

УДК 621.396.96

А.Н. ОЛЕЙНИКОВ, канд. техн. наук, В.Д. КУКУШ, Р.К. СТАРОДУБОВ

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СИГНАЛОВ ЦИФРОВОГО ТЕЛЕВИЗИОННОГО ВЕЩАНИЯ СТАНДАРТА DVB-T2 ДЛЯ РАДИОМЕТЕОРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

### Введение

В настоящее время для изучения метеорных явлений широко используется радиолокационный метод. Радиолокация метеорных следов позволяет получать данные о физических параметрах метеорных тел, а также процессах, происходящих в атмосфере Земли на высотах 80 – 100 км [1].

Экономически выгодным является применение методов радиолокации с использованием сторонних источников излучения. Такими источниками могут являться сигналы телевизионных и радиовещательных станций, сеть которых хорошо развита.

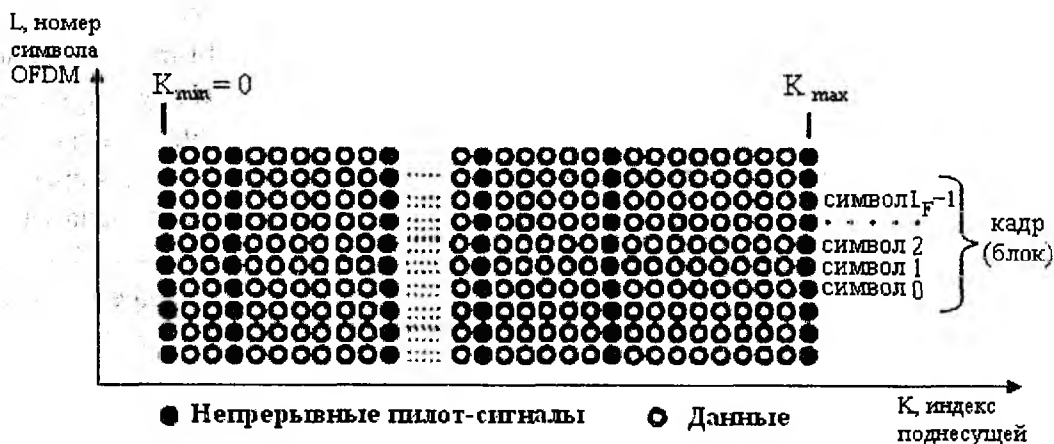
На конференции «Женева-2006» было принято решение о переходе Украины на цифровое ТВ вещание до 2015 года. В данное время уже работает сеть ТВ центров, вещающих в стандарте DVB-T2 (Digital Video Broadcasting – Second Generation Terrestrial). Таким образом, возникает необходимость анализа структуры цифровых ТВ сигналов, для решения вопроса о возможности их использования для радиометеорных исследований.

### Структура цифрового ТВ сигнала стандарта DVB-T2

Структура и параметры цифровых ТВ сигналов стандарта DVB-T2 приводятся в [2].

В цифровом телевидении стандарта DVB-T2 применяется мультиплексирование с ортогональным частотным разделением каналов (OFDM – Orthogonal Frequency Division Multiplexing), что представляет собой особый случай одновременной передачи потока цифровых данных по многим частотным каналам (со многими несущими колебаниями). При OFDM доступный частотный диапазон разбивается на  $K$  каналов, являющихся ортогональными. Количество поднесущих зависит от режима передачи. Высокоскоростной поток последовательных двоичных данных разбивается на низкоскоростные параллельные потоки, каждый из которых передается в своем частотном канале (на своей поднесущей частоте).

Для радиометеорных исследований необходимо наличие в сигнале детерминированных составляющих, по изменению которых можно судить о параметрах объекта локации. В цифровом ТВ сигнале присутствуют такие составляющие, названные пилот-сигналами. Пилот-сигналы вставляются вместо данных на определенных позициях время-частотной сетки символа OFDM:



Расположение непрерывных пилот-сигналов четко определено нормативом стандарта, где указаны индексы соответствующих поднесущих. Непрерывные пилот-сигналы передаются на повышенном энергетическом уровне по отношению к уровню информационных сигналов. В таблице приведены некоторые параметры OFDM для стандартного ТВ канала шириной 8 МГц:

Режим передачи	1К	2К	4К	8К	16К	32К
Общее количество несущих, $K_{total}$	853	1 705	3 409	6 817	13 633	27 265
Длительность символа, $T_U$ , мкс	112	224	448	896	1 792	3 584
Разность частот соседних поднесущими, $\Delta f$ , Гц	8 929	4 464	2 232	1 116	558	279

Излучаемый в эфир сигнал стандарта DVB-T2 описывается формулой [2]:

$$s(t) = \text{Re} \left\{ e^{j2\pi f_c t} \sum_{m=0}^{\infty} \left[ p_1(t - mT_F) + \frac{5}{\sqrt{27 \times K_{total}}} \sum_{l=0}^{L_F-1} \sum_{k=K_{min}}^{K_{max}} c_{m,l,k} \times \psi_{m,l,k}(t) \right] \right\} \quad (1)$$

$$\psi_{m,l,k}(t) = \begin{cases} e^{j2\pi \frac{k}{T_U}(t - \Delta - T_{P1} - lT_S - mT_F)} & mT_F + T_{P1} + lT_S \leq t \leq mT_F + T_{P1} + (l+1)T_S \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (2)$$

где  $k$  – индекс поднесущей;  $l$  – номер символа в кадре;  $m$  – номер кадра DVB-T2;  $K_{total}$  – общее количество поднесущих;  $L_F$  – количество символов в кадре;  $T_F$  – длительность кадра ( $T_F = L_F \cdot T_S + T_{P1}$ );  $T_U$  – активная длительность символа;  $\Delta$  – защитный интервал;  $T_S$  – полная длительность символа ( $T_S = T_U + \Delta$ );  $f_c$  – несущая частота радиосигнала;  $k$  – индекс поднесущей относительно центральной частоты ( $k = k - (K_{max} - K_{min})/2$ );  $c_{m,l,k}$  – двоичный символ;  $T_{P1}$  – длительность символа  $P1$ .

Рассмотрим процесс формирования сигнала более подробно. Параллельный поток двоичных данных распределяется на  $K_{total}$  частотных каналов. На определенных частотных каналах вставляются пилот-сигналы. Затем осуществляется обратное быстрое преобразование Фурье (БПФ) и таким образом формируется символ OFDM. Символы группируются в кадры (блоки) по  $L_F$  штук. Затем происходит суммирование кадра с функцией распределения специальных символов  $p_1(t)$ . Специальные символы  $P1$  служат для частотной и временной синхронизации приемника, т.е. позволяют приемнику определить момент начала кадра. Также они предназначены для быстрого обнаружения видеосигнала формата DVB-T2 и его идентификацию среди сигналов других форматов, присутствующих в суперкадре и предназначенных для служебных целей (телетекст и др.). Затем полученный сигнал переносится на несущую частоту  $f_c$  и излучается в эфир.

## Моделирование цифрового ТВ сигнала стандарта DVB-T2, отраженного от метеорного следа

### Модель излучаемого сигнала.

В системе DVB-T2 используется OFDM модуляция. Двоичный поток данных  $c_i[k]$  разбивается на  $K$  параллельных потоков, каждый из которых передается на своей поднесущей частоте. Таким образом, из  $c$  поднесущих формируется символ OFDM:

$$s_i(t) = \sum_{k=0}^{K_{\text{total}}} c_i[k] e^{j2\pi\Delta f t} \quad (3)$$

Значения  $c_i[k]$  меняются от символа к символу, однако когда  $k$  соответствует индексу поднесущей пилот-сигнала, тогда  $c_i[k] = 1$ . Также вместо использования функции синхронизации  $p_1(t)$  будем использовать символ Null ( $k = 0$ ), в котором все  $c_i[k] = 0$ . Длительность каждого символа  $T_S$  является суммой активной длительности символа  $T_U$  и длительности защитного интервала  $\Delta$ , т.е.  $T_S = T_U + \Delta$ . Для каждого режима передачи  $T_U$  и  $\Delta$  определены в стандарте [2].

Далее из  $L_F$  символов формируется кадр формата DVB-T2:

$$S_m(t) = \sum_{l=0}^{L_F-1} s_i(t - lT_S) \quad (4)$$

Длительность кадра определяется как  $T_F = L_F \cdot T_S$ .

Затем последовательность кадров переносится на несущую частоту. Излучаемый сигнал может быть описан выражением

$$s(t) = \text{Re} \left\{ e^{j2\pi f_c t} \sum_{m=-\infty}^{\infty} S_m(t - mT_F) \right\} \quad (5)$$

### Модель трассы радиометеорного распространения ТВ сигнала.

Трасса радиометеорного распространения ТВ сигнала формируется за счет отражения излученного сигнала от метеорного следа. Сигнал, отраженный от метеорного следа имеет амплитудно-временную характеристику, которая определяется выражением (дифракционной функцией) [3]:

$$\underline{l}(t) = \frac{1}{\sqrt{2}} \int_{-\infty}^{x_0} e^{j\frac{\pi}{2}x^2} e^{-\Delta_m(x_0-x)} dx \quad (6)$$

$$\Delta_m = \frac{8\pi^2 D\sqrt{R}}{v\lambda^{3/2}} \quad (7)$$

где  $R$  – наклонная дальность;  $D$  – коэффициент амбиполярной диффузии;  $v$  – скорость метеора;  $x, x_0$  – положение головы метеора относительно его траектории (в произвольный и текущий моменты времени) [3].

Таким образом, отражение от метеорного следа можно рассматривать как процесс амплитудной модуляции исходного сигнала  $s(t)$  дифракционной функцией  $\underline{l}(t)$ :

$$\underline{y}(t) = s(t) \cdot \underline{l}(t) \quad (8)$$

### **Оптимальный фильтр для сигнала стандарта DVB-T2, отраженного от метеорного следа.**

Ввиду низкого соотношения сигнал/шум единственной возможностью выявить сигнал, отраженный от метеорного следа, является использование согласованного фильтра. Такой фильтр может быть реализован при помощи набора корреляторов, опорный сигнал каждого из которых соответствует определенным значениям доплеровского смещения частоты  $f_d = a_k f_c$  и временной задержки отраженного сигнала  $\tau_k$ .

Длительность символа DVB-T2 для различных режимов передачи варьируется от сотен микросекунд до единиц миллисекунд, что намного меньше средней длительности существования метеорного следа (0,1 с). Следовательно, при посимвольной обработке отраженного сигнала можно пренебречь дифракционными явлениями, связанными с формированием и разрушением метеорного следа. В таком случае отклик на выходе  $k$ -го коррелятора будет описываться выражением [4]:

$$z_k(\tau) = \int_0^{\tau_i} e^{-j2\pi a_k f_c t} x^*(t - \tau) y(t) dt. \quad (9)$$

Опорный сигнал  $x(t)$  формируется как  $c_i[k] = 0$ , когда  $k$  соответствует индексу поднесущей информационных символов;  $c_i[k] = 1$  для поднесущих, зарезервированных под пилот-сигналы. Время интегрирования  $T_i$  выбирается равным длительности целого числа символов. Для сигнала стандарта DVB-T2 удобно выбрать  $T_i = T_F$ .

#### **Выводы**

Проведен анализ сигнала цифрового телевизионного вещания стандарта DVB-T2. Установлено, что помимо информационных составляющих в сигнале имеются детерминированные пилот-сигналы. Показана потенциальная возможность их использования в качестве зондирующих для радиолокации метеорных следов. Также показана потенциальная возможность идентификации сигналов, отраженных от метеорных следов. Обработка принятого сигнала, отраженного от метеорного следа, может быть произведена с использованием оптимального фильтра, реализованного при помощи набора корреляторов.

**Список литературы:** 1. Олейников, А. Н., Сосновчик, Д. М., Лыков, Ю. В., Кукуш, В. Д., Маковецкий, С. А. Использование сигналов телевизионного вещания для исследования процессов в метеорной зоне атмосферы Земли // Радиотехника : Всеукр. межвед. науч.-техн. сб. – 2010. – Вып.160. 2. ETSI EN 302 755 V1.1.1 (2009-09) «Digital Video Broadcasting (DVB); Frame structure, channel coding and modulation for a second generation digital terrestrial television broadcasting system (DVB-T2) 3. Кащеев, Б. Л., Лебединец, В. Н., Лагутин, М. Ф. Метеорные явления в атмосфере Земли. – М. : Наука, 1967. 4. Christian B. Signal processing for passive radar using OFDM wavwforms // IEEE Journal on selected topics in signal processing. – 2009.

Харьковский национальный  
университет радиоэлектроники

Поступила в редколлегию 10.03.2012