УДК 537.531-77

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ НА ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ СПЕКТР ЗАДЕРЖЕК ТРАССЫ С ОТРАЖЕНИЯМИ ОТ ПОДСТИЛАЮЩЕЙ ПОВЕРХНОСТИ СИГНАЛОВ ИСТОЧНИКА РАДИОИЗЛУЧЕНИЯ

Лейко О.В.

ФГОУ ВПО «Национальный Исследовательский Томский Политехнический Университет», Томск, e-mail: ovl3@tpu.ru

В представленной работе приводятся результаты исследования энергетического спектра задержек методом моделирования. Исследовано влияние протяженности трассы на энергетический спектр задержек, выявлена зависимость между протяженностью трассы и числом точек отражения сигнала. Выявлена зависимость между расположением трассы отражения сигнала и энергетическим спектром задержек отраженного сигнала. Установлено влияние высот излучателя и приемника радиоизлучения на энергетический спектр задержек.

Ключевые слова: энергетический спектр задержек, импульсная характеристика

STUDY OF THE IMPACT OF AREA TO REFLECTIONS FROM THE UNDERLYING SURFACE ON THE ENERGY SPECTRUM THE PROPAGATION DELAY OF THE RADIO SIGNAL

Leyko O.V.

National Research Tomsk Polytechnic University, Tomsk, e-mail: ovl3@tpu.ru

In this article we present the results of a small study is where we examined the energy spectrum the propagation delay of the reflected signal from the surface. We have investigated the effects of reflection area size and location on the energy spectrum the propagation delay of the radio signal. And we have done the analysis of the relationship between the heights of source and signal receiver and the energy spectrum the propagation delay of the radio signal.

Keywords: energetic spectrum, impulse response

В любой радиотехнической или электронной системе приходится иметь дело с сигналами, служащими для переноса информации между отдельными устройствами системы. Помимо информационных сигналов в системах всегда присутсвуют помехи, искажающие передаваемую информацию. В целом, как полезные информационные, так искажающие сигналы, относятся к категории случайных сигналов, значения которых в каждый конкретный момент времени можно определить лишь с некоторой вероятностью [5]. Работа радиотехнических систем радионавигации, связи, радиовещания и единого времени основана на использовании земных радиоволн. В свое время рассматривались вопросы распространения радиоволн над неоднородной земной поверхностью [3]. Реальная земная поверхность всегда резко неоднородна, поскольку сложена горными породами, обладающими неоднородными электрическими свойствами, имеет рельеф и может быть покрыта растительностью, слоем сезонноотаивающей мерзлоты, льдом. Поэтому на практике возникают вопросы о расположении источника и приемника радиозлучения над реальной земной поверхностью с учетом электрических неоднородностей подстилающей среды, рельефа и растительного покрова. Вопросы о высоте расположения источника и приемника, о дальности их расположения друг относительно друга в настоящее время актуальны и нужнаются в исследовании влияния на энергетический спектр задержек сигнала, отраженного от шероховатой земной поверхности.

Целью исследования является исследование качественных и количественных характеристик энергетического спектра задержек отраженного от подстилающей поверхности сигнала в зависимости от геометрических параметров области отражения сигнала.

Количественной характеристикой энергетического спектра задержек является длительность по уровню 0,1 или 0,01 от максимального значения. Качественной характеристикой энергетического спектра задержек является его форма, которая может изменяться, если размеры и расположение область отражения радиоволн от шероховатой поверхности меняются.

Энергетический спектр задержек представляет собой усреднённую по совокупности реализаций импульсную характеристику трассы распространения, которая в терминологии линейных безынерцион-

ных фильтров представляет собой отклик на воздействие в виде дельта-функции [2, 7]. Под реализацией здесь следует понимать конкретный вид неровностей в ограниченной области шероховатой подстилающей поверхности. При моделировании неровности подстилающей поверхности представлены стационарным случайным гауссовским процессом с нулевым средним значением.

Если изменения импульсных характеристик от реализации к реализации незначительны, то для простоты в работе вместо энергетического спектра задержек рассматривается импульсная характеристика.

Геометрия трассы распространения радиоволн над шероховатой поверхностью с отражениями показана на рис. 1.

Неровности шероховатости поверхности описываются случайным гауссовским некоррелированным процессом $\xi(l)$ с нулевым средним значением $m_\xi = 0$ и некоторой дисперсией σ_ξ.

Выражение, описывающее энергетический спектр задержек, для рассматриваемой геометрии представленно выражением [1, 6, 8]:

$$Es(t) = M\left\{\int_{x_1}^{x_2} \frac{exp\left[-jk\left(r_1(\Delta l,\Delta x)+r_2(\Delta l,\Delta x)\right)\right]}{r_1(\Delta l,\Delta x)^2 r_2(\Delta l,\Delta x)^2}\delta\left(t-\frac{r_1(\Delta l,\Delta x)+r_2(\Delta l,\Delta x)}{c}\right)dx\right\}, \quad (1)$$

где

$$r_1(\Delta l,\Delta x) = \sqrt{(l_0+\Delta l)^2+\Delta x^2+\left[h_T-\xi(l_0+\Delta l)\right]^2};$$

$$r_2(\Delta l,\Delta x) = \sqrt{\left[D-(l_0+\Delta l)\right]^2+\Delta x^2+\left[h_R-\xi(l_0+\Delta l)\right]^2}.$$

Рис. 1. Геометрия трассы распространения радиоволн. Примечание: h_T – высота расположения точечного источника радиоизлучения; h_R – высота расположения точечного приемника радиоизлучения; D – дальность трассы распространения; l_0 расстояние от источника радиоизлучений до ближайшей границы области отражений радиоволн от неровностей подстилающей поверхности; l_1 – расстояние от источника радиоизлучения до наиболее удаленной границы области отражений радиоволн от неровностей подстилающей поверхности; Δl – расстояние от ближайшей к источнику радиоизлучений границы области отражений до плоскости ZoX, в которой рассматриваются шероховатости поверхности; x_1, x_2 – расстояния между границами отражений радиоволн до прямой на плоскости XoY, соединяющей источник и приемник радиоизлучений; Δx – расстояние от прямой, соединяющей источник и приемник радиоизлучений, до i-ой точки отражения при фиксированной расстоянии от источника радиоизлучений $l_0 + \Delta l$; r_1 – расстояние от источника радиоизлучения до точки отражения; r_2 – расстояние от точки отражения до приемника радиоизлучения

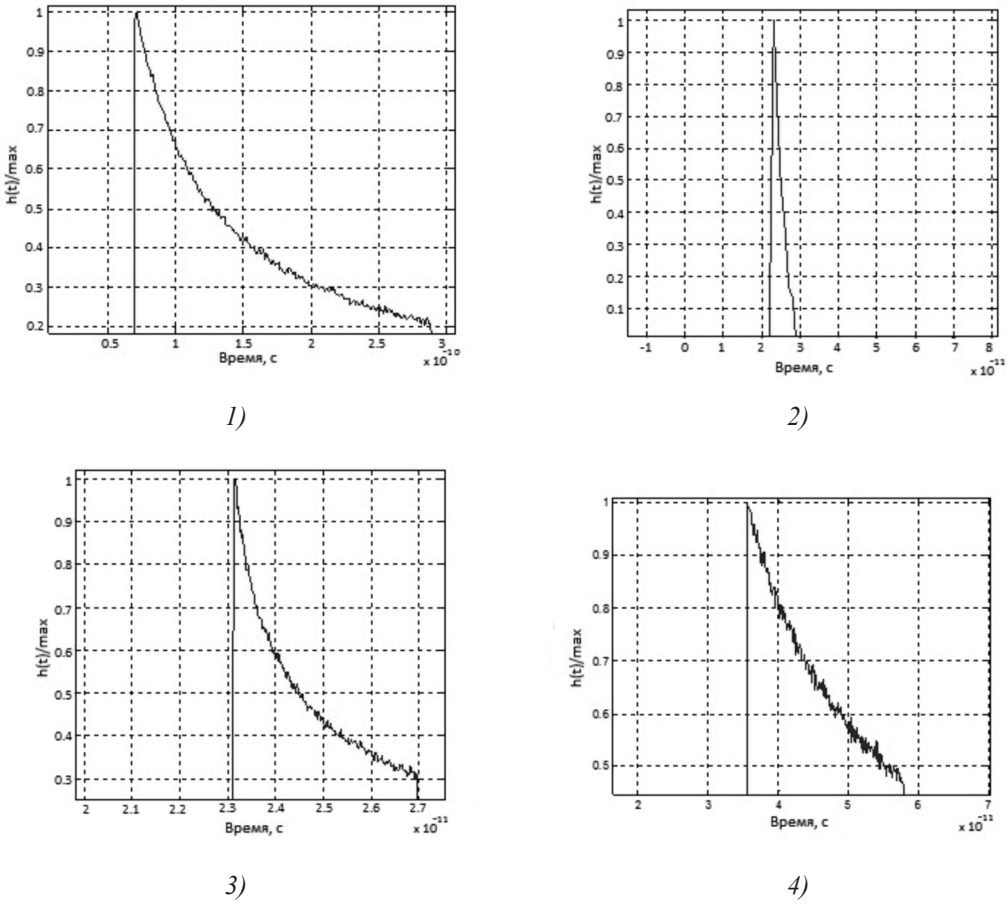

Рис. 2. График ИХ при различных вариантах расположения области расположения отражателей на участке между излучателем и приемником радиоизлучения: 1) I четверть; 2) II четверть; 3) III четверть; 4) IV четверть

Усреднение производится по множеству реализаций $\xi(l)$ шероховатостей неровностей подстилающей поверхности.

Для достижения поставленной цели были решены задачи:

- исследовать влияние на энергетический спектр задержек протяженности трассы D и размеров области отражения при прочих равных условиях;
- исследовать влияние на энергетический спектр задержек высот расположения источника и приемника радиоизлучения при прочих равных условиях;
- исследовать влияние на энергетический спектр задержек асимметрии области отражения радиоволн при прочих равных условиях.

Моделирование энергетического спектра задержек основано на вычислении интеграла (1), которое в данной работе выполнялось численным методом трапеций.

В результате моделирования при различных значениях величин, соответствующих наиболее удалённой от передатчика границе расположения отражателей и продольному размеру области расположения отражателей соответственно, получены значения импульсной характеристики (ИХ) по уровню 0,1 и по уровню 0,01. В соответствии с результатами выявлено, что при увеличении значения продольного размера области расположения отражателей наблюдается увеличение ИХ. Площадь подынтегральной фигуры стремится к виду прямоугольной трапеции, основания которой параллельны оси Оу, одно из оснований (левое) равно единице, второе с ростом координаты времени стремится к нулю. Нижняя сторона трапеции – ось абсцисс, верхняя сторона имеет вид отраженного сигнала.

На графике энергетического спектра задержек отраженного сигнала, представленного на рис. 2, изображена экспонента с отрицательным показателем степени, смещенная по оси абсцисс, т.к. энергетический спектр задержек описывается выражением, содержащим экспоненту с отрицательной степенью $exp\left[-jk\left(r_1\left(\Delta l,\Delta x\right)+r_2\left(\Delta l,\Delta x\right)\right)\right]$.

Подынтегральная фигура имеет форму прямоугольной трапеции, верхняя сторона

которой есть экспонента с отрицательным показателем. В случае равенства величин l_0 и Δl (рис. 1), отвечающих за расстояние от источника радиоизлучения до ближайшей границы области расположения отражателей и продольный размер области расположения отражателей, верхнее основание трапеции есть прямая с редкими флуктуациями (отклонениями от среднего значения энергетического спектра задержек отраженного сигнала). Исходя из наблюдения, можно предположить, что в зависимости от формы шероховатой отражающей поверхности возможна аппроксимация верхнего основания трапеции прямой (если $l_0 = \Delta l$) и экспонентой (если $\Delta l > l_0$).

На рис. 2 представлены графики импульсной характеристики отраженного сигнала для четырех основных случаев расположения области отражателей радиоизлучения. По оси абсцисс отложено время в секундах, по оси ординат – значение импульсной характеристики, нормированное на максимальное. Представленный рисунок подтверждает вывод о том, что наиболее подходящим вариантом расположения источника и приемника радиоизлучения является тот, при котором область отражения располагается в первой или четвертой четверти участка между источником и приемником радиоизлучения.

Исследование влияние протяженности трассы на энергетический спектр задержек выявило зависимость между протяженностью трассы и числом точек отражения сигнала. Размеры трассы Dr и число точек отражения связаны условием:

$$N = 100*D,$$

где N – число точек отражения, D – размер трассы распространения радиоизлучения.

На основании результатов моделирования энергетического спектра задержек при различных значениях высот передатчика и приёмника радиоизлучения выявлено, что с увеличением значения высоты приемника значение ИХ по уровню 0,1 и по уровню 0,01 уменьшается. Максимально значение ИХ достигается в случае, когда

$$\frac{h_T}{h_R} = \frac{1}{2},$$

где h_T, h_R – высоты излучателя и приемника радиосигнала соответственно. Значения ИХ уменьшается в случаях разницы между высотами излучателя и приемника более чем в 2 раза.

В результате моделирования с целью исследования влияния на энергетический спектр задержки отраженного сигнала асимметрии области расположения отражателей получено, что при смещении области расположения отражателей по оси ординат вниз относительно прямой на плоскости XoY, соединяющей источник и приемник радиоизлучений, приводит к увеличению числа точек флуктуаций. Значение ИХ достигается максимальное при минимальном смещении поперек трассы распространения радиоволн над отражающей поверхностью.

На энергетический спектр задержек влияет расположение и параметры отражающей поверхности. Так для получения наименьших искажений формы сигнала рекомендуется располагать источник и приемник радиоизлучения таким образом, чтобы отражающая поверхность располагалась в первой четверти участка трассы распространения радиоволн.

Высота расположения источника и приемника радиоизлучения так же оказывает влияние на энергетический спектр задержек. Так значение импульсной характеристики максимально в случае, когда высоты источника и приемника радиоизлучения соотносятся как 2:1.

На энергетический спектр задержек так же оказывает влияние смещение области отражения радиоволн поперек трассы распространения радиоволн. Так смещение области отражения от подстилающей поверхности влево или вправо от линии, соединяющей источник и приёмник сигналов, приводит к увеличению дисперсии флуктуаций мгновенных значений энергетического спектра задержек.

Заключение

В результате исследования выявлена зависимость между расположением трассы отражения сигнала и энергетическим спектром задержек отраженного сигнала. Так же установлено влияние высот излучателя и приемника радиоизлучения на энергетический спектр задержек.

Список литературы

1. Аржевикин Ю.А. Энергетический спектр задержек тропосферного канала связи // Изв. высших учебных заведений. Радиофизика. – 1978. – Т. 21, № 9. – С. 1242–1249.

2. Гоноровский И.С. Радиотехнические цепи и сигналы. Учебник для вузов. – М.: «Сов. радио», 1977. – 608 с.

3. Дембелов М.Г. Моделирование распространения длинных и средних радиоволн над неоднородными трассами (радиофизика) [Текст]: автореф. дис. на соиск. учен. степ. канд. ф.-м. наук (01.04.03) / М.Г. Дембелов; / Бурятский научный центр. – Улан-Удэ, 2003. – 154 с.

4. Демидович Б.П., Марон И.А. Основы вычислительной математики. – 2. – Физ-Мат. Лит., 1963. – С. 659.

5. Кузнецов Ю.В., Баев А.Б. Спектральный и временной анализ импульсных и периодических сигналов: Учебное пособие. – М.: Изд-во МАИ, 2007. – 95 с.: ил.

6. Рытов С.М., Кравцов Ю.А. Татарский В.И. Введение в статистическую радиофизику. Часть 2. Случайные поля. – М.: Наука, 1978. – 464 с., ил.

7. Требования к преобразователям акустической эмиссии, применяемым для контроля опасных производственных объектов. [Электронный ресурс] – Режим доступа: http://www.complexdoc.ru/ntdtext/545871/4 (дата обращения 05.07.2014).

8. Корн Г., Корн Т. Справочник по математике для научных работников и инженеров. – М.: Наука, 1968. – 720 с., ил.