

МОДЕЛИРОВАНИЕ СИГНАЛА ФРНС «ОМЕГА» СРЕДСТВАМИ ПАКЕТА МАТЛАВ

Литвин О.Н., Сорокин Л.В.

13 Государственный НИИ МО РФ
140003, Люберцы, п/о-3
Российский университет дружбы народов

Краткие сведения о фазовой радионавигационной системе «Omega»

Фазовая радионавигационная система (ФРНС) Omega обеспечивает глобальную навигацию практически в любом районе земного шара при помощи своих восьми станций (радиомаяков), работающих в диапазоне СДВ на частотах от 10 до 14 кГц. Радионавигационный сигнал, излучаемый каждой станцией, представляет собой повторяющуюся с периодом 10 секунд пачку, которая состоит из восьми циклов (радиоимпульсов) длительностью от 0,9 до 1,2 секунд, следующих с интервалом 0,2 секунды. Все станции синхронизированы по фазе и по времени (относительная нестабильность частоты $10^{-8} \dots 10^{-9}$ в сутки). Включение и выключение станций происходит одновременно. Временной график переключения станций находится в определенном соотношении с Мировым координированным временем (LJTC). Полный формат сигнала приведен на рисунке 1 [1]. Для каждой из восьми станций, цифрами на рисунке указаны частоты радиоимпульсов в килогерцах в каждом из восьми циклов (импульсов). В нижней части рисунка показаны значения длительностей импульсов в секундах и время задержки фронтов импульсов в секундах относительно начала пачки.

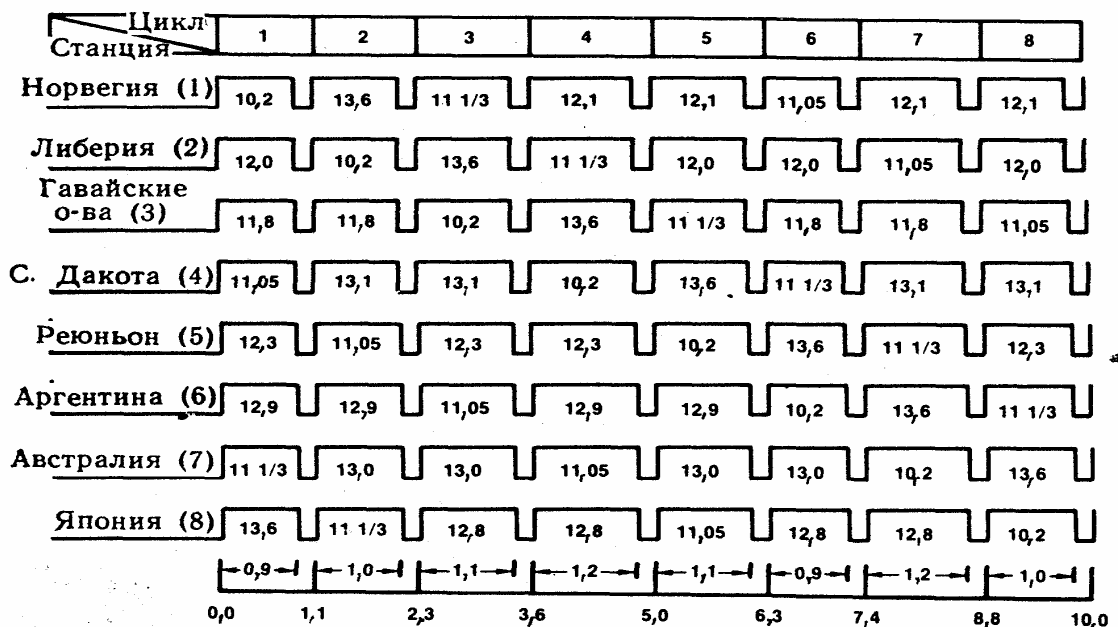


Рис. 1 - формат сигнала системы Omega.

Передача пачки послышки, состоящей из сигналов станций Норвегия (1), Австралия (7), Япония (8) производится соответственно на частотах $f_1=10,2$ кГц, $f_2=11,33$ кГц, $f_3=13,6$ кГц и начинается точно в нулевую секунду времени по Гринвичу. Номинальная излучаемая мощность каждой станции на частоте 10,2 кГц составляет 10 кВт.

Обоснование аналитического представления сигналов ФРНС «Омега» в точке приема

При формировании аналитического представления радиоимпульса ФРНС были приняты во внимание приведенные ниже положения.

Амплитуду сигнала ФРНС в точке приема можно принять за величину детерминированную. Это подтверждают многолетние измерения напряженности поля диапазона СДВ на трассах распространения длиной от 5 000 до 10 000 км в различное время года и время суток. Результаты измерений показали, что нестабильность напряженности электрического поля данного диапазона: радиоволн составляет около 1 дБ [1,2].

Огибающая радиоимпульсов ФРНС из-за дисперсии радиоволн диапазона СДВ изменяется незначительно, и на входе линейного тракта приемника её можно считать прямоугольной. [4].

Искажения фазы радиоимпульса передатчика станции ФРНС в точке приема определяется несколькими факторами: направлением и характером движения приемника сигналов относительно

излучающей станции; нестабильностью частоты гетеродина приемника по отношению к опорному колебанию ФРНС; особенностями распространения радиоволн в диапазоне СДВ.

Сдвиг разности фаз частоты опорного колебания ФРНС относительно частоты гетеродина приемника при движении точки приема с постоянной скоростью по направлению к станции ФРНС или от неё, носит линейный характер. Однако для большинства случаев движения приемника сигналов отклонение изменения фазы от линейного закона не выходит за пределы значения флуктуационной ошибки [4]. Это позволяет принять линейный закон изменения фазы при движении приемника относительно передатчика.

Нестабильность частоты гетеродина приемника в данной модели не учитывается, так как считается, что частота гетеродина синхронизирована эталонным сигналом.

Флуктуационная ошибка фазы, как показала практика, не превышает нескольких микросекунд [3].

Начальная фаза принятого сигнала ФРНС равна разности фаз между сигналом ФРНС на линейном входе приемного тракта и сигналом гетеродина приемника и определяется моментом включения приемника сигналов. Из-за того, что момент включения приемника сигналов является случайным в пределах периода опорного колебания станции ФРНС, начальная фаза принятого сигнала ФРНС в точке приема является случайной величиной с равномерным законом распределения [5].

Модель сигнала в точке приема

Радиоимпульс передатчика станции ФРНС «Omega» в точке приема без учета шума канала связи и шума приемного тракта представлен в виде:

$$S(t)=A(t)\text{Cos}(2\pi f_0 t + \varphi_1(t) + \varphi_0 + \varphi_N)$$

где $A(t)$ - огибающая радиоимпульса;

$\varphi_1(t)$ - изменение фазы частотного заполнения радиоимпульса по отношению к опорному колебанию станции ФРНС, вызванное движением приемника относительно передатчика; $\varphi_1(t)=\varphi t$;

f_0 - несущая частота радиоимпульса передатчика станции ФРНС;

φ_0 - начальный сдвиг фаз между частотой передатчика станции ФРНС и частотой гетеродина приемника;

φ_N - сдвиг фазы обусловленный условиями распространения радиоволн.

Радионавигационный сигнал системы «Omega» в точке приема формируется, в виде суммы пачек радиоимпульсов от всех восьми станций, с учетом ослабления сигналов при распространении радиоволн и зависимости от расстояния от каждой из станций до точки приема.

Алгоритм формирования сигнала в точке приема включает в себя:

- ввод координат точки расположения приемника;
- вычисление расстояния от точки приема до станций системы;
- расчет ослабления сигналов для каждой из станций системы в точке приема;
- формирование 10-секундной пачки радиоимпульсов от каждой единичной станции с учетом амплитуды в точке приема;
- суммирование пачек радиоимпульсов от каждой из станций, формирование радионавигационного сигнала в точке приема.

Данный алгоритм реализован в виде программы на языке MATLAB.

Вид 10-секундной пачки радиосигналов системы «Omega» представлен на рисунке 2.

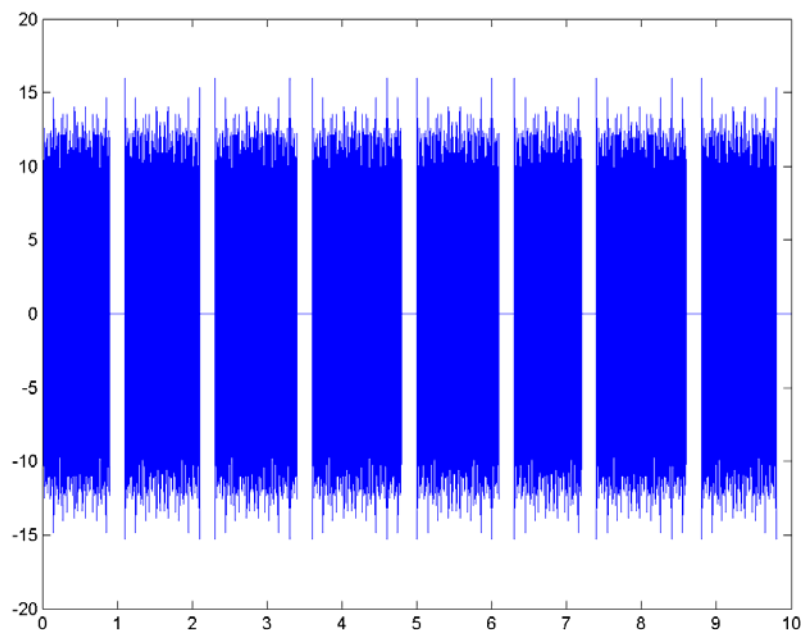


Рис. 2 – 10-секундная последовательность радиоимпульсов системы «Omega»

Спектр секундного радиосигнала системы «Omega» представлен на рисунке 3.

Созданная программа позволяет формировать для точки приема с заданными географическими координатами радионавигационный сигнал системы «Omega» в виде файла отсчетов амплитуды с заданной частотой дискретизации. Программа формирования сигнала ФРНС «Omega» применяется при моделировании условий обнаружения радионавигационного сигнала при различных отношениях сигнал/шум.

Литература

1. D. G. Morfitt, J. A. Ferguson, and F. P. Snyder, "Numerical modeling of the propagation medium at ELF/VLF/LF," in *Medium, Long and Very Long Wave Propagation (At Frequencies Less than 3000 kHz)*, J. S. Belrose, Ed., AGARD-CP-305. (From the EM Wave Propagation Panel, Brussels, Belgium, Sept. 21-25, 1981), pp. 32-1-32-14.
2. B. Burgess and D. Walker, "Effects in Omega from propagation variations," *J. Inst. Navigation (U.K.)*, vol. 23, no. 1, pp. 49-59, 1970.
3. E. R. Swanson, "Omega lane resolution: Phase measurements at two very low frequencies," Naval Electronics Lab. Cen. Rep. 1305, Aug. 5, 1965 (ASTIA Doc. AD472854).
4. Лутченко А. Е. Когерентный приём радионавигационных сигналов. М.: Советское радио, 1973, 208с.
5. Левин Б. Р. Статистическая радиотехника. кн.1. М.: Советское радио. 1966

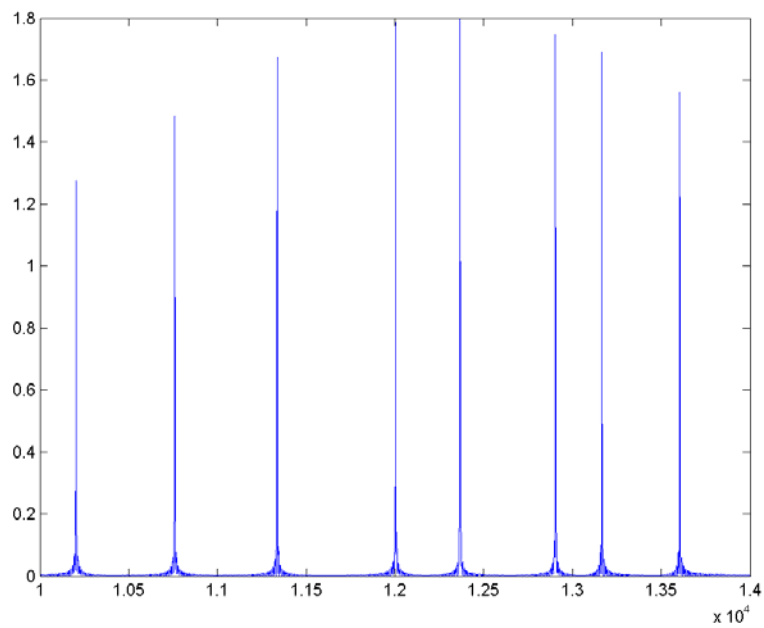


Рис. 3 – спектр сигнала ФРНС «Omega»

