

Экспериментальное исследование влияния схем модуляции-кодирования на размер зоны обслуживания цифрового радиовещания стандарта DRM в диапазоне ОВЧ. Часть 1

С.В. Мышьянов^{1*}

¹Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М.А. Бонч-Бруевича, Санкт-Петербург, 193232, Российская Федерация

*Адрес для переписки: mishyanov@gmail.com

Информация о статье

Поступила в редакцию 26.07.2021

Принята к публикации 22.09.2021

Ссылка для цитирования: Мышьянов С.В. Экспериментальное исследование влияния схем модуляции-кодирования на размер зоны обслуживания цифрового радиовещания стандарта DRM в диапазоне ОВЧ. Часть 1 // Труды учебных заведений связи. 2021. Т. 7. № 3. С. 101–112. DOI:10.31854/1813-324X-2021-7-3-101-112

Аннотация: в статье приведены результаты измерений параметров качества сигнала цифрового радиовещания DRM в опытной зоне Санкт-Петербурга с целью определения влияния режимов передачи, заложенных в стандарт DRM на размер зоны обслуживания.

Ключевые слова: цифровое радиовещание, DRM, зона обслуживания, мобильные измерения.

Введение

С 18 июля 2019 г. по 31 мая 2021 г. в Санкт-Петербурге действовала опытная зона цифрового радиовещания (ЦРВ) стандарта DRM [1]. Передатчик аналогового радиовещания станции «Comedy Radio», работающей на частоте 95,9 МГц на Ленинградском радиотелевизионном передающем центре, был заменен экспериментальным аналого-цифровым передатчиком «Полюс ПТ» производства НПП «Триада-ТВ». Устройство обеспечивало формирование аналого-цифрового сигнала: на частоте 95,9 МГц проводилась трансляция стереофонического вещания с пилот-тоном, к которой на частоте 95,7 МГц добавлялся мультимплекс DRM. Антенно-фидерное оборудование не модернизировалось. Сигнал с выхода передатчика через мост сложения поступал на штатную антенну с высотой подвеса 272 м. Максимальная мощность аналоговой части сигнала в ходе измерений достигала 3 кВт, цифровой части – до 800 Вт. Более подробно параметры оборудования опытной зоны приведены в [2].

Одной из частных задач исследований в опытной зоне являлась разработка методики планирования зоны обслуживания передатчика DRM, т. е. определение той территории, окружающей передатчик (или сеть передатчиков), на которой предоставляемая услуга доступна для потре-

блей с определенным качеством. В силу того, что в стандарт DRM заложена возможность применения различных схем модуляции и кодирования сигнала (также именуемых как «режимы передачи»), зона обслуживания сильно зависит от выбранной схемы при прочих равных условиях (мощность передатчика, характеристики антенно-фидерного тракта и др.). В отчетах консорциума DRM о проведенных ранее в разных странах мира исследованиях [3–13] результаты измерений обычно приводятся для одного или нескольких режимов передачи. В рекомендации ITU-R BS.1660-8 [14], содержащей техническую основу для планирования системы DRM, все расчетные значения приводятся только для двух режимов передачи. Таким образом, систематизированных данных о влиянии схем модуляции-кодирования на качество приема сигнала DRM не содержится ни в нормативной документации, ни в отчетах об испытаниях.

Далее в статье приводятся результаты полевых измерений в части определения влияния схем модуляции-кодирования восьми основных режимов передачи DRM на качество декодирования сигнала в реальных условиях с учетом электромагнитной обстановки Санкт-Петербурга.

Измерения, представленные в статье, проведены в два этапа: с 18 ноября по 29 декабря 2020 г. и с 24 апреля по 23 мая 2021 г.

Условия измерений

Передатчик DRM в ходе измерений поочередно конфигурировался в один из восьми основных режимов, предусмотренных стандартом, основанных на комбинациях:

- двух вариантов квадратурной амплитудной модуляции поднесущих сигнала основного сервисного канала (QAM-4 или QAM-16);
- разных скоростях кодирования, соответствующих четырем так называемым уровням защиты – Protection level (PL0, PL1, PL2, PL3).

В таблице 1 приведены основные режимы передачи и соответствующие им скорости цифровых потоков передаваемой полезной информации для случая, когда все данные кодируются с равной защитой от ошибок (EEP, *аббр. от англ.* Equal Error Protection), жирным шрифтом выделены режимы, данные для которых приведены в [14].

ТАБЛИЦА 1. Режимы передачи стандарта DRM mode E EEP
TABLE 1. Transmission Modes of the DRM Standard Mode E EEP

Модуляция	Скорость кода (уровень защиты)	Битрейт, кбит/с
QAM-4	0,250 (PL0)	37,3
QAM-4	0,333 (PL1)	49,7
QAM-4	0,400 (PL2)	59,6
QAM-4	0,500 (PL3)	74,5
QAM-16	0,330 (PL0)	99,4
QAM-16	0,411 (PL1)	122,4
QAM-16	0,500 (PL2)	149,1
QAM-16	0,625 (PL3)	186,4

Измерения проводились в режиме мобильного приема (МО) согласно [14]. В качестве антенны использована измерительная штыревая ненаправленная приемная антенна Kathrein K 51 16 4/510 351. Антенна поставляется стандартной длины, для измерений на частоте 95,7 МГц ее длина укорачивается из расчета четверти длины волны.

Критерием определения зоны обслуживания радиопередатчика является напряженность создаваемого им электромагнитного поля, которое измеряется в дБ(мкВ/м). Параметром, фиксируемым измерительным приемником, является напряжение на входе приемника, выражаемое в дБ(мкВ). Напряженность поля передатчика связана с напряжением на входе приемника, создаваемым при воздействии на антенну электромагнитного поля выражением:

$$E(\text{дБ(мкВ/м)}) = U(\text{дБ(мкВ)}) + K(\text{дБ}) + L(\text{дБ}), \quad (1)$$

где E – напряженность поля передатчика в точке приема; U – напряжение на входе приемника; K – коэффициент калибровки антенны (или, в англоязычной литературе – антенный фактор); L – затухание сигнала в кабеле между антенной и высокочастотным входом приемника.

Антенный фактор зависит от частоты принимаемого сигнала и для 50-омных систем соответствует выражению [15]:

$$K = 20 \log(f) - G_i - 29,774, \quad (2)$$

где f – частота принимаемого сигнала (МГц); G_i – усиление антенны относительно изотропного излучателя (дБ).

Усиление четвертьволновой штыревой ненаправленной антенны относительно G_i составляет 2,15 дБ, таким образом, антенный фактор Kathrein K 51 16 4/510 351 составляет:

$$K = 20 \log(95,7) - 2,15 - 29,774 = 7,69 \text{ (дБ(1/м))}. \quad (3)$$

Ослабление сигнала в кабеле, соединяющем антенну и высокочастотный вход приемника, было измерено анализатором «Rohde & Schwarz» ZVL Vector Network Analyzer и составило 0,49 дБ на частоте 96 МГц.

Таким образом, общее ослабление сигнала, вносимое антенной и кабелем, составляет:

$$K + L = 7,69 \text{ (дБ(1/м))} + 0,49 \text{ дБ} = 8,18 \text{ дБ}, \quad (4)$$

а искомое значение напряженности поля для используемого измерительного комплекса связано с параметром напряжения на входе приемника соотношением:

$$E[\text{дБ(мкВ/м)}] = U[\text{дБ(мкВ)}] + 8,18 \text{ (дБ(1/м))}. \quad (5)$$

В качестве приемника использовался профессиональный измерительный приемник DRM RF-SE19 компании Rfmondial [16]. Структурная схема высокочастотной (ВЧ) части приемника приведена на рисунке 1: сигнал со входа приемника последовательно проходит через блоки защиты от электростатических разрядов (Electrostatic Discharge Protection, *аббр.* ESD), полосовой фильтрации (FM Bandpass) и автоматической регулировки усиления (Automatic Gain Control, *аббр.* AGC), далее с использованием генератора с цифровым управлением (Numerically Controlled Oscillator, *аббр.* NCO) разделяется на синфазную и квадратурную составляющие (In-phase – I, Quadrature – Q), производится усиление (Low-noise Amplifier, *аббр.* LNA), аналого-цифровое преобразование (Analog to Digital Converters, *аббр.* ADC), понижающее преобразование частоты (Digital Down-converter, *аббр.* DDC) и фильтрация (Finite Impulse Response filter, *аббр.* FIR).

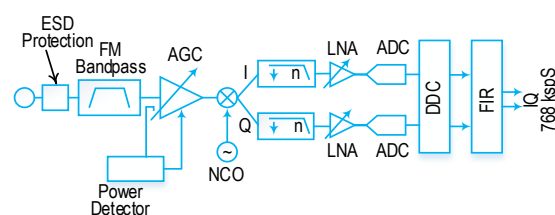


Рис. 1. Структурная схема высокочастотной части приемника Rfmondial Model RF-SE19

Fig. 1. Block Diagram of the High-Frequency Part of the Rfmondial Model RF-SE19 Receiver

В итоге на выходе ВЧ-части приемника формируются оцифрованные выборки синфазной и квадратурной составляющих (I/Q) сигнала с частотой дискретизации 768 кГц, которые далее подаются на схему демодуляции и декодирования. Управление приемником Rfmondial RF-SE19 осуществляется посредством web-интерфейса с ноутбука, подключение производится через Ethernet-интерфейс. Антенна Kathrein подключена к высокочастотному входу приемника Rfmondial RF-SE19 с коннектором N -типа и входным сопротивлением 50 Ом при помощи коаксиального кабеля марки RG58U длиной 3 м. Для фиксации координат на маршруте измерений к приемнику Rfmondial RF-SE19 подключен GPS-приемник NAVILOCK NL-602U с использованием USB интерфейса. Питание приемника Rfmondial RF-SE19 осуществляется от постоянного тока напряжением 12 В бортовой сети автомобиля, питание модуля NAVILOCK NL-602U осуществляется от приемника Rfmondial RF-SE19 через USB. Питание управляющих ноутбуков осуществлялось только от встроенной батареи без использования подзарядки от бортовой сети автомобиля. Для измерений был задействован автомобиль модели Geely Coolray. Приемник Rfmondial RF-SE19 с ноутбуком располагался в салоне автомобиля; антенна Kathrein оснащена магнитным креплением для расположения на крыше автомобиля вертикально; GPS-приемник NAVILOCK также имеет магнитное крепление и размещался на крыше автомобиля; соединительные провода были введены в салон автомобиля через люк в крыше (рисунки 2, 3).

Приемник Rfmondial RF-SE19 сохраняет данные мониторинга сигнала с использованием стандарта RSCI [17], предусматривающего возможность записи в общей сложности до 52 параметров; во время измерений был использован профиль А. Данные сохраняются с привязкой к GPS координатам с частотой следования кадров DRM (100 мс). Для каждого принятого кадра определялись параметры, такие как напряжение на входе приемника, отношение сигнал/шум (SNR, аббр. от англ. Signal-to-Noise Ratio), коэффициент модуляционных ошибок (MER, аббр. от англ. Modulation Error Ratio), статус синхронизации приемника и декодирования данных каналов MSC, SDC, FAC.

Для обработки данных использовано программное обеспечение, разработанное на языке Matlab. Для отображения картографических данных использовано программное обеспечение свободно-распространяемой геоинформационной системы «QGIS» [18]; для оценки бюджетов радиолиний и рельефа местности на трассах распространения использована программа RadioMobile [19, 20] и цифровые карты высот Shuttle Radar Topography Mission (SRTM).

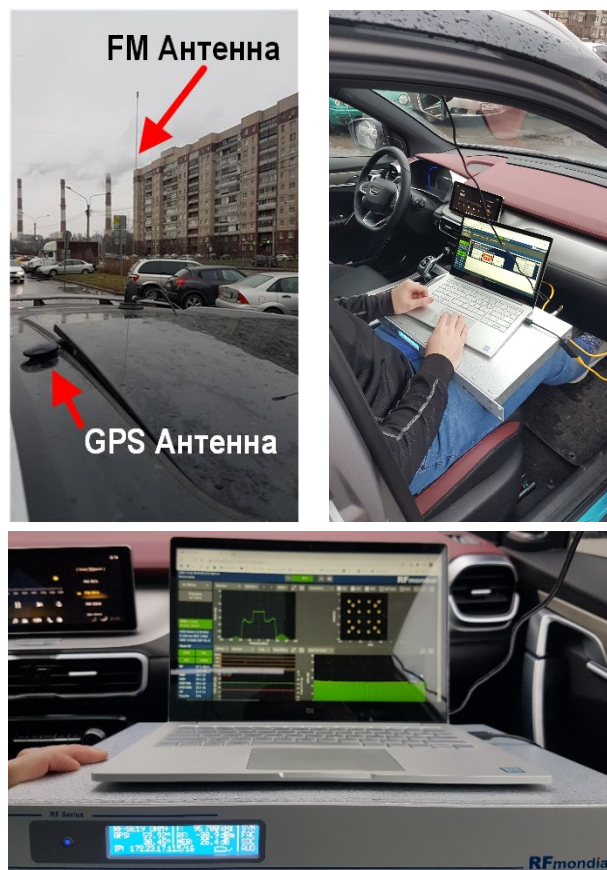


Рис. 2. Внешний вид мобильного измерительного комплекса

Fig. 2. Appearance of the Mobile Measuring Complex

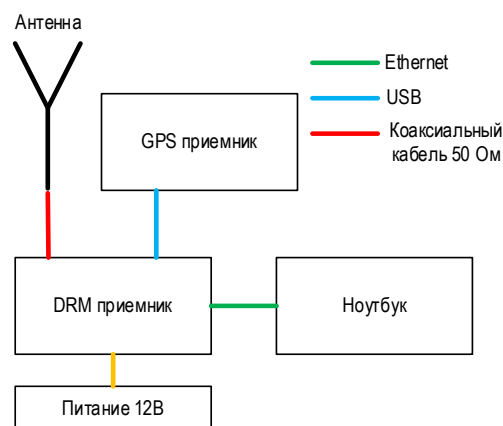


Рис. 3. Схема мобильного измерительного комплекса

Fig. 3. Diagram of the Mobile Measuring Complex

Результаты измерений

Классический подход к определению границ зон обслуживания при измерениях как аналоговых, так и цифровых вещательных систем сводится к определению точек, в которых перестает выполняться критерий качества для данной системы с удалением от передатчика по радиальным направлениям. Далее установленные точки соединяют прямыми линиями и полученный многоугольник представляет зону обслуживания. Чем большее количество радиальных направлений задействовано в измерениях, тем лучше детализация зоны

обслуживания; требование к количеству подлежащих измерению направлений и допустимыми углами между ними устанавливаются соответствующей методикой.

Для измерения качества приема сигнала DRM были составлены 4 маршрута с удалением от передатчика по следующим радиальным направлениям:

- № 1, северном (трасса А121 СПб – Приозерск);
- № 2, восточном (трасса СПб – Мурманск);
- № 3, юго-восточном (трасса Е105 СПб – Москва);
- № 4, западном (СПб – Сосновый Бор).

В каждом направлении была проведена серия измерений для 8 основных режимов модуляции-кодирования согласно таблице 1 при мощности передатчика 99 Вт, а также в наиболее и наименее помехоустойчивых режимах с повышенной на 8–9 дБ мощностью (указана для каждого измерения).

№ 1: Северное направление (трасса А121 СПб – Приозерск)

Маршрут в северном направлении проходил по трассе А121 «СПб – Приозерск». Полный перечень измерений представлен в таблице 2.

Субъективное качество приема сигнала DRM для слушателя определяется объективной характеристикой – декодированием аудиокадров в приемнике. Если коэффициент битовых ошибок в цифровом потоке принимаемого сигнала превышает значение корректирующей способности используемой схемы кодирования, то происходят выпадения фрагментов звука, кратных длительности кадра DRM (100 мс). Далее на рисунках характеристика качества приема сигнала отображена с цветовой дифференциацией: зеленым цветом отмечены корректно декодированные кадры, красным – кадры с ошибками. На рисунке 4 представлены восемь результатов измерений при мощности передатчика 99 Вт; режимы работы DRM расположены слева направо в порядке уменьшения помехоустойчивости; пунктирные линии на

рисунке отражают окружности с передатчиком в центре; для наглядности все маршруты ограничены одинаковым отрезком с 23 по 71 км от передатчика.

На рисунке 5 представлены зависимости измеренной напряженности поля от расстояния до передатчика для маршрутов рисунка 4. Цветом отображено декодирование кадров DRM, одна точка представляет один кадр.

По представленным данным хорошо прослеживается градация качества декодирования. В наиболее помехоустойчивом режиме первые несколько одиночных ошибок возникают на расстоянии 52 км от передатчика, затем следуют 2 серии сгруппированных ошибок на 54 и 59 км, соответственно, а, начиная с 64 км, прием практически прекращается. При уменьшении помехоустойчивости постепенно происходит увеличение числа ошибок в описанных выше зонах и добавление преимущественно негруппированных ошибок на других участках маршрута. В наименее помехоустойчивом режиме фактически уже после 30 км субъективное качество сигнала не позволяет комфортно прослушивать радиостанцию.

Проанализируем приведенные выше четыре зоны возникновения ошибок.

1) На 52 км в режиме работы QAM-4 и PL0 возникают 4 ошибки при напряженности поля 37–40 дБ(мкВ/м), являющейся достаточной для корректной работы в данном режиме. На рисунке 6 представлена зависимость SNR от расстояния до передатчика для маршрута при его работе в режиме QAM-4, PL0: точками отмечены измеренные мгновенные значения; линией – усредненные значения. Провал величины SNR в данной точке маршрута при достаточном уровне напряженности поля свидетельствует о присутствии помехи, причем эта помеха является постоянной, т. к. провал зафиксирован на всех итерациях измерений.

ТАБЛИЦА 2. Перечень измерений в северном направлении

TABLE 2. List of Measurements in the North Direction

№ п/п	Дата измерения	Режим передачи	Мощность передатчика, Вт	Длительность записи, мин	Расстояние до передатчика, км	
					минимальное	максимальное
1	30.11.2020	QAM-16, PL3	631	0:55:58	8	72
2	01.12.2020	QAM-4, PL0	652	1:05:54	9	72
3		QAM-4, PL0		0:30:11	14	72
4	12.05.2021	QAM-4, PL0	99	1:10:11	9	72
5		QAM-4, PL1		0:35:22	23	71
6		QAM-4, PL2		0:29:49	23	72
7		QAM-4, PL3		0:30:37	23	72
8		QAM-16, PL0		0:30:55	23	72
9		QAM-16, PL1		0:31:06	23	71
10		QAM-16, PL2		0:30:15	23	72
11		QAM-16, PL3		0:29:22	23	72
12		QAM-16, PL3		0:33:51	23	72

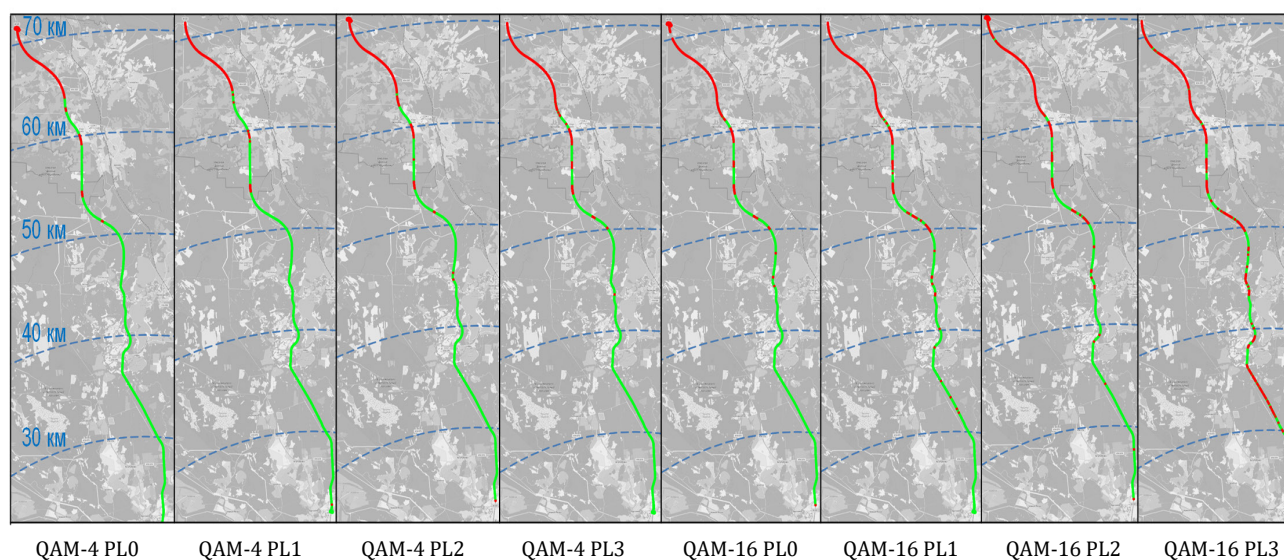


Рис. 4. Качество приема сигнала для разных режимов работы DRM в северном направлении при мощности передатчика 99 Вт
Fig. 4. Signal Reception Quality for Different DRM Modes in the North Direction at a Transmitter Power of 99 W

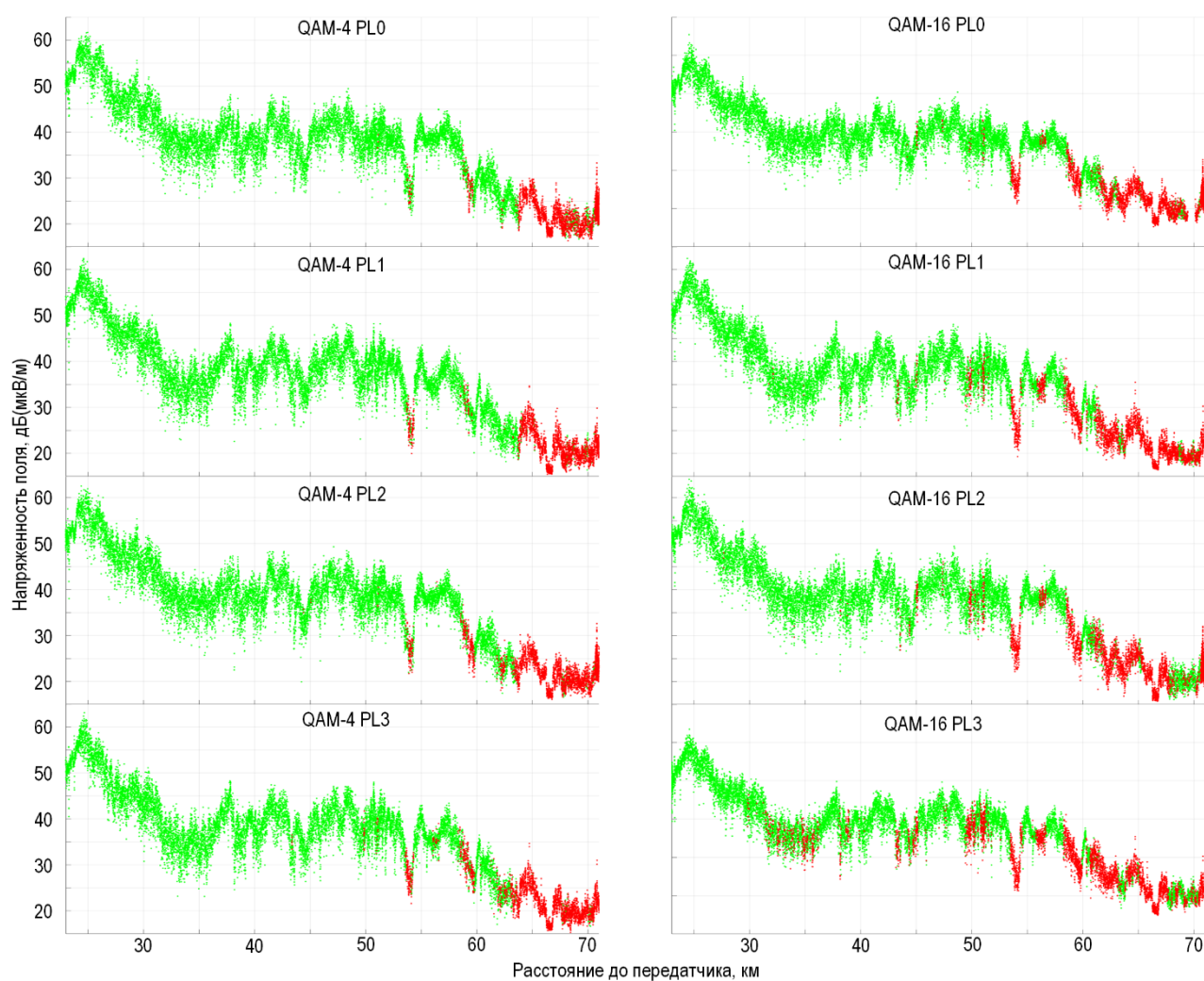


Рис. 5. Зависимости измеренной напряженности поля от расстояния до передатчика для маршрутов в северном направлении
Fig. 5. Dependences of the Measured Field Strength on the Distance to the Transmitter for routes in the North Direction

Графики значений SNR для прочих режимов работы передатчика DRM в данной статье не приводятся ввиду их сильной корреляции: измеренные значения SNR в зависимости от расстояния для всех маршрутов практически идентичны, а характеристика качества декодирования отличается в зависимости от требуемого отношения сигнал/шум для конкретного режима приема.

2) На расстояниях 54 и 59 км от передатчика происходят резкие провалы значений напряженности поля и SNR, обусловленные затенением естественными препятствиями. На рисунке 7 отмечено расположение передатчика и точек маршрута на расстояниях 54 и 59 км на цифровой карте высот SRTM, на рисунках 8, 9 приведены соответствующие расчеты радиолинии, иллюстрирующие затенение.

3) После 64 км даже в самом помехоустойчивом режиме прием практически прекращается из-за недостаточной напряженности поля.

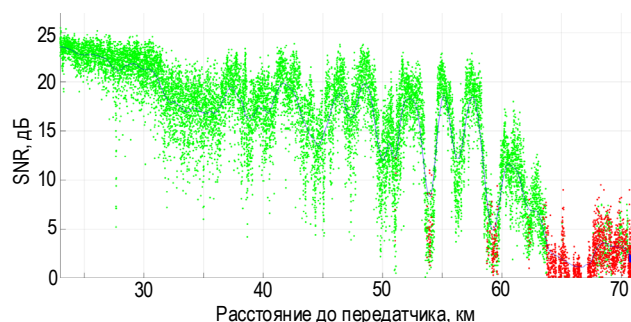


Рис. 6. Зависимость SNR от расстояния для северного маршрута при работе передатчика в режиме QAM-4, PL0 (мощность передатчика 99 Вт)

Fig. 6. Dependence of SNR on the Distance to the Transmitter for the QAM-4 PL0 99 W Route

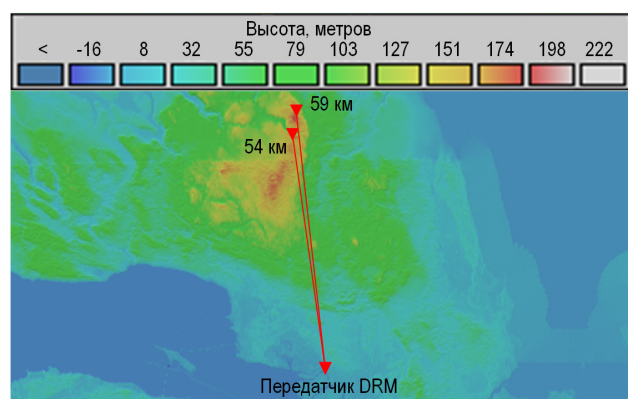


Рис. 7. Радиолиния между передатчиком и точками маршрута на 54 (60°27'19.18" С.Ш. 30°11'50.85" В.Д.) и 59 (60°30'13.35" С.Ш. 30°11'38.35" В.Д.) километрах на карте высот SRTM

Fig. 7. The Radio Line between the Transmitter and the Route Points at 54 (60°27'19.18" s. W. 30°11'50.85" v. d.) and 59 (60°30'13.35" s. W. 30°11'38.35" v. d.) Kilometers on the SRTM Altitude Map

На рисунках 10, 11 приведены результаты измерений при увеличенной на 8 дБ мощности передатчика (измерения № 1 и № 2 в таблице 2) для двух режимов работы DRM с наибольшей и наименьшей помехоустойчивостью. Мощность при

работе в режиме QAM-4 и PL0 составила 652 Вт, при QAM-16 и PL3, соответственно 631 Вт. Анализ показывает, что увеличение мощности передатчика на данном маршруте при модуляции QAM-4 практически не влияет на размер зоны обслуживания, т.к. добавленный энергетический выигрыш не способен перекрыть эффекты затенения на маршруте. При модуляции QAM-16 значительно улучшается прием в диапазоне от 30 до 40 км.

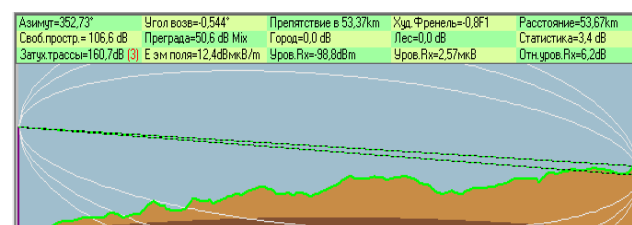


Рис. 8. Затенение сигнала препятствием на 54 км маршрута в точке 60°27'19.18" С.Ш. 30°11'50.85" В.Д.

Fig. 8. Shading of the Signal by an Obstacle on 54 km of the Route at the Point 60°27'19.18" s. W. 30°11'50.85" V. D.

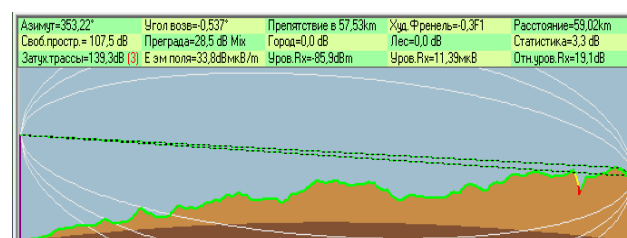
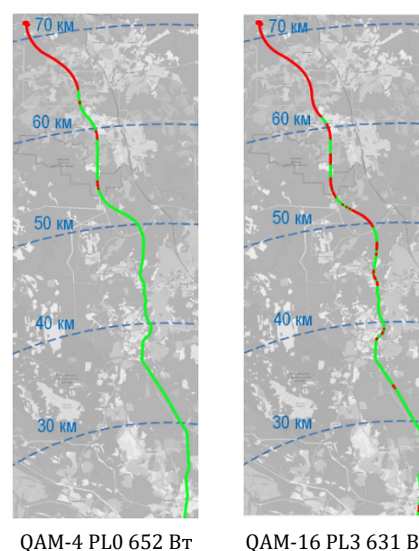


Рис. 9. Затенение сигнала препятствием на 59 км маршрута в точке 60°30'13.35" С.Ш. 30°11'38.35" В.Д.

Fig. 9. Shading of the Signal by an Obstacle on 59 km of the Route at the Point 60°30'13.35" s. W. 30°11'38.35" V. D.



QAM-4 PL0 652 W QAM-16 PL3 631 W

Рис. 10. Качество приема сигнала при работе передатчика в режиме QAM-4, PL0 при мощности 652 Вт и QAM-16, PL3 при мощности 631 Вт

Fig. 10. Signal Reception Quality at QAM-4 PL0 652 W and QAM-16 PL3 631 W

Для сопоставления результатов измерений границ зон обслуживания предлагается использовать гистограммы распределения значений напряженности поля, сгруппированные по интервалам определенной длительности в зависимости от расстоя-

ния до передатчика. На рисунке 12 данные представлены в виде нормированных гистограмм с накоплением по километровым интервалам, т.е. все измеренные значения, зафиксированные на маршруте в интервале от 23 до 24 км, разделены на корректно декодированные кадры (зеленый цвет) и ошибочные (красный цвет) с нормировкой к 100 %. Процедура повторена для всех интервалов.

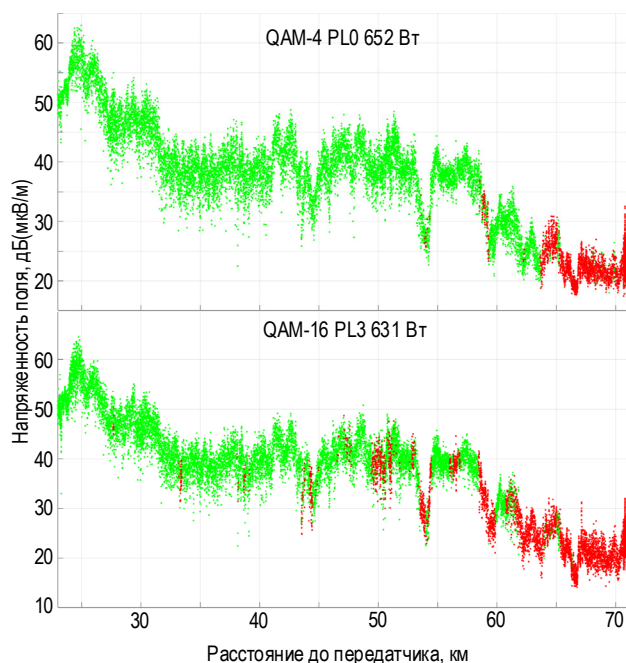


Рис. 11. Зависимости измеренной напряженности поля от расстояния до передатчика для маршрутов при работе передатчика в режиме QAM-4, PL0 и мощности 652 Вт и QAM-16, PL3 при мощности 631 Вт

Fig. 11. Dependences of the Measured Field Strength on the Distance to the Transmitter for Routes at QAM-4 PL0 652 W and QAM-16 PL3 631 W

На рисунке 12 совместно представлены результаты для рассмотренных ранее восьми режимов при мощности 99 Вт и двух режимов с увеличенной мощностью. Исходя из гистограмм, очевидно, что максимально достижимой точкой зоны обслуживания в северном направлении можно считать 64 км. Увеличение мощности передатчика не приведет к расширению зоны обслуживания, т.к. ее граница обусловлена затенением маршрута естественными препятствиями, что не позволяет довести параметры напряженности поля и SNR для затененных зон до требуемых значений путем увеличения мощности в разумных пределах.

Итак, внутри зоны обслуживания в любом режиме передачи будут присутствовать две малые зоны с невыполнением критерия качества на участках затенения на 54 и 59 км, для борьбы с которыми увеличение общей мощности передатчика также неэффективно. Решением в данной ситуации может стать применение активных или пассивных ретрансляторов локально, или же – изначальное планирование зоны покрытия радиостанции с исполь-

зованием множества синхронизированных передатчиков, работающих в одночастотной сети.

На основе анализа результатов также становится очевидным, что планирование для системы DRM в режиме мобильного приема является существенно более сложным процессом по сравнению с аналоговым радиовещанием. При проектировании покрытия УКВ-ЧМ радиостанций малые зоны с невыполнением критерия качества не представляют существенной проблемы, т.к. проявляются в виде кратковременных шумов на фоне основного сигнала и не являются раздражающими для слуха человека. В случае же DRM выпадение кадров сигнала приводит к резко акцентируемым на слух ошибкам.

Субъективное качество восприятия аналогового и цифрового аудиосигналов в зоне неуверенного приема значительно различается, и не в пользу ЦРВ. Нахождение на протяжении нескольких минут в зоне неуверенного приема может побудить слушателя DRM переключить станцию. Таким образом, учет малых зон становится для систем ЦРВ существенно более важным фактором.

Режим QAM-16, PL3 при мощности передатчика 99 Вт иллюстрирует, что в рамках данного конкретного маршрута параметры передатчика не являются оптимальными: несмотря на то, что на большей части маршрута вплоть до общей для всех режимов работы передатчика границы в 64 км сохраняется относительно высокая напряженность поля, субъективно зона обслуживания для многих пользователей будет ограничена существенно раньше, после первой продолжительной серии ошибок декодирования, уже на расстоянии 30 км.

№ 2: Восточное направление (трасса Р21 СПб – Мурманск)

Маршрут в восточном направлении проходил по трассе Р21 СПб – Мурманск, перечень измерений представлен в таблице 3. Картографические данные маршрута отображены на рисунке 13, напряженность поля – на рисунке 14, а гистограммы результатов измерений представлены на рисунке 15. В целях сопоставления проиллюстрирован отрезок с 38 по 80 км маршрута.

Маршрут проходит по равнинной местности, без участков затенения. В основной серии измерений при мощности передатчика 99 Вт в наиболее помехоустойчивом режиме первая кратковременная серия ошибок появляется на 65-ом километре, а границей зоны обслуживания можно считать расстояние 70–72 км. При уменьшении помехоустойчивости от режима к режиму происходит уменьшение размера зоны обслуживания, которая для QAM-16, PL3 составляет уже 30 км (на рисунке 16 отдельно приведена гистограмма для полного маршрута QAM-16, PL3 включающего с 9 по 80 км).

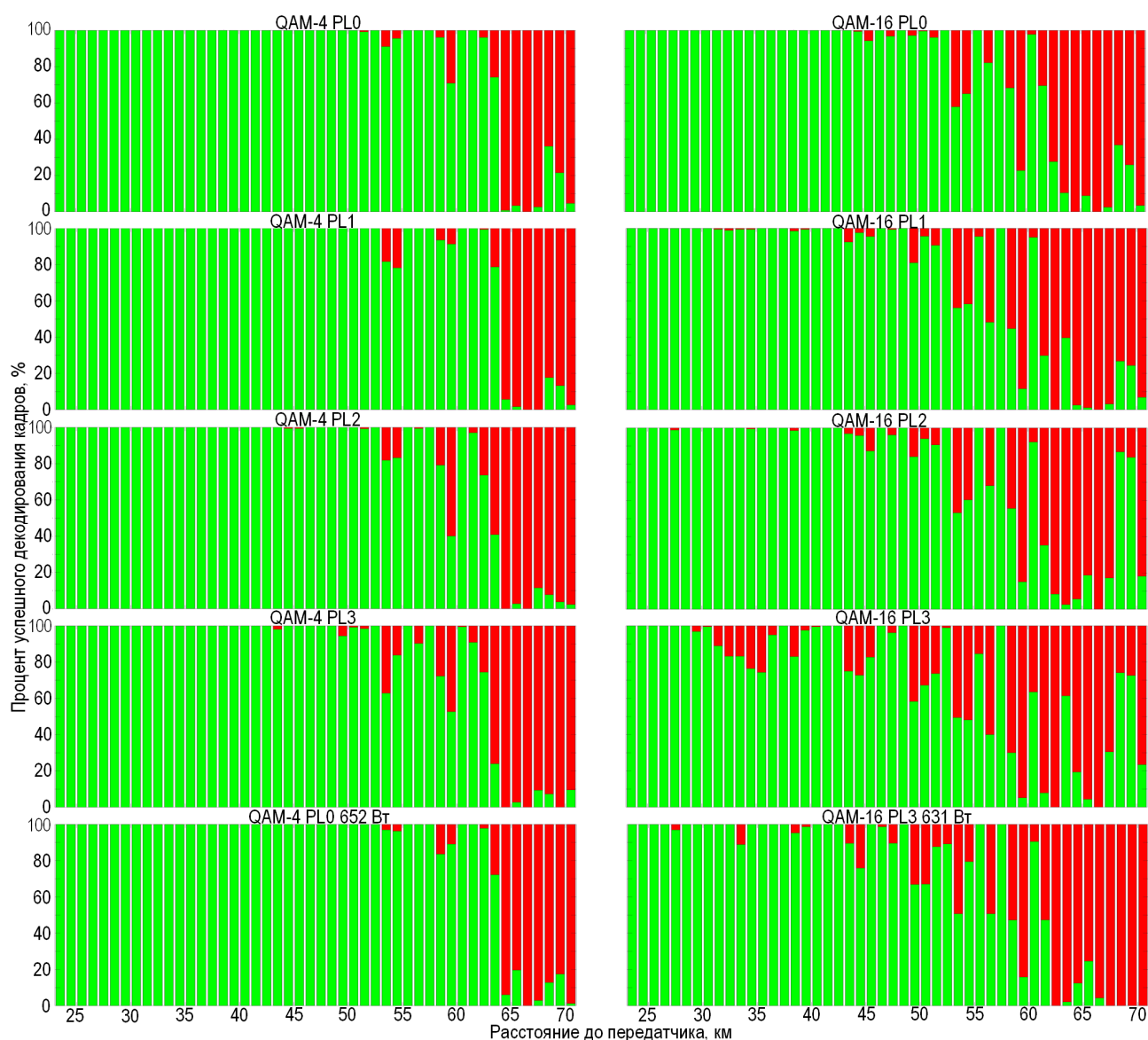


Рис. 12. Нормированные гистограммы качества декодирования сигнала в северном направлении

Fig. 12. Normalized Histograms of the Decoding Quality of the Signal in the North Direction

ТАБЛИЦА 3. Перечень измерений в восточном направлении

TABLE 3. List of Measurements in the Eastern Direction

№ п/п	Дата измерения	Режим передачи	Мощность передатчика, Вт	Длительность записи, мин	Расстояние до передатчика, км	
					минимальное	максимальное
1	23.12.2020	QAM-4, PL0	800	1:01:15	9	78
2	29.11.2020	QAM-16, PL3	631	1:09:15	9	80
3	08.05.2021	QAM-4, PL0	99	1:01:47	9	80
4		QAM-4, PL1		0:33:55	38	80
5		QAM-4, PL2		0:31:47	38	80
6		QAM-4, PL3		0:30:33	38	80
7		QAM-16, PL0		0:29:58	38	80
8		QAM-16, PL1		0:34:05	38	80
9		QAM-16, PL2		0:31:32	38	80
10		QAM-16, PL3		0:55:01	9	80

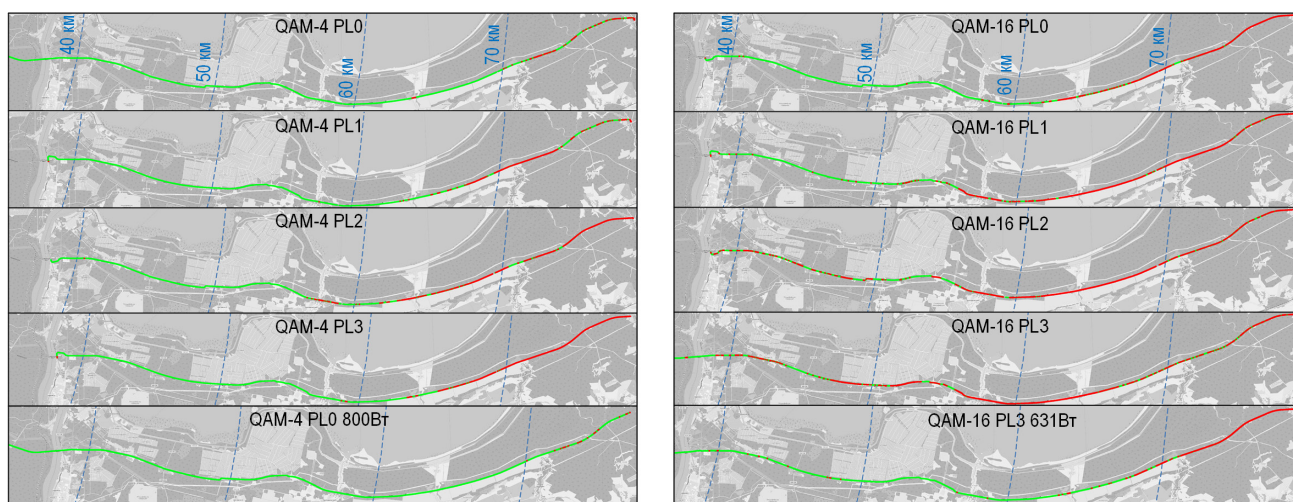


Рис. 13. Качество приема сигнала для разных режимов работы DRM в восточном направлении

Fig. 13. Signal Reception Quality for Different DRM Modes in the Eastern Direction

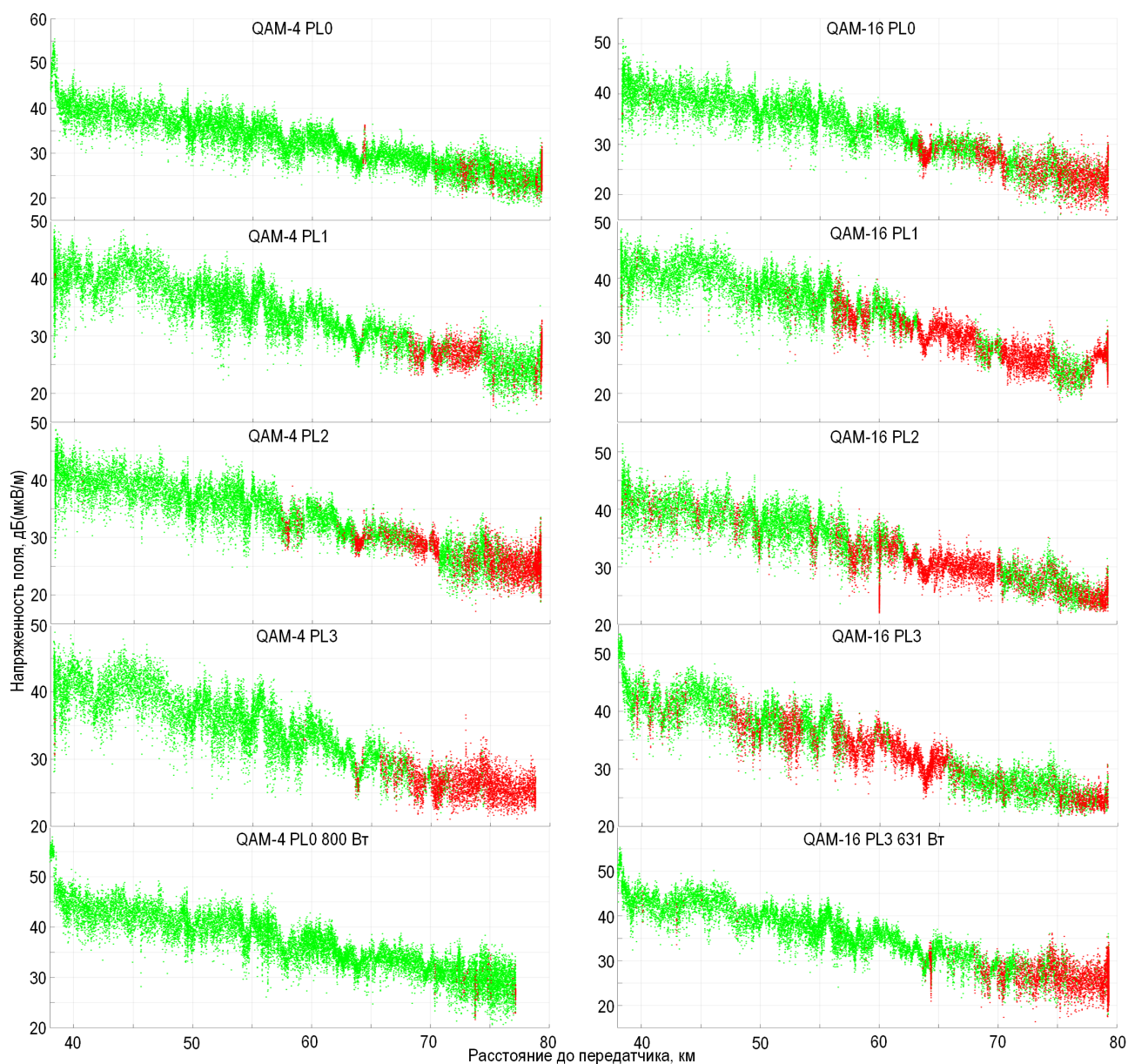


Рис. 14. Зависимости измеренной напряженности поля от расстояния до передатчика для маршрутов в восточном направлении

Fig. 14. Dependences of the Measured Field Strength on the Distance to the Transmitter for Routes in the Eastern Direction

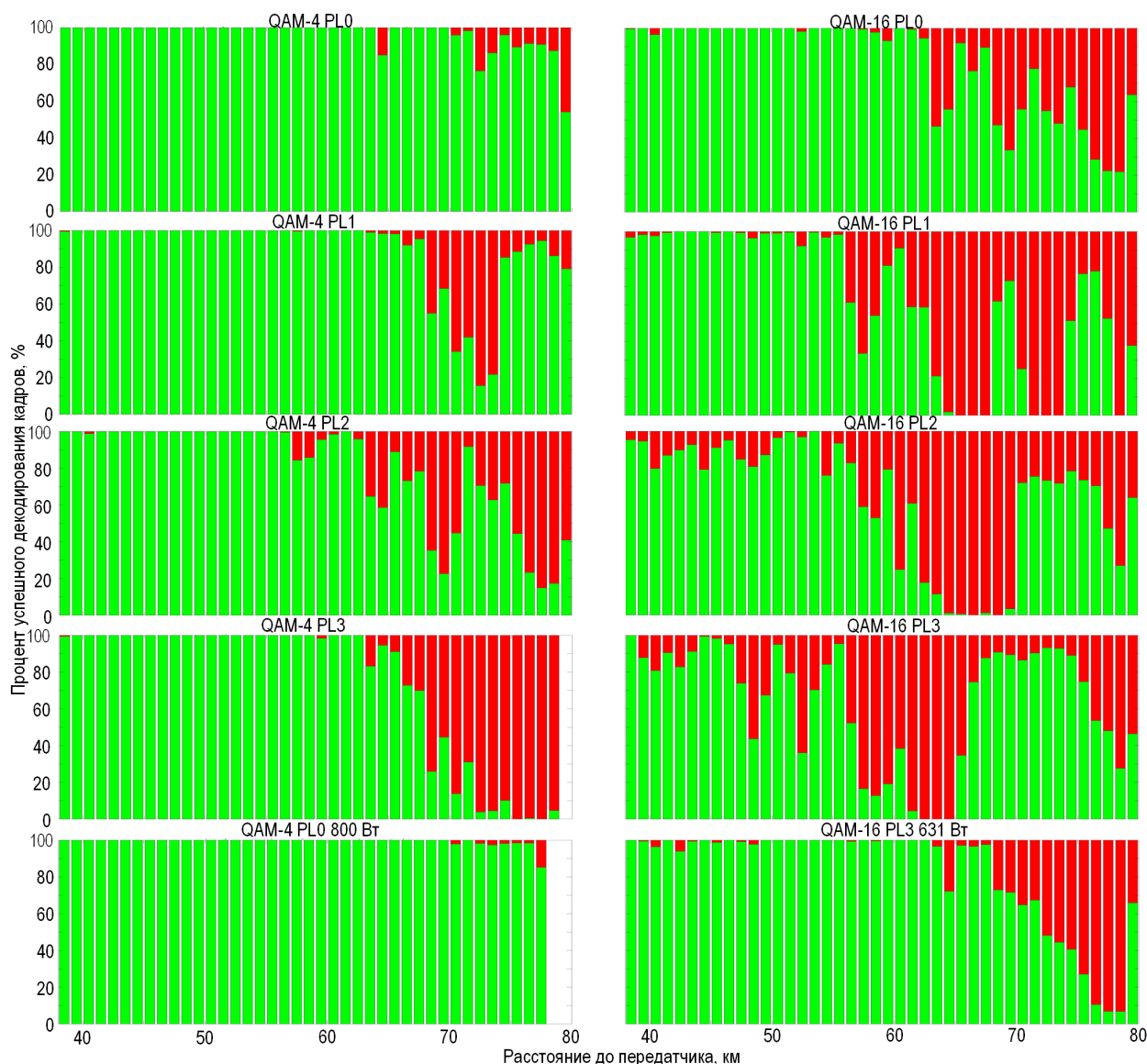


Рис. 15. Нормированные гистограммы качества декодирования сигнала в восточном направлении

Fig. 15. Normalized Histograms of the Decoding Quality of the Signal in the Eastern Direction

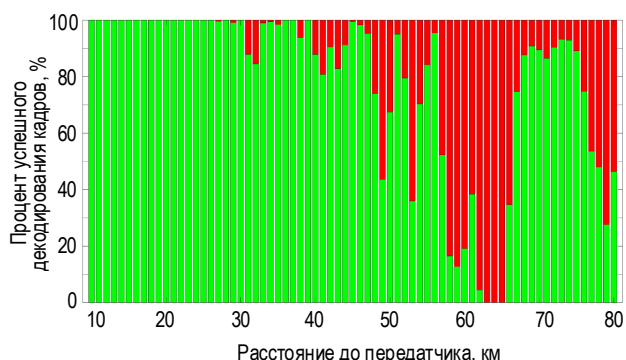


Рис. 16. Нормированная гистограмма качества декодирования сигнала в восточном направлении для режима работы QAM-16, PL3 с 9 по 80 км

Fig. 16. Normalized Histogram of the Decoding Quality of the Signal in the Eastern Direction for QAM-16 PL3 from 9 to 80 km

Серия измерений с увеличенной мощностью показывает, что, в отличие от северного направ-

ления, в условиях равнинного рельефа увеличение мощности позволяет расширить зону обслуживания (в случае, если ее размер все еще остается меньше расстояния оптической видимости). Причем выигрыш значительно различается для разных режимов помехоустойчивости: для наиболее помехоустойчивого режима QAM-4, PL0 качество приема существенно улучшилось только на небольшом участке в конце маршрута с 70 по 77 км; для наименее помехоустойчивого режима QAM-16, PL3 практическая граница зоны обслуживания возросла более чем в 2 раза – до 64 км.

Данные измерений в направлениях № 3 – юго-восточном и № 4 – западном, а также обобщение полученных результатов и оценка влияния схем модуляции-кодирования на размер зоны обслуживания цифрового радиовещания стандарта DRM в диапазоне ОВЧ, будут представлены во второй части статьи.

Список используемых источников

1. ETSI ES 201 980 V4.2.1 (2020-11). Digital Radio Mondiale (DRM). System Specification. European Broadcast Union, 2020.
2. Соколов С.А., Мышьянов С.В., Ковалгин Ю.А. Исследование аналого-цифровой DRM/ЧМ-зоны радиовещания в полосе частот 87,5-108 МГц // Электросвязь. 2021. № 4. С. 30–36. DOI:10.34832/ELSV.2021.17.4.003
3. ITU-R Document 6A/347-E (4/2010) Digital Radio Mondiale (DRM) Comments on Preliminary Draft Revision to Rec. ITU-R BS.1114-6. Annex 3.
4. ITU-R Document 6A/512-E (5/2011) Digital Radio Mondiale. Results of the DRM Field Trial in Band I in Turin, Italy.
5. ITU-R Document 6A/347-E (4/2010) Digital Radio Mondiale (DRM). Comments on Preliminary Draft Revision to Rec. ITU-R BS.1114-6. Annex 2.
6. ITU-R Document 6A/503-E (5/2011) Digital Radio Mondiale. Results of the DRM Field Trial In Sri Lanka.
7. ITU-R Document 6A/532-E (5/2011) Digital Radio Mondiale and British Broadcasting Corporation (BBC) Results of the DRM High Power Field Trial in the United Kingdom.
8. ITU-R Document 6A/504-E (5/2011) Digital Radio Mondiale. DRM Single Frequency Network Field Test Results.
9. ITU-R Document 6A/220-E (4/2013) Digital Radio Mondiale (DRM). Field Trial in Rome on the Possible Use of the DRM+ System in VHF Band II to Migrate the FM Sound Broadcasting Service to Digital Technology.
10. ITU-R Document 6A/306 (5/2017) Digital Radio Mondiale (DRM). Report on Implementation Trials of DRM in Cooperation Between Radio Republik Indonesia and the DRM Consortium.
11. Final Report of a DRM Trial in the FM-Band Westbury, Johannesburg, South Africa. V2.6I. Digital Radio Mondiale (DRM). 29 June 2018.
12. Results of the DRM Simulcast Field Trial in FM Band in the Russian Federation. Digital Radio Mondiale (DRM). Digiton Systems. 12 July 2020.
13. Medições de Campo do Sistema DRM+ (Digital Radio Mondiale) na Faixa de FM em Belo Horizonte com a Rádio Itatiaia. Ditel/06/2012.
14. Rec. ITU-R BS.1660-8 (06-2019) Technical Basis for Planning of Terrestrial Digital Sound Broadcasting in the VHF Band. 2019.
15. Rec. ITU-R SM.1875-3 (08/2019) DVB-T Coverage Measurements and Verification of Planning Criteria. 2019.
16. DRM/AM Monitoring Receiver RF-SE Manual RFmondial GmbH. 04-2019.
17. ETSI T. S. 102 349 V4.2.1 (2016-03). Digital Radio Mondiale (DRM). Receiver Status and Control Interface (RSCI). 2016.
18. A Free and Open Source Geographic Information System // QGIS. URL: <https://www.qgis.org/en/site> (дата обращения 29.08.2021)
19. Radio Mobile. URL: <http://www.ve2dbe.com/english1.html> (дата обращения 29.08.2021)
20. Ковалгин Ю.А. О применении программы Radio Mobile для расчета зон покрытия передатчиков, работающих в диапазоне ОВЧ // Труды учебных заведений связи. 2021. Т. 7. № 2. С. 24–36. DOI:10.31854/1813-324X-2021-7-2-24-36

* * *

Experimental Research of Modulation-Coding Schemes Influence on Size of the DRM Digital Radio Broadcasting Service Area in the VHF Band. Part 1

S. Myshyanov¹

¹The Bonch-Bruевич Saint-Petersburg State University of Telecommunications,
St. Petersburg, 193232, Russian Federation

Article info

DOI:10.31854/1813-324X-2021-7-3-101-112

Received 26th July 2021

Accepted 22th September 2021

For citation: Myshyanov S. Experimental Research of Modulation-Coding Schemes Influence on Size of the DRM Digital Radio Broadcasting Service Area in the VHF Band. Part 1. *Proc. of Telecom. Universities*. 2021;7(3): 101–112. (in Russ.) DOI:10.31854/1813-324X-2021-7-3-101-112

Abstract: The article presents the results of measurements of the parameters of the digital radio broadcasting DRM signal quality in the experimental zone of St. Petersburg in order to determine the influence of the transmission modes laid down in the DRM standard on the size of the service area.

Keywords: digital radio broadcasting, DRM, service area, mobile measurements.

References

1. ETSI ES 201 980 V4.2.1 (2020-11). *Digital Radio Mondiale (DRM). System Specification*. European Broadcast Union; 2020.
2. Sokolov S.A., Myshyanov S.V., Kovalgin Yu.A. Results of the Dm Simulcast Field Trials in 87,5–108 Mhz Band. *Electrosvaz*. 2021;4:30–36. DOI:10.34832/ELSV.2021.17.4.003 (in Russ.)
3. ITU-R Document 6A/347-E (4/2010) *Digital Radio Mondiale (DRM). Comments on Preliminary Draft Revision to Rec. ITU-R BS.1114-6*. Annex 3.
4. ITU-R Document 6A/512-E (5/2011) *Digital Radio Mondiale. Results of the DRM Field Trial in Band I in Turin, Italy*.
5. ITU-R Document 6A/347-E (4/2010) *Digital Radio Mondiale (DRM). Comments on Preliminary Draft Revision to Rec. ITU-R BS.1114-6*. Annex 2.
6. ITU-R Document 6A/503-E (5/2011) *Digital Radio Mondiale. Results of the DRM Field Trial In Sri Lanka*.
7. ITU-R Document 6A/532-E (5/2011) *Digital Radio Mondiale and British Broadcasting Corporation (BBC) Results of the DRM High Power Field Trial in the United Kingdom*.
8. ITU-R Document 6A/504-E (5/2011) *Digital Radio Mondiale. DRM Single Frequency Network Field Test Results*.
9. ITU-R Document 6A/220-E (4/2013) *Digital Radio Mondiale (DRM). Field Trial in Rome on the Possible Use of the DRM+ System in VHF Band II to Migrate the FM Sound Broadcasting Service to Digital Technology*.
10. ITU-R Document 6A/306 (5/2017) *Digital Radio Mondiale (DRM). Report on Implementation Trials of DRM in Cooperation Between Radio Republik Indonesia and the DRM Consortium*.
11. Final Report of a DRM Trial in the FM-Band Westbury, Johannesburg, South Africa. V2.6I. *Digital Radio Mondiale (DRM)*. 29 June 2018.
12. Results of the DRM Simulcast Field Trial in FM Band in the Russian Federation. *Digital Radio Mondiale (DRM). Digiton Systems*. 12 July 2020.
13. *Report DRM FM Field trials in Belo Horizonte, Brazil*. 06/2012.
14. Rec. ITU-R BS.1660-8 (06-2019) *Technical Basis for Planning of Terrestrial Digital Sound Broadcasting in the VHF Band*. 2019.
15. Rec. ITU-R SM.1875-3 (08/2019) *DVB-T Coverage Measurements and Verification of Planning Criteria*. 2019.
16. *DRM/AM Monitoring Receiver RF-SE Manual RFmondial GmbH*. 04-2019.
17. ETSI T. S. 102 349 V4.2.1 (2016-03). *Digital Radio Mondiale (DRM). Receiver Status and Control Interface (RSCI)*. 2016.
18. QGIS. A Free and Open Source Geographic Information System. Available from: <https://www.qgis.org/en/site> [Accessed 29th August 2021]
19. *Radio Mobile*. Available from: <http://www.ve2dbe.com/english1.html> [Accessed 29th August 2021]
20. Kovalgin Y. On the Application of the Radio Mobile Software for Calculating the Coverage Zones of Transmitters Broadcasting in the VHF Range. *Proc. of Telecom. Universities*. 2021;7(2):24–36. (in Russ.) DOI:10.31854/1813-324X-2021-7-2-24-36

Сведения об авторе:

**МЫШЬЯНОВ
Сергей Васильевич**

начальник научно-образовательного центра «Технологии информационных образовательных систем» Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М.А. Бонч-Бруевича, mishyanov@gmail.com