

УДК 621.397

А.С. Попов

## Оценка уровня помехоустойчивости одночастотных систем цифрового эфирного телевизионного вещания

Предложен способ оценки уровня помехоустойчивости сигналов стандартов DVB-T/T2. Описан лабораторный эксперимент по определению критических состояний сигналов стандартов DVB-T/T2. Предложена модель тракта вещания сигналов стандарта DVB.

**Ключевые слова:** помехоустойчивость, зона покрытия, DVB-T/T2, COFDM, QPSK, QAM, уровень сигнала, MER, BER.

**Постановка задачи.** Планирование, построение и последующая эксплуатация сетей цифрового наземного ТВ-вещания (ЦНТВ) стандартов DVB-T/T2 должны опираться на точные данные о помехоустойчивости систем ЦНТВ в различных условиях [1]. Одним из факторов, определяющих реальную помехоустойчивость систем DVB-T/T2, является наличие достаточно точной информации о потенциальных возможностях системы.

В стандарте на систему DVB-T дано понятие квазибезошибочного приема – QEF, для которого приведены табулированные аналитические значения граничного отношения C/N («MER») – мощности сигнала на несущей к спектральной плотности аддитивного белого гауссовского шума (АБГШ), требуемого для достижения в различных режимах и условиях вещания вероятности ошибки на выходе декодера Витерби, равной  $2 \times 10^{-4}$  [1]. Это максимально допустимое значение, при котором в нормально функционирующей системе обеспечивается достаточный запас помехоустойчивости. Поэтому крайне важно не довольствоваться одним граничным значением коэффициента ошибки по битам (КОБ, англ. – BER), а иметь четкое представление о характере зависимости КОБ от отношения C/N («MER»).

**Модель тракта вещания.** Тракт ЦНТВ был смоделирован с помощью прибора для тестирования вещательного оборудования компании Etecard и комплексного анализатора принимаемого OFDM-сигнала IT-15T2 фирмы Planar. В качестве дополнительного контрольного средства использовался портативный приемник LV5T2 фирмы NOTONLYTV. Прибор HDAccess 2 позволяет сформировать сигнал OFDM системы DVB. С помощью анализатора IT-15T2 можно измерить параметры принимаемого сигнала: уровень, MER и BER в широком диапазоне, количество ошибок. Таким образом, эти измерительные приборы позволяют выбрать режим вещания системы DVB (модуляцию, кодовую скорость, защитный интервал, количество несущих) и оценить помехоустойчивость на приеме [2].

Схема подключения оборудования показана на рис. 1.

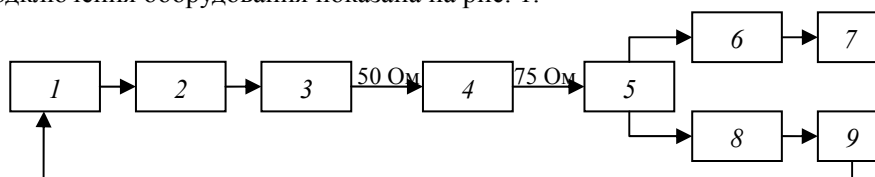


Рис. 1. Схема подключения оборудования для исследования помехозащищенности системы DVB

На схеме изображены: формирователь сигнала DVB ООО «НПП Триада-ТВ» (1) сигнала DVB-T/T2 с возможностью управления его параметрами (модуляция, количество несущих частот, защитный интервал, символьная скорость); «защищающий» аттенюатор (2) (полоса пропускания частот телевизионного диапазона) с постоянным ослаблением для ограничения уровня сигнала; переменный аттенюатор (3) (полоса пропускания частот телевизионного диапазона) с шагом в 1 дБ; трансформатор (4) 50 Ом в 75 Ом; сплиттер (5); set-top-box (6) с устройством вывода для субъективной оценки качества видео и звука (7); анализатор сигнала стандарта DVB-T/T2 (8); ПК (9) для получения и обработки данных с анализатора; генерации транспортного потока для формирователя (1).

**Лабораторный эксперимент.** Линии связи в зависимости от места в устройстве выполнены коаксиальными кабелями с волновыми сопротивлениями 50 и 75 Ом. Переменный аттенюатор (3) мо-

делирует идеальную среду распространения сигнала DVB-T/T2. Аттенуатор позволяет вносить большие ослабления (соответствующие расстоянию) с шагом в 1 дБ. Параметры фиксировались. Подобным образом были проведены измерения сигнала стандарта DVB в основных режимах и их вариантов (больше 1000).

Эксперимент спланирован, проведен согласно установленной методике [1, 3].

Пример оформления фрагмента постоянных и измеренных параметров приведен в таблице.

Часть эксперимента по определению уровня помехоустойчивости системы описан в [1].

**Изменяемые и измеряемые параметры для режима 2k, 1/32, 2/3**

| Настройки формирователя   | Количество несущих |          | Защитный интервал |          | Относительная скорость кода |          |          |
|---------------------------|--------------------|----------|-------------------|----------|-----------------------------|----------|----------|
|                           | 2k                 |          | 1/32              |          | 2/3                         |          |          |
| Изменяемые                |                    |          |                   |          |                             |          |          |
| <i>d</i> , ослабление, дБ | 0                  | 5        | 10                | 15       | 20                          | 25       | 26       |
| Измеряемые                |                    |          |                   |          |                             |          |          |
| <i>U</i> , уровень, дБмкВ | 60,8               | 56,1     | 51,3              | 46,4     | 42,1                        | 38,5     | 38,2     |
| MER, дБ                   | 35                 | 35       | 35                | 32,3     | 27,8                        | 23,4     | 21,4     |
| preVBER                   | 1,00E-06           | 1,00E-06 | 1,00E-06          | 4,40E-05 | 5,40E-05                    | 9,10E-04 | 7,20E-04 |
| postVBER                  | 1,00E-08           | 1,00E-08 | 1,00E-08          | 1,00E-08 | 1,00E-08                    | 1,00E-08 | 1,00E-08 |
| Ошибки                    | 0                  | 0        | 0                 | 0        | 0                           | 0        | 0        |

При лабораторных испытаниях для оценки помехоустойчивости использовались звездные диаграммы, построенные по реальному передаваемому сигналу цифрового телевидения.

Звездные диаграммы, полученные в ходе выполнения работы, изображены на рис. 2.

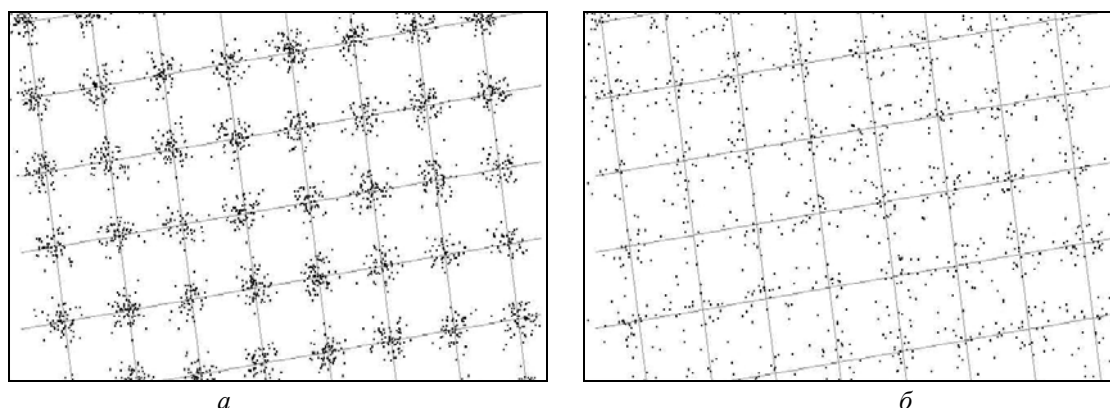


Рис. 2. Фрагмент звездной диаграммы 64-QAM эфирного сигнала стандарта DVB-T2:  
*a* – без ослабления, *б* – с ослаблением до «разрушения» полезного сигнала

По ним можно косвенно оценить степень помехоустойчивости сигналов стандарта DVB. После снижения уровня сигнала (рис. 2, *a*) ниже «критического» в 35,6 дБмкВ, сигнал «разрушается» (рис. 2, *б*).

С целью дополнительной проверки используемого для измерений анализатора ИТ-15Т2 в филиале РТРС «Томский ОРТПЦ» состоялась апробация данного устройства. По результатам испытаний видно (рис. 3), что распределение уровней согласуется по форме кривых. Сдвиг в 1 дБ можно объяснить совокупностью погрешностей в измерениях и точности прибора. Это свидетельствует о том, что прибор пригоден для работы, показания достаточно достоверны.

На основе экспериментально полученных данных автором предложена функция (1), которая характеризует зависимость уровня сигнала от ослабления, соответствующего расстоянию от передатчика до приемника (эквивалент среды передачи сигнала) в частном случае при мощности передатчика 1 кВт.

$$U(d) = 120 \cdot d^{-0,76} + 28,8, \quad (1)$$

где  $U(d)$  – функция зависимости уровня сигнала на входе приемника от ослабления, дБмкВ;  $d$  – ослабление, дБ. График предлагаемой функции приведен ниже (рис. 5, сплошная кривая).

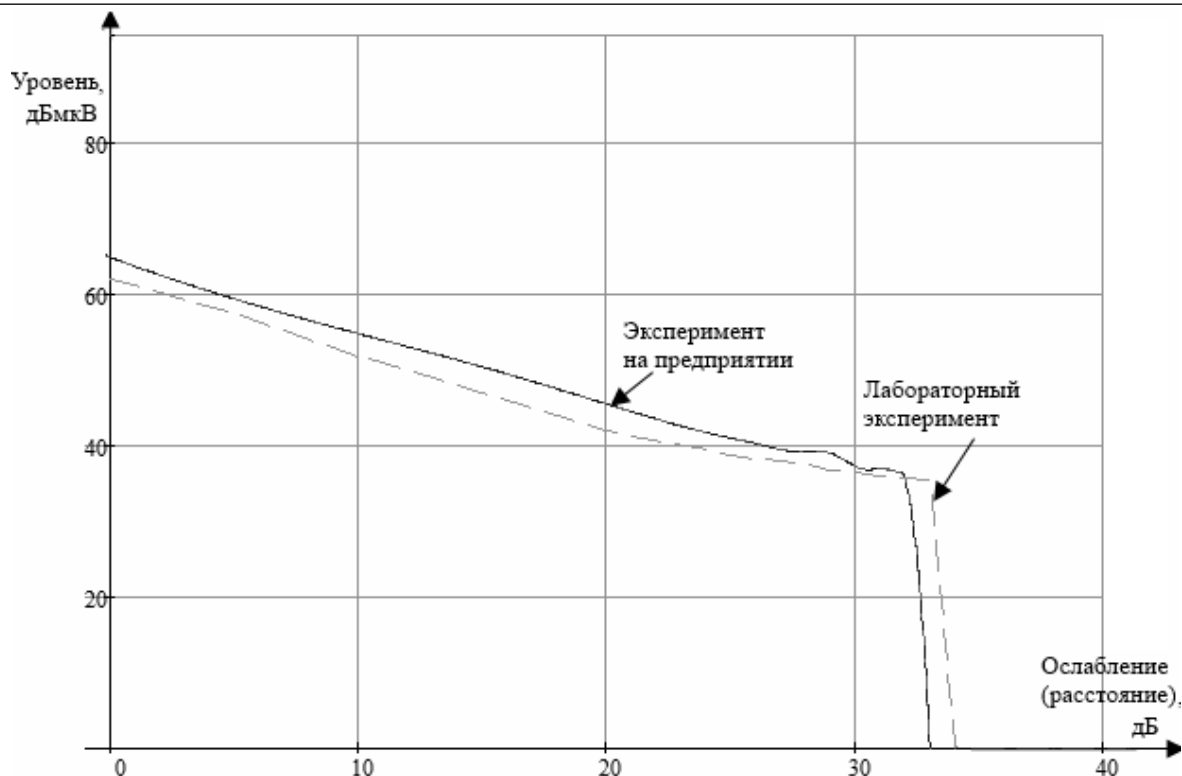


Рис. 3. Зависимость уровня сигнала стандарта DVB-T/T2 от ослабления в лабораторных условиях и на предприятии с направленного ответвителя (выходные данные округлены программой)

**Натурные испытания.** На рис. 4 изображены: прибор для измерения параметров эфирного сигнала стандарта DVB-T2 (2); антенно-фидерный тракт (1); преобразователь напряжения 12 в 220 В (5), необходимый для питания прибора; приемник GPS для определения месторасположения устройства (3), персональный компьютер (4), подключаемый через USB-разъем, необходимый для анализа качества изображения и аудиосигнала и для обработки результатов измерений.

Для измерения уровня сигнала телевизионного передатчика после подключения системы по указанной схеме необходимо настроить анализатор на канал, на котором работает передатчик. Данные об уровне, MER, сигнал/шум, BER сигнала стандарта DVB-T/T2 будут отображаться на дисплее ПК [4, 5].

Из рис. 5 видно, что аппроксимирующая кривая (сплошная) находится в соответствии (при  $d > 8$  дБ) с результатами натурных и лабораторных испытаний [6, 7]. В отличие от лабораторного эксперимента при натурных испытаниях уровень сигнала снизился из-за влияния рельефа местности, и помехоустойчивый режим приема «сорвался» на расстоянии, соответствующем затуханию, меньшему на 4 дБ по сравнению с прогнозируемым лабораторным экспериментом. На рис. 6 приведены расчетная и измеренная зоны покрытия цифровым телевизионным сигналом передатчика мощность 1 кВт, при высоте подвеса передающей антенны 180 м. На южном направлении от г. Томска наблюдается большее расхождение с теоретическим расчетом ( $> 8$  дБ) ввиду более сложного рельефа и лесонасаждений выше 30 м в этом направлении (высота приемной антенны 3 м) [8].

**Заключение.** На основе проведенных исследований можно сделать следующие выводы.

- Предложен лабораторный метод оценки помехозащищенности сигналов стандартов DVB-T/T2.
- Предложена схема исследования помехозащищенности систем DVB в полевых условиях.
- Предложена аппроксимация зависимости ожидаемого уровня сигнала в месте приема от предполагаемого ослабления из-за удаленности.

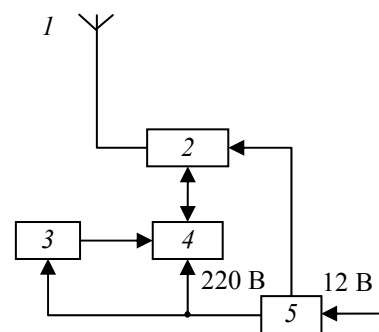


Рис. 4. Схема подключения оборудования для исследования помехозащищенности систем DVB в полевых условиях

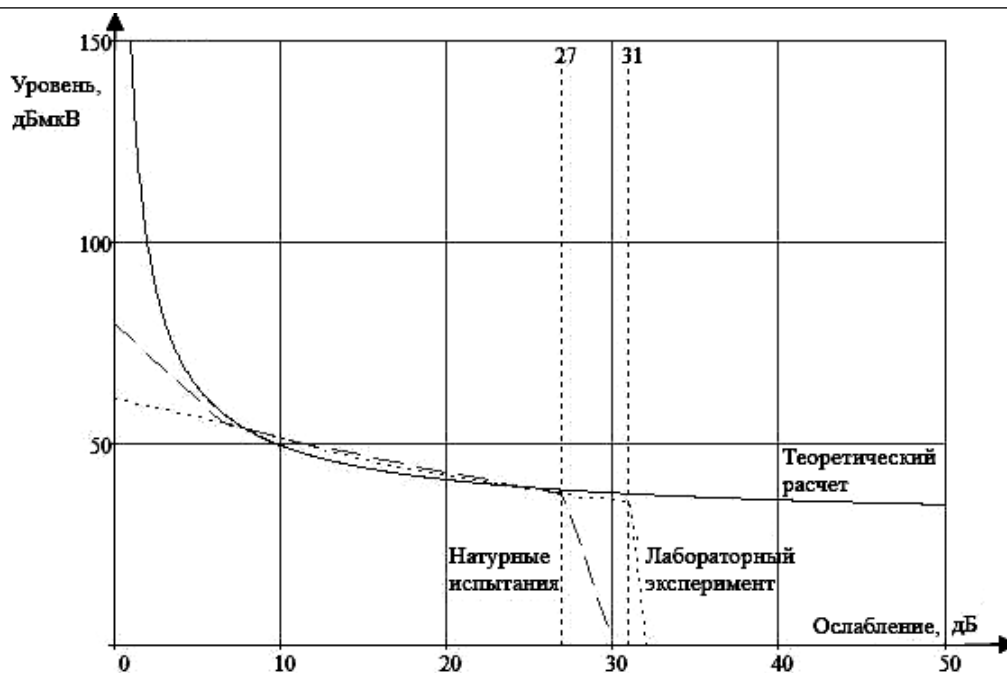


Рис. 5. Зависимости теоретически рассчитанной, измеренной в лаборатории и полученной при натуральных испытаниях зависимости уровня сигнала от ослабления (удаления)

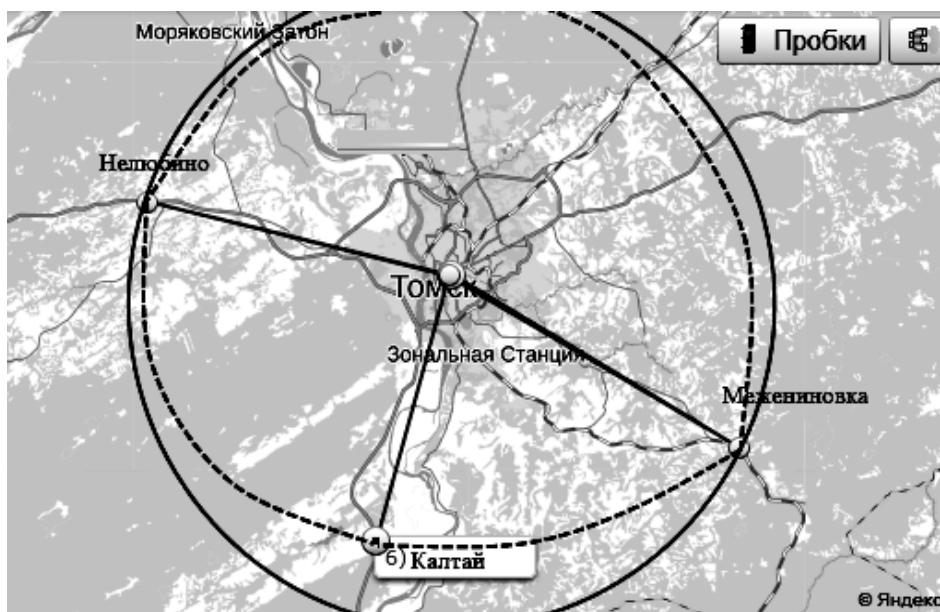


Рис. 6. Расчетная и измеренная зоны покрытия цифровым телевизионным сигналом

- Пороговый уровень чувствительности приемника, применяемого в исследованиях, составил 35,5 дБмкВ.
- Результаты лабораторных исследований пропорционально согласуются с результатами теоретических расчетов и натуральных испытаний.
- Рельеф местности и густая растительность могут оказывать более существенное влияние на помехоустойчивость систем стандарта DVB, чем городская застройка.

#### Литература

1. Красносельский И.Н. Исследование помехоустойчивости системы DVB-T на модели канала с многолучевым распространением / И.Н. Красносельский, С.А. Канев // Электросвязь. – 2010. – № 7. – С. 28–30.

2. Канев С.А. Разработка эффективных методов и устройств адаптивных преобразований характеристик и параметров сигналов в системах цифрового вещательного телевидения: автореф. дис. ... канд. техн. наук. – М., 2011. – 23 с.
3. Красовский Г.И. Планирование эксперимента / Г.И. Красовский, Г.Ф. Филаретов. – Минск: Изд-во БГУ, 1982. – 302 с.
4. ГОСТ Р 8.563–2009. Методики (методы) измерений. – М.: Стандартинформ. 2010. – 27 с.
5. Попов А.С. Применение методов Окамура-Хата и Введенского для расчета зон покрытия цифровых телевизионных передатчиков // Докл. Том. гос. ун-та систем управления и радиоэлектроники. – 2010. – № 2 (22), ч. 2. – С. 176–179.
6. Цифровое телевидение в видеоинформационных системах: моногр. / А.Г. Ильин, Г.Д. Казанцев, А.Г. Костевич, М.И. Курячий, И.Н. Пустынский, В.А. Шалимов. – Томск: Томск. гос. ун-т систем упр. и радиоэлектроники, 2010. - 465 с.
7. Кирпиченко Ю.Р. Видеоинформационные системы наблюдения и контроля при сложных условиях видимости / Ю.Р. Кирпиченко, М.И. Курячий, И.Н. Пустынский // Докл. Том. гос. ун-та систем управления и радиоэлектроники. – 2012. – № 2 (26), ч. 1. – С. 105–110.
8. Яндекс карты. Электронная карта г. Томска и Томской области [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://maps.yandex.ru>, свободный (дата обращения: 1.06.2013).

---

**Попов Александр Сергеевич**

Аспирант каф. телевидения и управления ТУСУРа

Тел.: 8-(482-2) 41-33-80

Эл. почта: [mailrus@bk.ru](mailto:mailrus@bk.ru)

Popov A.S.

**Estimation of the noise immunity level of single-frequency systems for digital aerial television broadcasting**

Estimation method of the signal noise immunity level for standards DVB-T/T2, is provided. Laboratory experiment to determine the signal of standards DVB-T/T2 critical states, was described. Experiment to determine the coverage area of digital television transmitter, was described.

**Keywords:** noise immunity, the coverage area, DVB-T/T2, COFDM, QPSK, QAM, signal level, MER, BER.