

УДК 621.391.95

**СРАВНИТЕЛЬНАЯ ОЦЕНКА КАЧЕСТВЕННЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ПРИНЯТОГО СИГНАЛА В ЗОНЕ ОБСЛУЖИВАНИЯ ОДНОЧАСТОТНОЙ СЕТИ DVB-T2**

ЯКОБ М.И., ДЕМЧУК Ю.И., АВРАМ И.А.

*Государственное предприятие «Радиокommunikации»  
ул. Друмул Виilor, 28/2, Кишинёв, 2029, Молдова  
mihail.iacob@radiocom.md, iurie.demciuc@radiocom.md, ion.avram@rc.utm.md*

**ПОРІВНЯЛЬНА ОЦІНКА ЯКІСНИХ ПОКАЗНИКІВ ПРИЙНЯТОГО СИГНАЛУ В ЗОНІ ОБСЛУГОВУВАННЯ ОДНОЧАСТОТНОЇ МЕРЕЖІ DVB-T2**

ЯКОБ М.І., ДЕМЧУК Ю.І., АВРАМ І.А.

*Державне підприємство «радіокommунікацій»,  
ул. Друмул Вііlor, 28/2, Кишинів, 2029, Молдова  
mihail.iacob@radiocom.md, iurie.demciuc@radiocom.md, ion.avram@rc.utm.md*

**COMPARATIVE EVALUATION OF RECEIVED SIGNAL PARAMETERS IN SFN DVB-T2 SERVICE AREA**

IACOB M.I., DEMCIUC I.I., AVRAM I.A.

*Stat Enterprise «Radiocomunicatii»,  
Drumul Viilor st., 28/2, Chisinau, 2029, Moldova  
mihail.iacob@radiocom.md, iurie.demciuc@radiocom.md, ion.avram@rc.utm.md*

**Аннотация.** Даны теоретические основы принципа COFDM (Coded Orthogonal Frequency Division Multiplexing). Выполнена сравнительная оценка качественных параметров сигнала DVB-T2 в зоне покрытия синхронной сети. Анализ основан на результатах полевых измерений выполненных в центральной зоне цифрового наземного телевидения Республики Молдова, функционирующей на 31 телевизионном канале.

**Ключевые слова:** цифровое наземное телевидение, DVB-T2, SFN, MFN, COFDM, зона покрытия, зона взаимных интерференций, минимальная медианная напряженность поля, MER, BER, CBER, LBER, C/N, S/N.

**Abstract.** In this article are presented theoretical principles with coding of frequency multiplexing of orthogonal carrier frequencies. Was performed a comparative evaluation of the qualitative parameters of the DVB-T2 signal in the synchronous network service area. The analysis is based on the results of field measurements performed in the central zone of the Republic of Moldova, where digital terrestrial television functioning on 31 television channel

**Key words:** Digital terrestrial television, DVB-T2, SFN, MFN, COFDM, coverage area, mutual interference zone, field strength, minimum median field strength, MER, BER, CBER, LBER, C/N, S/N.

**ВВЕДЕНИЕ**

В апреле 2008 года консорциумом DVB (Digital Video Broadcasting) был опубликован новый стандарт цифрового наземного телевизионного вещания второго поколения DVB-T2 [4]. Данный стандарт позволяет получать более высокую скорость передачи в сравнении со своим предшественником DVB-T и ориентирован в наибольшей мере на использование в одночастотных синхронных сетях SFN (Single Frequency Network) в которых вещание определенной группы передатчиков ведется на одной и той несущей частоте. Одним из важных достоинств синхронных сетей является возможность существенной экономии спектра радиочастот в сравнении с традиционными сетями радиовещания MFN (Mono Frequency Network). Однако требование отсутствия теневых зон в зоне обслуживания приводит к необходимости установки передатчиков с частично перекрывающимися областями охвата, так называемыми зонами взаимных интерференций, в которых имеет место максимальное влияние сигналов передатчиков друг на друга. Неизбежные взаимные влияния сигналов в пределах одного ча-

стотного канала сети должны компенсироваться теми защитными алгоритмами, которые были заложены в техническую спецификацию стандарта DVB-T2.

В данной работе проведена сравнительная оценка качественных параметров принятого сигнала DVB-T2 в синхронной сети. Цель исследования - оценить степень и характер влияния принятых сигналов друг на друга.

Для реализации поставленной задачи были проведены измерения качественных показателей сигнала DVB-T2 в 6 контрольных точках, расположенных в зоне взаимных интерференций 3 передатчиков DVB-T2 обеспечивающих цифровым телевизионным сигналом Стрэшенскую зону обслуживания, смотри рисунок 1. Вышеназванные передатчики расположены вблизи населенных пунктов: г.Стрэшень, г. Хынчешть и с. Иванчя, контрольные точки расположены вдоль трассы Кишинев-Хынчешть, смотри рисунок 2.

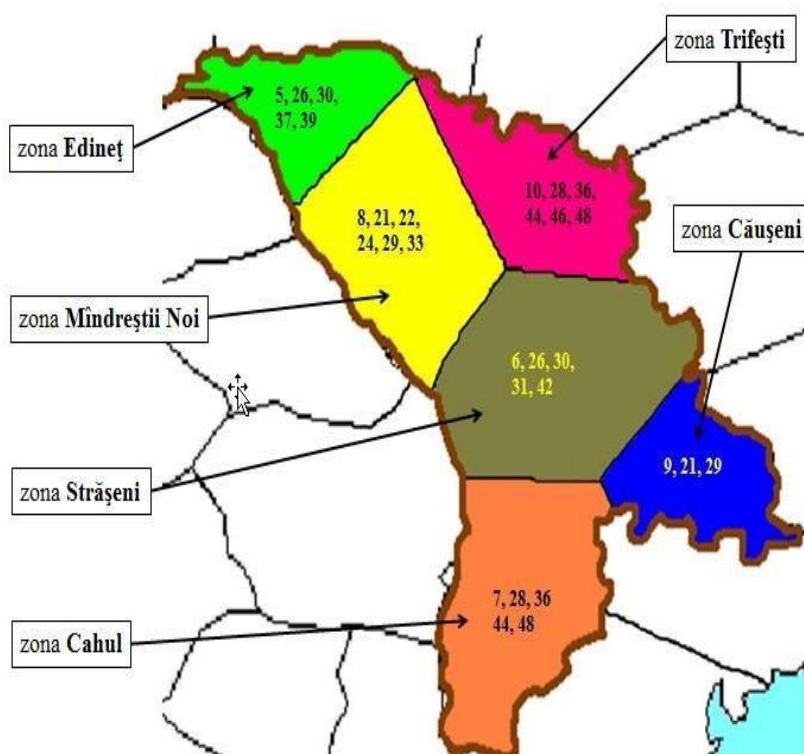


Рисунок 1 – Зоны цифрового вещания в Республике Молдова

## 1 КОНФИГУРАЦИЯ И ПАРАМЕТРЫ ИССЛЕДУЕМОЙ СЕТИ

Стрэшенский кластер SFN работает в режиме SISO (Single Input Single Output), см. рисунок 3.

Защитные соотношения передатчиков DVB-T2 [1] и выбранная конфигурация системы определяют значение минимальной медианной напряжённости поля  $E_{med}$  [2], которая, в свою очередь, формирует внешнюю границу зоны покрытия каждого передатчика сети. Режимы работы передатчиков сети являются следующими: Mode B; Single PLP; канал 31; ширина полосы частот канала 8 МГц; сигнальное созвездие PLP QAM-256; режим несущих частот 32K extended; режим пилот сигналов PP6; скорость защитного кода 2/3. Расчёты выполнены для случая стационарного приёма, при условии подвеса приёмной антенны на высоте 10 м от поверхности земли. Вместе с тем, для расчётов использован радиоканал Riscan (наличие прямых и отражённых сигналов). В ходе выполненных расчётов было получено значение минимальной медианной напряжённости поля в зоне покрытия  $E_{med} = 54$  дБ(мкВ/м).

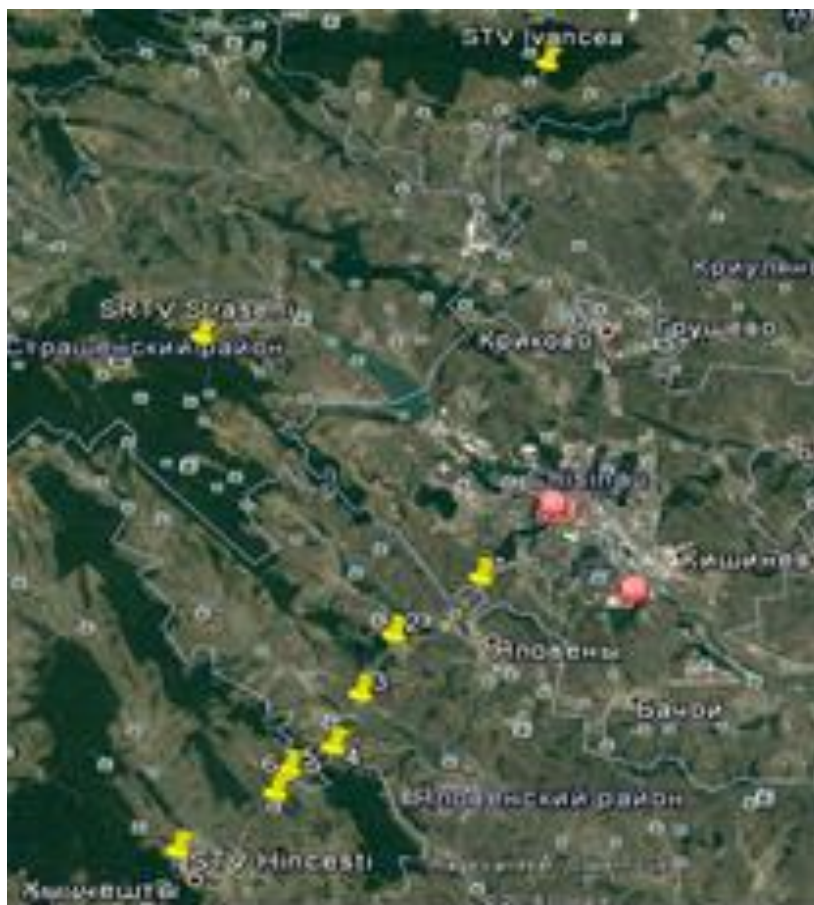


Рисунок 2 – Местоположение передатчиков и точек приёма сигнала на карте местности

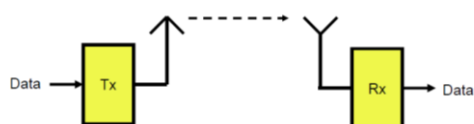


Рисунок 3 Демонстрация принципа SISO - один сигнал на входе приёмника, один на выходе передатчиков

В таблице 1 показаны азимуты из точек приёма  $R_x$  в направлении передающих антенн  $T_x$ , а также расстояния между приёмными и передающими антеннами.

## 2 ОСОБЕННОСТИ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ СЕТИ DVB-T2

Эксплуатация стандарта DVB-T2 предусматривает: реализацию алгоритмов многоступенчатой цифровой обработки телевизионного сигнала направленных на обеспечение заданной скорости передачи и необходимого уровня помехозащищённости сигнала на приёмной стороне, см. рис. 4.

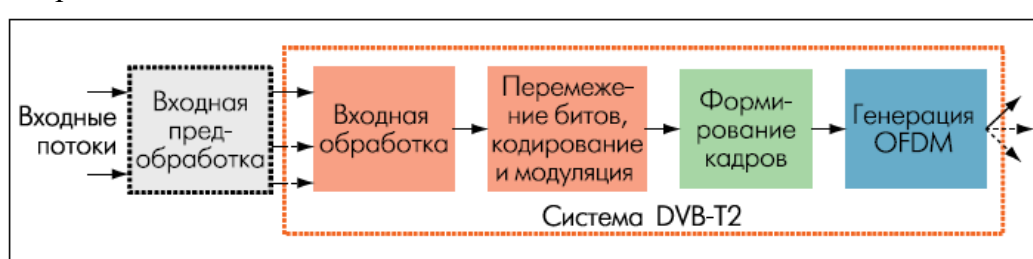


Рисунок 4 – Передача сигналов в DVB-T2

Таблица 1 – Дистанция и азимут между приёмными и передающими антеннами

$R_x - T_x$		Станция Стрэшень	Станция Хынчешть	Станция Иванчя
$R_{x1}$	Расстояние, км	22.3	23.1	35.5
	Азимут, °	315	221	4
$R_{x2}$	Расстояние, км	22.6	17.3	39.8
	Азимут, °	303	218	10
$R_{x3}$	Расстояние, км	25.2	13.4	43.9
	Азимут, °	337	222	11
$R_{x4}$	Расстояние, км	27.9	10.2	47.4
	Азимут, °	342	230	12
$R_{x5}$	Расстояние, км	28.7	7.5	49.3
	Азимут, °	347	227	14
$R_{x6}$	Расстояние, км	30	6.1	50.8
	Азимут, °	349	233	15

Одной из важных технических задач, решаемых в синхронных радиосетях, является обеспечение возможности декодирования сигнала в условиях многолучевого приема. Для этого, в стандарте DVB-T2 используется частотное уплотнение ортогональных несущих частот с кодированием, так называемый принцип COFDM (Coded Orthogonal Frequency Division Multiplexing). Данный принцип подразумевает использование большого числа несущих частот, последовательно расположенных в полосе выделенного канала связи, смотри рисунок III.2. Частотное уплотнение большого количества несущих частот в канале возможно при соблюдении принципа их математической ортогональности, когда влияние спектральных составляющих соседних несущих друг на друга является минимальным, смотри рисунок 5.

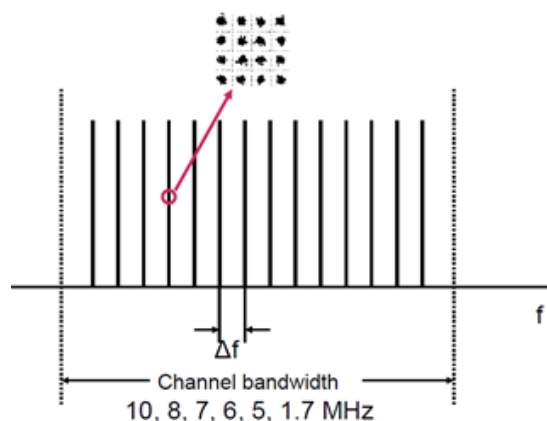


Рисунок 5 – Демультимплексирование исходного высокоскоростного потока на большое количество низкоскоростных потоков в DVB-T2

Несущие частоты модулируются одним из доступных способов цифровой манипуляции, при этом каждому из возможных физических состояний ставится в соответствие свой символ, например, для QAM-256 размерность символа составит 8 бит.

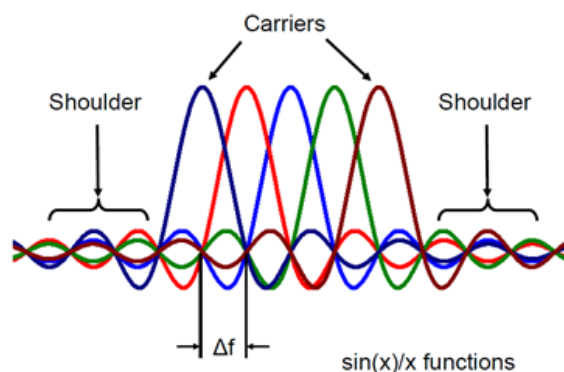


Рисунок 6 – Демонстрация принципа ортогональности несущих частот в DVB-T2

Таким образом, высокоскоростной транспортный поток, который необходимо передать в сторону телезрителя, распараллеливается на тысячи низкоскоростных потоков, которые далее передаются в эфир. В синхронной сети качество приема сильно зависит от длительности передачи символа, поскольку если длительность задержки эхосигналов становится соизмеримой с длительностью половины символа, прием сигналов становится невозможным. Следовательно, перед разработчиками системы стояла задача - увеличить длительность передачи одного символа по отношению к времени задержки эхосигналов. Использование для передачи большого числа несущих частот позволяет решить эту проблему, поскольку, когда для передачи того же объема информации используется только одна несущая частота, время передачи символа должно стать намного короче.

Отрезок времени, в течении которого в канале DVB-T2 одновременно передаются все модулированные ортогональные несущие частоты называется временем передачи символа COFDM. Во время передачи символа COFDM на выходе передатчика DVB-T2 формируется аналоговый радиосигнал, содержащий в своем составе спектральные составляющие одновременно всех модулированных ортогональных несущих частот канала связи, см. рисунок 5. В режиме работы SISO синхронной сети, в результате сложения принятых от нескольких передатчиков сигналов, наблюдаются замирения спектральных составляющих принятого суммарного сигнала, см. рисунок 6.

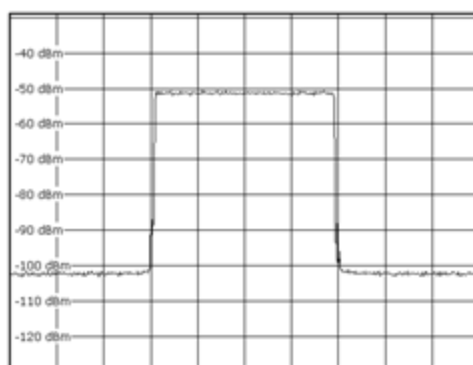


Рисунок 5 – Радиочастотный спектр сигнала DVB-T2

В качестве защиты сигнала от помех, в стандарте DVB-T2 используются различные алгоритмы канального кодирования, как например, скремблирование цифровой последовательности, перемежения символов и другие. Особая роль, при этом, отводится каскадным кодам, позволяющим выявлять и исправлять, до определённой степени, на приёмной стороне возникающие в тракте передачи ошибки.

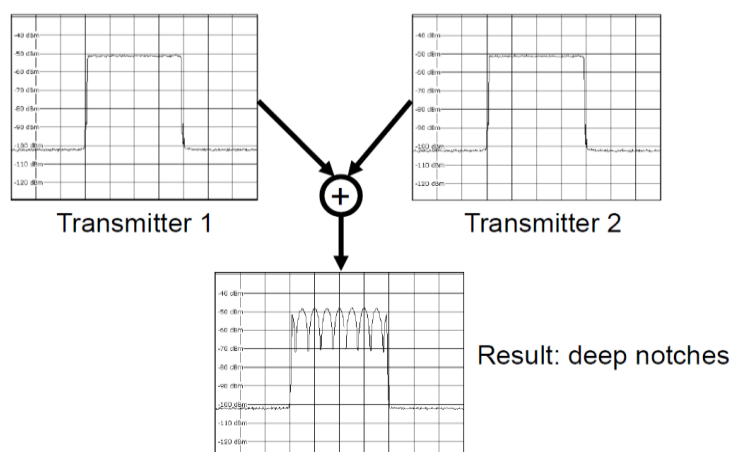


Рисунок 6 – Замирания принятого сигнала DVB-T2 в режиме SISO

При этом в качестве внешнего используется код BCH (Bose-Chaudhuri-Nocquenghem), а в качестве внутреннего используется помехозащитный код с низкой плотностью проверок на чётность LDPC (Low density Parity Check Codes), см. рисунок 7. Для контрольных битов помехозащитных кодов BCH и LDPC вводится опережающая коррекция ошибок, FEC (Forward Error Correction), которая может составлять от 15 до 50 % выходного размера кодового слова.

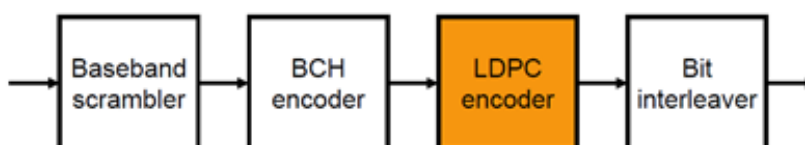


Рисунок 7 – Помехозащитное кодирование в DVB-T2

### 3 ИЗМЕРЯЕМЫЕ ПАРАМЕТРЫ В ИССЛЕДУЕМОМ КЛАСТЕРЕ DVB-T2

Обобщённая функциональная схема передающего и приемного тракта системы DVB-T2 показана на рисунке 8. Для приема сигнала первоначально необходимо выполнить демодуляцию радиосигнала в результате чего получаем исходные спектральные составляющие всех переданных ранее COFDM символов. Естественно, что часть символов в результате воздействия помех в канале связи может быть принята с ошибками.

На этапе декодирования, принятым символам будут поставлены в соответствие соответствующие бинарные последовательности, после чего будут выполнены операции по их цифровой обработке, в том числе частичное исправление ошибок при помощи каскадных кодов BCH и LDPC.

В исследуемых контрольных точках кластера DVB-T2 были измерены следующие технические параметры сигнала: напряжённость электромагнитного поля на входе антенны - E; среднеквадратичный коэффициент ошибок модуляции – MER (Modulation Error Ratio); коэффициент битовых ошибок после демодуляции – CBER (Channel Bit Error Ratio); коэффициент битовых ошибок после внутреннего кодера – LBER ; отношение несущая/шум – C/N.

Среднеквадратичный коэффициент ошибок модуляции MER оценивает положение принятого символа на плоскости сигнального созвездия выбранного способа модуляции несущих COFDM. MER зависит от влияния всех факторов в передающем тракте и является мерой суммарного воздействия помех в системе передачи, смотри рисунок 9. Как и отношение сигнал/шум S/N, величина MER обычно выражается в децибелах. Если учитывается только влияние шума, MER и S/N эквивалентны.

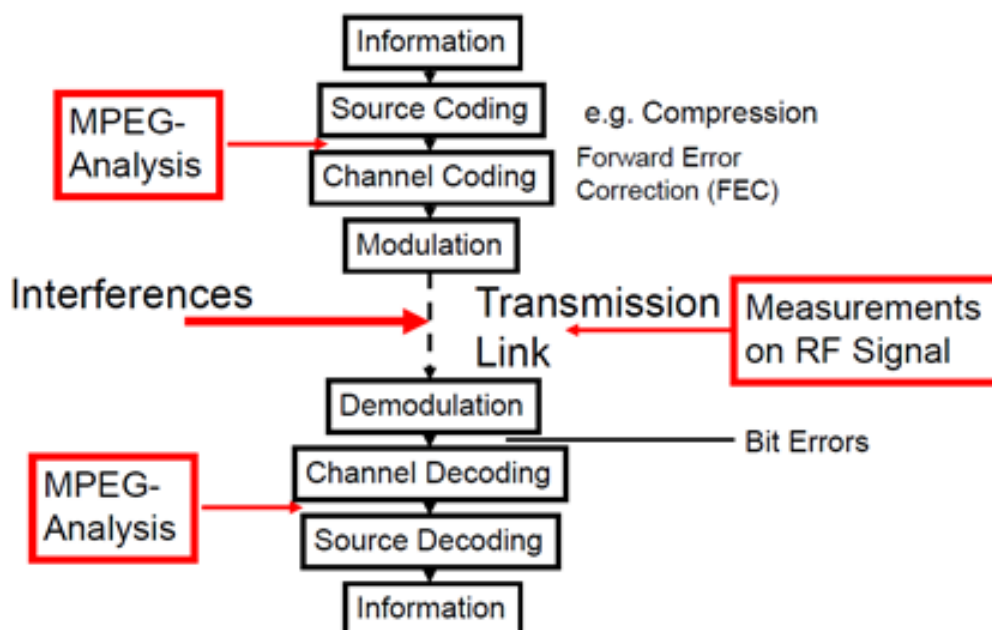


Рисунок 8 – Функциональная схема передающего и приемного тракта DVB-T2

Реально  $MER [дБ] \leq S/N [дБ]$ . В итоге суммарного воздействия всех помех точки созвездия смещаются относительно их номинального положения в центре окна решения, смотри рисунок 9. При больших отклонениях, точка созвездия выходит за границы окна решения и принимается ошибочное решение.

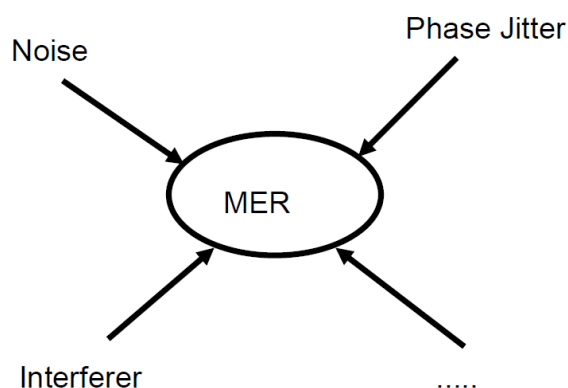


Рисунок 9 – Суммарное воздействие помех в системе передачи

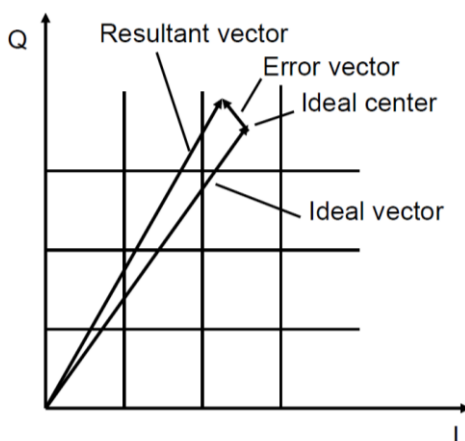


Рисунок 10 – Определение вектора ошибки относительно идеального вектора

Коэффициент битовых ошибок BER определяется как отношение ошибочно принятых бит к общему числу принятых за то же время бит. Этот параметр был измерен в двух точках приемного тракта - после демодулятора, так называемый CBER, и после внутреннего кодера LDPC, так называемый LBER. Декодер BCH корректирует часть ошибок, остаточные ошибки дополнительно корректируются декодером LBER. Последовательность декодирования сигнала в ресивере показана на рисунке 11. Точки приемного тракта в которых были проведены измерения показаны на рисунке 12.

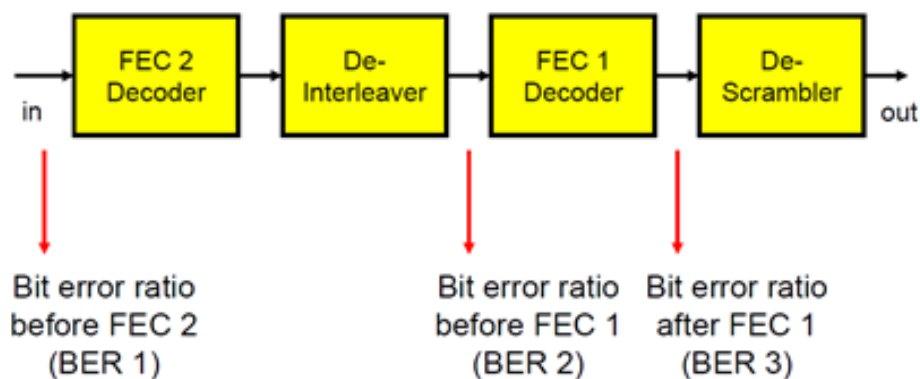


Рисунок 11 – Опережающая коррекция ошибок в ресивере

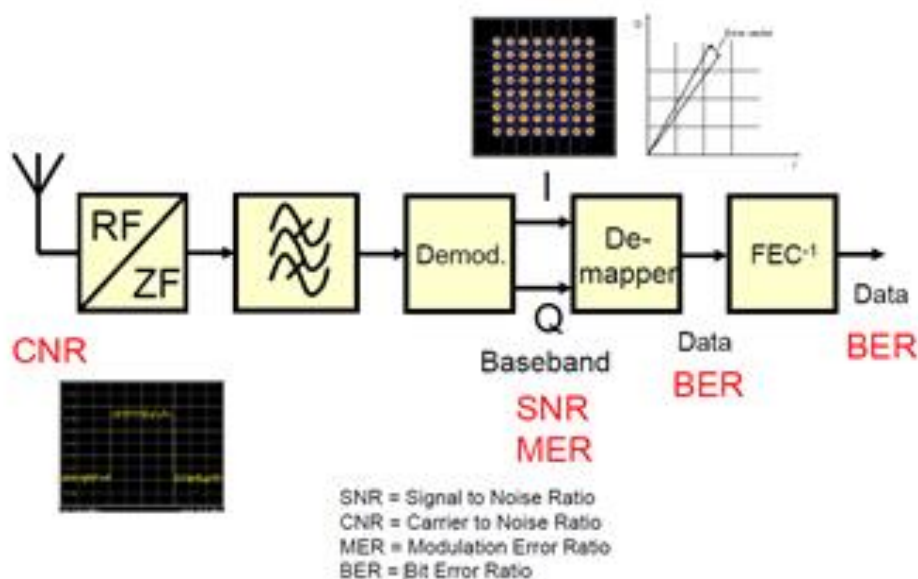


Рисунок 12 – Точки приёмного тракта в которых были измерены показатели C/N, S/N, MER, BER

#### 4 СХЕМА ПРОВЕДЕНИЯ ИЗМЕРЕНИЙ

Измерения напряженности электромагнитного поля и одновременно других технических параметров сигнала проводились прибором ETL в соответствии с схемой представленной на рисунке 13. Измерительные приборы являются профессиональными и прошли метрологическую поверку.



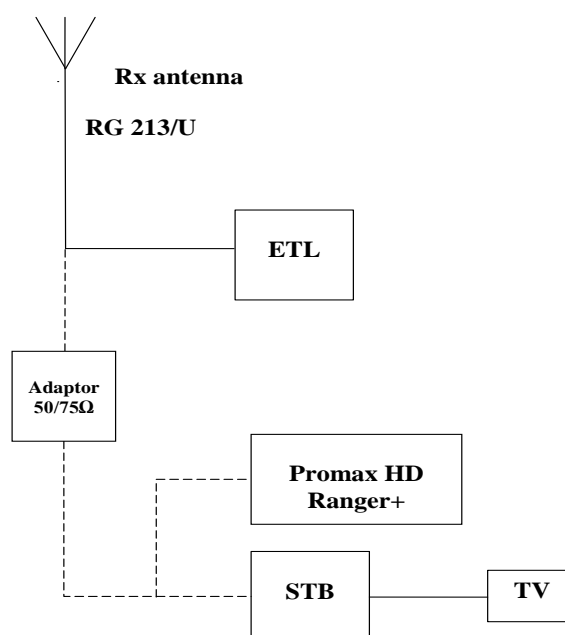
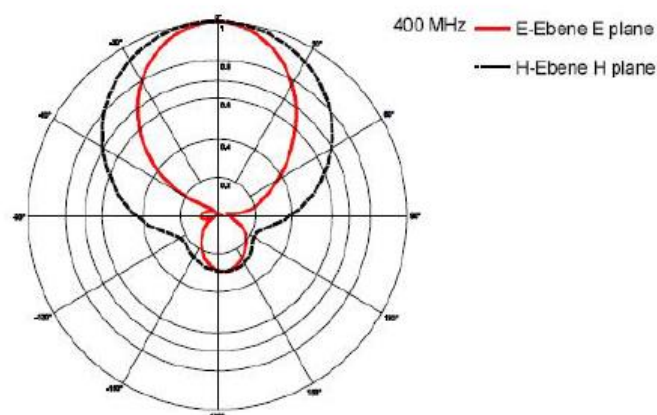


Рисунок 13 – Схема измерений параметров сигнала DVB-T2

При проведении измерений использовалась направленная антенна R&S HL 040. Диаграмма направленности приемной антенны представлена на рисунке 14. Во время измерений приемная антенна поднималась на высоту 10 метров от поверхности земли.



Рисунке 14 – Диаграмма направленности приёмной антенны R&S HL 040

## 5 РЕЗУЛЬТАТЫ ИЗМЕРЕНИЙ КАЧЕСТВЕННЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ СИГНАЛА DVB-T2

Измерения качественных показателей сигнала были проведены в двух режимах: 1. MNF - включен в работу только один из передатчиков сети, приемная антенна ориентирована на данный передатчик; 2. SFN - все три передатчика включены, приемная антенна поочередно ориентирована на каждый из передатчиков сети. Результаты измерений представлены в Таблицах 2, 3 и 4. В приёмной точке № 1 измерения сигнала в режиме Tx удалось выполнить только в направлении передающей Станции Хынчешть.

Таблица 2 – Результаты измерений качественных показателей сигнала в случае ориентирования приёмной антенны на передающую станцию Стрэшень

№ точки приема	Измеряемые параметры	Режим работы передатчиков	
		<i>Tx – Strășeni</i>	<i>SFN</i>
1	Е, дБ(мкВ/м)		78,1
	MER, дБ		30
	C/N, дБ		36,8
	СBER		9,20E-04
	LBER		1,00E-09
2	Е, дБ(мкВ/м)	60,3	60,7
	MER, дБ	27,3	25
	C/N, дБ	19,3	20,3
	СBER	3,10E-03	5,00E-03
	LBER	1,00E-08	1,00E-08
3	Е, дБ(мкВ/м)	52	52,3
	MER, дБ	20,9	20,7
	C/N, дБ	11,1	11,9
	СBER	5,80E-02	5,80E-02
	LBER	1,00E-07	1,00E-07
4	Е, дБ(мкВ/м)	48,1	53,6
	MER, дБ		17,6
	C/N, дБ	6,4	12,5
	СBER		6,80E-02
	LBER		1,00E-08
5	Е, дБ(мкВ/м)	51,9	52,4
	MER, дБ	21,8	20,6
	C/N, дБ	11	11,4
	СBER	4,70E-02	4,80E-02
	LBER	1,00E-08	1,00E-08
6	Е, дБ(мкВ/м)	63,8	66
	MER, дБ	28,4	17,6
	C/N, дБ	22,7	25
	СBER	1,80E-03	1,60E-02
	LBER	1,00E-08	1,00E-09

Таблица 3 – Результаты измерений качественных показателей сигнала в случае ориентирования приёмной антенны на передающую Станцию Хынчешть

№ точки приёма	Измеряемые параметры	Режим работы передатчиков	
		<i>Tx – Хынчешть</i>	<i>SFN</i>
1	Е, дБ(мкВ/м)	70,7	72,1
	MER, дБ	33,1	30,9
	C/N, дБ	29,6	30,7
	СBER	1,10E-04	3,0E-04
	LBER	1,00E-07	1,00E-08
2	Е, дБ(мкВ/м)	63,4	63,4
	MER, дБ	30,1	29,4
	C/N, дБ	22,2	22,3
	СBER	8,9E-04	8,6E-04
	LBER	1,00E-09	1,00E-08
3	Е, дБ(мкВ/м)	48,8	49,2
	MER, дБ		
	C/N, дБ	7,8	8,2
	СBER		
	LBER		
4	Е, дБ(мкВ/м)	71,4	71,4
	MER, дБ	34,9	34,6
	C/N, дБ	30,3	30,3
	СBER	6,50E-05	4,30E-05
	LBER	1,00E-08	1,00E-09
5	Е, дБ(мкВ/м)	56,1	56,0
	MER, дБ	26,4	25,5
	C/N, дБ	15,3	15,1
	СBER	1,20E-02	1,4E-02
	LBER	1,00E-09	1,00E-08
6	Е, дБ(мкВ/м)	88,7	88,3
	MER, дБ	34,9	33,3
	C/N, дБ	47,2	46,7
	СBER	5,70E-05	1,80E-04
	LBER	1,00E-08	1,00E-09

Таблица V.3 Результаты измерений качественных показателей сигнала в случае ориентирования приёмной антенны на передающую Станцию Иванча

№ точки приёма	Измеряемые параметры	Режим работы передатчиков	
		<i>Tx – Иванча</i>	<i>SFN</i>
1	Е, дБ(мкВ/м)		51,2
	MER, дБ		16,8
	C/N, дБ		10,6
	СBER		8,6E-02
	LBER		1,0E-07
2	Е, дБ(мкВ/м)	49,0	51,8
	MER, дБ	18,9	13,3
	C/N, дБ	7,9	10,9
	СBER	8,8E-02	9,6E-02
	LBER	1,00E-07	5,9E-07
3	Е, дБ(мкВ/м)	41,1	48,9
	MER, дБ		
	C/N, дБ	0,3	7,9
	СBER		
	LBER		
4	Е, дБ(мкВ/м)	43,7	52,7
	MER, дБ		16,5
	C/N, дБ	2,6	11,8
	СBER		7,5E-02
	LBER		1,0E-07
5	Е, дБ(мкВ/м)	41,0	46,9
	MER, дБ		
	C/N, дБ	0,2	6,0
	СBER		
	LBER		
6	Е, дБ(мкВ/м)	51,1	68,2
	MER, дБ	21,2	25
	C/N, дБ	10,1	27,2
	СBER	5,9E-02	1,4E-02
	LBER	1,00E-08	1,00E-07

## 6 ВЫВОДЫ

В результате анализа данных, полученных в ходе проведённых измерений, моно прийти к следующим выводам:

1. В режиме Tx (включен в работу только один из передатчиков сети) было зафиксировано 5 случаев, когда из-за низкого уровня входного сигнала его декодирование оказалось невозможным. В режиме SFN (все три передатчика включены, приёмная антенна ориентирована строго на один из передатчиков), количество таких случаев сократилось до 3. При этом во всех 6 контрольных точках приём сигнала оказался возможным как минимум от одной из передающих станций, что демонстрирует высокую эффективность использования режима работы SFN в целях устранения теневых участков в зоне обслуживания;

2. Измеренная напряженность поля в некоторых случаях оказалась ниже минимальной медианной напряженности электромагнитного поля, расчетное значение которой для исследуемой зоны равно  $E_{med} = 54$  дБ(мкВ/м). Декодирование сигнала DVB-T2 оказалось невозможным при значении напряжённости поля ниже 49 дБ(мкВ/м), из чего можно сделать вывод о том, что значение  $E_{med}$  в зоне покрытия имеет эксплуатационный запас приблизительно в 5 дБ;

3. При одновременном включении всех трех передатчиков сети DVB-T2 суммарная напряженность поля в точке приема увеличивается, но из-за направленных свойств приемной антенны последовательно ориентированной при измерениях строго на одну из передающих станций, реальный уровень принятого сигнала на входе приемника увеличивался незначительно. Измеренные значения напряженности поля  $E$  демонстрируют приблизительно сравнимые результаты для режимов Tx и SFN. При этом отмечается незначительное увеличение суммарных значений  $E$  (а также  $C/N$ ) в режиме SFN.

4. В режиме SISO, из-за взаимных интерференций радиосигналов, ухудшается качественный показатель декодированного сигнала MER, что должно компенсироваться повышением отношения несущая/шум ( $C/N$ ) а также защитными алгоритмами внутреннего и внешнего кодирования;

4. Для стационарного приема наземного цифрового телевизионного сигнала в зоне обслуживания синхронной сети, целесообразно использовать многоэлементную направленную антенну, строго ориентированную на самый мощный радиосигнал сети;

5. Целесообразно провести анализ качественных показателей в зоне интерференций DVB-T2 SFN сети для случая приема сигнала на антенну с круговой диаграммой направленности.

## ЛИТЕРАТУРА

[1] ETSI TS 102 831. Technical Specification Digital Video Broadcasting; Implementation guidelines for a second generation digital terrestrial television broadcasting system (DVB-T2).

[2] Final acts of the regional radiocommunication conference for planning of the digital terrestrial broadcasting service in parts of regions 1 and 3, in the frequency bands 174-230 and 470-862 MHz (RRC-06).

[3] ETSI TR 101 290. Digital Video Broadcasting; Measurement guidelines for DVB systems.

[4] ETSI EN 302 755. Digital Video Broadcasting; Frame structure channel coding and modulation for a second generation digital terrestrial television broadcasting system (DVB-T2).