

Сравнительная оценка качественных показателей принятого DVB-T2 сигнала в SFN сети

Михаил ЯКОБ¹, Юрий ДЕМЧУК¹, Ион АВРАМ²

¹Г.П. "Радиокоммуникаций".

²Технический Университет Молдовы,

mihail.iacob@radiocom.md

iurie.demciuc@radiocom.md

ion.avram@rc.utm.md

Abstract— Completed a comparative assessment of the qualitative parameters of DVB-T2 signal in the coverage area of a synchronous network. The analysis is based on the results of field measurements executed in Central zone of digital terrestrial television network in the Republic of Moldova, operating in 31 television channel.

Key words — 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.

I. 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 частотного 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, см. рис. I.1. Вышеназванные передатчики расположены вблизи населенных пунктов: г. Стрэшень, г. Хынчешть и с. Иванчя, контрольные точки расположены вдоль трассы Кишинев-Хынчешть, см. рис. I.2.

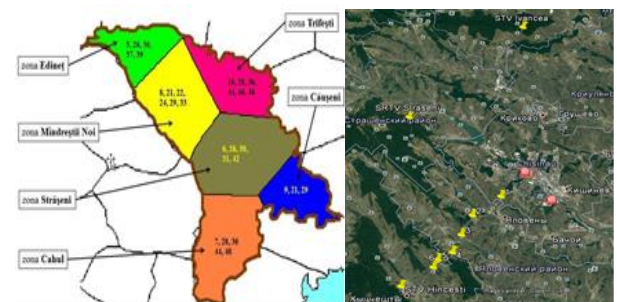


Рис. I.1 Зоны DVB-T2 вещания в РМ Рис. I.2 Место передатчиков

II. КОНФИГУРАЦИЯ И ПАРАМЕТРЫ ИССЛЕДУЕМОЙ СЕТИ

Стрэшенский кластер SFN работает в режиме SISO (Single Input Single Output), см. рис. II.1.

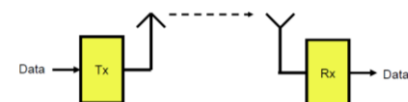


Рис. II.1 Демонстрация принципа SISO - один сигнал на входе приемника, один на выходе передатчиков

Защитные соотношения передатчиков DVB-T2 [1] и выбранная конфигурация системы определяют значение минимальной медианной напряженности 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. Расчеты выполнены для случая стационарного приема, при условии подвеса приемной антенны на высоте 10 м от поверхности земли. Вместе с

тем, для расчетов использован радиоканал Rician (наличие прямых и отраженных сигналов). В ходе выполненных расчетов было получено значение минимальной медианной напряженности поля в зоне покрытия $E_{med} = 54$ dB(μ V/m).

В Таблице II.1 показаны азимуты из точек приема R_x в направлении передающих антенн T_x , а также расстояния между приемными и передающими антеннами.

ТАБЛИЦА II.1 ДИСТАНЦИЯ И АЗИМУТ МЕЖДУ ПРИЕМНЫМИ И ПЕРЕДАЮЩИМИ АНТЕННАМИ

Rx - Tx		Стрэшень	Хынчешть	Иванья
Rx-1	Расстояние, km	22.3	23.1	35.5
	Азимут, grad	315	221	4
Rx-2	Расстояние, km	22.6	17.3	39.8
	Азимут, grad	330	218	10
Rx-3	Расстояние, km	25.2	13.4	43.9
	Азимут, grad	337	222	11
Rx-4	Расстояние, km	27.9	10.2	47.4
	Азимут, grad	342	230	12
Rx-5	Расстояние, km	28.7	7.5	49.3
	Азимут, grad	347	227	14
Rx-6	Расстояние, km	30	6.1	50.8
	Азимут, grad	349	233	15

III. 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 помехозащищенности сигнала на приемной стороне, см. рис. III.1.

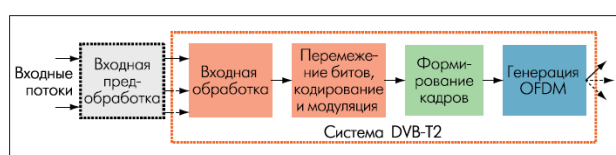


Рис. III.1 Передача сигналов в DVB-T2

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, см. рис. 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, см. рис. III.3

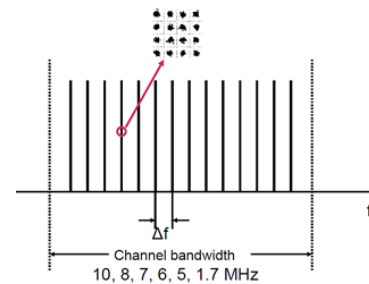


Рис. III.2 Демультимплексирование исходного высокоскоростного потока на большое количество низкоскоростных потоков в DVB-T2

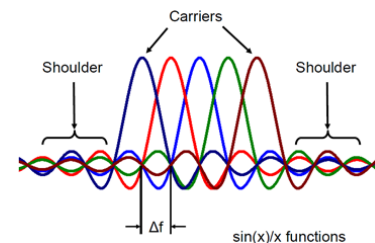


Рис. III.3 Демонстрация принципа ортогональности несущих частот в DVB-T2

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. 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. рис. III.4. В режиме работы SISO синхронной сети, в результате сложения принятых от нескольких передатчиков сигналов, наблюдаются замирания спектральных составляющих принятого суммарного сигнала, см. рис. III.5.

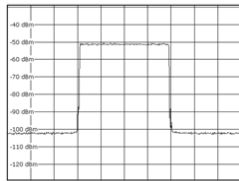


Рис. III.4 Радиоспектр сигнала DVB-T2

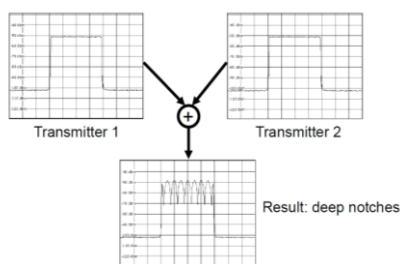


Рис. III.5 Замирания принятого сигнала DVB-T2 в режиме SISO

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 определенной степени, на приемной стороне возникающие в тракте передачи ошибки. При этом в качестве внешнего используется код BCH (Bose – Chaudhuri - Hocquenghem), а в качестве внутреннего используется помехозащитный код с низкой плотностью проверок на четность LDPC (Low density Parity Check Codes), см. рис. III. 6. 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.

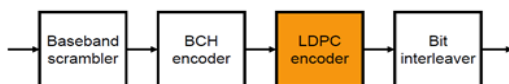


Рис. III.6 Помехозащитное кодирование в DVB-T2

IV. ИЗМЕРЯЕМЫЕ ПАРАМЕТРЫ В ИССЛЕДУЕМОМ КЛАСТЕРЕ DVB-T2

Обобщенная функциональная схема передающего и приемного трактов системы DVB-T2 показана на рисунке IV.1. 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

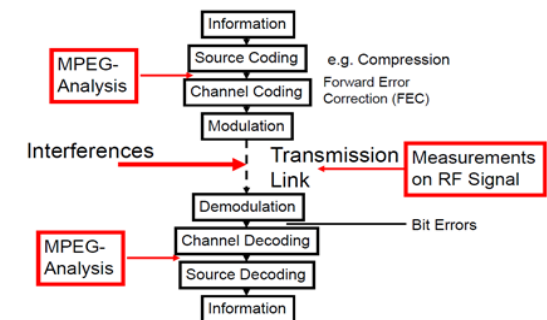


Рис. IV.1 Функциональная схема передающего и приемного трактов DVB-T2

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: напряженность 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 уровней 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, см. рис. IV.2. Как и отношение сигнал/шум S/N, величина MER обычно выражается в децибелах. Если учитывается только влияние шума, MER и S/N эквивалентны. Реально $MER [дБ] \leq S/N [дБ]$. В итоге суммарного воздействия всех помех точки созвездия смещаются относительно их номинального положения в центре окна решения, см. рис. IV.3. При больших отклонениях, точка созвездия выходит за границы окна решения и принимается ошибочное решение.

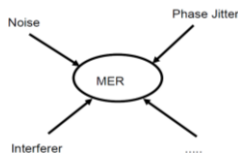


Рис. IV.2 Суммарное воздействие помех в системе передачи

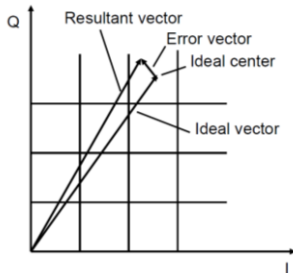


Рис. IV.3 Определение вектора ошибки относительно идеального вектора

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 рис. IV.4. Точки приемного тракта в которых были проведены измерения показаны на рис. IV.5.

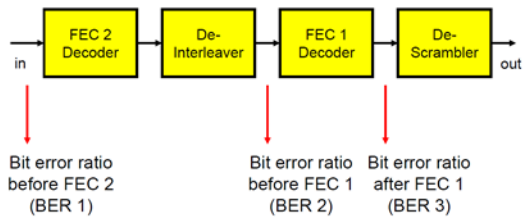


Рис. IV.4 Опережающая коррекция ошибок в ресивере

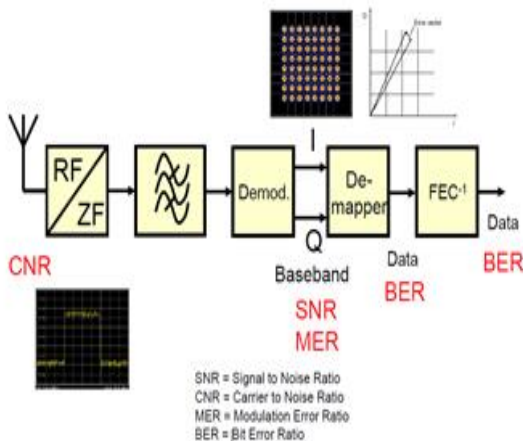


Рис. IV.5 Точки приемного тракта в которых были измерены показатели C/N, S/N, MER, BER

V. СХЕМА ПРОВЕДЕНИЯ ИЗМЕРЕНИЙ

Измерения напряженности электромагнитного поля и одновременно других технических параметров сигнала проводились прибором ETL в соответствии с схемой представленной на рис. V.1. Измерительные приборы являются профессиональными и прошли метрологическую поверку.

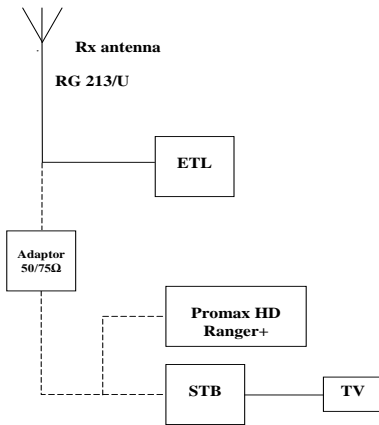


Рис. V.1 Схема измерений параметров сигнала DVB-T2

При проведении измерений использовалась направленная антенна R&S HL 040. Диаграмма направленности приемной антенны представлена на рис. V.2.

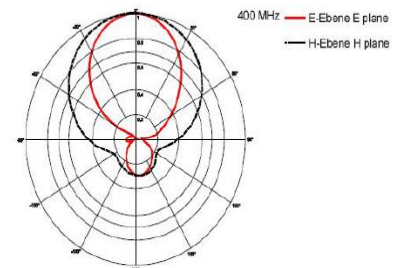


Рис. V.2 Диаграмма направленности приемной антенны R&S HL 040

Во время измерений приемная антенна поднималась на высоту 10 метров от поверхности земли.

VI. РЕЗУЛЬТАТЫ ИЗМЕРЕНИЙ КАЧЕСТВЕННЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ СИГНАЛА DVB-T2

Измерения качественных показателей сигнала были проведены в двух режимах: 1. T_x - 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 VI.1, VI.2 и VI.3. В приемной точке №1 измерения сигнала в режиме T_x удалось выполнить только в направлении передающей Станции Хынчешть.

ТАБЛИЦА VI.1 РЕЗУЛЬТАТЫ ИЗМЕРЕНИЙ КАЧЕСТВЕННЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ СИГНАЛА В СЛУЧАЕ ОРИЕНТИРОВАНИЯ ПРИЕМНОЙ АНТЕННЫ НА ПЕРЕДАЮЩУЮ СТАНЦИЮ СТРАШЕНЬ

№ точки приема	Измеряемые параметры	Режим работы передатчиков	
		<i>Tx – Strășeni</i>	<i>SFN</i>
1	E, dB(μ V/m)		78.1
	MER, dB		30
	C/N, dB		36.8
	CBER		9.20E-04
	LBER		1.00E-09
2	E, dB(μ V/m)	60.3	60.7
	MER, dB	27.3	25
	C/N, dB	19.3	20.3
	CBER	3.10E-03	5.00E-03
	LBER	1.00E-08	1.00E-08
3	E, dB(μ V/m)	52	52.3
	MER, dB	20.9	20.7
	C/N, dB	11.1	11.9
	CBER	5.80E-02	5.80E-02
	LBER	1.00E-07	1.00E-07
4	E, dB(μ V/m)	48.1	53.6
	MER, dB		17.6
	C/N, dB	6.4	12.5
	CBER		6.80E-02
	LBER		1.00E-08
5	E, dB(μ V/m)	51.9	52.4
	MER, dB	21.8	20.6
	C/N, dB	11	11.4
	CBER	4.70E-02	4.80E-02
	LBER	1.00E-08	1.00E-08
6	E, dB(μ V/m)	63.8	66
	MER, dB	28.4	17.6
	C/N, dB	22.7	25
	CBER	1.80E-03	1.60E-02
	LBER	1.00E-08	1.00E-09

ТАБЛИЦА VI.2 РЕЗУЛЬТАТЫ ИЗМЕРЕНИЙ КАЧЕСТВЕННЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ СИГНАЛА В СЛУЧАЕ ОРИЕНТИРОВАНИЯ ПРИЕМНОЙ АНТЕННЫ НА ПЕРЕДАЮЩУЮ СТАНЦИЮ ХЫНЧЕШТЬ

№ точки приема	Измеряемые параметры	Режим работы передатчиков	
		<i>Tx – Хынчешть</i>	<i>SFN</i>
1	E, dB(μ V/m)	70.7	72.1
	MER, dB	33.1	30.9
	C/N, dB	29.6	30.7
	CBER	1.10E-04	3.00E-04
	LBER	1.00E-07	1.00E-08
2	E, dB(μ V/m)	63.4	63.4
	MER, dB	30.1	29.4
	C/N, dB	22.2	22.3
	CBER	8.90E-04	8.60E-04
	LBER	1.00E-09	1.00E-08
3	E, dB(μ V/m)	48.8	49.2
	MER, dB		
	C/N, dB	7.8	8.2
	CBER		
	LBER		
4	E, dB(μ V/m)	71.4	71.4
	MER, dB	34.9	34.6
	C/N, dB	30.3	30.3
	CBER	6.50E-05	4.30E-05
	LBER	1.00E-08	1.00E-09
5	E, dB(μ V/m)	56.1	56
	MER, dB	26.4	25.5
	C/N, dB	15.3	15.1
	CBER	1.20E-02	1.40E-02
	LBER	1.00E-09	1.00E-08
6	E, dB(μ V/m)	88.7	88.3
	MER, dB	34.9	33.3
	C/N, dB	47.2	46.7
	CBER	5.70E-05	1.80E-04
	LBER	1.00E-08	1.00E-09

ТАБЛИЦА VI.3 РЕЗУЛЬТАТЫ ИЗМЕРЕНИЙ КАЧЕСТВЕННЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ СИГНАЛА В СЛУЧАЕ ОРИЕНТИРОВАНИЯ ПРИЕМНОЙ АНТЕННЫ НА ПЕРЕДАЮЩУЮ СТАНЦИЮ ИВАНЧЯ

№ точки приема	Измеряемые параметры	Режим работы передатчиков	
		T_x – Иванчя	SFN
1	E, dB(μ V/m)		51.2
	MER, dB		16.8
	C/N, dB		10.6
	СВЕР		8.60E-02
	LBER		1.00E-07
2	E, dB(μ V/m)	49	51.8
	MER, dB	18.9	13.3
	C/N, dB	7.9	10.9
	СВЕР	8.80E-02	9.60E-02
	LBER	1.00E-07	5.90E-07
3	E, dB(μ V/m)	41.1	48.9
	MER, dB		
	C/N, dB	0.3	7.9
	СВЕР		
	LBER		
4	E, dB(μ V/m)	43.7	52.7
	MER, dB		16.5
	C/N, dB	2.6	11.8
	СВЕР		7.50E-02
	LBER		1.00E-07
5	E, dB(μ V/m)	41	46.9
	MER, dB		
	C/N, dB	0.2	6
	СВЕР		
	LBER		
6	E, dB(μ V/m)	51.1	68.2
	MER, dB	21.2	25
	C/N, dB	10.1	27.2
	СВЕР	5.90E-02	1.40E-02
	LBER	1.00E-08	1.00E-07

VII. ВЫВОДЫ

В результате анализа данных, полученных в ходе проведенных измерений, можно сделать следующие выводы:

1. В режиме T_x (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, приемная антенна ориентирована строго на один из передатчиков), количество таких случаев сократилось до 3. При этом во всех 6 контрольных точках прием 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 $E_{med} = 54$ dB(μ V/m). Декодирование сигнала DVB-T2 оказалось невозможным при значении напряженности поля ниже 49 dB(μ V/m) из чего можно сделать вывод о том, что значение E_{med} в зоне покрытия имеет эксплуатационный запас приблизительно в 5 dB;

3. При одновременном включении всех трех передатчиков сети DVB-T2 суммарная напряженность поля в точке приема увеличивается, но из-за направленных свойств приемной антенны (смотри рисунок V.2) 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 T_x 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;

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

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

БИБЛИОГРАФИЯ

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