

УДК 551.501.81.621.396.96

Гуденко С.Ю., Заичко С.И.
ОНМА

ОЦЕНКА СТЕПЕНИ ВЛИЯНИЯ ЕСТЕСТВЕННЫХ ПОМЕХ НА РАДИОЛОКАЦИОННОЕ ОБНАРУЖЕНИЕ ОБЪЕКТОВ

Постановка проблемы в общем виде. Погодные условия оказывают существенное влияние на эффективность судоходства. Современные средства автоматической идентификационной системы (АИС) позволяют экипажам получать ситуационную информацию в районе плавания. Однако этой информации может быть недостаточно в экстремальных условиях. В таких ситуациях информация от судового радиолокатора является более точной и оперативной при условии обеспечения защиты от воздействия природных помех в процессе отражения электросигнала от облаков и выпадающих осадков. Повышение эффективности обнаружения и распознавания морских объектов судовыми РЛС в условиях сильного воздействия естественных помех может производиться путем выбора наиболее информативных параметров электромагнитной волны (поляризационных), позволяющих увеличить отношение сигнал/помеха и выделить отраженный сигнал от наблюдаемой цели.

Для этого необходимо располагать информацией о степени влияния различных атмосферных образований на работу судовой РЛС.

Анализ последних публикаций по рассматриваемой проблеме. Вопросы обнаружения сигналов от целей на фоне внешних пассивных помех рассмотрены в различных научных публикациях например [1, 2, 3]. Для борьбы с мешающими отражениями [1] используется доплеровская и статистическая фильтрация с учетом характеристик осадков и местных предметов. В [2] представлен алгоритм, по которому рассчитывается та часть ДМА МРЛ, которая экранируется орографическими препятствиями. Однако в судовых радиолокаторах в достаточной степени до настоящего времени не решена задача адаптации электромагнитной волны при воздействии естественных помех.

В судовых радиолокационных системах радиолокационный сигнал образуется в результате отражения зондирующих сигналов объектами различной природы (суда, земная и водная поверхность, облака и осадки). Для радиолокационного обнаружения объекта, его отражающие свойства и окружающей среды должны отличаться, т.е

объект должен обладать определенным контрастом. При заданном отношении сигнал-шум потенциальная точность измерений произвольного параметра определяется частотой эквивалентной гармонической огибающей, зависящей только от структуры обобщенного энергетического спектра огибающей [3]. Смещение симметричного энергетического спектра огибающей относительно нулевой частоты не влияет на точность измерений, так как четная составляющая энергетического спектра содержит всю энергию огибающей, а нечетная не несет энергии.

Ассиметрию энергетического спектра сигнала можно трактовать как появление дополнительной нечетной составляющей, не изменяющей полной энергии отраженного от объекта сигнала. Точность измерений определяется общей шириной энергетического спектра радиолокационного сигнала, а разрешающая способность (с учетом неоднозначности) суммарной протяженностью только заполненных участков спектра, т.е. его общей шириной за вычетом «пустых» участков. Снижение точности определения координат объекта, вызванное случайными неконтролируемыми отклонениями реального спектра от заданной симметричной формы пренебрежительно мало. Единственным ограничением на потенциальную точность совместного измерения угловых координат объекта является требование малого уровня боковых лепестков у пространственной функции корреляции, т.е. выходного сигнала как функции угловых координат, которое удовлетворяется при спадании функции раскрыва антенны на краях. Все остальные факторы, приводящие к снижению точности угловых измерений, практически можно исключить. Наблюдение объектов судовыми радиолокаторами происходят при наличии естественного фона (отражение от подстилающей поверхности и гидрометеоров).

Для борьбы с распределенными естественными пассивными помехами можно использовать шумоподобные импульсные сигналы, сформированные активным или пассивным способом. При активном способе высокочастотное несущее колебание моделируется по частоте или фазе по заданному закону. При пассивном способе для формирования излучаемого сигнала используется оптимальный фильтр. [3]

Если в наблюдаемом пространстве имеется большое число равномерно распределенных по объему и скоростям отражателей, создающих мешающий фон, то единственным путем для снижения

мешающего влияния этого фона является уменьшение телесного угла, занимаемого диаграммой направленности антенны, т.е. повышение угловой разрешающей способности. Ввиду случайных фазовых соотношений между сигналами множества отражателей, оказывается невозможным осуществлять селекцию сигналов фона по угловым координатам, т.е. имеет смысл говорить только об энергетической селекции. Если судовой РЛС объект наблюдается на фоне большого числа движущихся отражателей (естественные гидрометеоры), сигналы которых суммируются по мощности, то селекция сигнала наблюдаемого объекта по угловой скорости (подавление фона) невозможна.

Так как обнаружение и распознавание объекта судовыми РЛС производится на фоне помех, то происходит искривление траектории радиолокационного сигнала, поглощение и рассеяние его энергии газами и частицами облаков. Величина отраженной мощности от объекта наблюдения может оказаться сравнимой с мощностью, отраженной частицами облаков и осадков, или даже меньше. Поэтому наблюдаемый естественный объект при определенном соотношении с фоном отраженных сигналов становится невидимым на индикаторах радиолокационной станции. Целью настоящей статьи является повышение эффективности работы судовой РЛС путем снижения радиолокационной дивиаии от природных шумовых помех. В связи с этим представляет интерес провести одновременное выявление степени влияния нескольких шумовых факторов на работу судовой РЛС. Для решения указанной задачи предложено использование дисперсионного анализа, который позволяет устанавливать не только степень одновременного влияния нескольких шумовых факторов на работу РЛС, но и влияние каждого из них в отдельности и в любых комбинациях. Данная методика позволит оценить долю влияния шумовых факторов на работу РЛС, а также выделить несколько ведущих шумовых факторов для исследования их воздействия на процесс радиолокационного обнаружения объекта.

Постановка задачи.

С помощью дисперсионного анализа оценивается степень влияния атмосферных осадков различной интенсивности на уменьшение дальности радиолокационного обнаружения объектов.

Применительно к решаемой задаче в качестве результативного признака выступает радиолокационное обнаружение объекта, а в

качестве факторных признаков – осадки различной интенсивности и сопутствующие явления – шквалистые ветры с грозой и градом.

Требуется выделить, прежде всего, степень влияния осадков на радиолокационное обнаружение объекта, т.к. выделение степени влияния осадков имеет принципиальное значение.

Решение поставленной задачи.

Обозначим через α - степень снижения радиолокационного обнаружения объектов судовыми РЛС, которая является интегральной величиной, включающей влияние осадков α_0 , шквалистых ветров с грозой α_g и градом α_2 :

$$\alpha = \alpha_0 + \alpha_g + \alpha_2. \quad (1)$$

Таким образом, даже при отсутствии осадков, степень снижения радиолокационного обнаружения объектов α не может быть равной нулю, а ограничивается величиной:

$$\alpha = \alpha_g + \alpha_2, \quad (2)$$

а тем более, при неблагоприятных погодных условиях радиолокационное обнаружение объектов судовыми РЛС не может быть 100% - м.

При решении задачи использована модель двухфакторного дисперсионного комплекса: первый фактор A – влияние осадков на радиолокационное обнаружение объектов; второй фактор B – совместное влияние шквалистых ветров, гроз и града. Действие осадков и сопутствующих им явлений – шквалистых ветров с грозой и градом в определенной степени можно считать независимыми. При изучении действия более чем одного фактора требуется учитывать влияние суммарного факторов в отдельности, а также их сочетаний.

Далее следует построение двухфакторного статистического комплекса (табл.1).

Таблица 1. – Двухфакторный статистический комплекс.

Группы по признаку А	А ₁		А ₂	
	В ₁	В ₂	В ₁	В ₂
Варианты результативного признака (уменьшение дальности радиолокационного обнаружения объекта, км)	У ₁ , У ₂ ,У ₃	У ₄ , У ₅ ,У ₆	У ₇ , У ₈ ,У ₉	У ₁₀ , У ₁₁ ,У ₁₂

Решение двухфакторного статистического комплекса начинается с определения общей дисперсии как суммы квадратов отклонений всех вариантов от общей средней.

$$D_y^2 = \sum_1^n (y_i - \bar{y})^2 . \quad (3)$$

Затем вычисляются частные средние по всем группам, суммы квадратов отношений отдельных вариантов от средних. Сумма этих сумм и покажет величину случайной дисперсии.

$$D_z^2 = \sum_1^n \sum_1^n (y_i - \bar{y})^2 , \quad (4)$$

Дисперсия обоих факторов определяется как сумма квадратов отклонений групповых средних от общей средней. Причем квадраты отклонений в каждой группе взвешиваются по числу единиц в группе, для разного числа слагаемых.

$$D_x^2 = \sum_1^n (\bar{y}_i - \bar{y})^2 n_x , \quad (5)$$

где n_x - число наблюдений по градациям.

Частная дисперсия фактора A определяется колеблемостью частных средних по группам этого фактора.

$$D_A^2 = \sum_1^n (\bar{y}_A - \bar{y})^2 n_A , \quad (6)$$

Частная дисперсия фактора B определяется колеблемостью частных средних по группам этого фактора.

$$D_B^2 = \sum_1^n (\bar{y}_B - \bar{y})^2 n_B . \quad (7)$$

Сумма частных дисперсий по факторам и дисперсии по их сочетанию составляет дисперсию суммарного действия, т.е

$$D_x^2 = D_A^2 + D_B^2 + D_{AB}^2 . \quad (8)$$

При этом должно выполняться условие:

$$\begin{aligned} h_x^2 &= h_A^2 + h_B^2 + h_{AB}^2 , \\ h_y^2 &= h_x^2 + h_z^2 = 1 . \end{aligned} \quad (9)$$

Для достоверности влияния исчисляется дисперсия в расчете на одну степень свободы и отношение этих дисперсий к случайной дисперсии.

При расчете числа степеней свободы следует учитывать то, что число для дисперсии любого фактора равно числу групп по данному

фактору минус единица. Дисперсия по сочетанию факторов имеет число степеней свободы равное произведению числа степеней свободы факторов сочетания. Для дисперсии суммарного действия число степеней свободы равно произведению числа групп по обоим факторам минус единицу.

При расчете дисперсионных комплексов, дисперсия определяется из условия:

$$\begin{cases} D_x^2 = \sum_1^n h \cdot H \\ D_y^2 = y^2 \cdot H \\ D_z^2 = y^2 \cdot \sum_1^n h \end{cases} \quad (10)$$

$$\text{где } h = \frac{(\sum_1^n y)^2}{n_x}, \quad (11)$$

$$H = \frac{(\sum_1^n y)^2}{n}. \quad (12)$$

Для определения основных дисперсий составляется следующая таблица (табл.2).

Таблица 2. – Определение основных дисперсий.

Группы по признаку А	А ₁		А ₂		$\sum_1^n \sum_1^n$
	В ₁	В ₂	В ₁	В ₂	
Группы по признаку В					
Варианты результативного признака	у ₁ , у ₂ , у ₃	у ₄ , у ₅ , у ₆	у ₇ , у ₈ , у ₉	у ₁₀ , у ₁₁ , у ₁₂	\sum_1^n
$\sum_1^n y$	$\sum_1^n y$	$\sum_1^n y$	$\sum_1^n y$	$\sum_1^n y$	$\sum_1^n y$
n_x	$\sum_1^n n_x$	$\sum_1^n n_x$	$\sum_1^n n_x$	$\sum_1^n n_x$	$\sum_1^n n_x$

$h = \frac{(\sum_1^n y)^2}{n_x}$	$\sum_1^n h$	$\sum_1^n h$	$\sum_1^n h$	$\sum_1^n h$	$\sum_1^n h$
$\sum_1^n y^2$	$\sum_1^n y^2$	$\sum_1^n y^2$	$\sum_1^n y^2$	$\sum_1^n y^2$	$\sum_1^n y^2$

Определяются три основных дисперсии:

- общая дисперсия $D_y^2 = \sum_1^n y^2 - H$;

- факторная дисперсия $D_x^2 = \sum_1^n h - H$;

- случайная дисперсия $D_z^2 = \sum_1^n y^2 - \sum_1^n h$;

$$D_y^2 = D_x^2 + D_z^2.$$

Составляется таблица факторных дисперсий (табл. 3)

Таблица 3. – Факторные дисперсии.

Фактор А					Фактор В				
группы	n_A	$\sum_1^n y$	$(\sum_1^n y)^2$	h_A	группы	n_B	$\sum y$	$(\sum y)^2$	h_B
A ₁					B ₁				
A ₂					B ₂				
Σ	$\sum_1^n n_A$	$\sum_1^n y$	-	$\sum_1^n h_A$	\sum_1^n	$\sum_1^n n_B$	$\sum_1^n y$	-	$\sum_1^n h_B$

Факторные дисперсии запишем в следующем виде:

$$\begin{cases} D_A^2 = \sum_1^n h_A - H \\ D_B^2 = \sum_1^n h_B - H \end{cases} \quad (13),$$

$$D_{AB}^2 = D_x^2 - D_A^2 - D_B^2.$$

Степень совокупного влияния факторов на радиолокационное обнаружение объекта

$$\alpha_z^2 = \frac{D_x^2}{D_y^2}. \quad (14)$$

Степень влияния других случайных факторов на радиолокационное обнаружение объекта

$$\alpha_z^2 = \frac{D_z^2}{D_y^2}. \quad (15)$$

Степень влияния фактора А (осадки)

$$\alpha_A^2 = \frac{D_A^2}{D_y^2}. \quad (16)$$

Степень влияния фактора В (шквалистый ветер с грозой и градом)

$$\alpha_B^2 = \frac{D_B^2}{D_y^2}. \quad (17)$$

Выводы:

Предложенная методика и расчетная схема (алгоритм) позволяют рассчитать и разделить степень влияния осадков, шквалистого ветра с грозой и града на радиолокационное обнаружение объектов судовыми радиолокаторами.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Beguin D., Plante I.L. Ground clutter suppression methods. – COST-75, 1999. p.569-580.
2. Hannesen R, Loffler – Maug M. Improvement of quantitative rain measurements with a C-band Doppler radar through consideration of orographically induced partial beam screening. – COST-75, 1999. p.511-519.
3. А.А.Коростелев. Пространственно – временная теория радиосистем. – М. «Радио и связь», 1987. – 319 с.
4. Бакулев П.А. Методы и устройства селекции движущихся целей / Бакулев П.А., Степин В.М. – М. Радио и связь, - 1986. 288 с.
5. Васильев К.К. Прием сигналов при мультипликативных помехах. – Саратов.: Саратов. ун-т, - 1983., - 128 с.

6. Коростелев А.А. Методы измерения координат объектов и обработка радиолокационных сигналов / Коростелев А.А., Мельник Ю.А., Касаткин А.С. – М.: Воениздат, - 1968., - 241 с.

7. Мельников Б.Г. Статистический синтез радиотехнических измерителей навигационных параметров. – М.: Воениздат, - 1982., - 198 с.

8. Метеорологические автоматизированные радиолокационные сети. Санкт-Петербург.: Гидрометеоиздат, 2002. 331 с.

9. Шарапов А.Ю. Влияние метеорологических условий на безопасность полетов по данным ИКАО. – В сб: Влияние внешней среды на безопасность полетов и вопросы воздействия факторов на ее состояние. – Труды ОЛАГА, 1985. С. 89-91.