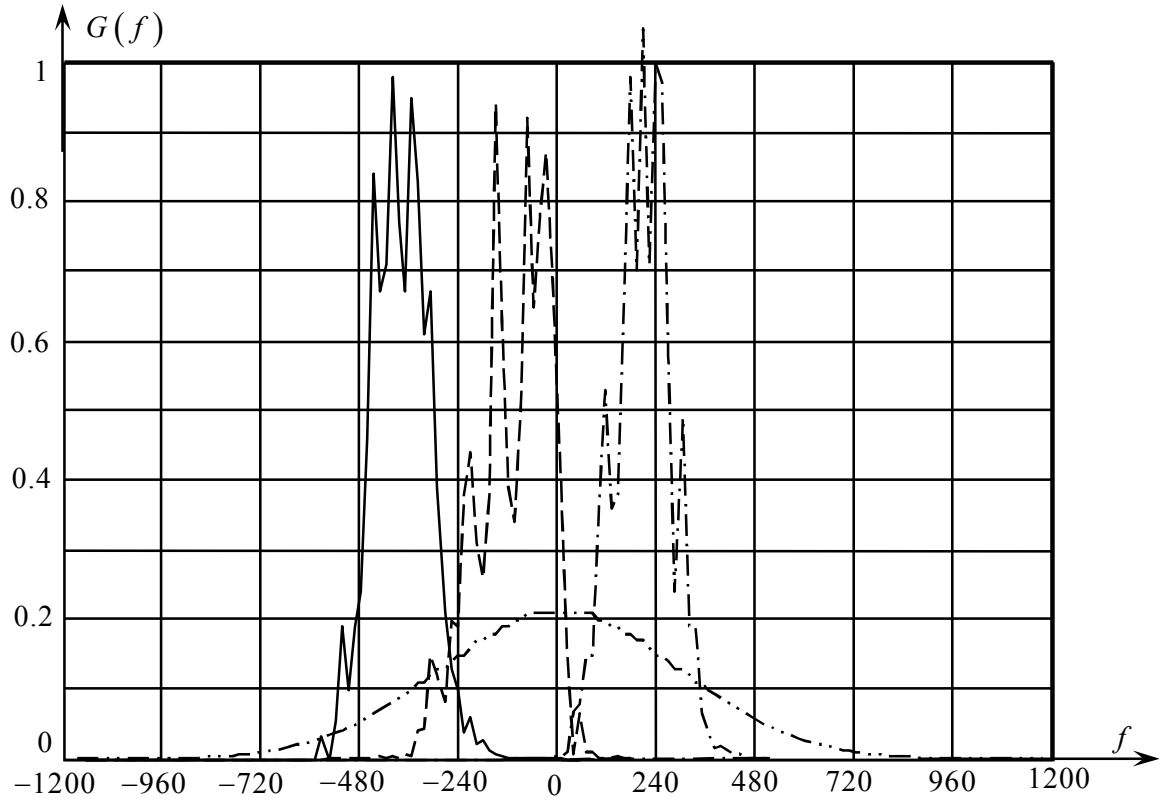

Рис. 1. Доплеровские спектры, полученные при моделировании по (1) (сплошная, пунктир и штрих-пунктир) и по модели, принятой в метеорологии (двойной штрих-пунктир).

Вполне логично предположить, что такое отличие формы доплеровского спектра будет приводить к изменениям вероятности правильного обнаружения целей, визируемых на фоне пассивных объемно-распределенных помех от турбулентных метеообразований. Это предположение так же подтверждено математическим моделированием. Результаты моделирования представлены на рис. 2. Линиями на рисунке нанесены характеристики обнаружения для модели, используемой в метеорологи, точками для упрощенной колоколообразой модели.

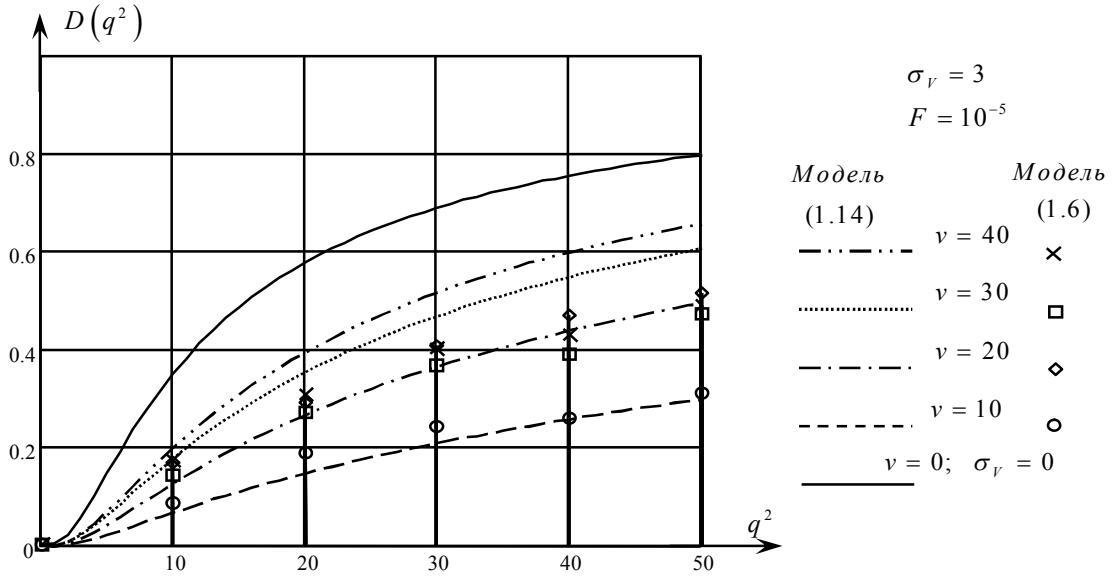

Рис. 2. Характеристики обнаружения РЛС с СДЦ для разных скоростей ветра

С учетом этого конкретизированы задачи исследования и намечены пути их решения.

Второй раздел посвящен анализу связи радиуса корреляции флуктуаций вектора скорости ветра с характеристиками обнаружения РЛС с СДЦ. Предложено проводить анализ при помощи поправочных коэффициентов. Для этого функция, задающая характеристики обнаружения, раскладывается в ряд. Коэффициенты ряда умножаются на поправочные коэффициенты, зависящие от СПМ эхосигнала помехи и системы СДЦ.

$$D\left(q_0^2\right) = \sum_{i=0}^{\infty} a_i \cdot \left(q_0^2\right)^i \cdot P_0^i \cdot m_i = \sum_{i=0}^{\infty} a_i \cdot \left(q_0^2\right)^i \cdot Coeff_i \ ,$$

где a_i - коэффициенты разложения в ряд функции, задающей вероятность правильного обнаружения РЛС в зависимости от отношения сигнал помеха, q_0^2 - среднее значение ОСП, P_0 - мощность пассивных помех при аппроксимации формы доплеровского спектра по (1), $Coeff_i$ - поправочный коэффициент i-той степени.

Такой подход позволит проводить раздельный анализ системы СДЦ и обнаружителя. В общем случае упростить выражение для расчета поправочных коэффициентов не удается, поэтому произведено разделение пассивных помех

по величине радиуса корреляции флуктуации вектора скорости ветра в элементе разрешения.

1. Случай сильной корреляции. Полагается, что форма доплеровского спектра эхосигнала повторяет произведение квадратов приемной и передающей антенн. В этом случае, выражение для оценки поправочных коэффициентов будет иметь вид:

$$Coeff_i = P_0^i \int_{-\infty}^{\infty} \frac{w(\omega_D)}{\left(\int_{-\infty}^{\infty} F_1^2\left(C \cdot Arg(\omega,\omega_D)\right) F_2^2\left(C \cdot Arg(\omega,\omega_D)\right) \left|K(j \cdot \omega)\right|^2 d\omega \right)^i} d\omega_D ,$$

где F_1, F_2 - диаграммы направленности приемной и передающей антенн, $w(\omega_D)$ - плотность вероятности распределения ω_D, $w(\omega_D)$ - нормальное распределение с нулевым средним и дисперсией, пропорциональной дисперсии случайной составляющей радиальной компоненты скорости ветра, $Arg(\omega,\omega_D)$ - функция, задающая аргумент ДНА, C - коэффициент пропорциональности, $K(j\omega)$ - коэффициент передачи системы СДЦ.

2. Случай умеренной корреляции. Известно, что в пределах радиуса корреляции флуктуации вектора скорости ветра движение воздушных масс можно считать квазиламинартым, что позволит использовать ранее полученное соотношение. Введено разбиение элемента разрешения на более мелкие части – парциальные объемы – так, чтобы выполнялось условие:

$$R_{K_a} >> L_a ; \qquad R_{K_y} >> L_y ,$$

где R_{K_a}, R_{K_y} – радиусы корреляции флуктуации вектора скорости ветра по осям «азимут» и «угол места» соответственно; L_a, L_y – линейный размер парциального объема по осям «азимут» и «угол места» соответственно.

Тогда выражение для оценки поправочных коэффициентов принимает вид:

$$Coeff_b = \left(\int_0^\infty ... \int_0^\infty \sum_{i=1}^{M} \sum_{j=1}^{N} \sum_{k=1}^{L} P\left(\omega_{D_{i,j,k}}\right) \cdot w\left(\omega_{D_{1,1,1}},...,\omega_{D_{M,N,L}}\right) d\omega_{D_{1,1,1}} ... d\omega_{D_{M,N,L}} \right)^b \times$$

$$\times \int_0^\infty ... \int_0^\infty \left(\frac{1}{\sum_{i=1}^{M} \sum_{j=1}^{N} \sum_{k=1}^{L} P\left(\omega_{D_{i,j,k}}\right)} \right)^b \cdot w\left(\omega_{D_{1,1,1}},...,\omega_{D_{M,N,L}}\right) d\omega_{D_{1,1,1}} ... d\omega_{D_{M,N.L}} ,$$

где $w\left(\omega_{D_{1,1,1}},...,\omega_{D_{M,N,L}}\right)$ - плотность вероятности совместного распределения M,N,L-мерной случайной величины. $w\left(\omega_{D_{1,1,1}},...,\omega_{D_{M,N,L}}\right)$- нормальное совместное распределение M,N,L-мерной случайной величины с нулевым средним и дисперсией, пропорциональной дисперсии случайной составляющей радиальной компоненты скорости ветра в каждом парциальном объеме.

3. Случай слабой корреляции. При уменьшении корреляции флуктуаций вектора скорости ветра количество парциальных объемов возрастает. Известно, что распределение суммы независимых одинаково распределенных случайных величин сходится к нормальному. Тогда поправочные коэффициенты определяются:

$$D\left(q_0^2\right) = \sum_{i=0}^{\infty} a_i \cdot \left(q_0^2\right)^i \cdot \left(P_{\Pi}(0)\right)^i \cdot \int_0^\infty \left(\frac{1}{X}\right)^i \cdot w(X)\, dX ,$$

где X - случайная величина, распределенная по нормальному закону.

Если мощности эхосигналов от парциальных объемов коррелированны, математическое ожидание и дисперсия флуктуации мощности помехи от элемента разрешения будут вычисляться по следующим соотношениям:

$$m = \sum_{i=0}^{\infty} \sum_{j=0}^{\infty} \sum_{k=0}^{\infty} M_{i,j,k} ; \qquad \sigma^2 = \sum_{i=0}^{\infty} \sum_{j=0}^{\infty} \sum_{k=0}^{\infty} \sum_{f=0}^{\infty} \sum_{d=0}^{\infty} \sum_{s=0}^{\infty} \sigma_{i,j,k} \cdot \sigma_{f,d,s} \cdot R_{i,j,j,f,d,s} ,$$

где M_i - математическое ожидание мощности помехи от i-того парциального объема; σ_i^2 - дисперсия мощности помехи от i-того парциального объема; $R_{i,j,k,f,d,s}$ - коэффициент корреляции мощности помехи для i,j,k-того и f,d,s-того парциальных объемов.

Анализ полученных соотношений показал следующее. При сильной корреляции флуктуаций вектора скорости ветра доплеровский спектр

эхосигнала от турбулентного метеообразования существенно уже, чем при классической модели. Показано, что при слабой корреляций флуктуации вектора скорости ветра доплеровские спектры совпадают для обеих моделей. В случае умеренной корреляции флуктуаций вектора скорости ветра наблюдаются промежуточные результаты.

Все это позволяет выдвинуть следующую гипотезу. При сильной корреляции флуктуаций вектора скорости ветра характеристики обнаружения, оцененные с учетом корреляционных связей в атмосфере могут отличаться от характеристик, оцененных с использованием классического метода. С уменьшением величины радиуса корреляции флуктуаций вектора скорости ветра различия в характеристиках обнаружения для двух моделей формы доплеровского спектра будут уменьшаться. При слабой корреляции флуктуаций вектора скорости ветра будет наблюдаться совпадение характеристик обнаружения, оцененных для двух моделей формы доплеровского спектра.

Проверка выдвинутой гипотезы проведена в разделе 3.

Третий раздел посвящен проверке ранее выдвинутой гипотезы. Для этого проведена оценка характеристик обнаружения РЛС с СДЦ для тандемов типовых систем СДЦ и обнаружителей.

Проведен анализ характеристик обнаружения типовых обнаружителей (обнаружитель полностью известного сигнала, обнаружитель сигнала со случайной начальной фазой и обнаружитель сигнала со случайной начальной фазой и амплитудой). Показано, что при оценке характеристик обнаружения РЛС с СДЦ с учетом пассивных помех от турбулентных метеообразований объем требуемых вычислений прямо пропорционален степени степенного полинома, аппроксимирующего характеристики обнаружения РЛС с СДЦ. Показано, что зависимости D от q распространенных обнаружителей могут быть разбиты на три интервала: квадратичный, линейный и пропорциональный корню квадратному. С учетом этого характеристики обнаружения могут быть аппроксимированы кусочно-полиномиальной аппроксимацией степенными

полиномами не выше второй степени при ошибке аппроксимации не превышающей 5%:

$$D\left(q^2\right)=\begin{cases} a_1+b_1\cdot q^2+c_1\cdot\left(q^2\right)^2, & 0\le q^2<q_1; \\ a_2+b_2\cdot q^2, & q_1\le q^2<q_2;, \\ \sqrt{\left(a_3+b_3\cdot q^2\right)}+c_3, & q_2\le q^2<\infty. \end{cases}$$

где a_i, b_i, c_i - параметры аппроксимации, q_1, q_2 - точки перехода от квадратичного участка характеристик обнаружения к линейному и от линейного к пропорциональному корню квадратному.

Предложено при оценке поправочных коэффициентов перейти от частотных переменных к фазовым. Это позволило существенно упростить соотношения (число переменных сократилось с 5 до 2), что так же облегчило проведение анализа. В общем виде, выражение для оценки поправочных коэффициентов можно записать как:

$$Coeff_i\left(\boldsymbol{\varphi}_m,\mathbf{K}\right)=\frac{\left[\int\limits_{-\infty}^{\infty}P_K\left(\boldsymbol{\varphi}_m,\boldsymbol{\varphi}_C,\mathbf{K}\right)\cdot w\left(\boldsymbol{\varphi}_C\right)d\boldsymbol{\varphi}_C\right]^i}{\int\limits_{-\infty}^{\infty}\frac{w\left(\boldsymbol{\varphi}_C\right)}{\left[P\left(\boldsymbol{\varphi}_m,\boldsymbol{\varphi}_C,\mathbf{K}\right)\right]^i}d\boldsymbol{\varphi}_C}=f\left(\boldsymbol{\varphi}_m,\mathbf{K}\right),$$

где $\boldsymbol{\varphi}_m=\boldsymbol{\omega}_m\cdot T_{\Pi}=\frac{4\cdot\pi\cdot\boldsymbol{v}\cdot\Delta_a}{\lambda}\cdot T_{\Pi}$ - набег фазы, $\mathbf{K}=\mathbf{v}/\boldsymbol{\sigma}_{\mathbf{v}}$ - отношение радиальной компоненты вектора скорости ветра к турбулентной в каждом парциальном объеме.

В общем случае, $\boldsymbol{\varphi}_m$ и $\boldsymbol{K}$ - векторы-столбцы, с числом элементов равным числу парциальных объемов. При случае сильной корреляции флуктуаций вектора скорости ветра эти переменные становятся скалярами.

Для гипотетической РЛС с типовыми параметрами проведена оценка поправочных коэффициентов для основных адаптивных и не адаптивных систем СДЦ. Показано, что при сильной корреляции флуктуации вектора скорости ветра вероятность правильного обнаружения может отличаться на 10-15% от вероятности, оцененной с использованием классической методики. Такое отличие в уровне вероятности правильного обнаружения эквивалентно

изменению ОСП на 5-7дБ. Для случая слабой корреляции флуктуации вектора скорости ветра характеристики обнаружения, оцененные с использованием двух моделей доплеровского спектра совпадают. При умеренной корреляции флуктуации вектора скорости ветра вероятность правильного обнаружения принимает промежуточное значение.

Таким образом, предположение о наибольшем влиянии турбулентности на характеристики обнаружения РЛС с СДЦ при сильной корреляции флуктуации вектора скорости ветра, высказанное во втором разделе получило свое подтверждение.

Проведена оценка влияния пассивных помех от турбулентных объемно-распределенных метеообразований на вероятность ложных тревог. Показано, что при использовании ПУЛТ-алгоритма турбулентность с сильной корреляцией флуктуации вектора скорости ветра не будет влиять на вероятность ложных тревог. В случае турбулентности со слабой корреляцией флуктуаций вектора скорости ветра оценка проводилась с использованием соотношения:

$$P_{LT} = \int_0^\infty F(h/P) \cdot w(P) dP ,$$

где $F(h/P)$ - функция, задающая зависимость вероятности ложных тревог от величины нормированного порогового уровня, h - пороговый уровень, P - среднее значение мощности пассивной помехи на входе обнаружителя, $w(P)$ - плотность вероятности распределения P (в рассматриваемом случае $w(P)$ - нормальное распределение).

Расчет показал, что вероятность ложной тревоги существенно зависит от дисперсии флуктуаций мощности пассивной помехи в элементе разрешения, в котором проводится обнаружение. Показано, что в случае, если в пределах одного элемента разрешения можно выделить более 14 парциальных объемов (что всегда выполняется при слабой корреляции), изменение вероятности ложных тревог может считаться не существенным.

Четвертый раздел посвящен практическому применению полученных результатов.

Установлены границы случаев слабой и умеренной корреляции флуктуации вектора скорости ветра и умеренной и сильной корреляции флуктуации вектора скорости ветра. Переход от случая слабой корреляции флуктуации вектора скорости ветра к случаю умеренной явно не выражен. Переход от случая умеренной корреляции флуктуаций вектора скорости ветра к случаю сильной наступает при значении коэффициента корреляции равном 0.75-0.8. Начиная с этого значения коэффициента корреляции флуктуаций вектора скорости ветра наблюдается резкий рост эквивалентного изменения ОСП при переходе от классической модели учета турбулентности к модели с учетом корреляционных связей в атмосфере.

Получены зависимости коэффициента корреляции флуктуации вектора скорости ветра от дальности до метеообразования и величины радиуса корреляции флуктуаций вектора скорости ветра.

На основе этих зависимостей получены условия, при выполнении которых образуются области сильной корреляции и необходимо учитывать корреляционные связи в атмосфере при анализе характеристик обнаружения РЛС с СДЦ:

$$\frac{\Delta\alpha \cdot R}{R_K} \geq 12.5; \qquad \frac{\Delta\theta \cdot R}{R_K} \geq 12.5,$$

где: $\Delta\alpha$, $\Delta\theta$ - ширина ДНА в азимутальной и угломестной плоскостях, соответственно, R - дальность до метеообразования, R_K - радиус корреляции флуктуации вектора скорости ветра.

Проведена оценка влияния пассивных помех от турбулентных метеообразований на типовые современные РЛС, параметры которых были найдены в открытой печати. Показано, что область сильной корреляции флуктуации вектора скорости ветра имеет место для всех типов РЛС за исключением РЛС большой дальности. Получены условия, при выполнение

которых оценка характеристик обнаружения РЛС с СДЦ должна проводиться с учетом корреляционных связей в турбулентных метеообразованиях.

В заключении перечислены основные результаты работы.

В приложениях подробно рассмотрена аппроксимация характеристик обнаружения типовых обнаружителей с использованием кусочно-полиномиальной аппроксимации. Приведено описание программного обеспечения, разработанного на основе результатов диссертационной работы, для оценки характеристик обнаружения РЛС с СДЦ. Приведены акты, подтверждающее внедрение результатов работы.

Основные результаты работы

В диссертационной работе решены научно-технические задачи, связанные с оценкой характеристик обнаружения РЛС с СДЦ при турбулентной атмосфере.

Получены следующие основные результаты.

1. Установлено влияние корреляционных связей флуктуаций вектора скорости ветра в атмосфере на характеристики обнаружения РЛС с СДЦ. Показано, что при оценке характеристик обнаружения необходимо учитывать влияние корреляционных связей в атмосфере при сильной корреляции флуктуации вектора скорости ветра. При этом наблюдаются существенные расхождения в оценках характеристик обнаружения по сравнению с классическим методом анализа.

2. Предложено проводить оценку характеристик обнаружения при помощи поправочных коэффициентов, зависящих только от параметров пассивной помехи и системы СДЦ. Оценка производится следующим образом: раскладывается в ряд функция, задающая характеристики обнаружения; рассчитываются поправочные коэффициенты – моменты распределения мощности пассивный помехи на выходе СДЦ; коэффициенты разложения взвешиваются поправочными коэффициентами.

3. Произведено разграничение состояний атмосферы на случаи сильной, умеренной и слабой корреляции. Получены соотношения, позволяющие проводить анализ характеристик обнаружения РЛС с СДЦ при наличии пассивных помех от объемно-распределенных объектов находящихся в турбулентной атмосфере для всех рассмотренных случаев.

Теоретические результаты работы доведены до практического применения и имеют прикладное значение.

1. С использованием полученных соотношений показано, что учет корреляционных явлений в атмосфере влияет на вероятность правильного обнаружения, а именно: при сильной корреляции флуктуации вектора скорости ветра отличия в уровне вероятности правильного обнаружения от случая классического учета турбулентности могут достигать 10-15% (что эквивалентно 5-7дБ в ОСП); при слабой корреляции флуктуации вектора скорости ветра характеристики обнаружения совпадают для обеих аппроксимаций формы доплеровского спектра; при умеренной корреляции флуктуации вектора скорости ветра наблюдается промежуточное состояние.

2. Проведена оценка влияния турбулентности на современные типовые РЛС. Предложены рекомендации по расчету характеристик обнаружения РЛС с СДЦ при наличии в их области действия пассивных турбулентных объемно-распределенных объектов. Предложено при оценке характеристик обнаружения РЛС с СДЦ учитывать корреляционные связи в атмосфере для областей сильной корреляции флуктуации вектора скорости ветра и проводить оценку с использованием классической методики оценки для всех других состояний атмосферы.

Полученные в работе результаты дают основание утверждать, что решены задачи, имеющие существенное значение при оценке характеристик обнаружения РЛС с СДЦ.

Установлено влияние радиуса пространственной корреляции флуктуации вектора скорости ветра на характеристики обнаружения РЛС с СДЦ. Теоретические результаты доведены до уровня прикладного программного

обеспечения для оценки характеристик обнаружения РЛС с СДЦ при турбулентной атмосфере.

Список публикаций по теме диссертации

1. **Степанов М.А.** Цифровое моделирование СДЦ при турбулентной атмосфере /Степанов М.А.// Современные проблемы радиотехники. СПР – 2003, Новосибирск, 26-28 ноября 2003 г.: Труды региональной научно-технической школы-семинара студентов, аспирантов и молодых ученых. – Новосибирск, 2003. – С. 36–39.

2. **Степанов М.А.** Характеристики РЛС с СДЦ при турбулентной атмосфере /Степанов М.А. // Тез. докл. десятой междунар. науч.-техн. конф. Студентов и аспирантов «Радиоэлектроника, электротехника и энергетика» М., МЭИ, 2004., т. 1.

3. **Степанов М.А.** Характеристики РЛС с СДЦ при турбулентной атмосфере /Степанов М.А. // Материалы Сибирской науч.-техн. конф. «Наука. Промышленность. Оборона», Новосибирск, НГТУ, 2004.

4. **Степанов М.А.** Анализ характеристик обнаружения РЛС с СДЦ при умеренной корреляции флуктуации вектора скорости ветра /Степанов М.А. // Материалы 7 международной конференции «Актуальные проблемы электронного приборостроения 2004», Т.4. – Новосибирск, НГТУ, 2004. – С. 55 – 57.

5. **Степанов М.А.** Моделирование РЛС с СДЦ при действии турбулентных атмосферных помех /Степанов М.А. // Материалы науч.-техн. конф. «Наука. Технологии. Инновации», Новосибирск, НГТУ, 2004.

6. **Степанов М. А.** Соотношения для расчета характеристик обнаружения РЛС с СДЦ при наличии пассивных помех/ Степанов М. А. Киселёв А.В.; Новосиб. гос. техн. ун-т. - Новосибирск, 2004.- 22 с.: ил.- Библиогр.: 8 назв.- Рус.- Деп. в ВИНИТИ. 24.11.2004, №1854 – В2004.

7. **Степанов М. А.** Обзор пассивных помех и методов борьбы с ними / Степанов М.А., Савиных И.С.; Новосиб. гос. техн. ун-т. - Новосибирск, 2005.- 38 с.: ил.- 18 Библиогр.: 6 назв.- Рус.- Деп. в ВИНИТИ. №315 – В2005.

8. **Степанов М.А.** Влияние турбулентности атмосферы на характеристики обнаружения РЛС с СДЦ /Степанов М.А., Киселев А.В. // Изв. ВУЗов Радиоэлектроника. 2005. №12 – с. 46 – 51.

9. **Stepanov M. A.** AN INFLUENSE OF PASSIVE NOISES UPPON RADAR DETECTION CHARACTERISTICS /Stepanov M.A. // Proceedings of The 5th IEEE-Russia Conference MEMIA-2005, Novosibirsk, NSTU – p. 147 – 149.

10. **Stepanov M.A.** Calculation of Modification of Width of Doppler Spectra /Stepanov M.A. // Proceedings The 9th Russian-Korean International Symposium on Science and Technology - KORUS-2005, Novosibirsk, NSTU – p. 799-800.

11. **Степанов М.А.** Упрощенные соотношения для анализа характеристик обнаружения РЛС с СДЦ при сильной корреляции флуктуации вектора скорости ветра /Степанов М.А.// Материалы 8 международной конференции «Актуальные проблемы электронного приборостроения 2006», Т.4. – Новосибирск, НГТУ, 2006. – С. 39 – 44.

12. **Степанов М. А.** Упрощенные аналитические соотношения для оценки характеристик обнаружения РЛС при турбулентной атмосфере / Степанов М.А.; Новосиб. гос. техн. ун-т. - Новосибирск, 2006.- 43 с.: ил.- 13 Библиогр.: 6 назв.- Рус.- Деп. в ВИНИТИ. 31.10.2006 №1290 – В2006.

13. **Степанов М.А.** Оценка характеристик обнаружения РЛС с СДЦ при турбулентной атмосфере /Степанов М.А., Киселев А.В. // Изв. ВУЗов Радиоэлектроника. 2007. №8 – с. 35 – 40.

14. **Степанов М.А.** Границы состояний атмосферы при оценке характеристик обнаружения РЛС с СДЦ /Степанов М.А. // Материалы 9 международной конференции «Актуальные проблемы электронного приборостроения 2008», Т.4. – Новосибирск, НГТУ, 2008.