

Методика анализа ошибок обнаружения грозových разрядов

Д. В. Булгин, email: d.bulgin77@yandex.ru

К.А. Зубрилин

В.С. Волков

Военный учебно-научный центр Военно-воздушных сил «Военно-воздушная академия им. проф. Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина»

***Аннотация.** В статье предлагается методика оценки эффективности грозопеленгации, основанная на анализ ошибок обнаружения грозových разрядов по методу идеального наблюдателя.*

***Ключевые слова:** Грозовой разряд, грозопеленгация, идеальный наблюдатель.*

Введение

В настоящее время для прогнозирования состояния атмосферы Земли необходимо знать ее характеристики не только в приземном слое, но и на различных высотах, в различные моменты времени. Особое место занимает прогноз опасных для авиации явлений погоды, среди которых особое место занимает грозовая деятельность. Процессы молниеобразования сопровождают многие опасные атмосферные явления и процессы: конвективная облачность внутримассового и фронтального характера, циклоны тропических и умеренных широт. Грозовая деятельность в атмосфере является показателем не только существенного преобразования энергии атмосферы, но и предшествует опасным явлениям погоды [1-3]. Таким образом, информация об электрическом состоянии атмосферы приобретает важную роль.

Грозопеленгация предполагает обнаружение грозových разрядов и определение их местоположения. Соответственно оценка эффективности грозопеленгации может быть условно разделена на две составляющих: анализ ошибок обнаружения грозových разрядов и точности определения местоположения. В данной работе основное внимание уделено вопросам обнаружения грозových разрядов с точки зрения анализа ошибок, возникающих при регистрации грозových разрядов.

1. Модель оценки ошибки обнаружения разрядов и измерения их координат

Вся информация о местоположении грозовых разрядов содержится в электромагнитном излучении, возникающем при разряде. Наряду с полезным сигналом от грозового разряда на входе приемного устройства действуют помехи. Они также вызывают ошибки обнаружения разрядов и измерения их координат. В результате процесса обнаружения должно быть принято решение о наличии или отсутствии грозового разряда. Решение может быть принято при двух взаимно исключающих условиях [4-6]:

- условие A_1 – «разряд есть»;
- условие A_0 – «разряда нет».

Имеется ввиду что при выработке решения эти условия неизвестны. За счет помех и флуктуаций полезного сигнала каждому условию могут соответствовать два вида решений:

- решение A_1^* – «разряд есть»;
- решение A_0^* – «разряда нет».

Рассмотрим случай наличия полезного сигнала (грозового разряда) на входе приемного устройства (условие A_1). Если при этом выдается решение A_1^* , говорят о правильном обнаружении. Если при том же условии выдается решение A_0^* , то имеет место пропуск сигнала. Пропуск сигнала является весьма нежелательной ошибкой обнаружения.

Количественными показателями обнаружения при условии A_1 является условные вероятности правильного обнаружения и пропуска сигнала:

$$D = \frac{P(A_1 A_1^*)}{A_1} \quad (1)$$

$$D' = \frac{P(A_1 A_0^*)}{A_1} \quad (2)$$

Поскольку решение A_1^* и A_0^* является взаимоисключающими случайными событиями и соответствуют одному и тому же условию A_1 , то:

$$D + D' = 1 \quad (3)$$

В случае отсутствия сигнала (условие A_0) правильным является не обнаружение, т.е. решение A_0^* . Если за счет воздействия помех выносятся решение A_1^* , говорят о ложной тревоге.

Количественными показателями обнаружения при условии A_0 являются: вероятность ложной тревоги:

$$F = \frac{P(A_0 A_1^*)}{A_0} \quad (4)$$

И правильного не обнаружения:

$$F' = \frac{P(A_{-0} \Delta^*)}{A_{-0}} \quad (5)$$

Соответственно:

$$F + F' = 1 \quad (6)$$

В соответствии с введенными определениями (1) и (4) разработчики средств обнаружения стремятся максимально повысить вероятность правильного обнаружения D и снизить вероятность ложной тревоги F . Как правило, указанные вероятности D и F существенным образом зависят от порога обнаружения. С качественной точки зрения можно сказать, чем выше порог обнаружения, – тем меньше вероятность ложной тревоги, но в то же время и ниже вероятность правильного обнаружения.

В радиолокации известны несколько методов оптимизации процесса обнаружения. Наиболее общим является байесовский критерий минимального среднего риска [3], при этом необходимо обладать полной априорной информацией о сигнале и помехе.

При неизвестных априорных вероятностях наличия и отсутствия сигнала может быть использован минимаксный критерий [3]. Кроме перечисленных критериев обнаружения широкое применение находят критерий Неймана-Пирсона [3]. Для этого критерия фиксируется вероятность ложной тревоги F и минимизируется вероятность пропуска сигнала D [3].

Рассмотренные критерии обнаружения достаточно сложны для анализа, требуют большого количества априорной информации и трудно реализуемы на практике.

В этом плане интерес представляет критерий идеального наблюдателя [3]

$$P_e = \frac{1}{2(F + D')} \quad (7)$$

где, где P_e – суммарная ошибка обнаружения.

Критерий идеального наблюдателя используется в данной работе для формирования оценки эффективности грозопеленгации.

Учитывая выше сказанное методика оценки эффективности грозопеленгации можно представить в виде следующих этапов:

1. Выбор критерия оптимальности с учетом всех возможных априорных данных относительно полезных сигналов и помех на входе устройства приема.
2. Обоснование модели сигнала и помех.
3. Расчет потенциальных характеристик обнаружения полезного сигнала.

4. Сравнение характеристик обнаружения существующих и проектируемых устройств с потенциальными.

Для того, чтобы оценить эффективность полученного алгоритма обнаружения и предложенной блок-схемы необходимо произвести анализ характеристик обнаружения. Анализ произведен на основе частного случая Байесовского критерия, критерия идеального наблюдения [7]. Приемное устройство, оптимальное по критерию идеального наблюдателя минимизирует суммарную вероятность ошибки обнаружения [7]:

$$P_e = \frac{1}{2(F + \hat{D})} \quad (8)$$

где F – вероятность ложной тревоги, \hat{D} – вероятность пропуска сигнала.

Для квазидетерминированного сигнала вероятности ложной тревоги и пропуска сигнала имеет вид [7]:

$$F = 1 - \Phi(H) \quad (9)$$

где $\Phi(x)$ – интеграл вероятностей, H – порог обнаружения.

$$\Phi(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^x e^{-t^2} dt \quad (10)$$

Анализ формулы (9) показывает, что с ростом порога обнаружения (H) вероятность ложной тревоги (F) стремится к нулю и не зависит от амплитуды сигнала.

Основной интерес представляет поведение вероятности пропуска сигнала \hat{D} в зависимости от отношения сигнал-шум (Z_1). Для анализа эффективности предложенного алгоритма необходимо (9) усреднить по распределению амплитуды ($W(a)$). Так как вероятность ложной тревоги (F) не зависит от амплитуды сигнала, то, естественно, она останется неизменной:

$$F = 1 - \Phi(H) \quad (11)$$

Минимизируя (8) с учетом (11) находим порог обнаружения:

$$H = \sqrt{2 \ln z_1}; z_1 = d \quad (12)$$

С учетом вышеизложенных преобразований был произведен расчет изменения суммарной вероятности ошибки обнаружения по критерию идеального наблюдателя в зависимости от изменения отношения сигнала шум:

$$P_e = 1 - \frac{1}{2} \left[\Phi \sqrt{2 \ln d} + \Phi \left(\frac{d}{R^k} - \sqrt{2 \ln d} \right) \right] \quad (13)$$

где $\Phi(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^x e^{-t^2} dt$ – интеграл вероятности.

2. Результаты исследования

По формуле (13) был произведен расчет в программе Excel для значений $k=1,2$; $1,4$ и для нормированной дальности $R=0,5$; 3 . Результаты расчетов представлены в таблицах 1 и 2 и иллюстрируются кривыми на рисунках 1 и 2.

Таблица 1

Суммарная вероятность ошибки при различных значениях k

D	P	$r=0,5$	$k=1,2$
1	0,75565	0,75565	0,75565
2	0,53475	0,53475	0,53475
5	0,5184	0,5184	0,5184
7	0,51225	0,51225	0,51225
10	0,50815	0,50815	0,50815
D	P	$r=3$	$k=1,2$
1	0,9487	0,9487	0,9487
2	0,7847	0,7847	0,7847
5	0,76835	0,76835	0,76835
7	0,7622	0,7622	0,7622
10	0,65885	0,65885	0,65885

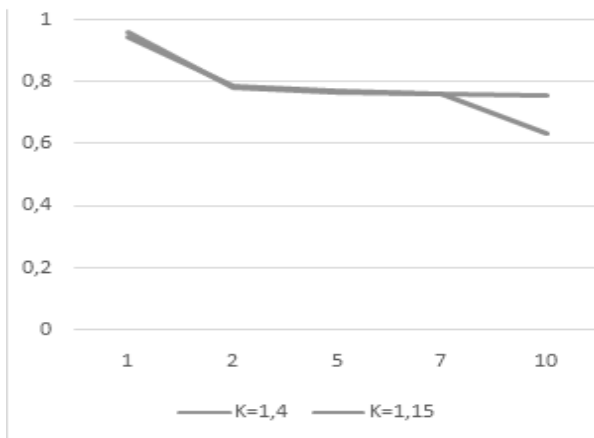


Рис. 1. Зависимость суммарной ошибки обнаружения от отношения сигнала-шум при различных значениях k

По графику 1 видно, что кривые зависят от расстояния до приемной антенны, чем больше расстояние до антенны, тем больше вероятность суммарной ошибки обнаружения сигналов при одинаковых значениях отношения сигнал-шум.

Таблица 2

Суммарная вероятность ошибки при различных значениях \bar{k}

D	P	r=3	k=1,4
1	0,9584	0,9584	0,9584
2	0,7847	0,7847	0,7847
5	0,76835	0,76835	0,76835
7	0,7622	0,7622	0,7622
10	0,7581	0,7581	0,7581
D	P	r=3	k=1,15
1	0,94485	0,9584	0,9584
2	0,7847	0,7847	0,7847
5	0,76835	0,76835	0,76835
7	0,7622	0,7622	0,7622
10	0,63225	0,7581	0,7581

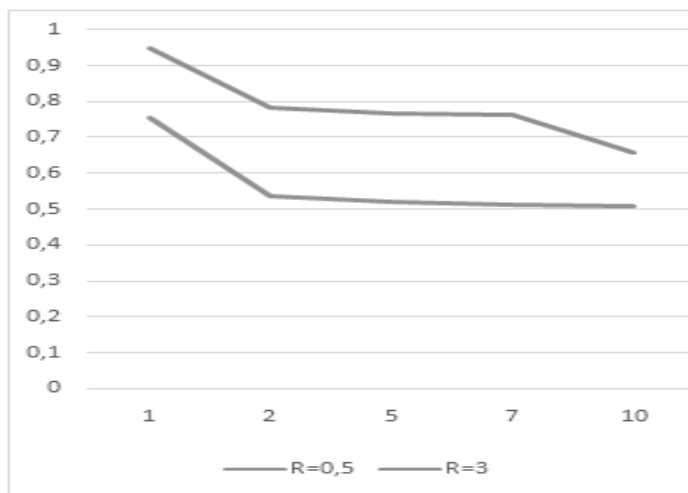


Рис. 2. Зависимость суммарной ошибки обнаружения от отношения сигнала-шум при различных значениях \bar{k}

По графику 2 можно сделать вывод: кривые суммарной вероятности ошибки обнаружения практически не зависят от типов грозовых разрядов по классификациям Тейлора при значениях отношения сигнала- шума до 8. В то же время с увеличением отношения сигнала-шум больше 8 вероятность ошибки обнаружения грозового разряда типа 1 уменьшается, тогда как сигнала типа 2 она существенно не изменяется.

Заключение

Таким образом, представленная в работе методика анализа ошибок обнаружения грозовых разрядов имеет большую эффективность обнаружения различных типов грозовых разрядов. Регистратор, реализующий данный алгоритм, позволит повысить качество метеорологического обеспечения безопасности полетов.

Список литературы

1. Билетов М. В., Тищенко А. И., Кузнецов И. Е. Радиолокационная метеорология // Военное издательство 2008. – 258 с.
2. Степаненко В. Д., Гальперин С. М. Радиотехнические методы исследования гроз. - Л.: Гидрометеиздат, 1983. – 204 с.
3. Гальперин С. М., Щукин Г. Г. Обнаружение электроактивных зон в облаках с помощью радиотехнических средств// Прикладная метеорология. Сб. трудов НИЦ ДЗА. – СПб: Гидрометеиздат, 2001. – С. 123-131.
4. Файзулин Н.А., Семагин Б.В., Панюков А.В. К построению однопунктовых систем местоопределения гроз в ближней зоне, учитывающих поляризационные ошибки// Вопросы радиоэлектроники. Сер. ОВР - 1987. - Вып.7. – С. 60-64.
5. Грозопеленгатор - дальномер "Очаг-2ПУ С. М. Гальперин, И. И, Кононов, В. И. Кунин и др. - Л.: Гидрометеиздат, 1988. – 60 с.
6. Пат 720384 СССР, МПК G01S5/16.Однопунктная система местоопределения гроз в ближней зоне/ Н.А. Файзулин, Б.В. Семагин, Н.И. Крохин, А.В. Панюков. - 2575838/18-09; Опубл. 05.03.1890. Бюл.9.
7. Ульшин И.И. Методы статистической обработки гидрометеорологической информации.– Воронеж: ВВВАИУ (ВИ), 2006. – 158 с.