

*С.В. ПАНАСЕНКО*, канд. физ.-мат. наук, н.с., Институт ионосферы, Харьков

## **ФИЛЬТРАЦИЯ ВРЕМЕННЫХ ВАРИАЦИЙ МОЩНОСТИ НЕКОГЕРЕНТНО РАССЕЯННОГО СИГНАЛА ПРИ НАЛИЧИИ НЕРЕГУЛЯРНЫХ ПОМЕХ И СБОЕВ АППАРАТУРЫ**

Виділено основні типи нерегулярних завад і збоїв апаратури, що впливають на часові ряди, отримані методом некогерентного розсіяння. Розроблено алгоритми та реалізовано комп'ютерну програму фільтрації потужності некогерентно розсіяного сигналу з використанням методів статистичного аналізу. Показано ефективність запропонованих алгоритмів, їх спроможність зробити сигнал придатним для подальшої обробки.

Выделены основные типы нерегулярных помех и сбоев аппаратуры, влияющих на временные ряды, полученные методом некогерентного рассеяния. Разработаны алгоритмы и реализована компьютерная программа фильтрации мощности некогерентно рассеянного сигнала с использованием методов статистического анализа. Показана эффективность предложенных алгоритмов, их способность сделать сигнал пригодным для дальнейшей обработки.

The main types of irregular interferences and equipment failures that affect the time series obtained by incoherent scatter technique were distinguished. The algorithms have been developed and computer program has been implemented for filtering the power of incoherent scattered signal using the methods of statistical analysis. The efficiency of the proposed algorithms was demonstrated; their ability to make the signal suitable for further processing was showed.

**Введение.** Метод некогерентного рассеяния (НР) позволяет получать параметры волновых возмущений концентрации и температуры электронов в широком диапазоне высот (100 – 600 км) (см., например, [1]). При этом временные зависимости мощности НР сигнала подвергаются влиянию шумов различной природы, нерегулярных помех и сбоев аппаратуры, которые существенно искажают восстанавливаемые параметры ионосферной плазмы. Неучет их влияния при анализе волновых возмущений приводит к значительным погрешностям при расчете параметров этих возмущений, а также к появлению ложных аперiodических и периодических вариаций сигнала. Поэтому задача восстановления минимально искаженных помехами временных зависимостей мощности НР сигнала является актуальной.

Радишумы, постоянно присутствующие в канале распространения, представляют собой смесь шумов приемника, а также космических, атмосферных, промышленных и обусловленных работой большого числа радиостанций шумов [2]. Такой шум часто можно считать гауссовским и нескоррелированным с сигналом НР. Для его устранения применяется вычитание мощности шума из мощности смеси шума и НР сигнала.

**Целью работы** является изложение и анализ результатов фильтрации, полученных с помощью разработанных алгоритмов и программ устранения влияния нерегулярных помех и сбоев аппаратуры.

**Типы нерегулярных помех и сбоев аппаратуры. Способы их устранения.** В процессе анализа и обработки экспериментальных данных были выявлены следующие типы нерегулярных помех и сбоев аппаратуры.

1. *Резкий скачок уровня сигнала* возникает при изменении усиления или выходе из строя одного из элементов приемо-передающей системы. Такая “помеха” может быть смоделирована в виде близкого к прямоугольному импульса.

2. *Внешние импульсные помехи* часто имеют место во время грозы либо связаны с приемом сигналов близко расположенных мощных радиостанций. Они проявляются в виде длительного (около 10 – 60 мин) увеличения уровня принимаемого сигнала.

3. *Когерентные отражения* связаны с отражением излученного сигнала от космических аппаратов или фрагментов космического мусора. Они представляют собой кратковременные (длительность меньше минуты) всплески уровня НР сигнала.

Для решения задачи фильтрации были разработаны алгоритмы, реализованные в компьютерной программе. Они позволяют скорректировать уровень сигнала и отфильтровать помехи на основе статистических методов анализа временных рядов [3, 4].

Для устранения резкого скачка уровня сигнала предложено определять среднее значение мощности внутри и вне скачка, а затем рассчитывать корректирующий коэффициент  $k$ . Результаты коррекции отображены на рис. 1,а. На этом рисунке представлен временной интервал, соответствующий выходу из строя одного из передатчиков харьковского радара НР и, следовательно, уменьшению мощности излучаемого радиосигнала в два раза (с 1.8 до 0.9 МВт).

Анализ данных показал, что корректирующий коэффициент в общем случае зависит от высоты (см. рис. 1,а). Его значения для ряда высот приведены в таблице. Из таблицы видно, что значение  $k$  вначале возрастает, достигает максимума на высотах 250 – 260 км, а затем убывает. Такое поведение обусловлено тем, что в диапазоне высот 170 – 400 км преобладает эффект Фарадея, заключающийся, как известно, в повороте плоскости поляризации радиосигнала при его прохождении через магнитоактивную среду (ионосферную плазму), а на меньших и больших высотах в вечернее и ночное время мощность шума превышает мощность НР сигнала (отношение сигнал / шум становится меньше единицы).

Таблица

Зависимость корректирующего коэффициента от высоты при устранении резкого изменения уровня сигнала

$h$ , км	162	212	263	313	363	413
$k$	1.28	2.32	2.80	2.40	2.03	1.79

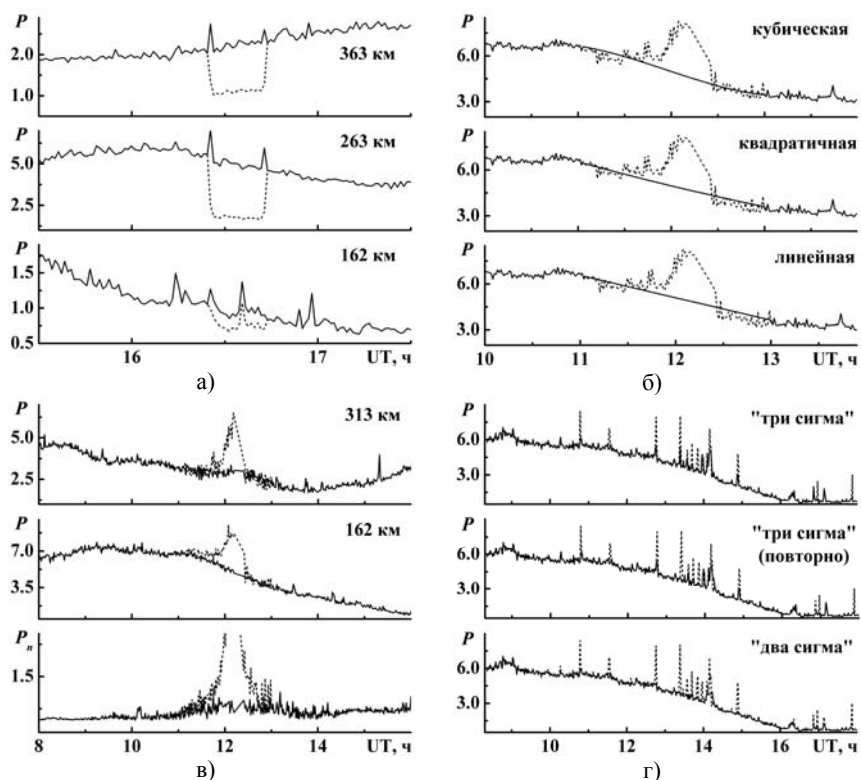


Рис. 1. Исходные (штриховая линия) и отфильтрованные (сплошная линия) временные зависимости мощности смеси НР сигнала с шумом  $P$  и шума  $P_n$ : а – устранение резкого изменения уровня сигнала на различных высотах; б – кубическая, квадратичная и линейная аппроксимация сигнала; в – кубическая аппроксимация и добавление гауссовского шума; г – фильтрация когерентных отражений с использованием критериев “два сигма” и “три сигма”.

При наличии мощных импульсных помех исходный сигнал не подлежит восстановлению. Было предложено аппроксимировать соответствующие временные интервалы полиномами первой – третьей степени по методу наименьших квадратов с добавлением сгенерированного гауссовского шума. Дисперсия шума рассчитывалась как среднее арифметическое дисперсий сигнала до начала и после окончания помехи. Результаты коррекции сигнала без добавления шума представлены на рис. 1,б, а с его добавлением – на рис. 1,в. Этот же алгоритм может быть применен в случае отсутствия сигнала, вызванном выходом из строя радиоустройств, отключением электроэнергии, или другими причинами.

Для фильтрации когерентных отражений устанавливались пороговые значения на уровне  $v\sigma$ , где  $v > 0$  – действительное число,  $\sigma$  – среднеквадратичное отклонение. При этом процедура фильтрации повторялась несколько раз. Значения, превышающие пороговый уровень, заменялись либо средним арифметическим двух соседних значений мощности, либо средним значением мощности на заданном интервале. Результаты фильтрации когерентных отражений приведены на рис. 1,г. Продемонстрировано, что при выборе значений  $v \geq 3$  часть достаточно слабых когерентных отражений отфильтровать не удается, а при  $v \leq 2$  возможно искажение истинного сигнала. Поэтому выбор порогового значения осуществляется, исходя из конкретной задачи.

**Обсуждение.** Воздействие помех и сбоев аппаратуры на параметры НР радиосигнала негативно сказывается также при восстановлении параметров геокосмической плазмы (концентрации электронов, температуры ионов и электронов, ионного состава и др.). Для устранения их влияния на данные, полученные с помощью харьковского радара НР, используются различные алгоритмы фильтрации, подробно описанные в работе [5]. Фильтрация обычно проводится в области высот, а временные интервалы, где присутствуют помехи или сбои, исключаются из последующей обработки. Основное внимание при этом уделяется устранению когерентных отражений [5, 6]. Такой подход мало пригоден при анализе волновых возмущений. Для определения их параметров необходимо использовать классические и современные методы спектрального оценивания [7], пригодные только для анализа дискретных рядов с постоянным шагом по времени. Кроме того, наличие импульсных помех и сбоев аппаратуры может привести к появлению ложных гармонических составляющих при привлечении различных линейных и нелинейных преобразований.

Поэтому для решения таких задач необходима фильтрация во временной области с использованием описанных в данной работе алгоритмов. Эффективность их совместного применения продемонстрирована на рис. 2. Как видно из рисунка, отфильтрованные ряды соответствуют результатам теоретических, модельных и экспериментальных исследований временных зависимостей радишума, а также временных и высотных зависимостей НР сигнала (см., например, [5]). С одной стороны, временные зависимости являются сравнительно плавными, что необходимо для восстановления регулярных параметров ионосферной плазмы, а с другой – испытывают квазипериодические вариации, вызванные волновыми возмущениями различных масштабов, практически всегда присутствующими в ионосфере.

#### **Выводы.**

1. На основе анализа большого массива экспериментальных данных выявлены и классифицированы основные типы нерегулярных помех и сбоев аппаратуры, воздействующих на временные вариации мощности некогерентно рассеянного сигнала.

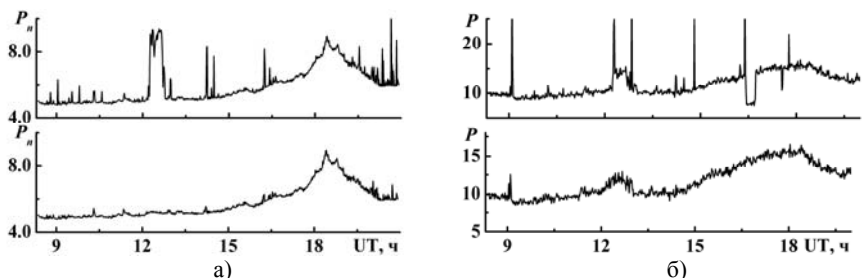


Рис. 2. Временные зависимости мощности шума (а) и НР сигнала на высоте 418 км (б) На верхней панели показаны исходные зависимости, на нижней – отфильтрованные с использованием описанных алгоритмов.

2. Разработаны алгоритмы устранения сбоев аппаратуры, внешних продолжительных импульсных помех, а также когерентных отражений на основе статистических методов анализа временных рядов. Реализована компьютерная программа, позволяющая проводить фильтрацию мощностей в полуавтоматическом режиме.

3. Показано, что резкий скачок уровня сигнала может быть устранен путем введения зависящего от высоты корректирующего коэффициента, при отсутствии сигнала или наличии мощных продолжительных помех необходимо применять полиномиальную аппроксимацию временных рядов, а для фильтрации когерентных отражений задаются пороговые значения на уровне нескольких среднеквадратических отклонений.

4. Приведены результаты фильтрации мощности некогерентно рассеянного сигнала и мощности шума. Показано, что предварительная фильтрация позволяет сделать принимаемый сигнал пригодным для последующей обработки и анализа, в частности, при использовании классических и современных методов спектрального оценивания.

**Список литературы:** 1. Бурмака В.П. Результаты исследования волновых возмущений в ионосфере методом некогерентного рассеяния / Бурмака В.П., Таран В.И., Черногор Л.Ф. // Успехи современной радиоэлектроники. – 2005. – № 3. – С. 4 – 35. 2. Черногор Л.Ф. Дистанционное радиозондирование атмосферы и космоса / Черногор Л.Ф. – Х.: ХНУ имени В.Н. Каразина, 2009. – 500 с. 3. Андерсон Т. Статистический анализ временных рядов / Андерсон Т. – М.: Мир, 1976. – 760 с. 4. Худсон Д. Статистика для физиков / Худсон Д. – М.: Мир, 1970. – 298 с. 5. Пуляев В.А. Определение параметров ионосферы методом некогерентного рассеяния радиоволн / Пуляев В.А., Дзюбанов Д.А., Домнин И.Ф. – Х.: Підручник, 2011. – 240 с. 6. Богомаз А.В. Оптимизация параметров фильтрации когерентных помех при анализе данных некогерентного рассеяния / Богомаз А.В. // Сучасні проблеми радіотехніки та телекомунікацій «РТ – 2011». Матеріали 7-ої міжнародної молодіжної науково-технічної конференції, Севастополь 11 – 15 квітня 2011 р. – Севастополь: СевНТУ, 2011. – С. 315. 7. Бурмака В.П. Современные методы спектрального анализа квазипериодических процессов в геокосмосе / Бурмака В.П., Панасенко С.В., Черногор Л.Ф. // Успехи современной радиоэлектроники. – 2007. – № 11. – С. 3 – 24.

Поступила в редакцию 29.06.2011