

УДК 321.396.49

# РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ КРОСС- ПОЛЯРИЗАЦИОННОЙ СТРУКТУРЫ СИГНАЛА В СПУТНИКОВЫХ ЛИНИЯХ СВЯЗИ

С.В. Ельченко

Инженер средств радио и телевидения

ООО "ЭкостарУкраина"

ул. Новгородская, 11а, г. Харьков, Украина, 61145

Контактный тел.: 097-805-12-58

E-mail: elchenko@ukr.net

У статті розглядаються результати експериментальних досліджень поляризаційної структури сигналу, шляхом вимірів величини крос-поляризаційної розв'язки між ортогональними каналами, при впливі на канал супутникового зв'язку погодних умов

Ключові слова: крос-поляризація, супутникові лінії зв'язку

В статье рассматриваются результаты экспериментальных исследований поляризационной структуры сигнала, путем измерений величины кросс-поляризационной развязки между ортогональными каналами, при воздействии на канал спутниковой связи погодных условий

Ключевые слова: кросс-поляризация, спутниковые линии связи

The results of experimental researches of polarization structure of signal are examined in the article, by measuring of level cross-polarization discrimination between the orthogonal ducting at affecting channel of satellite communication of weather terms

Key words: cross-polarization, the satellite communication systems

## 1. Введение

В настоящее время требования к качеству каналов спутниковой связи постоянно возрастают, как и потребность в этих каналах. Не малую роль в этом процессе играет постепенный переход операторов спутникового телевидения к стандарту DVB-S2, который позволяет транслировать телевизионные каналы высокой четкости.

Вместе с тем, растет потребность в более высоких скоростях передачи данных, следовательно, и в увеличении полосы частот транспондеров, находящихся на борту спутника связи. Одним из ограничений в достижении этих потребностей является наличие взаимного влияния каналов связи. Одной из составляющих этого влияния выступают кросс-поляризационные искажения.

## 2. Причины появления кросс-поляризационных искажений

В связи с использованием ортогонально поляризованных сигналов возрастает потребность в более точных и подробных сведениях о взаимодействии радиоволн с гидрометеорами, которые необходимы при расчете затуханий и кросс-поляризационных искажений.

Для получения таких сведений необходимо знать физические свойства гидрометеоров, такие как: форма, размеры и направление движения осадков при выпадении.

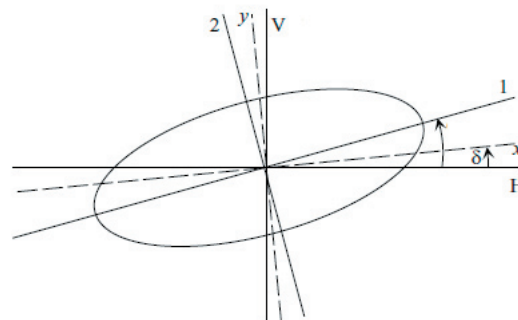


Рис. 1. Модель дождевой капли несферической формы

На рис. 1 изображена модель дождевой капли, оси симметрии которые смещены относительно поляризационных осей, где '1' и '2' оси симметрии капли; 'x' и 'y' направление распространения волны; 'H' ось горизонтальной поляризации; 'V' ось вертикальной поляризации.

Если дождевые капли имеют несферическую форму и углы преимущественно осевой ориентации, отличные от вертикальной, то появляются кросс-поляризационные искажения между двумя ортогональными каналами, вследствие поляризационного рассеивания от дождевых капель. Оси не сферических дождевых капель не всегда имеют вертикальное направление, они отклоняются от вертикального направления вследствие различных аэродинамических сил, действующих на капли.

Опытным путем в процессе анализа результатов измерений была найдена взаимосвязь между кросс-

поляризационной развязкой и дифференциальным затуханием при воздействии гидрометеоров в виде дождя. Исходным для многих моделей, описывающих это явление, является следующее выражение [1]:

$$XPD = S + C \log f + I(\delta, \sigma, \varphi) - G \log \cos \epsilon - V(f) \log CPA, (dB) \quad (1)$$

Ниже представлена модель представляющая интерес для практического использования для частот 11GHz -30GHz, [2]:

$$XPD = 8 + 20 \log f - 41 \log \cos \epsilon - 20 \log |\sin 2\delta| - 0.075 \cos 2\epsilon \cos 2\delta CPA - 16.9 \log CPA, (dB) \quad (2)$$

где:

f = частота (GHz)

δ = угол наклона поляризации,

ε = угол наклона капли,

CPA = дифференциальное затухание.

С помощью данной модели представляется возможным использовать в практических целях зависимость между величиной кросс-поляризационной развязки и дифференциальным затуханием.

### 3. Структура стволков транспондеров спутника Hot Bird 8

Исследования кросс поляризационной помехи производились при использовании транспондеров спутника Hot Bird 8 Ku диапазона. Данный спутник запущен 4 августа 2006, имеет на борту 64 транспондера Ku диапазона. Он расположен на геостационарной орбите с точки стояния на 13°E (13° восточной долготы). На рис. 2 представлена схема распределения поляризационно-частотных ресурсов спутника Hot Bird 8 в виде спектра транспондеров.

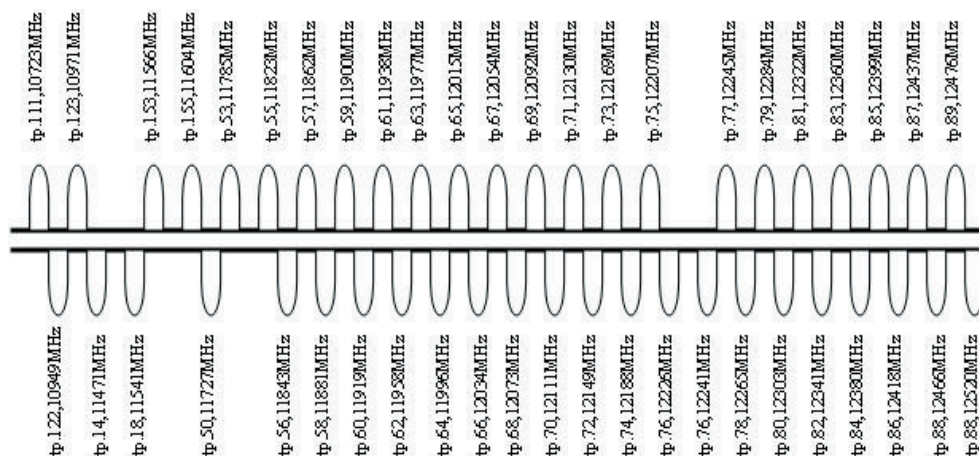


Рис. 2. Спектр транспондеров спутника Hot Bird 8

Разделение по частоте и по поляризации производится для обеспечения электромагнитной совместимости. Общая полоса частот транспондеров спутника составляет 33, 36 МГц в зависимости от параметров транспондера. Также видно, что разнос частот между

несущими транспондеров составляет 38, 39 МГц, что дает определенный запас для выполнения условий электромагнитной совместимости. В виду того, что в Ku диапазоне эффект Фарадея практически не сказывается, поэтому поворот плоскости поляризации при прохождении сквозь ионосферу не наблюдается. Также для удобства преобразования в точке приема в промежуточную частоту 950 – 2150 МГц, Ku диапазон (down link) условно делят на четыре диапазона: HL (horizontal low), HH (horizontal high), VL (vertical low) и VH (vertical high), рис. 3.



Рис. 3. Ku диапазон (down link)

### 4. Схема эксперимента

Эксперимент производился при использовании сигнала с транспондера 65 спутника Hot Bird 8. Ниже представлены основные характеристики данного транспондера, необходимые для проведения эксперимента:

1. Частота приема (Ku диапазон) – 12015 МГц.
2. Поляризация – H.
3. Промежуточная частота – 1415 МГц.
4. Полоса пропускания транспондера – 36 МГц.
5. Модуляция – QPSK.
6. Стандарт – DVB-S.
7. Symbol rate – 27500000 symbol/sec.
8. FEC (forward error correction) – 3/4.

Уровень полезных и кросс-поляризационных сигналов измерялся с помощью DVB анализатора PROM-AX серии PRODIG – 5. Измерения полезного сигнала производились с выхода HH, Quattro LNB VISION V5 – 400QT, а соответственно измерение уровня кросс-поляризационной компоненты на выходе с выхода VH. Измерения производились в разных погодных условиях, в основном при влиянии гидрометеоров в виде дождя.

### 5. Результаты эксперимента

Согласно “Руководству по службе прогнозов и предупреждений об опасных стихийных

явлениях природы” классификация интенсивности выпадения осадков производится по следующим критериям:

- 1). Слабый дождь, интенсивность 0-3мм/ч.
- 2). Умеренный дождь, интенсивность 4-14мм/ч.

3). Сильный дождь, интенсивность 15-49мм/ч (ливень>30мм/ч).

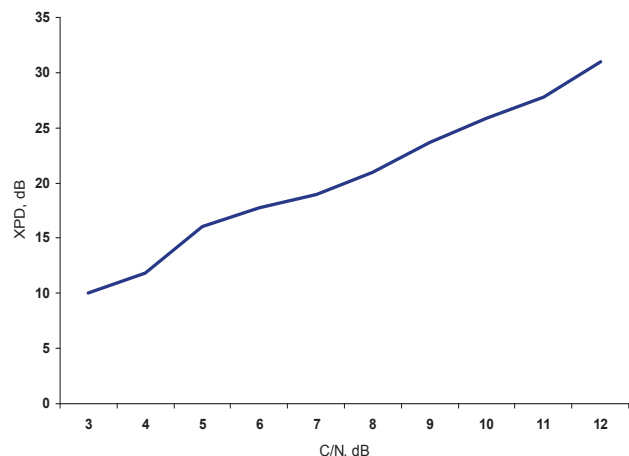
4) Очень сильный дождь, интенсивность >50мм/ч (стихийный ливень).

В ходе эксперимента получен массив измерений, в табл. 1 представлена выборка из массива измерений.

**Таблица 1**

Уровень кросс поляризационной развязки (XPD), dB	Отношение сигнал шум (C/N), dB	Мощность канала, dBmV	Интенсивность выпадения осадков, мм/ч
10.5	3.5	47.5	30
11.5	4	48.2	21
14	4.5	48.6	14
15.5	4.8	48.8	10
16.8	6	49.5	8
18	6.3	49.6	6
21.5	8.2	52.1	2
24.9	9.8	54.3	0.3
25.5	10.5	55.6	0.2
27.6	11	57.2	0.1
30.9	12.4	59.9	0.0

Предварительный анализ данных взятых из выборки массива измерений показал, что при воздействии гидрометеоров в виде дождя интенсивностью 0.0 – 30.0 мм/ч уровень кросс-поляризационной развязки изменялся в пределах от 10.5 – 30.9 dB, при этом отношение сигнал шум изменялось в пределах 3.5 – 12.4 dB. Также опытным путем было установлено, что минимальное значение отношения сигнал/шум, для удовлетворительного качества телевизионного сигнала, составляет 5.1dB (верно для параметров кодирования транспондера 65 спутника Hot Bird 8). Минимальное значение при котором производилась синхронизация и определялись параметры MPEG – 2 Transport Stream составляет 2 dB. На рис. 4 представлена взаимосвязь между уровнем кросс-поляризационной развязки и отношением сигнал шум в прямом канале, из чего видно, что зависимость близка к линейной.



**Рис. 4. Взаимосвязь между уровнем кросс-поляризационной развязки и отношением сигнал/шум**

Была также рассчитана величина среднеквадратического отклонения значений уровня кросс-поляри-

зационной развязки при разных метеорологических условиях:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - m)^2}{n}}$$

$$\text{где } m = \frac{\sum_{i=1}^n X_i}{n}$$

Величина среднеквадратического отклонения составляет  $\sigma=6.5$ , что указывает на зависимость изменения ее величины от изменения погодных условий. Также были проанализированы статистические данные погодных условий (суточная интенсивность выпадения осадков), полученные у “Государственной метеорологической службы”, за следующий период: 03.2009-11.2009, 03.2010-09.2010. Анализ статистических данных показал, что за вышеуказанный период суточная интенсивность выпадения осадков была зафиксирована в 31% от суточного показателя общего периода.

Эмпирическим путем было получено, что заметное влияние на канал спутниковой связи оказывают умеренные дожди и дожди большей интенсивности. Суточная интенсивность, которая выше 4мм осадков была зафиксирована в 6,5% случаев.

Вместе с тем, для борьбы с поляризационными искажениями, представляется целесообразным установка устройств адаптации кросс-поляризационных характеристик к погодным условиям. Что не только улучшит качество приема телевизионного сигнала в дождевую погоду, но позволит более эффективно использовать частотный ресурс, в виде использования двух транспондеров на одной и той же частоте, с использованием ортогональной поляризации.

**Литература**

1. Поповский, В.В. Электромагнитная доступность источников радиоизлучения / В.В. Поповский – ВАС,1987 – 262 с.
2. Alnutt, J. Satellite-to-ground Radiowave Propagation / J. Alnutt // IEE Electromagnetic Waves Series – 1989. – Vol. 30, №11, pp 50-54.
3. Aresu, A., Damosso, E., Martellucci, A., Ordano, L., Paraboni A. Depolarisation of electromagnetic waves due to rain and ice: theory and experimental results/ A. Aresu, E. Damosso, A. Martellucci, L. Ordano, A. Paraboni // Alta Frequenza. – 1994. – Vol. 6, № 6, pp 70-75.
4. Chu, T. S. A semi-empirical formula for microwave depolarisation versus rain attenuation on earth-space paths/ T. S. Chu // IEEE Trans. Commun. – 1982. – Vol. 30, №12, pp 2550-2554.
5. Dintelmann, F. Reference Book on Depolarisation / F. Dintelmann – OPEX- ESA WPP-083, 1994 – pp 74.
6. Dissanayake, A. W., Haworth, D. P., Watson, P. A. Analytical models for cross-polarisation on earth space radio paths for frequency range 9-30 GHz/ A. W. Dissanayake, D. P. Haworth, P. A. Watson // Ann. Telecommunication. – 1980. – Vol. 35, №11-12, pp 398-404.