

А.В. БОГОМАЗ, м.н.с., Институт ионосферы НАН и МОН Украины

МОДЕЛИРОВАНИЕ НЕКОГЕРЕНТНО РАССЕЯННОГО СИГНАЛА И ВЫСОТНОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ЕГО ПАРАМЕТРОВ

У статті описано розроблений спосіб моделювання як суміші корисного сигналу (некогерентного розсіяння) та завади (у найпростішому випадку – шуму) із заданим відношенням сигнал/завада, а також спосіб моделювання висотного розподілу такого сигналу. Представлено результати моделювання.

The developed method of modeling of incoherent signal in the form of a mixture of desired signal and a noise with a given signal-to-noise ratio is presented. The method of modeling allocation of an incoherent scatter signal is shown. The results of the simulation are represented.

Постановка задачі. Сигнал некогерентного розсіяння (НР) представляє собою випадковий сигнал, спектральна щільність потужності (СПМ) якого визначається температурами електронів і іонів, а також іонним складом іоносферної плазми [1]. В реальних умовах во время его приёма радіолокаційної системою в спектрі приймаемого сигналу присутствуют і складові шумів (наприклад, теплової і космічний шуми). Об'єктивним показателем рівня цих шумів є відношення сигнал/шум. Коли шум є шумоподібним сигналом (в найбільш простому випадку – «білим шумом») використовують поняття сигнал/шум. Таким чином, при моделюванні сигналу НР дуже важливо врахувати шум (шум).

Аналіз публікацій. Виходячи з природи сигналу НР і його характеристик, моделювання можливо здійснювати шляхом сумування великої кількості окремих незалежних гармонічних коливань на частотах ω і з випадковими початковими фазами. Його СПМ $I^{\text{сигн}}(\omega)$ визначається амплітудами цих коливань. Апаратна реалізація цього методу описана в [2]. Програмна реалізація методу імітації сигналу НР шляхом формування заданої СПМ (описана в [3]) усуває основний недолік апаратної реалізації, а саме – знімається обмеження на кількість генераторів, виготовлення яких на практиці є складною задачею.

Ні перша, ні друга реалізація не здатні імітувати сигнал НР з урахуванням шумів. Тому на основі [3] був розроблений метод, що дозволяє при синтезі сигналу оперувати крім СПМ некогерентно розсіяного сигналу ще і СПМ шуму, а також відношенням сигнал/шум.

Ціль статті – описати розроблений спосіб моделювання сигналу, в результаті якого виробляється суміш сигналу НР і шуму з заданим відношенням сигнал/шум.

Моделирование смеси шумоподобного сигнала и помехи. Используя полученные по методике [4] N значений спектральных составляющих сигнала НР $A_i^{\text{сигн}} = \sqrt{W_i^{\text{сигн}}}$, выразим мощность полезного сигнала как

$$P_{\text{сигн}} \cong \sum_{i=1}^N (A_i^{\text{сигн}})^2. \quad (1)$$

Аналогичным образом, то есть с использованием M спектральных составляющих $A_j^{\text{пом}}$, запишем мощность помехи:

$$P_{\text{пом}} \cong \sum_{j=1}^M (A_j^{\text{пом}})^2. \quad (2)$$

Значение отношения сигнал/помеха выражается соотношением

$$q = \frac{P_{\text{сигн}}}{P_{\text{пом}}}. \quad (3)$$

Из соотношений (1) – (3) получим:

$$q = \frac{\sum_{i=1}^N (A_i^{\text{сигн}})^2}{\sum_{j=1}^M (A_j^{\text{пом}})^2}. \quad (4)$$

Из-за того, что значения спектральных составляющих $A_i^{\text{сигн}}$ и $A_j^{\text{пом}}$ задаются в произвольном масштабе, при синтезе сигнала для выполнения равенства (4) необходимо ввести регулирующий коэффициент k [5]:

$$q = \frac{\sum_{i=1}^N (kA_i^{\text{сигн}})^2}{\sum_{j=1}^M (A_j^{\text{пом}})^2}. \quad (5)$$

Из (5) выразим k :

$$k = \sqrt{q} \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^M (A_j^{\text{пом}})^2}{\sum_{i=1}^N (A_i^{\text{сигн}})^2}}. \quad (6)$$

Теперь мгновенные значения смеси сигнала и помехи синтезируются по формуле:

$$S_{\text{сигн+пом}}(t) = k \sum_{i=1}^N [A_i^{\text{сигн}} \sin(\omega_i t + \theta_i)] + \sum_{j=1}^M [A_j^{\text{пом}} \sin(\omega_j t + \theta_j)] \quad (7)$$

Здесь ω_i, ω_j – частоты гармоник; θ_i, θ_j – случайные начальные фазы, равномерно распределённые в интервале $[-\pi; \pi]$.

Моделирование высотного распределения сигнала НР. Для имитации высотного распределения сигнала НР используются зависимости электронной концентрации n_e , температур ионов T_i и электронов T_e , полученные экспериментально, либо рассчитанные по модели ионосферы (например, IRI-2001) [6]. Также можно задавать высотное распределение ионного состава плазмы. Пример таких зависимостей со статистическими характеристиками (корреляционная функция и спектр) сигнала НР с различных высотных участков показан на рис. 1.

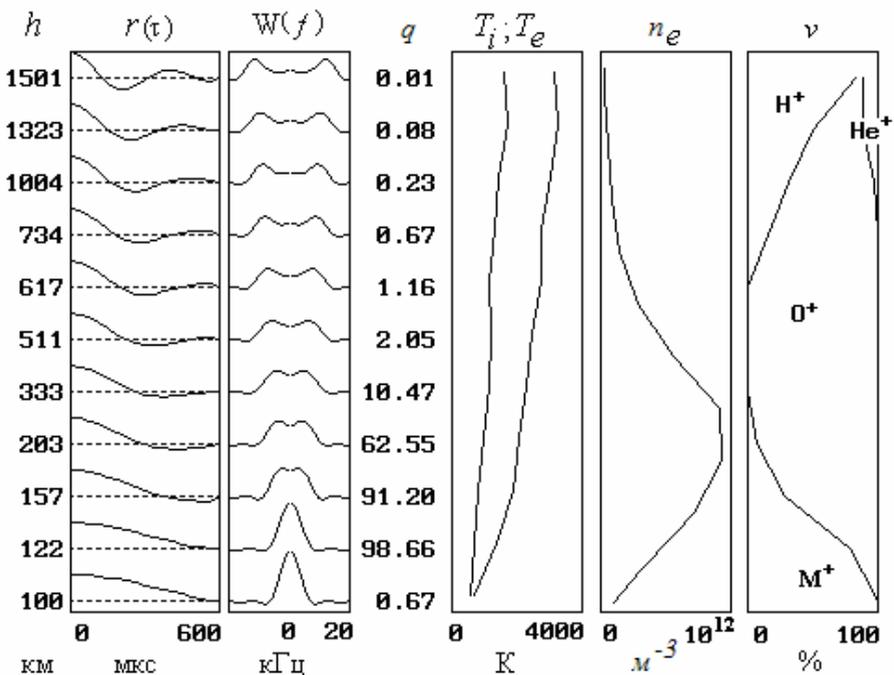


Рис. 1. Пример высотного распределения ионосферных параметров

По ионосферным параметрам для каждого высотного участка рассчитывается энергетический спектр НР сигнала. Также задаётся спектральное распределение помехи по высоте. Помеха в простейшем случае может быть представлена тепловыми шумами радиоприёмного устройства радара НР и космическими шумами, хотя возможен учёт и переходных процессов в разрядниках антенного коммутатора или других помех. Используя значение константы радиолокатора C (известной для конкретной радиолокационной системы), для каждого высотного участка рассчитывается отношение сигнал/помеха q принимаемого сигнала. Таким образом, получив высотное распределение ионосферных параметров и значение q , легко сформировать смесь сигнала НР и помехи с помощью формул (6) и (7), которые примут вид соответственно

$$k(h) = \sqrt{q(h)} \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^M (A_j^{\text{пом}}(h))^2}{\sum_{i=1}^N (A_i^{\text{сигн}}(h))^2}} \quad (8)$$

и

$$S_{\text{сигн} + \text{пом}}(t) = k(h) \sum_{i=1}^N [A_i^{\text{сигн}}(h) \sin(\omega_i t + \theta_i)] + \sum_{j=1}^M [A_j^{\text{пом}}(h) \sin(\omega_j t + \theta_j)]. \quad (9)$$

Значение отношения сигнал/помеха q в выражении (8) вычисляется на основе теории НР [7] по формуле:

$$q(h) = C n_e(h) \frac{1}{h^2} \frac{1}{1 + T_e(h)/T_i(h)}. \quad (10)$$

Для корректной имитации сигнала необходимо учесть аппаратные особенности радиолокатора – параметры импульсного режима радиопередатчика и характеристики приёмного тракта радара НР (последние, в основном, определяются амплитудно-частотной характеристикой фильтра нижних частот радиоприёмного устройства).

Практические результаты. Разработанный метод позволяет синтезировать смесь шумоподобного сигнала и помехи с заданными спектрами и при заданном отношении сигнал/помеха. В частности, возможна имитация смеси сигнала НР и «белого шума» при заданном отношении сигнал/шум. На рис. 2 показан результат имитации такой смеси.

Пунктиром показана форма рассчитанного в соответствии с теорией электродинамики спектра НР для одного из возможных состояний ионосферной плазмы (концентрация ионов водорода H^+ была выбрана равной 30 %, концентрация ионов кислорода O^+ равна 70 %, температура ионов $T_i = 1000$ К, температура электронов $T_e = 3000$ К). Этот спектр использовался для имитации смеси сигнала НР и «белого шума». Синтез производился по формулам (6) и (7). По мгновенным значениям полученной смеси рассчитывались спектры. Результат для случая $q = 100$ показан на рис. 2а, результат для случая $q = 10$ – на рис. 2б.

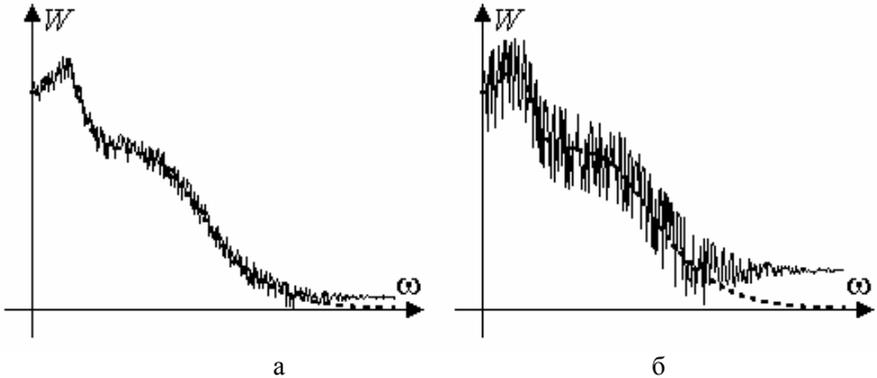


Рис. 2. Результаты моделирования

Выводы. Разработанный способ позволяет моделировать смесь полезного сигнала и помехи с заданными спектрами при заданном отношении сигнал/помеха. Используя данный способ, имеется возможность моделировать и высотное распределение параметров сигнала НР.

Список литературы: 1. Брюнелли Б.Е., Кочкин М.И., Пресняков И.Н., Терещенко Е.Д., Терещенко В.Д. Метод некогерентного рассеяния радиоволн. – Л.: Наука, 1979. – 188 с. 2. Лысенко В.Н. Синтез модели НР-сигнала // Вестник ХПИ: Исследование ионосферы методом НР. – 1987. – № 248, вып. 5. – С. 21 – 24. 3. Богомаз А.В. Моделирование случайного сигнала с заданной спектральной плотностью мощности // Вестник НТУ «ХПИ». – 2009. – №. 23 – С. 29 – 32. 4. Гринченко С.В. Оптимальный алгоритм многократных вычислений теоретических характеристик некогерентно рассеянного сигнала // Сборник научных трудов ХГПУ. – 1999. – Вып. 7. – С. 331 – 336. 5. Пуляев В.О., Богомаз О.В., Котов Д.В. Спосіб імітації суміші шумоподібного сигналу та завади із заданими спектрами // Патент України на корисну модель UA № 42311. Оpubліковано 25.06.2009 в бюл. № 12/2009. 6. Богомаз О.В. Спосіб імітації висотного розподілу сигналу некогерентного розсіяння та завади // Патент України на корисну модель UA № 45547. Оpubліковано 10.11.2009 в бюл. № 21/2009. 7. Эванс Дж. В. Теоретические и практические вопросы исследования ионосферы методом некогерентного рассеяния радиоволн // ТИИЭР. – 1969. – 57, № 4. – С. 139 – 175.

Поступила в редколлегию 01.06.2010