НАБЛЮДАЕМЫЕ СВОЙСТВА СОЛНЕЧНЫХ ШУМОВЫХ БУРЬ

Ю. Ф. Юровский

Научно-исследовательский институт “Крымская астрофизическая обсерватория”
98409, п. Научный, Крым, Украина
e-mail: yurovyf@yandex.ru

Разработана методика исследования случайных временных процессов путем совместного использования их статистического распределения и спектра. С ее помощью выяснено, что 95% энергии всплескового компонента солнечных шумовых бурь излучается в виде долгоживущих всплесков и лишь 5% энергии содержится во всплесках I типа. Показано, что такие свойства приобретает излучение, прошедшее через неоднородности корональной плазмы. Следовательно, всплесковый компонент шумовых бурь может возникать в результате случайной рефракции радиоволн на неоднородностях солнечной короны.

ВВЕДЕНИЕ

Радиоволны выходят с того уровня солнечной атмосферы, где частота волны становится меньше ленгмюровской. Поэтому в зоне формирования корпускулярных потоков генерируется излучение метрового диапазона волн. Чаще всего на этих волнах наблюдаются шумовые бури (ШБ). Следовательно, ШБ содержат сведения о физических условиях в короне на высоте формирования геоэффективных потоков, воздействующих на земные процессы.

Шумовой бурей называется повышенное флуктуирующее радиоизлучение Солнца. Обычно предполагается, что ШБ содержит “многочисленные, следующие один за другим кратковременные всплески длительностью порядка секунд и долей секунды” [1]. В соответствии с этим все опубликованные гипотезы происхождения ШБ ориентированы на объяснение механизма излучения *коротких* всплесков. Спектр сигнала, состоящего из коротких импульсов, должен быть плоским подобно спектру “дробового” шума. Однако спектр ШБ оказался гиперболическим [5]. Измерение энергии свидетельствует, что 95% энергии ШБ излучается в виде долгоживущих всплесков и только 3-5% приходится на долю коротких, продолжительностью $\sim$1 с [6]. Из этого следует, что излучение ШБ состоит в основном из долгоживущих, а не коротких всплесков. В этой статье излагается методика анализа флуктуирующего сигнала и предлагается механизм образования ШБ, объясняющий результаты наблюдений.

СВЯЗЬ МЕЖДУ ВРЕМЕННЫМ И СПЕКТРАЛЬНЫМ ОПИСАНИЕМ СИГНАЛА

При временном подходе излучение, например, белый свет, можно представить как сумму импульсов от каждого электрона и описывать сигнал распределением длительности этих импульсов. Этот же сигнал при спектральном описании рассматривается как сумма синусоидальных колебаний и характеризуется видом спектра. Оба представления связаны функциональной зависимостью $F = 1/D$ между частотой F и длительностью импульсов D. Совместное использование этих описаний дает более полную информацию о физическом процессе, создавшем исследуемый сигнал.

Расчет спектра заключается в вычислении коэффициентов Фурье, пропорциональных площади под кривой, описывающей спектральный компонент, и равных произведению средней амплитуды на время действия пакета колебаний на частоте F (рис. 1). Наличие двух сомножителей приводит к тому, что разные исходные процессы могут иметь одинаковый спектр. Эту неопределенность можно устранить, если вычислить продолжительность пакета по распределению длительности. Таким образом, исходный процесс можно характеризовать распределением длительности компонентов $w(D)$ и спектром $G(F)$. Связь между этими параметрами определяется соотношением $G(F){\sim}A^2(F)\cdot w(D)/F^3$. Это позволяет однозначно определить тип случайного процесса, создавшего исследуемый сигнал [8].

Наблюдения свидетельствуют, что ШБ характеризуется квадратичным распределением длительности $w(D) \sim 1/D^2$ и гиперболическим спектром $G(F) \sim 1/F$. Следовательно, источник должен излучать флуктуации одинаковой амплитуды в течение времени, пропорционального их длительности (рис. 1, модель 3).

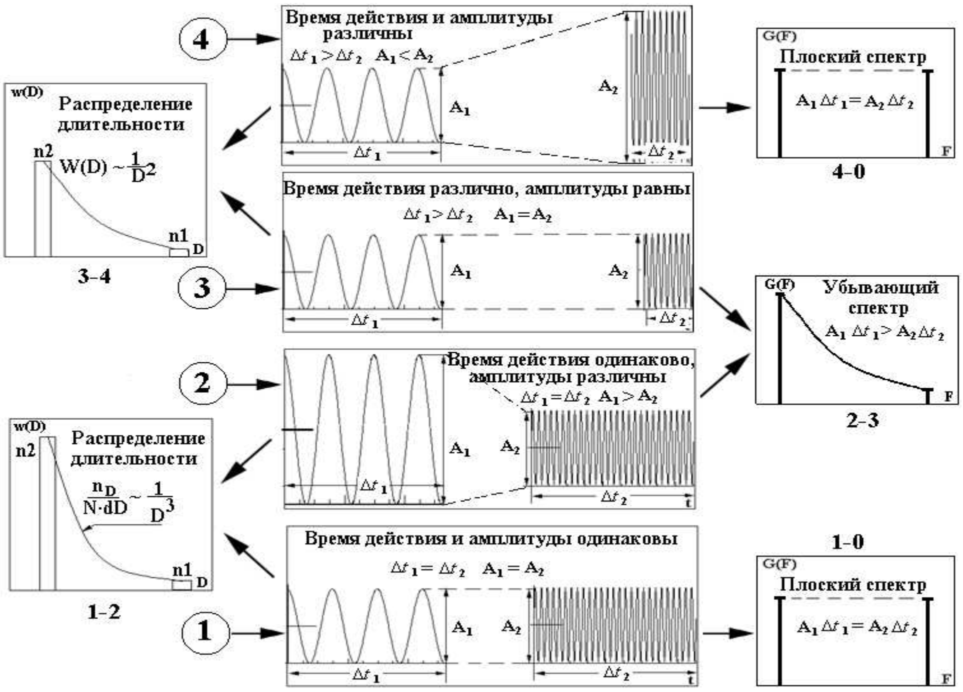

Рис. 1. Связь между законом распределения длительности и спектром

ОДИН ИЗ ВОЗМОЖНЫХ МЕХАНИЗМОВ ВОЗНИКНОВЕНИЯ СИГНАЛА С УКАЗАННЫМИ СВОЙСТВАМИ

Рассеяние радиоволн в короне давно известно и используется для изучения межпланетной среды. Излучение источника шумовой бури также пересекает корону, поэтому для оценки видимых размеров источника многими авторами учитывались эффекты рассеяния. Однако неизбежное при этом возникновение амплитудной модуляции не рассматривалось.

Размеры видимого источника ШБ почти неизменны [1], поэтому яркостная температура (в среднем) постоянна ($A^2(F) \sim \mathrm{const}$) и не зависит от длительности флуктуаций. Количество максимумов пропорционально отношению площади видимого источника к площади одной неоднородности (т.е. пропорционально квадрату линейных размеров). Так как для образования протяженной неоднородности требуется больше времени, чем для образования маленькой, то количество флуктуаций за фиксированный интервал времени получается обратно пропорциональным квадрату их длительности: $w(D) \sim 1/D^2$. При этом спектр оказывается гиперболическим $G(F) \sim 1/F$. Именно такими свойствами обладает наблюдаемое излучение ШБ [4].

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ИНТЕНСИВНОСТИ РАССЕЯННОГО СИГНАЛА И ШУМОВЫХ БУРЬ

Если сигнал состоит из суммы рассеянных лучей (рис. 2), то интенсивность на выходе радиотелескопа должна иметь экспоненциальное распределение [2]. Эмпирическое распределение вычисляется как относительное время пребывания реализации в равновеликих интервалах, на которые разделен весь диапазон изменения случайной величины. Распределение интенсивности 10-ти шумовых бурь, наблюдавшихся в 1998 и 2001–2002 гг. [3, 7], оказалось близким к экспоненциальному закону. Следовательно, флуктуации шумовой бури могут быть результатом рассеяния радиоизлучения на неоднородностях электронной плотности короны.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Объективный анализ радиоизлучения солнечных шумовых бурь с помощью совместного использования временных и спектральных представлений случайного сигнала показал следующее.

1. Около 95% энергии всплескового компонента солнечных шумовых бурь излучается в виде долгоживущих всплесков и лишь 5% энергии содержится в коротких всплесках I типа.

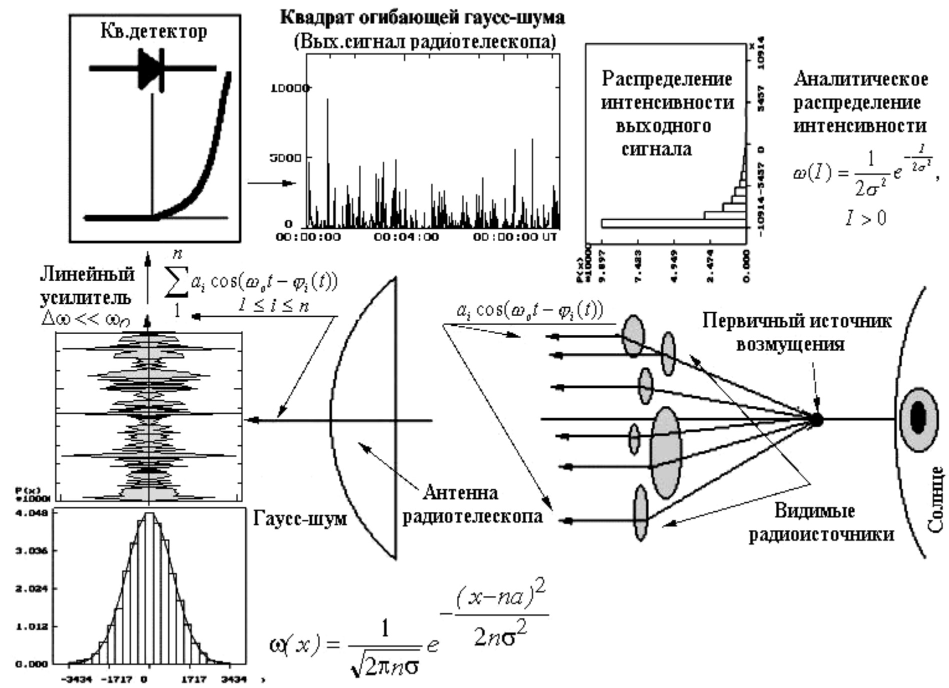

Рис. 2. Образование экспоненциального распределения интенсивности из-за случайной рефракции

2. Следовательно, результаты наблюдений не подтверждают распространенную гипотезу образования флуктуаций шумовых бурь из кратковременных всплесков I типа.
3. Поэтому шумовой бурей следует называть повышенное флуктуирующее радиоизлучение Солнца на волнах метрового диапазона продолжительностью от нескольких часов до нескольких дней, априорно не декларируя свойства возможных компонентов разложения.
4. Возникновение флуктуаций интенсивности шумовой бури удовлетворительно объясняется как результат случайной рефракции радиоволн на неоднородностях короны.

[1] *Железняков В. В.* Радиоизлучение Солнца и планет. – М.: Наука, 1964. – 560 с.

[2] *Левин Б. Р.* Теория случайных процессов и ее применение в радиотехнике. – М.: Сов. радио, 1960. – 663 с.

[3] *Юровский Ю. Ф.* Мерцание интенсивности радиоизлучения солнечных шумовых бурь // Изв. Крымской астрофиз. обсерв. – 2000. – **96**. – С. 157–164.

[4] *Юровский Ю. Ф.* Определение длительности всплесков солнечных шумовых бурь по их спектру мощности // Изв. Крымской астрофиз. обсерв. – 2003. – **99**. – С. 92–100.

[5] *Юровский Ю. Ф.* Спектральная плотность всплескового компонента солнечных шумовых бурь // Изв. Крымской астрофиз. обсерв. – 2007. – **103**, № 1. – С. 33–36.

[6] *Юровский Ю. Ф., Юровский Ю. Ю.* О природе всплескового компонента солнечных шумовых бурь // Изв. Крымской астрофиз. обсерв. – 2007. – **103**, № 4. – С. 131–136.

[7] *Юровский Ю. Ф.* Влияние случайной рефракции радиоволн в короне на свойства солнечных шумовых бурь // Кинематика и физика небес. тел. – 2007. – **25**, № 5. – С. 266–272.

[8] *Юровский Ю. Ф., Юровский Ю. Ю.* Свойства механизма генерации солнечных шумовых бурь // Изв. Крымской астрофиз. обсерв. – 2008. – **104**, № 1. – С. 40–52.