



Опыт внедрения системы ЦРВ стандарта DRM в России

Научно-исследовательская лаборатория транзисторных передатчиков МТ УСИ
(НИИ-6)
Варламов О.В.
Декабрь 2008

Результаты исследований 2001 - 2002 годов

ITU-R "R BS.1514" (April 2001):

Рекомендованы к применению две системы:

- DRM в диапазонах НЧ, СЧ и ВЧ;
- iBiquity в диапазоне СЧ.

DRM рекомендован для всех диапазонов, в которых осуществляется радиовещание с амплитудной модуляцией.

В результате выполнения НИР "Радикал -МТУСИ" и ОКР "Инфразвук -МТУСИ":

- исследованы структура и основные характеристики радиовещательного сигнала стандарта DRM в режиме передачи цифровой программы;
- проведена теоретическая и экспериментальная оценка влияния на спектр сигнала DRM нелинейности характеристик передающего устройства;
- разработаны предварительные требования к параметрам передатчиков различных типов при проведении их модернизации или разработки для использования в режиме цифрового радиовещания стандарта DRM;
- рассмотрены возможности модернизации существующих мощных радиопередатчиков для использования в режиме цифрового радиовещания стандарта DRM.

Кроме этого:

Измерительный стенд для экспериментального исследования влияния характеристик передающего устройства на параметр сигнала DRM



Прототип генератора измерительного сигнала TSG -DRM-01 для передатчиков ЦРВ стандарта DRM диапазонов НЧ, СЧ и ВЧ:

- позволяет осуществлять настройку мощных радиопередатчиков при их производстве (модернизации) для работы в режиме ЦРВ с использованием стандартного отечественного измерительного оборудования;
- обеспечивает использование испытательных сигналов с различной шириной полосы используемых частот и различными режимами помехоустойчивости, предусмотренными стандартом DRM;
- диапазоны рабочих частот – НЧ, СЧ и ВЧ;
- предусмотрена возможность использования широко распространенной промежуточной частоты возбуждителей 128 кГц;
- малые габариты и простота эксплуатации.

Испытания прототипа генератора измерительного сигнала ГИС -DRM-01 и настройка передатчика «Молния» в режим ЦРВ

10.09.2002

Радиоцентр
«Купавна»

Новиков Г.В.
(ОАО «НТЦ-РС»),

Варламов О.В.
(МТУСИ),

Громорушкин
В.Н. (МТУСИ)

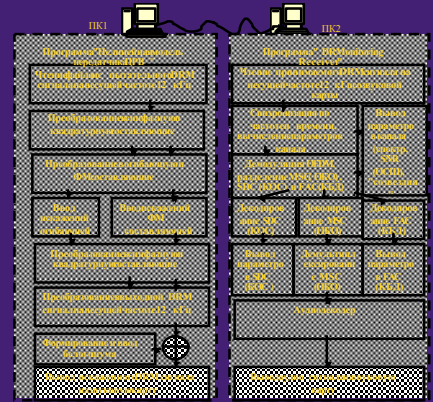


Опыт внедрения системы ЦРВ стандарта DRM в России

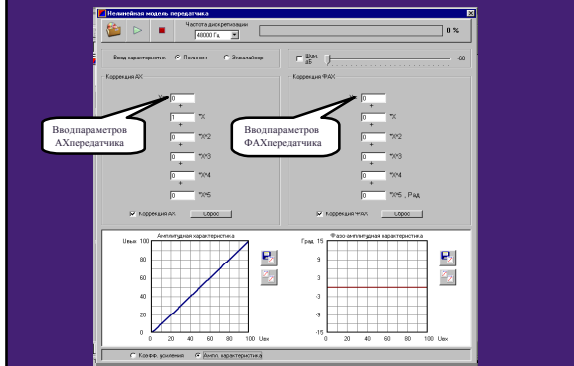
Результаты 1 - 3 этапов
НИР «Поле-РВ-МТУСИ»
2003 год

Научно-исследовательская лаборатория транзисторных передатчиков МТ УСИ
(НИИ-6)
Варламов О.В.
Декабрь 2008

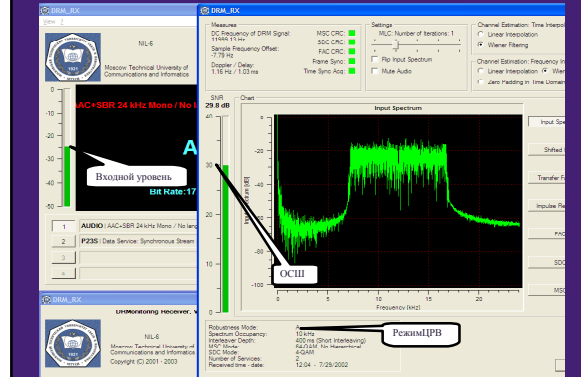
Структурная
схема
измерительной
установки для
анализа
влияния
передающего
устройства на
величину
ОСШ в
выходном
сигнале ЦРВ



Интерфейс программы "Нелинейная модель передатчика ЦРВ".



Интерфейс программы "DRMonitoring Receiver".

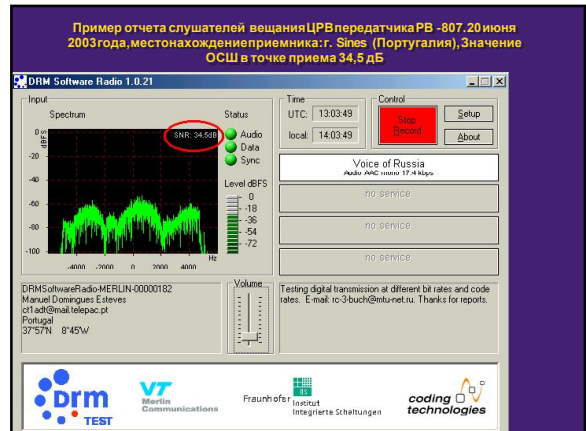


В результате выполнения 1 - 2 этапов НИР «Поле-РВ-МТУСИ»:

- определены допустимые отклонения АХ и ФАХ передатчика от идеальных, при которых спектр выходного сигнала ЦРВ удовлетворяет требованиям на допустимые внеполосные излучения;
- создана измерительная установка, позволяющая определить влияние характеристик передатчика на отношение сигнал - шум в выходном сигнале ЦРВ;
- получено экспериментальное подтверждение проведенных расчетов.
- Полученные результаты позволили в мае-июне 2003 г. с высокой эффективностью настроить передатчик РВ-807 (Талдом) в режим ЦРВ



Использование ГИС DRM и
анализатора спектра
СК4-56 для проверки
линейности передатчика
РВ-807 (Талдом)



Результаты перевода передатчика РВ-807 в режим ЦРВ :

Проведенные в МТУСИ расчеты и измерения на передатчике РВ-807 показали возможность ограничения амплитуды выходного сигнала ЦРВ до 18%... 20% от раскрыва амплитудной характеристики передатчика. В результате этого:

- средняя выходная мощность передатчика увеличена практически в 2 раза - до величины не менее 40 кВт.
- КПД анодной цепи выходного каскада увеличен в 1,5 раза - до 33%.
- При этом обеспечиваются высокие качественные характеристики сигнала ЦРВ (ОСШ на выходе передатчика составляет 36 дБ, требования маск и МСЭ выполняются).

Наблюдавшиеся сбои в работе возбудителя показали необходимость непрерывного контроля не только декодированного выходного звукового сигнала, но и значения ОСШ на выходе передатчика. Для этого может быть использован разработанный в инициативном порядке в НИЛ-6 МТУСИ контрольно-измерительный приемник стандарта DRM.

3 этап. Разработка программы и методики экспериментального исследования реального передающего устройства, модернизируемого для работы в режиме ЦРВ.

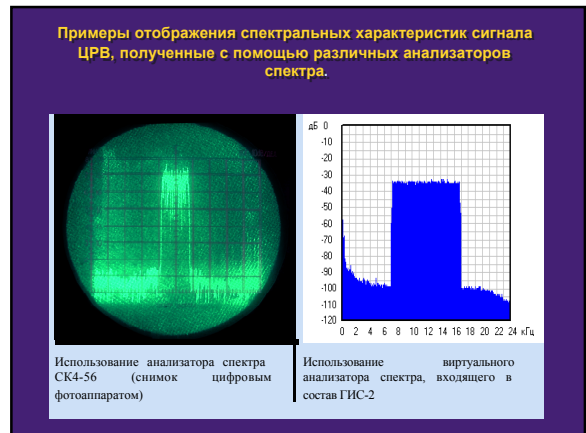
Разработка критериев качества передающего устройства, работающего в режиме ЦРВ:

- Требования на спектральные характеристики выходного сигнала (по маске ITU-R SM.328-10 "Spectra and bandwidth of emissions";
- Требования на отношение сигнал-шум в выходном сигнале передатчика (33...36 дБ);
- Требования на энергетическую эффективность (промышленный КПД не менее 18% - 22%).

3 этап. Разработка программы и методики экспериментального исследования реального передающего устройства, модернизируемого для работы в режиме ЦРВ.

Измерительное оборудование для контроля параметров передатчиков ЦРВ:

- оборудование для контроля спектральных характеристик выходного сигнала (СК4-56, ГИС-2 МТУСИ);
- оборудование для контроля отношения сигнал-шум в выходном сигнале передатчика (возбудитель стандарта DRM- фирмы Thales или ГИС-2 МТУСИ; любой контрольно-измерительный приемник стандарта DRM, в том числе "КИП-DRM" МТУСИ);
- Измерительное оборудование для определения энергетической эффективности передатчика (измеритель RMS, входящий в состав ГИС-2 МТУСИ).



3 этап. Разработка программы и методики экспериментального исследования реального передающего устройства, модернизируемого для работы в режиме ЦРВ.

Порядок настройки и измерения параметров передающего устройства, модернизируемого для работы в режиме ЦРВ:

- Настройка и измерение параметров передающего устройства на двухтоновом сигнале (КВ минус 40 +/- 5 дБ);
- Настройка и измерение параметров передающего устройства на сигнале ЦРВ;
- Увеличение средней выходной мощности и среднего КПД.

В результате выполнения 3 этапа НИР «Поле -РВ-МТУСИ»:

- Используя разработанную на 3 этапе работы программу и методику, а также разработанное в инициативном порядке в НИЛ-6 МТУСИ измерительное оборудование, была проведена настройка и измерение параметров передатчиков РВ-807 (Талдом) и РВ-1132 (Ногинск).
- Данные испытания подтвердили высокую эффективность применения измерительного оборудования МТУСИ и разработанной программы и методики экспериментального исследования реального передающего устройства, модернизируемого для работы в режиме ЦРВ, а также возможность использования модернизированных передатчиков в режиме ЦРВ.

ИЗМЕРЕНИЯ КАЧЕСТВА ПРИЕМА СИГНАЛОВ ЦРВ И НАПРЯЖЕННОСТИ ПОЛЯ В ДАЛЬНОЙ ЗОНЕ ПЕРЕДАТЧИКА РВ 1132

Радиоцентр № 9, пос. Псарьки, Ногинский район, Московская обл.,
47 км. Горьковского шоссе.
22 октября 2003 г.

Структурная схема измерительной установки



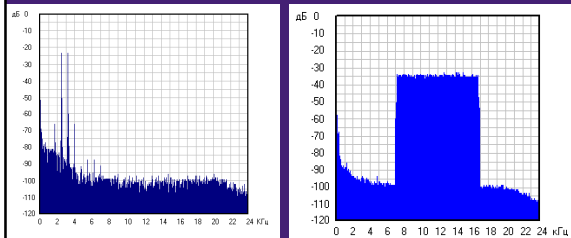
Полный оставшийся передатчик устройства



Измерительная установка



Спектрограммы сигналов на выходе передатчика при пиковой мощности 10 кВт (измерены ГИС-2 DRM)



Двухтоновый ОМ сигнал, $Kf3 = -43$ дБ

Сигнал ЦРВ, ОСШ = 36 дБ

Точка на местности №3



Громорушкин В.Н. (МТУСИ),

Чернов Ю.А. (НИИР),

Миткалев А.А. (ОАО «НТЦ-РС»),

Фото: Варламов О.В. (МТУСИ) 22.10.2003

ИЗМЕРЕНИЯ КАЧЕСТВА ПРИЕМА СИГНАЛОВ ЦРВ И НАПРЯЖЕННОСТИ ПОЛЯ

Измерение напряженности поля: SMV-11



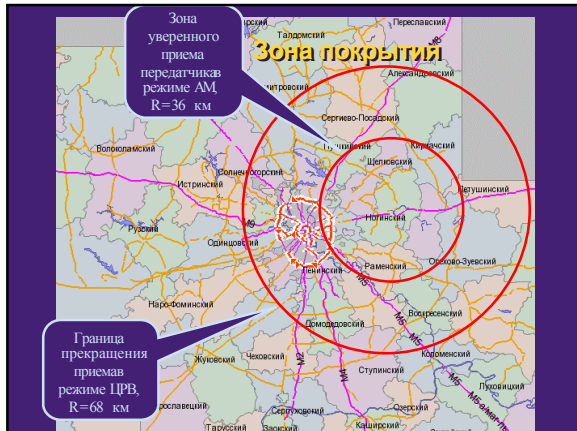
Прием сигнала ЦРВ: КИП DRM

Результаты измерений

Тип антенны	Точка 1 L = 68 км		Точка 2 L = 53 км		Точка 3 (применены обслуживания режимом)	
	Результат на антенна	Шум на антенна	Результат на антенна	Шум на антенна	Результат на антенна	Шум на антенна
Напряжение собственных шумов, присоединенное к входу приемника КИП DRM, $U_{ш}$, дБм	-9	-9	-9	-9	-9	-9
Напряженность сигнала AM, E_s , дБ/мкм	52,5	52,5	51	51	67	67
Напряженность сигнала AM в декодированном виде, $U_{с}$, дБм	8	14,5	8	16	23	29
Отношение сигнал-шум в режиме AM на входе приемника, $U_{с}/U_{ш}$, дБ	17,5	23,5	9	25	32	38
Напряженность сигнала ЦРВ на входе приемника, $U_{с}$, дБм	8	8,5	8	10,5	15,5	21,5
Отношение сигнал-шум в режиме ЦРВ на входе приемника, $U_{с}/U_{ш}$, дБ	11,5	17,5	13,5	19,5	24,5	30,5
Среднее значение ОСШ в режиме ЦРВ за период измерений (срок 4 минуты), дБ (в скобках - максимальное значение)	10,3 (13,7)	14,5 (17,5)	11,3 (17,3)	16,0 (19,6)	19,0 (22,2)	19,7 (22,2)

Результаты измерений

- В условиях отсутствия помех в канале распространения значение ОСШ в режиме ЦРВ, измеренное КИП DRM при декодировании сигнала ЦРВ, совпадает с отношением сигнал-шум в режиме ЦРВ на входе приемника.
Для всесторонней оценки границ зоны обслуживания в режиме ЦРВ, с учетом помех от соседних станций, промышленных шумов и т.д. необходимо использование КИП DRM, а простого измерения отношения сигнал-шум с помощью стандартного измерительного оборудования недостаточно.
- На границе зоны обслуживания данного передатчика в режиме AM, режим ЦРВ обеспечивает уверенный прием без потери качества сигнала, несмотря на наличие помех от соседней станции, которая слышна в виде мешающего сигнала в режиме AM, не обеспечивающего комфортного прослушивания.
За границей зоны обслуживания данного передатчика в режиме AM при отсутствии сигнала DRM был устойчивым при отношении сигнал-шум на входе приемника не менее 17,5 дБ, что соответствует отношению сигнал-шум на входе приемника в режиме AM, равное 23,5 дБ.
- Зона обслуживания передатчика, вещающего в стандарте DRM превышает зону обслуживания передатчика, вещающего AM при равных пиковых мощностях (излучаемая мощность в данных испытаниях в режиме DRM составляла 0,7 кВт, что на 5,46 дБ (в 3,5 раза) меньше, чем в режиме AM).



Результаты измерений (продолжение)

4. В данном частном случае (дневное время, отсутствие промышленных помех) граница зоны обслуживания передатчика, вещающего в режиме АМС мощностью в несущей 2,5 кВт, проходила на расстоянии 36 км от передатчика. Граница прекращения приема (не путать с границей зоны обслуживания!) в режиме DRM находилась на расстоянии более 68 км от передатчика. По графикам, приведенным в [8], можно определить, что при увеличении средней мощности сигнала ЦРВ на 2 дБ (до 1 кВт), граница прекращения приема в режиме DRM будет находиться на расстоянии около 80 км от передатчика, что в два раза превышает зону обслуживания передатчика, вещающего в режиме АМС мощностью в несущей 2,5 кВт.

5. Для более точного определения зоны обслуживания передатчика, вещающего в стандарте DRM, с учетом атмосферных помех в различное время года, промышленных помех, помех от соседних станций и соканальных помех (как АМ, УКВ и ЦРВ) в различное время суток, необходимо проведение теоретических исследований защитных соотношений, необходимых для планирования сети вещания и дальнейших измерений зон обслуживания различных передатчиков в режиме ЦРВ с применением приемных комплексов ЦРВ в различных условиях для набора соответствующей статистической информации.

Заклучение

• Результаты настройки передатчиков РВ-807 и РВ-1132, а также измерений качества приема сигналов ЦРВ в дальней зоне передатчика РВ 113 2, проведенные с помощью разработанных в инициативном порядке в НИИ-6 МТУСИ генератора испытательных сигналов ГИС-2 DRM и контрольно-измерительного приемника КИП-2 DRM показали высокую эффективность применения данного оборудования, его многофункциональность, удобство эксплуатации и способность работы в сильных электромагнитных полях.

• Обладая малой массой и габаритами, данное оборудование заменяет весь комплекс необходимых на каждом передатчике ЦРВ контрольно-измерительных приборов.

• При умеренных (по сравнению с зарубежными аналогами) ценовых параметрах, данное оборудование может быть лучшим решением для оснащения опытных зон ЦРВ вещания стандарта DRM.

Настройка РВ-352 DRM, Талдом, ПЦ-3, 2006



Компоненты системы охлаждения



Приемка РВ-352 DRM, Талдом, ПЦ-3, 2006



МТУСИ

Уточнение отдельных величин защитных отношений для цифрового радиовещания стандарта DRM.

Результаты лабораторных и эфирных измерений.

Научно-исследовательская лаборатория транзисторных передатчиков МТУСИ (НИИ-6)

Варламов О.В., декабрь 2008

Основания для работы:

- Решение ГКРЧ № 30/3 от 01.12.03.
- Договор Луч-2-МГУСИ (Заказчик ОАО «НТЦ-РС»)

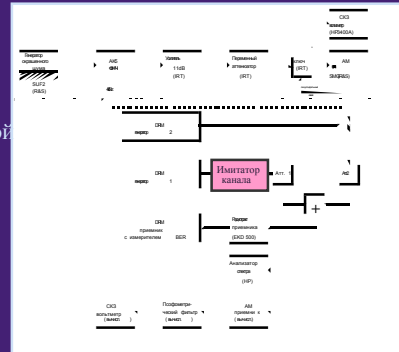
Цели и задачи исследований:

- Уточнение отдельных величин защитных отношений для сигналов DRM;
- Исследование приема сигналов DRM в опытной зоне ФГУП «РТРС».

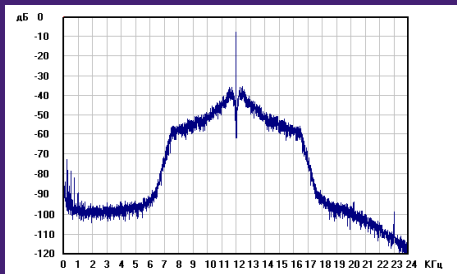
Лабораторные измерения величин защитных отношений

Структурная схема лабораторной измерительной установки МСЭ

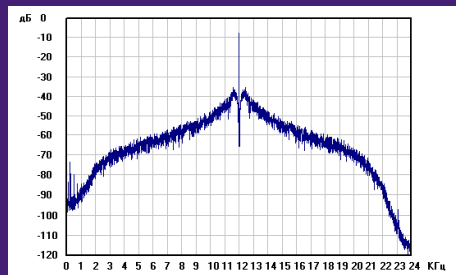
(REC. ITU-R BS.1615)



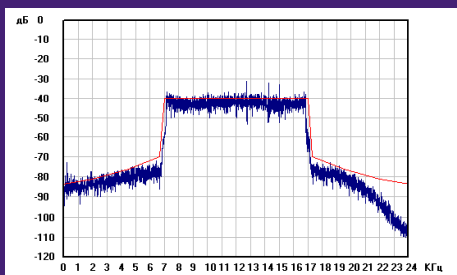
Спектр формируемого сигнала помехи от АМ передатчика с полосой модулирующих частот 4,5 кГц



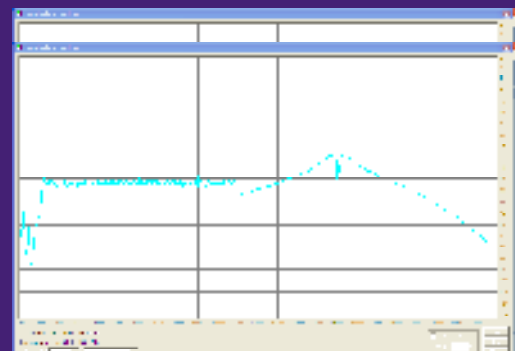
Спектр формируемого сигнала помехи от АМ передатчика с полосой модулирующих частот 10 кГц



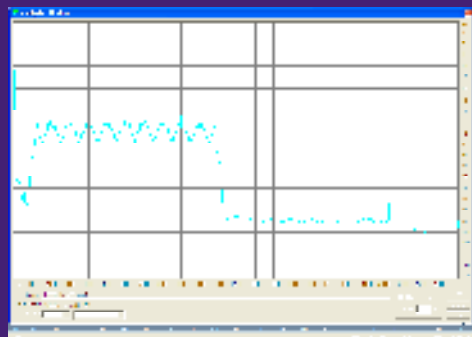
Спектр формируемого сигнала помехи от DRM передатчика с полосой частот 10 кГц



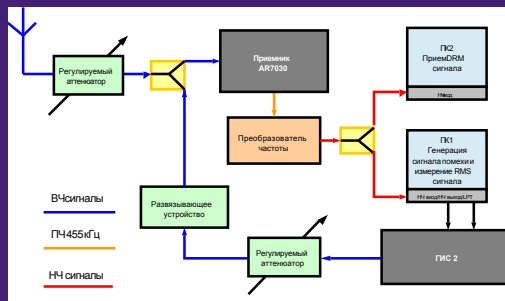
Помеха сигналу DRM от АМ передатчиков с полосами модулирующих частот 4,5 и 10 кГц при расстройке 10 кГц



Спектр сигнала DRM передатчика с полосой частот 10 кГц на выходе имитатора канала распространения (канал №2)



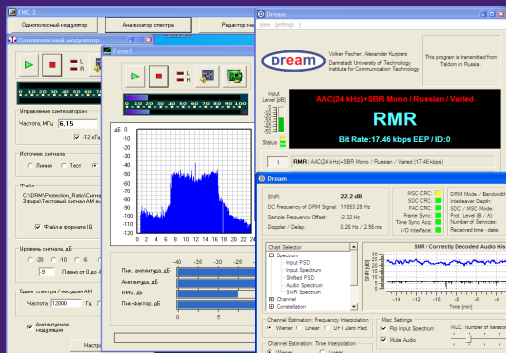
Эфирные измерения в реальном канале на трассе Талдом - Романцево



Структурная схема установки для эфирных измерений

Интерфейс эфирного измерительного комплекса Прием сигнала DRM испытателя помехот-АМ передатчика при нулевой расстройке

Связка правого и левого каналов ИС работает в режиме файловой записи и регулировка уровня анализатора спектра измерительных квадратурных значений RMS интерфейсом программы приема DRM сигнала Dream.



Результаты измерений

Относительные величины защитных отношений (дБ)

Полосный сигнал	Мешающий сигнал	Источник помех	Расстройка по частоте f _{сигнал} - f _{мешающий} , кГц											
			0	5	10	15	20	25						
DRM	Шум (средн. экв. эквив. д.а.)	МСЭ	0	1	1	1	1	1						
		Эфир. изм.	0	1	1	1	1	1						
DRM	АМ-Европа	МСЭ	0	1	1	-3	0	0						
		Лаб. изм.	0	3	1	4	-3	-2	-1	0	0	0	0	0
DRM	АМ-Россия	МСЭ	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
		Лаб. изм.	0	3	1	4	-3	-2	-1	0	0	0	0	0
DRM	Эфир. изм.	МСЭ	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
		Лаб. изм.	0	3	1	4	-3	-2	-1	0	0	0	0	0

Примечания:
 1. Канал 0 – имитатор однолучевого канала; Канал 2 – имитатор двухлучевого канала реального эфирного канала.
 2. БПШ – значения защитных отношений в шумовом канале при условии равномерного огибающей шумового спектра.
 3. Красным цветом выделены значения защитных отношений в зависимости от результатов измерений МСЭ.
 Для остальных значений защитных отношений выделены желтым цветом (фон) результаты исследований МСЭ, проводимых.

Основные результаты работы

1. Разработана и создана лабораторная измерительная установка, включающая компьютерные имитаторы сигналов радиопередатчиков с цифровой и амплитудной модуляцией и имитаторы каналов распространения.
2. Проведены лабораторные измерения отдельных величин защитных отношений для двух видов каналов распространения (однолучевого и двухлучевого) при наличии помех от станций с амплитудной модуляцией (с АЧХ по МСЭ и по ГОСТ-Р) и от станций с цифровой модуляцией.
3. Проведены эфирные измерения защитных отношений в опытной зоне цифрового радиовещания, результаты которых подтвердили лабораторные данные.

Результаты лабораторных и эфирных измерений показали:

1. Временные значения защитных отношений, рекомендуемые МСЭ, подтверждены с достаточной для практики точностью, что позволяет говорить о соответствии разработанных в настоящей работе программы методик исследований;
2. Полученные в настоящей работе значения необходимых защитных отношений при помехе сигналу DRM от АМ передатчиков с полосой модулирующих частот 10 кГц и расстройке 10 кГц существенно (на 18 дБ) больше, чем в случае помехи от АМ передатчиков с полосой модулирующих частот 4,5 кГц, исследованном МСЭ (-22 дБ и -40 дБ, соответственно).
3. Временные значения защитных отношений, рекомендуемые МСЭ, справедливы только для случая отсутствия канала распространения. При наличии канала распространения величины защитных отношений должны уточняться в соответствии с характеристиками канала, что пока не рассматривалось МСЭ.

Заклучение

1. Необходимо внесение в МСЭ предложений по корректировке предварительных значений защитных отношений на основании полученных результатов.
2. Исследования защитных отношений необходимо продолжать для случаев помех в точке приема от нескольких мешающих станций с различными частотными отстройками, для других типов каналов распространения, а также для диапазона СЧ.

МТУСИ

Защитные отношения в системе цифрового радиовещания DRM при нескольких мешающих сигналах

Варламов О.В., Лаврушков В.Г.
 Research laboratory of communications transmitters
 Moscow Technical University of Communications and Informatics

Актуальность исследований

ETSI ES 201 980 and REC. ITU-R BS.1615:

- Требуемое ОСШ для приема DRM
- ИЛИ:
- РЧ защитные отношения (для одного мешающего сигнала)

Реальные условия в точке приема:

Шумы + несколько различных (AM, DRM) мешающих сигналов с различными частотными отстройками одновременно (особенно на границе зоны покрытия)

Вывод: Расчет защитных отношений для нескольких мешающих сигналов необходим для корректного планирования зоны покрытия

Метод расчета

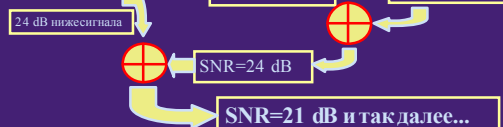
1. Для возможных мешающих сигналов с различными частотными отстройками определяется «Эквивалентная шумовая мощность помех» для различных полезных сигналов.
2. Все «Эквивалентные шумовые мощности помех» от различных сигналов некоррелированы и могут суммироваться по мощности.
3. Результирующее ОСШ должно быть больше требуемого для приема DRM.

Определение иных факторов, ухудшающих параметры сигнала

Искажения передатчика: SNR=30 dB;
 Фазовый шум гетеродина приемника:
 • професс. AR-7030: max. SNR=36 dB;
 • массовая продукция: max. SNR=30 dB

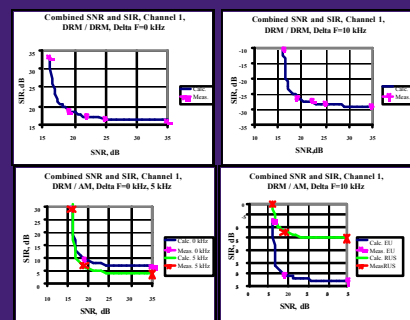
Тепловой шум приемника;

Промышленные шумы.



Защитные отношения в системе DRM при одновременном воздействии шумов и одного мешающего сигнала.

Требуется увеличение SNR и SIR на 3 dB в случае равных «Эквивалентных мощностей шумов»



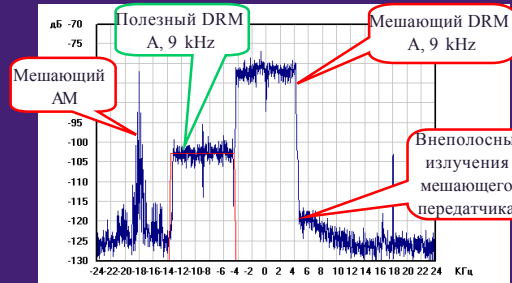
Защитные отношения в системе DRM при одновременном воздействии шумов и нескольких мешающих сигналов.

1. Графическое или табличное представление результатов сложно или невозможно для многомерного пространства.

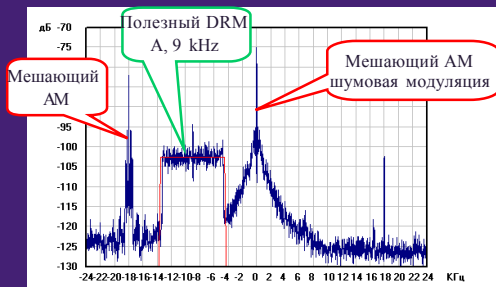
2. После определения уровней всех мешающих сигналов можно рассчитать требуемый уровень полезного сигнала:

$$E_c \geq 10 * \text{Log} \frac{(10^{E_{n1}/10} + 10^{E_{n2}/10} + 10^{E_{n3}/10} + 10^{E_{n4}/10} + \dots + 10^{E_{nm}/10})}{10^{-SNR} + 10^{-SNR/10}}$$

Пример 1 для эфирных испытаний (1017 kHz). Спектры в точке приема



Пример 2 для эфирных испытаний (1017 kHz). Спектры в точке приема



Результаты эфирных испытаний.

Numbered signal	A F1, kHz	Unwanted signal Mode 1, kHz	A F2, kHz	Mode 2, kHz	Calculation / measured error, dB
DM A 9 kHz	-9	AM	-	-	-0,6
DM A 9 kHz	-9	AM	0	AM	-0,7
DM A 9 kHz	-9	AM	+9	AM	-0,5
DM A 9 kHz	-9	AM	0	DM A 9 kHz	+0,5
DM A 9 kHz	-9	AM	+9	DM B, 10 kHz	-0,3
DM A 9 kHz	-9	AM	+9	DM A 9 kHz	-0,1

Эфирные испытания подтвердили теоретические расчеты с точностью -0,7...+0,5 dB.

Практическое применение для вещателей

Разработана программа «DRM Trace» для определения требуемого уровня полезного сигнала.

Для определения требуемой мощности передатчика в диапазонах НЧ и СЧ для заданной зоны покрытия используется программный модуль ITU «GRWAVE»

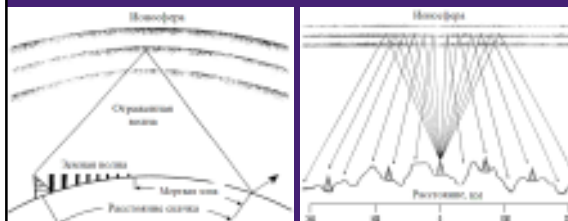
Интерфейс пользователя программы «DRM Trace»



Выводы

- Разработан метод расчета защитных отношений при нескольких мешающих сигналах для корректного планирования зоны покрытия.
- Разработана программа расчетов «DRMTrace» для диапазонов НЧ и СЧ.
- Эфирные измерения в диапазоне СЧ подтвердили теоретические расчеты.

Исследование возможности DRM вещания при излучении, близком к зенитному



Распространение радиоволн пространственной волной.

Распространение радиоволн при излучении, близком к зенитному.

Исследование возможности DRM вещания при излучении, близком к зенитному

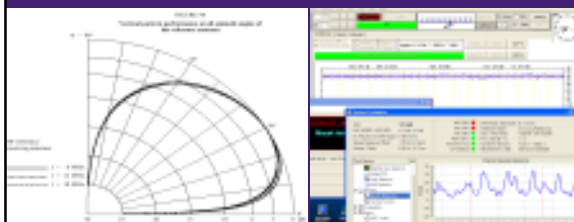
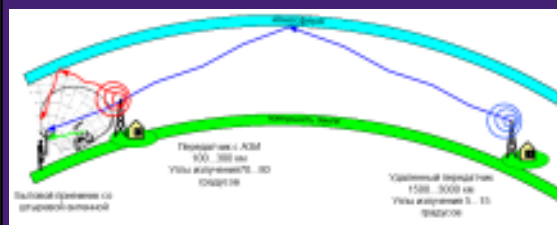


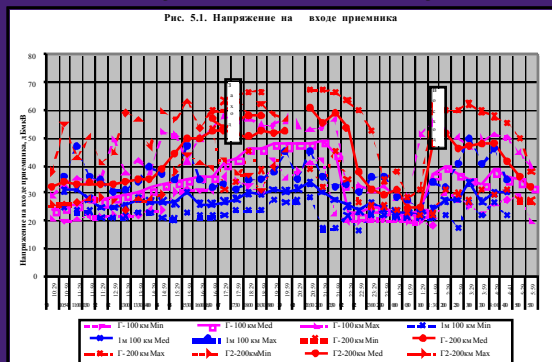
Диаграмма направленности типовой роговой антенны (ГУ) в вертикальной плоскости

Импульсная характеристика канала — многолучевость, задержка 10 мс, 23:44 МСК 200 км

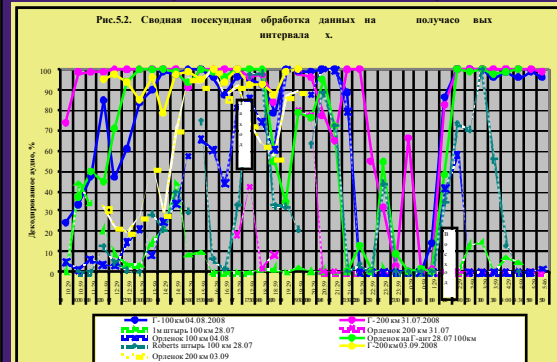
Исследование возможности DRM вещания при излучении, близком к зенитному



Исследование возможности DRM вещания при излучении, близком к зенитному



Исследование возможности DRM вещания при излучении, близком к зенитному



DRM приемники...

На выставке (от 130 Евро)...




На испытаниях в НИЛ-6 МТУСИ

Продукция Сарановского радиозавода

Нормативные документы РФ

1. Г.КРЧ Нормы 19-02 «Нормы на ширину полосы радиочастот и внеполосные излучения радиопередатчиков гражданского применения. Дополнение №1 «Система цифрового звукового и телевизионного вещания с использованием модуляции COFDM» Москва 2003г.
2. ПРАВИЛА применения систем радиовещания. Часть I. Правила применения фирменных цифровых радиовещательных передатчиков, работающих в диапазонах частот 0,1485 – 0,2835 МГц и 0,5265 – 1,6065 МГц 3,95 – 26,10 МГц.

УТВЕРЖДЕНЫ Приказом Министерства информационных технологий и связи Российской Федерации от 04.02.2008г. № 13. Зарегистрирован Минкомтом России 20 февраля 2008г., регистрационный № 11185

Опыт внедрения системы ЦРВ стандарта DRM в России

Новые разработки

Научно-исследовательская лаборатория транзисторных передатчиков МТУСИ (НИЛ-6)
 Варламов О.В.
 Декабрь 2008



Сравнительные испытания ГИС-2 и КИП DRM МТУСИ с оборудованием Thales

Оборудование	Сигнал-шум, дБ
ГИС-2 МТУСИ	45
TXW 5321D Digital RF Synthesizer	42
TXW 5122D Digital Encoder Modulator	42
BO-71	31...36
TSW 1002D Digital Reference Receiver	36
Мобильный вариант КИП МТУСИ	36

КИП 2 DRM на Инфоком-2008






Благодарю за внимание!

vov@mtuci.ru