

## ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ОБРАБОТКИ ЦИФРОВОГО ТЕЛЕВИЗИОННОГО СИГНАЛА ДЛЯ КОРРЕКЦИИ ИНТЕРФЕРЕНЦИОННЫХ ИСКАЖЕНИЙ В ОДНОЧАСТОТНЫХ СЕТЯХ ТВ-ВЕЩАНИЯ

В.Л. Карякин<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики, Самара, Россия

### Аннотация

Исследовано влияние явления интерференции на качество приема в областях перекрытия зон обслуживания передатчиков одночастотных сетей цифрового телевизионного вещания. Дана качественная и количественная оценка эффективности компенсации интерференционных искажений в демодуляторах приемников. Результаты работы, полученные с использованием инструментальных систем автоматизированного проектирования VSS и ADS компаний Applied Wave Research и Agilent Technologies, позволяют оценить для заданного отношения сигнал/шум предельную величину отношения сигнал/эхо-сигнал, при котором обеспечивается работоспособность сети передачи данных.

Работоспособность сетей цифрового телерадиовещания при наличии синхронизации передатчиков зависит от запаса устойчивости, определяемого допустимым отклонением коэффициента битовых ошибок от порогового значения. Из полученных результатов следует, что пороговая граница воздействия помех соответствует значению коэффициента битовых ошибок BER, равному  $2 \times 10^{-4}$ . При значениях BER ниже порогового благодаря декодеру Рида–Соломона прием становится практически безошибочным. Замена кодеков в сетях второго поколения телерадиовещания привела к значительному уменьшению порогового значения коэффициента BER до  $10^{-2}$ – $10^{-3}$ , что позволило увеличить скорость передачи данных при сохранении запаса устойчивости по коэффициенту битовых ошибок.

Разработанная методика исследования качества работы систем и сетей цифрового телерадиовещания позволяет на практике выявлять причины увеличения коэффициента битовых ошибок по виду спектров и сигнальных созвездий, сравнивать различные алгоритмы оценки характеристик канала передачи данных и обработки цифрового телевизионного сигнала по эффективности борьбы с интерференционными искажениями.

**Ключевые слова:** одночастотные сети, ТВ-вещание, коэффициент битовых ошибок, интерференция, искажения, обработка ТВ-сигнала.

**Цитирование:** Карякин, В.Л. Оценка эффективности обработки цифрового телевизионного сигнала для коррекции интерференционных искажений в одночастотных сетях ТВ-вещания / В.Л. Карякин // Компьютерная оптика. – 2017. – Т. 41, № 2. – С. 276-283. – DOI: 10.18287/2412-6179-2017-41-2-276-283.

### Введение

В цифровых сетях телевизионного вещания в областях перекрытия зон обслуживания при определенных условиях возникают эффекты интерференции сложных модулированных сигналов двух или более передатчиков, приводящие к изменению формы сигнальных созвездий на приемной стороне и, как следствие, к изменению качества приема передаваемой информации.

Наземное цифровое телевизионное [1–4] вещание использует модуляцию, получившую название кодовое мультиплексирование с ортогональным частотным разделением каналов – *COFDM (Coded Orthogonal Frequency Division Multiplexing)*. Основным достоинством этого вида модуляции является успешная борьба с эхо-сигналами, которые могут возникать из-за отражений от окружающих предметов или при работе нескольких передатчиков в одном и том же радиочастотном канале, в частности, при использовании COFDM в одночастотной наземной сети цифрового телевизионного вещания *SFN (Single Frequency Network)*.

Исследования в данной работе проведены с использованием инструментальных САПР VSS и ADS компаний Applied Wave Research и Agilent Technologies [5, 6].

Модель сети цифрового телевизионного вещания содержит источник информации, совокупность моделей передатчиков, приемников, канала передачи данных, систему синхронизации по частоте и времени [1].

**Целью настоящей работы** является исследование влияния явления интерференции на качество приема и оценка эффективности обработки цифрового телевизионного сигнала для борьбы с интерференционными искажениями в *SFN* сетях передачи данных.

### 1. Структурная схема стандартного измерительного приемника ТВ-сигнала

Исследование влияния явления интерференции на качество приема осуществлялось в соответствии с рекомендациями по измерению для систем *DVB* [7]. Структурная схема измерительного приемника представлена на рис. 1.

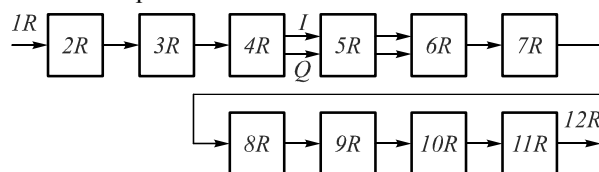


Рис. 1. Структурная схема приемника

На рис. 1 введены следующие обозначения блоков приемника.

**1R** – вход приемника (*Receiver Input*); **2R** – тюнер (*Tuner*); **3R** – аналого-цифровой преобразователь (*A/D*); **4R** – I/Q конверсия быстрого преобразования Фурье (*I/Q Convers FFT*); **5R** – каналный корректор (*Channel Correct.*); **6R** – демультимплексирование символов кадра (*Demux. Demapping*); **7R** – внутренний деперемежитель (*Inner Deinterleaver*); **8R** – внутренний декодер Витерби (*Inner Viterbi Decoder*); **9R** – внешний деперемежитель (*Outer Deinterleaver*); **10R** – внешний декодер Рида-Соломона (*Outer RS Decoder*); **11R** – дескремблер (*Descrambler*); **12R** – транспортный поток *MPEG2 (MPEG2 transport stream)*.

Измерения с помощью представленной на рис. 1 схемы приемника позволяют исследовать специфику явлений интерференции в одночастотной сети цифрового телевизионного вещания, выяснить причины ухудшения приема сигнала, оценить в дальнейшем эффективность применяемых методов обработки цифрового телевизионного сигнала.

### 2. Исследование влияния интерференции на качество приема

Рассмотрим случай (рис. 2), широко распространенный на практике при построении сетей *SFN*, когда приемник находится в «Зоне 1» обслуживания первого передатчика (РПД 1). Второй передатчик (РПД 2) обслуживает «Зону 2», которая перекрывает часть первой зоны.

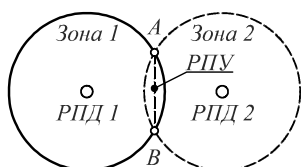


Рис. 2. Область перекрытия зон обслуживания передатчиков

Область перекрытия зон обслуживания передатчиков представлена на рис. 2. Зоны 1 и 2 расположены симметрично относительно линии, проходящей через точки А и В.

При наличии двух одинаковых по частоте источников радиоволн, находящихся на некотором расстоянии друг от друга, суммарная амплитуда энергии колебаний в определенных точках пространства может как увеличиваться, так и уменьшаться. Это явление принято называть *интерференцией* радиоволн. Сигнал, приходящий на приемник от второго передатчика РПД 2, рассматриваем как эхо-сигнал. Поскольку степень влияния интерференции на качество приема определяется преимущественно временной задержкой и мощностью эхо-сигнала, рассмотрим вначале возможные варианты условий приема цифрового телевизионного сигнала в предположении отсутствия шума. Исследование в данной работе проведено для численных значений параметров *SFN* сети с целью оценки ее реальных характеристик.

Оба передатчика работают в составе одночастотной сети наземного цифрового телевизионного веща-

ния стандарта *DVB-T* на 29-м ТВ-канале с модуляцией *QPSK*, полоса канала – 8 МГц, средняя частота спектра – 538 МГц, режим *2k*, защитный интервал – 56 мкс, кодовая скорость 1/2.

Если приемник расположен на равноудаленном расстоянии от каждого из передатчиков (линия А-В на рис. 2), разность между временными задержками сигналов двух соседних передатчиков на входе приемника составляет  $T_{\text{ЗАДЕРЖ}} = 0$  нс.

Задана также спектральная плотность мощности сигналов на выходах передатчиков. При исследовании принимаем спектральные плотности мощности сигналов первого и второго передатчиков равными. Канал распространения вносит затухание 91 дБ. Очевидно, что форма спектров при распространении сигнала в идеальном канале без шума не изменяется. Спектральная плотность мощности принимаемых сигналов *S1* и *S2* от передатчиков представлена на рис. 3.

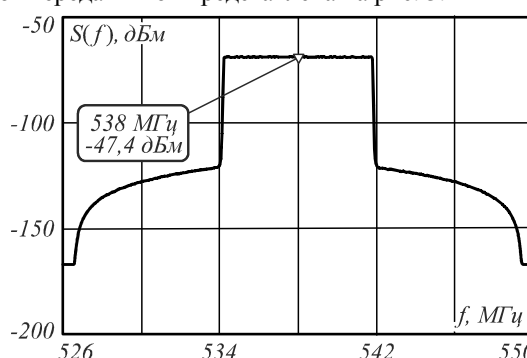


Рис. 3. Спектральная плотность мощности принимаемых сигналов *S1* и *S2*

Перейдем к рассмотрению возможных вариантов приема сигналов в области перекрытия зон вещания.

#### Вариант 1 ( $S1/S2 = 0$ дБ; $T_{\text{ЗАДЕРЖ}} = 0$ нс)

Результирующий спектр сигнала от передатчика РПД 1 и эхо-сигнала от РПД 2 на выходе усилителя мощности тюнера в приемнике при  $T_{\text{ЗАДЕРЖ}} = 0$  нс и при отсутствии шума в канале передачи данных представлен на рис. 4.

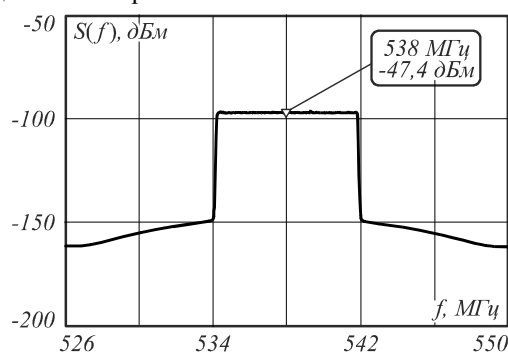


Рис. 4. Результирующий спектр сигналов

Уровень спектра сигнала вне полосы рабочего канала определяется суммарными интермодуляционными искажениями трактов усиления мощности передатчиков РПД 1, РПД 2 и усилителя мощности на входе приемника.

Сигнальное созвездие позволяет предварительно оценить качество принятого сигнала визуально. В дан-

ном варианте при визуальной оценке искажения сигналов на выходе демодулятора не обнаруживаются. Искажения оцениваются более точно с помощью векторных ошибок модуляции *EVM* (*Error vector magnitude*) [8], которые дают количественную оценку отношения модуля вектора ошибки к пиковому значению идеального вектора символа сигнального созвездия в текущее время. Векторные ошибки модуляции *EVM* в этом случае не превышают 0,4 %, что свидетельствует о высоком качестве принимаемого сигнала.

**Вариант 2** ( $SI/S2 = 0$  дБ;  $T_{\text{ЗАДЕРЖ}} = 300$  нс,  $SI/N = \text{VAR}$ )

Спектры принимаемого сигнала от первого передатчика и эхо-сигнала от второго передатчика (рис. 3) во втором варианте сохраняются прежними. Время задержки  $T_{\text{ЗАДЕРЖ}} = 300$  нс задано, исходя из возможных перемещений приемника в предполагаемой области пересечения зон обслуживания и возникающих в этой связи задержек эхо-сигнала. Временные задержки в данном случае значительно меньше выбранного защитного интервала.

Рассмотрим результирующий спектр на выходе усилителя мощности приемника от сигнала передатчика РПД 1 и эхо-сигнала при  $T_{\text{ЗАДЕРЖ}} = 300$  нс и соотношении сигнал/шум  $SI/N = 100$  дБ.

Фактически, в данном случае шум не оказывает заметного влияния на форму спектра и сигнальное созвездие.

Изменение формы спектра (рис. 5) обусловлено влиянием интерференции. Характер огибающей результирующего спектра зависит от величины задержки эхо-сигнала.

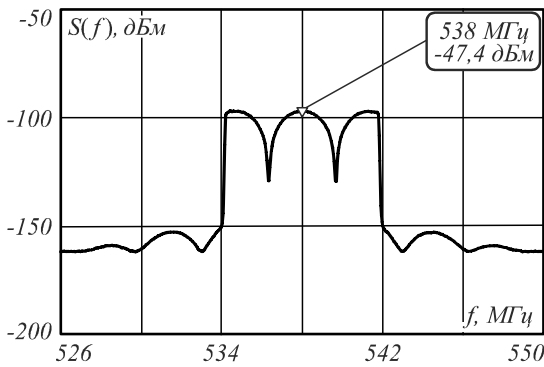


Рис. 5. Результирующий спектр при  $T_{\text{ЗАДЕРЖ}} = 300$  нс,  $SI/N = 100$  дБ

С увеличением времени задержки уменьшается период паразитной модуляции огибающей спектра, изменяется воздействие интерференции на его спектральные составляющие. Сигнальное созвездие (рис. 6а) позволяет дать качественную оценку искажениям принятого сигнала при  $T_{\text{ЗАДЕРЖ}} = 300$  нс. Векторные ошибки модуляции *EVM* в этом случае превышают 160 %, что свидетельствует о низком качестве принимаемого сигнала.

Уменьшение  $SI/N$  до 20 дБ приводит к увеличению дисперсии несущих на сигнальном созвездии (рис. 6б). Помимо информационных несущих в кадре, состоящем из 68 символов в стандарте *DVB-T*, пере-

даются вспомогательные несущие, которые служат для синхронизации тактовых частот модулятора и демодулятора, синхронизации несущих частот спектра, оценки АЧХ канала передачи данных. На сигнальных созвездиях (рис. 6а, б) вспомогательные несущие образуют две окружности, расположенные симметрично справа и слева от начала координат.

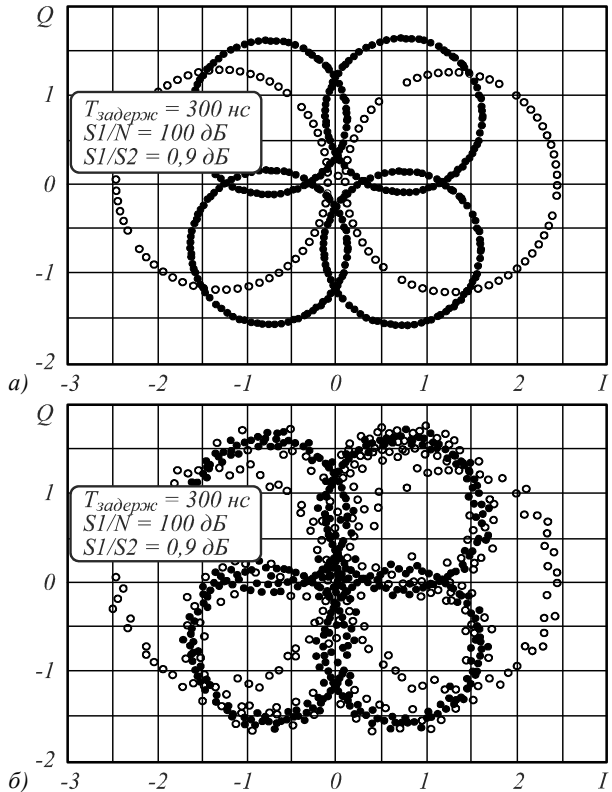


Рис. 6. Сигнальное созвездие полного сигнала при  $T_{\text{ЗАДЕРЖ}} = 300$  нс,  $SI/N = 100$  дБ (а),  $SI/N = 20$  дБ (б)

На рис. 7 показан характер искажений модулей несущих при воздействии эхо-сигнала. Количество несущих в символе определяется выбранным режимом  $2k$ . Перед каждым символом имеется защитный интервал (рис. 7), величина которого определяется топологией *SFN* сети.

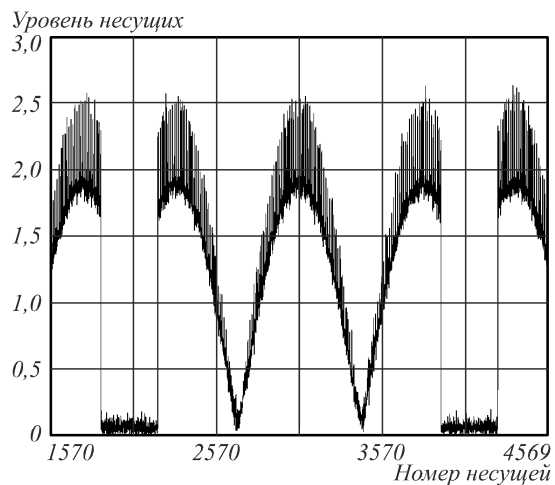


Рис. 7. Сигнал на выходе демодулятора во временной области при  $T_{\text{ЗАДЕРЖ}} = 300$  нс,  $SI/N = 20$  дБ

Модуляционные искажения оцениваются в приемнике на выходе демодулятора до цифровой обработки принятого сигнала в декодерах Витерби и Рида–Соломона.

Степень влияния интерференции на качество цифрового ТВ-вещания определяется не только временной задержкой  $T_{\text{задерж}} \text{ эхо-сигнала}$ , но и отношением мощности сигнала к мощности шума  $S1/N$ , мощности сигнала к мощности эхо-сигнала  $S1/S2$ . На качество приема сигнала влияет также алгоритм оценки АЧХ канала передачи данных и метод компенсации искажений принятого сигнала.

Учитывая совокупность факторов, влияющих на качество цифрового телевизионного вещания, перейдем к интегральной оценке качества сигнала после декодеров Витерби и Рида–Соломона.

### 3. Интегральная оценка эффективности компенсации интерференционных искажений в приемнике

Измерения до блока коррекции АЧХ канала передачи данных (до канального корректора на рис. 1) позволяют исследовать специфику явлений интерференции в одночастотной сети цифрового телевизионного вещания, выяснить причины ухудшения приема сигнала и оценить в дальнейшем эффективность используемых в приемниках цифрового телевизионного вещания блоков компенсации искажений АЧХ.

Предварительная качественная оценка эффективности компенсации интерференционных искажений информационного сигнала осуществляется путем сравнительного визуального анализа сигнальных созвездий без вспомогательных несущих.

Интегральной количественной оценкой эффективности приемников с различными алгоритмами обработки входного сигнала является вероятность ошибки на бит (коэффициент битовых ошибок  $BER - \text{Bit Error Rate}$ ) информации на выходе декодера Витерби [7], позволяющая оценить пороговую границу воздействия помех, за пределами которой обеспечивается почти безошибочный прием информационного сигнала.

#### 3.1. Модель демодулятора COFDM сигнала приемника с компенсацией интерференционных искажений

Как отмечалось ранее, исследования в данной работе проведены с использованием инструментальных САПР  $VSS$  и  $ADS$  компаний *Applied Wave Research* и *Agilent Technologies*.

Исследуемая модель демодулятора  $COFDM$  сигнала приемника с компенсацией искажений канала передачи данных в инструментальной среде  $ADS$  представлена на рис. 8.

Компоненты модели демодулятора следующие:

**1D** – вход демодулятора (*Demodulator Input*); **2D** – комплекс усиления (*Complex Gain*); **3D** – оценка максимального правдоподобия и синхронизация  $OFDM$  символов (*ML Estimation and Synchronization of OFDM Symbol*); **4D** – загрузка данных канала в буфер быстрого преобразования Фурье (*Received data loader from channel to FFT buffer*); **5D** – ком-

пенсатор смещения фазы из-за смещения несущей частоты (*Compensator for phase offset due to carrier frequency offset*); **6D** – комплекс быстрого преобразования Фурье (*Complex fast Fourier transform*); **7D** – линейные оценки канала и канала интерполятора для  $DVB-T$  (*Linear channel estimator and channel interpolator for DVB-T*); **8D** –  $OFDM$  эквалайзер по оценке канала (*OFDM equalizer by the channel estimation*); **9D** – демультимплексирование данных и  $TPS$  несущих для  $DVB-T$  символов (*Data and TPS demux for DVB-T symbol*); **10D** – передача параметров сигнализации (*Transmission Parameter Signaling*); **11D** – передача данных (*DAT*).

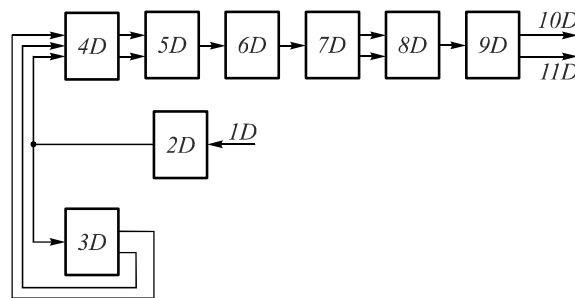


Рис. 8. Модель демодулятора  $COFDM$  сигнала

#### 3.2. Предварительная качественная оценка эффективности компенсации интерференционных искажений

Как отмечалось ранее, предварительная качественная оценка эффективности компенсации интерференционных искажений может осуществляться путем сравнительного визуального анализа сигнальных созвездий на выходе демодулятора  $COFDM$  сигнала (рис. 1) до блока коррекции АЧХ канала передачи данных и созвездий на выходе демодулятора приемника цифрового телевизионного вещания с блоком коррекции рис. 8.

Приведем сигнальные созвездия на выходе демодуляторов без компенсации и с компенсацией интерференционных искажений. Прием осуществляется при наличии эхо-сигнала от соседнего передатчика и Гауссовских шумов. Исследование проведено для численных значений параметров одночастотной наземной сети цифрового телевизионного вещания, принятых в параграфе 2, с целью оценки ее реальных характеристик и сравнения с результатами, полученными ранее.

Полагаем, что спектральная плотность мощности принимаемого сигнала  $S1$  и эхо-сигнала  $S2$  равны ( $S1/S2 = 0 \text{ дБ}$ ). Время задержки эхо-сигнала  $T_{\text{задерж}} = 300 \text{ нс}$  меньше величины защитного интервала.

Построим сигнальные созвездия для двух значений отношения мощности сигнала к мощности шума  $S1/N = 100 \text{ дБ}$  и  $10 \text{ дБ}$  (рис. 9, 10). Сигнальные созвездия позволяют дать качественную оценку искажениям принятого сигнала при заданных параметрах сети телерадиовещания, сигнала и помех в канале передачи данных. На рис. 9а, 10а представлены сигнальные созвездия на выходе демодулятора без компенсации интерференционных искажений. Сигнальные созвездия

дия, представленные на рис. 9б, 10б, – для демодулятора с компенсацией искажений канала передачи данных. Созвездия на рис. 9 построены для случая, когда мощность флуктуационного шума значительно меньше мощности сигнала ( $SI/N=100$  дБ). Рис. 10 соответствует случаю, когда отношение мощности сигнала к мощности шума равно  $SI/N=10$  дБ.

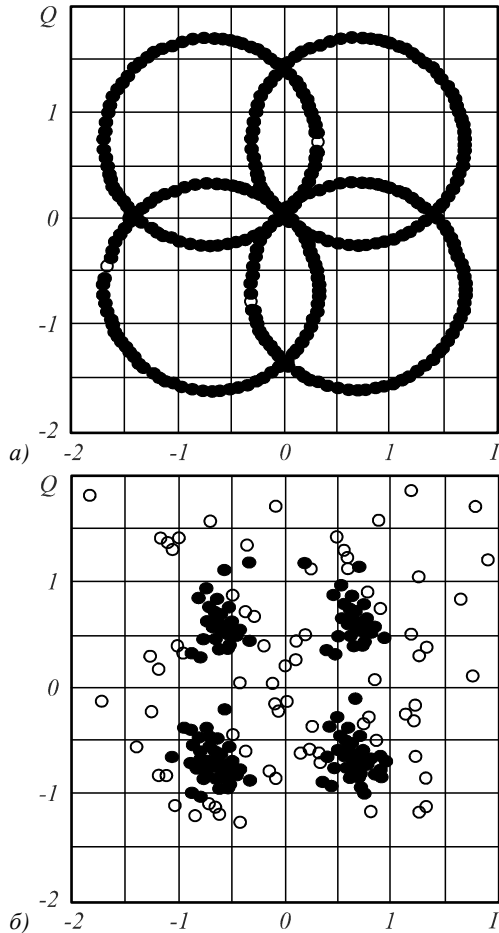


Рис. 9. Сигнальные созвездия в приемниках без компенсации искажений (а) и с компенсацией (б) при  $SI/N=100$  дБ

По виду сигнальных созвездий на рис. 9а, 10а, полученных на выходе демодулятора без компенсации искажений, можно судить о характере и интенсивности помех. Следует отметить, что по созвездиям на рис. 9б, 10б сложно оценить характер помех и выявить причину ухудшения качества принимаемого сигнала при их возникновении. Из визуального сравнения сигнальных созвездий (рис. 9а, 9б) и (рис. 10а, 10б) можно сделать вывод об эффективности работы демодулятора, представленного на рис. 8.

Как отмечалось ранее, в соответствии рекомендациями [7] интегральной оценкой эффективности работы приемников является вероятность ошибок после декодера Витерби (рис. 1).

### 3.3. Интегральная количественная оценка эффективности работы приемников с различными алгоритмами обработки сигнала

Оценка вероятности ошибок позволяет дать сравнительную интегральную оценку эффективности ра-

боты исследуемых приемников. В измерительном приемнике (рис. 1) визуальная оценка характера и интенсивности помех, приводящих к интерференционным искажениям входного сигнала, осуществляется по сигнальным созвездиям демодулятора **COFDM** сигнала до канального корректора. Помимо этого, имеется возможность исследовать качество приема цифрового телерадиовещания с коррекцией и без коррекции входного сигнала.

На рис. 11 дана оценка вероятности ошибок сигнала после декодера Витерби (*After Viterbi*) в измерительном приемнике с коррекцией и без коррекции при  $SI/N=10$  дБ. Использование результатов исследования помехозащищенности приемника без коррекции дает возможность оценить предельную величину отношения сигнал/эхо-сигнал, при котором прием становится практически безошибочным.

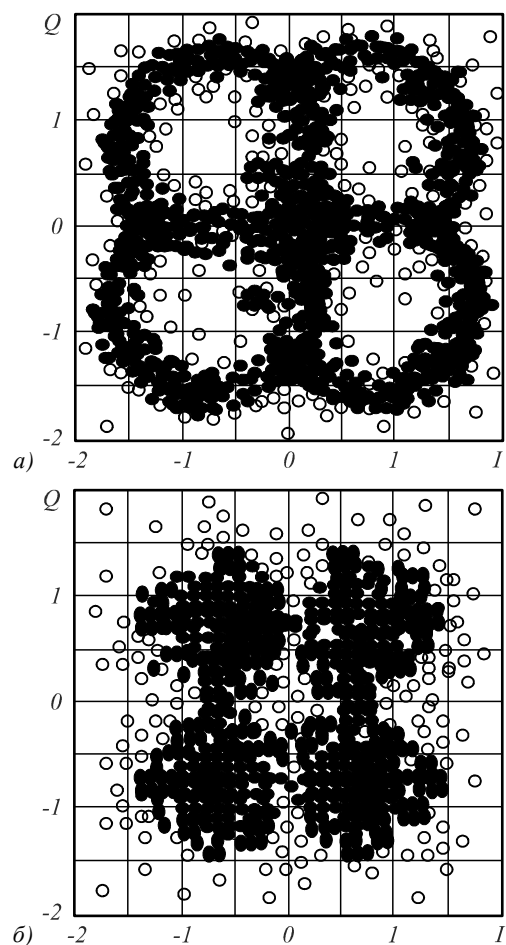


Рис. 10. Сигнальные созвездия в приемниках без компенсации искажений (а) и с компенсацией (б) при  $SI/N=10$  дБ

Сравнительная оценка зависимостей вероятности ошибок от соотношения сигнал/эхо-сигнал для приемников с коррекцией и без коррекции интерференционных искажений (рис. 11) позволяет дать количественную оценку эффективности компенсации искажений в демодуляторе **COFDM** сигнала.

Наряду с вероятностью ошибки на бит, на практике оценка помехозащищенности систем и сетей теле-

радиовещания осуществляется с помощью коэффициента битовых ошибок **BER**. Точность оценки **BER** зависит от интервала времени измерения.

Из полученных результатов следует, что пороговая граница воздействия помех, обозначенная на рис. 11 пунктирной линией, соответствует значению коэффициента **BER**, равному  $2 \times 10^{-4}$ .

При значениях **BER** ниже порогового благодаря декодеру Рида–Соломона прием становится практически безошибочным. Брак в работе сети и ее технические остановки возникают при значениях коэффициента битовых ошибок, близких к пороговым значениям. Работоспособность сетей цифрового телерадиовещания при наличии синхронизации передатчиков зависит от запаса устойчивости, определяемого допустимым отклонением коэффициента **BER** от порогового значения.

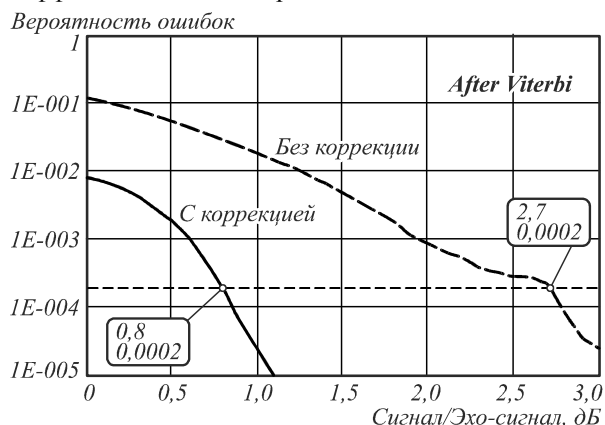


Рис. 11. Вероятность ошибок сигнала после декодера Витерби в приемнике с коррекцией и без коррекции

Следует отметить, что в сетях второго поколения телерадиовещания стандарта **DVB-T2** в качестве внешнего декодера применяют блочный декодер **BCH (Bose-Chaudhuri-Hocquenghem)**, внутренним является декодер **LDPC (Low Density Parity Check)** с проверкой на четность. Эффективность кодеров, декодеров (кодеков) **BCH** и **LDPC** значительно выше применяемых в сетях стандарта **DVB-T** кодеков Рида–Соломона и Витерби [1]. Замена кодеков в сетях второго поколения телерадиовещания привела к значительному уменьшению порогового значения коэффициента **BER** до  $10^{-2}$ – $10^{-3}$ , что позволило увеличить скорость передачи данных при сохранении запаса устойчивости по коэффициенту битовых ошибок.

В заключении сформулируем основные результаты исследований, проведенных в данной работе.

### Заключение

1. Исследование влияния интерференции на работу одночастотной сети цифрового телевизионного вещания с помощью сигнальных созвездий позволило дать качественную оценку искажениям принятого сигнала, возникающим благодаря наличию эхо-сигналов в области перекрытия зон обслуживания передатчиков.

2. При равноудаленном расположении приемника от передатчиков (линия А-В на рис. 2) модуляционные ошибки минимальны. Однако изменение распо-

ложения приемника в зоне обслуживания приводит к временным задержкам эхо-сигнала и, как следствие, к увеличению модуляционных ошибок, что ухудшает качество приема, а в некоторых случаях прием становится невозможен.

3. Результаты, полученные в работе для заданного отношения сигнал/шум, позволяют оценить предельную величину отношения сигнал/эхо-сигнал, при котором прием становится практически безошибочным.

4. Дана качественная (рис. 9, 10) и количественная (рис. 11) оценка эффективности компенсации интерференционных искажений в демодуляторах **COFDM** сигнала приемников цифрового телевизионного вещания.

5. По виду сигнальных созвездий на рис. 9а, 10а, полученных на выходе демодулятора без компенсации искажений, можно судить о характере и интенсивности помех.

6. Выигрыш по отношению сигнал/эхо-сигнал, полученный благодаря компенсации интерференционных искажений в демодуляторе **COFDM** сигнала (рис. 8), в данном случае составляет 1,9 дБ (рис. 11).

7. Разработанная методика оценки эффективности компенсации интерференционных искажений в системах и сетях цифрового телерадиовещания позволяет на практике выявлять причины ухудшения качества принимаемого сигнала, сравнивать различные алгоритмы оценки характеристик канала передачи данных и обработки цифрового телевизионного сигнала по эффективности борьбы с интерференционными искажениями.

8. Представленная в статье методика оценки эффективности компенсации интерференционных искажений в системах и сетях цифрового телерадиовещания может быть применена при развертывании одночастотных сетей и их эксплуатации, а также для тестирования других алгоритмов обработки входного сигнала по эффективности их борьбы с интерференционными искажениями с целью внедрения наилучших в производство.

### Литература

1. Карякин, В.Л. Цифровое телевидение: учебное пособие для вузов, 2-е изд., переработанное и дополненное / В.Л. Карякин. – М.: Солон-Пресс, 2013. – 448 с. – ISBN: 5-91359-110-4.
2. Карякин, В.Л. Методы обеспечения синхронной работы передатчиков телевизионной сети SFN стандарта DVB-T2 и DVB-T / В.Л. Карякин, Д.В. Карякин, Л.А. Морозова // Электросвязь. – 2016. – № 4. – С. 46-49.
3. Карякин, В.Л. Оценка качества работы одночастотной сети цифрового телерадиовещания по эхо-диаграмме / В.Л. Карякин, Д.В. Карякин, Л.А. Морозова // Научные труды SWorld. – 2015. – Вып. 2(39), Т. 4. – С. 18-23.
4. ETSI TS 101 191 V1.4.1 (2004-06) Technical Specification Digital Video Broadcasting (DVB); DVB mega-frame for Single Frequency Network (SFN) synchronization. – Registered: 11.06.2004.
5. Усовершенствованная версия САПР ADS 2014 от Agilent Technologies значительно повысила эффективность и производительность проектирования [Электронный ресурс]. –

- URL: <http://www.kipis.ru/news/companies-news/index.php?news=799238> (дата обращения: 26.07.2016).
6. AWR Visual System Simulator – система проектирования телекоммуникационного оборудования на функциональном уровне [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.eurointech.ru/vss> (дата обращения: 26.07.2016).
7. ETSI TR 101 290 V1.3.1 (2014-07). Digital Video Broadcasting (DVB); Measurement guidelines for DVB systems.
8. Digital transmission: Carrier-to-Noise Ratio, Signal-to-Noise Ratio, and Modulation error ratio. [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.broadcom.com/collateral/wp/CMTS-WP101-R.pdf> (дата обращения: 26.07.2016).

### Сведения об авторе

**Карякин Владимир Леонидович**, 1946 года рождения, д.т.н., профессор кафедры радиосвязи, радиовещания и телевидения Поволжского государственного университета телекоммуникаций и информатики (ПГУТИ). Область научных интересов: цифровое телевидение в наземных эфирных и компьютерных сетях передачи данных. E-mail: [vl@karyakin.ru](mailto:vl@karyakin.ru).

ГРНТИ: 49.45.00.

Поступила в редакцию 8 августа 2016 г. Окончательный вариант – 21 февраля 2017 г.

## ASSESSMENT OF DIGITAL TELEVISION SIGNAL PROCESSING FOR CORRECTION OF INTERFERENCE DISTORTIONS IN SINGLE-FREQUENCY DVB NETWORKS

V.L. Karyakin<sup>1</sup>

<sup>1</sup>*Povolzhskiy State University of Telecommunications & Informatics, Samara, Russia*

### Abstract

This research studies in which way the interference that occurs in Single-Frequency Networks for Digital Television broadcasting affects the reception quality in the overlapping service zones of transmitters. The article contains qualitative and quantitative evaluation of the effectiveness of the interference distortion compensation in the receiver's demodulator. The results were obtained using CADs VSS Applied Wave Research and ADS Agilent Technologies and allow us to evaluate a limiting value of the signal-to-echo-signal ratio for a given signal-to-noise ratio that provides the network operability.

The DVB network operability in the presence of transmitter clocking depends on the stability margin, which is defined by the permissible value of a bit error rate (BER) within a threshold. From the obtained results it follows that the interference-impact threshold corresponds to the BER equal to  $2 \times 10^{-4}$ . For below-threshold BER values, the reception becomes almost error-free due to the use of a Reed-Solomon decoder. Codec replacement in the second-generation DVB networks resulted in a significantly decreased BER threshold value to  $10^{-2} - 10^{-3}$ , which allowed the data transfer rate to be increased while keeping the stability margin in terms of the bit error rate.

The developed method for studying the performance of digital broadcasting networks and systems allows causes behind the increase of BER to be identified in practice based on spectra and signal constellations diagrams, also enabling the comparison of various algorithms for the assessment of data channel performance and digital television signal processing in terms of the effective suppression of interference distortions.

**Keywords:** Single frequency network, TV broadcasting, bit error rate, interference, distortions, TV signal processing.

**Citation:** Karyakin VL. Assessment of digital television signal processing for correction of interference distortions in single-frequency DVB networks. *Computer Optics* 2017; 41(2): P. 276-283. DOI: 10.18287/2412-6179-2017-41-2-276-283.

### References

- [1] Karyakin VL. Digital TV: Textbook for High Schools, 2nd ed, revised and enlarged [In Russian]. Moscow: "Solon-Press" Publisher; 2013. ISBN: 5-91359-110-4.
- [2] Karyakin VL, Karyakin DV, Morozova LA. Methods ensure synchronous operation of TV transmitters of DVB-T2 and DVB-T SFN network. *Telecommunications and Radio Engineering* 2016; 4: 46-49.
- [3] Karyakin VL, Karyakin DV, Morozova LA. Evaluation of the quality of a single frequency network for digital broadcasting via echo-chart. *Proceedings SWorld* 2015; 2(39:4): 18-23.
- [4] ETSI TS 101 191 V1.4.1 (2004-06) Technical Specification Digital Video Broadcasting (DVB); DVB mega-frame for Single Frequency Network (SFN) synchronization.
- [5] An enhanced version of CAD ADS from Agilent Technologies in 2014 significantly increased the efficiency and productivity of the design. Source: (<http://www.kipis.ru/news/companies-news/index.php?news=799238>).
- [6] AWR Visual System Simulator – system design of telecommunications equipment at the functional level. Source: (<http://www.eurointech.ru/vss>).
- [7] ETSI TR 101 290 V1.3.1 (2014-07). Digital Video Broadcasting (DVB); Measurement guidelines for DVB systems.

- [8] Digital Transmission: Carrier-to-Noise Ratio, Signal-to-Noise Ratio, and Modulation Error Ratio. Source: | <http://www.broadcom.com/collateral/wp/CMTS-WP101-R.pdf>.

---

*Authors' information*

**Vladimir Leonidovich Karyakin** (Born in 1946) – professor of Radio Communication, Radio Broadcasting and Television department in Povolzhskiy State University of Telecommunications & Informatics, Samara, Russian Federation. Doctor of Technical Sciences. Research interests: digital television of terrestrial and computer data networks.

E-mail: [vl@karyakin.ru](mailto:vl@karyakin.ru) .

---

*Received August 8, 2016 г. The final version – February 21, 2017.*

---