

**ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДОВ СТАТИСТИЧЕСКОГО АНАЛИЗА
ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ФАКТОВ ВОЗДЕЙСТВИЯ ПОМЕХ
ПРИ РАБОТЕ РАДАРА НЕКОГЕРЕНТНОГО РАССЕЯНИЯ**

А.В. Дмитриевская

**APPLICATION OF STATISTICAL ANALYSIS METHODS FOR DETECTION OF RADIO
DISTURBANCE INFLUENCE DURING THE INCOHERENT SCATTER RADAR OPERATION**

A.V. Dmitrievskaya

В данной работе приведен разработанный метод статистического анализа фактов воздействия помех любого рода на радары некогерентного рассеяния, при помощи которых производится анализ ионосферы. Данный метод позволит оценить правдоподобность полученных при помощи радаров некогерентного рассеяния данные. В настоящий момент данный метод опробуется и запланирован к внедрению в существующие радиолокационные станции.

In this article argued worked out method of statistical analysis of all radio disturbance influence facts on incoherent scatter radars. It help to research the ionosphere. This method will allow appreciate the probability of data recieved with the help of incoherent scatter radars. In this moment this method is being approved and planned to introduction at present radiolocation stations.

Введение

Исследования верхней атмосферы (ВА) Земли важны для получения новых фундаментальных знаний о среде обитания и жизнедеятельности человека. Они необходимы и для решения важных практических задач, круг которых непрерывно нарастает в связи с процессом освоения приполярных территорий и околоземного космического пространства (ОКП). Неблагоприятные изменения космической погоды влияют на надежность работы космических аппаратов, различных систем связи, навигации, энергетических линий и пр. Важнейшей задачей является предсказание и смягчение эффектов воздействия космической погоды на техносферу. Сложность и многофакторность изучаемых явлений определяет высокий современный уровень требований к организации исследований верхней атмосферы и подразумевает комплексный подход к этой задаче.

Исследования верхней атмосферы Земли базируются на данных широкого круга инструментов, осуществляющих экспериментальные наблюдения. Возрастающие требования к уровню экспериментальных исследований в области физики ВА постоянно стимулируют создание новых и совершенствование имеющихся инструментов, требуют развития новых методов диагностики и обработки данных.

В исследованиях ионосферы наиболее информативным наземным средством ее диагностики является метод некогерентного рассеяния (НР). Радары некогерентного рассеяния (РНР) остаются наиболее совершенными наземными средствами диагностики верхней атмосферы Земли, так как позволяют получать в диапазоне высот 90–1000 км, с высоким дистанционно-временным разрешением (до единиц километров и десятков секунд), пространственно-временные распределения сразу нескольких параметров ионосферной плазмы (электронную концентрацию, температуры электронов и ионов, скорость дрейфа и др.).

В основу работы РНР положен принцип длительного накопления эхо-сигнала с последующим анализом полученных данных. Длительность накопления определяется интервалом стационарности исследуемых объектов и может составлять десятки минут.

РНР функционирует в условиях реальной электромагнитной обстановки, в ходе измерений не исключены факты воздействия помех различной природы на работу радара. Поскольку речь идет о накоплении сигнала, воздействующая помеха может исказить или кардинально изменить полученные после обработки сигнала результаты. При импульсном воздействии узкополосной помехи применимы методы ее режектирования, при влиянии широкополосной помехи результаты измерений не могут быть использованы, поскольку окажутся искаженными. В силу высокой чувствительности приемника РНР даже помеха невысокой интенсивности может оказать негативное воздействие на результаты измерений.

Поэтому важной задачей становится задача определения самого факта воздействия помех, особенно помех низкой интенсивности, поскольку от решения данной задачи зависит достоверность получаемых результатов. Упоминание помех низкой интенсивности неслучайно, поскольку детектирование их воздействия не может быть проведено обычным выявлением превышения уровня фона – из-за низкой интенсивности в одном стробе приема фон может быть превышен незначительно, однако при накоплении большого количества стробов влияние помехи существенно вырастет.

В настоящей работе предложено использовать метод статистического анализа для определения фактов воздействия помех произвольной природы. В основе предлагаемого метода лежит статистический анализ распределения уровня фона в стробах приема при работе РНР.

Применение методов статистического анализа для определения фактов воздействия помех при работе радара некогерентного рассеяния

Любая воздействующая на РНР помеха проявляется в виде увеличения уровня фона в стробах приема, поскольку предполагается, что помеха имеет произвольный характер, моменты ее появления не являются детерминированными. Анализ фоновых характеристик производится с помощью критерия сравнения статистических распределений уровней фона в соседние промежутки времени – при гаран-

тированном отсутствии помех и при предположительном их появлении.

Сравнение должно производиться в соседних (близких) временных интервалах – для исключения ложного восприятия несовместимости распределений из-за воздействия ионосферы и других внешних факторов. Анализ помехового воздействия возможно проводить не более чем в 2-часовом временном интервале – интервале стационарности ионосферы. Минимальная длина интервала ограничена количеством доступных для построения распределения данных и по эмпирическим оценкам составляет около минуты.

В связи с тем, что распределение уровня фона при воздействии помехи является случайным, не детерминированным, необходимо использовать статистический метод сравнения, не опирающийся ни на один из законов математической статистики. Наиболее подходящим критерием статистического анализа фоновых характеристик, исходя из заданных условий, является критерий Уилкоксона. Критерий Уилкоксона заключается в присвоении каждой выборке уровня фона ранга, распределению выборок по возрастанию амплитуды (при работе РНР в условиях отсутствия помех и при предполагаемом их наличии) от наименьшего к наибольшему и последующем сложении рангов каждого распределения. Далее производится сравнение сумм рангов выборок фона для распределения при работе без воздействия помех и при их непосредственном влиянии. Суммы рангов должны совпадать с заданной точностью. Анализ факта воздействия на РЛС помехи производится также при помощи критерия Фишера. Данный критерий заключается в сравнении коэффициентов корреляции распределений уровней фона при работе без воздействия помехи и при ее наличии. Сравнение статистических распределений уровней фона с помощью критерия Фишера используется для проверки результатов расчета по критерию Уилкоксона.

Результаты сравнения могут быть получены как математически, так и при помощи визуального анализа распределений уровней фона (по форме кривой распределения).

Возможность сравнения распределений уровней фона на выходе приемника РЛС с помощью критериев Уилкоксона и Фишера опробована и проверена посредством существующих РЛС (аналогов РНР). В качестве «опытного образца» использовалась действующая РЛС, а в качестве гарантированного источника импульсной помехи – одновременно с ней работающий Иркутский радар некогерентного рассеяния (далее по тексту - ИРНР), расположенный в непосредственной близости и работающий в схожем частотном диапазоне. Работы проводились в рамках отработки правильности функционирования средств системы синхронизации действующей РЛС и ИРНР. В ходе работ оценивалось влияние работы ИРНР на работу действующей РЛС при их синхронной и заведомо асинхронной работе (т. е. как раз в случае возникновения импульсной помехи).

На рис. 1 показаны распределения уровней фона в действующей РЛС при выключенных средствах ИРНР, т. е. при отсутствии помехи (слева – Гауссово распределение) и при включенных передатчиках

ИРНР, т. е. при гарантированном наличии импульсной помехи (распределение Релея). На рис. 1 явно прослеживается изменение формы распределения (с Гауссовой на Релееву) и его сдвиг в сторону больших значений амплитуд.

При синхронной работе двух радиолокационных средств форма и сдвиг распределений фона практически не заметны (рис. 2). Рисунок 2 включает в себя отображение рис. 1 и распределение уровней фона в РЛС при ее синхронной работе с ведомым радаром. Наблюдается лишь увеличение количества выборок амплитуд допустимого уровня, но ни форма распределения, ни существенный сдвиг распределений места не имеют.

Из рис. 2 видно, что синхронная работа двух РЛС обеспечена – нет воздействия помех недопустимого уровня.

Но существует широко известный факт – метеорологические изменения могут оказать существенное влияние на уровень фона, создаваемый радиоизлучающим средством. Чтобы убедиться в работе системы синхронизации в любых метеорологических условиях, проводится набор статистики распределений уровней фона ведущей РЛС. Обработка статистических данных проводится при помощи критерия Уилкоксона и проверяется критерием Фишера. Результаты проверки статистической совместности двух распределений дают результаты, идентичные визуальному сравнению – при отсутствии помехи (распределения совпадают) отмечается их статистическая совместность, при наличии импульсной помехи (распределения не совпадают) отмечается их несовместность. Совместимость распределений подтверждается расчетными данными.

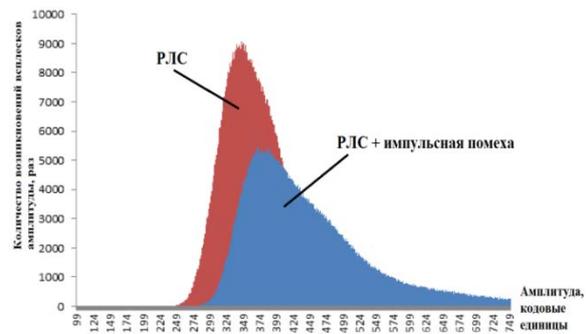


Рис. 1. Гистограммы распределения уровней фона до и после воздействия на РЛС помехи.

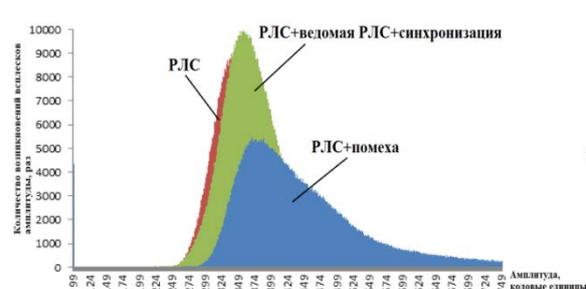


Рис. 2. Гистограмма распределения уровней фона РЛС, работающего без искусственного помехового воздействия; РЛС, синхронизированного с ведомым радаром; РЛС при воздействии искусственно созданной импульсной помехе.

Выводы

По результатам сравнения распределений уровней фона в приемных стробах на двух временных интервалах делается вывод об изменении помехового воздействия. При выборе коротких временных интервалов анализа (длительностью в несколько минут) можно определять факты изменения помехового воздействия. Предполагая, что в основном на работу РЛС оказывает влияние типовой набор местных источников помех, можно определить момент времени, когда к ним добавится новая помеха. Это означает, что метод статистического анализа может успешно использоваться в качестве дополнительного (к существующим) критерия для определения факта наличия помехового воздействия.

Разработанный метод статистического анализа распределения фона оказался эффективным инструментом для определения фактов воздействия на работу изделия помех от линий электропередач, которые характеризуются случайным характером и сильно зависят от погодных условий. При этом, возможна доработка метода, заключающаяся в том, что для построения распределения фона можно использовать значения только с конкретных азимутальных направлений, что позволит оценивать не только факты воздействия помех, но и определять их азимутальные направления.

В настоящее время представленный метод статистического анализа находится в стадии накопления статистики работы, по результатам которой может быть сделан окончательный вывод о его пригодности к использованию в штатной работе РЛС дальнего обнаружения.

ОАО «Радиотехнический институт им. А.Л. Минца», Москва, Россия