

Экспериментальное исследование влияния схем модуляции-кодирования на размер зоны обслуживания цифрового радиовещания стандарта DRM в диапазоне ОВЧ. Часть 2

С.В. Мышьянов¹✉*

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

Поступила после рецензирования 06.12.2021

Принята к публикации 06.12.2021

Ссылка для цитирования: Мышьянов С.В. Экспериментальное исследование влияния схем модуляции-кодирования на размер зоны обслуживания цифрового радиовещания стандарта DRM в диапазоне ОВЧ. Часть 2 // Труды учебных заведений связи. 2021. Т. 7. № 4. С. 138–146. DOI:10.31854/1813-324X-2021-7-4-138-146

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.

Данный материал является продолжением статьи [1]. В первой части раскрыта проблематика планирования зон обслуживания передатчиков системы цифрового радиовещания Digital Radio Mondiale (DRM) [2], дана постановка задачи исследований, описание условий измерений, приведены результаты измерений для маршрутов № 1 в северном и № 2 восточном направлениях. Во второй части представлены результаты измерений для маршрутов № 3 в юго-восточном и № 4 западном

направлениях, а также обобщение экспериментальных данных.

№ 3: Юго-восточное направление (трасса Е105 СПб – Москва)

Маршрут в юго-восточном направлении проходил по трассе Е105 СПб – Москва, перечень измерений представлен в таблице 1, качество приема сигнала для разных режимов DRM - на рисунке 1.

ТАБЛИЦА 1. Перечень измерений в юго-восточном направлении

TABLE 1. List of Measurements in the Southeast Direction

№ п/п	Дата измерения	Режим передачи	Мощность передатчика, Вт	Длительность записи, мин	Расстояние до передатчика, км	
					минимальное	максимальное
1	18.11.2020	QAM16 PL3	674	1:25:34	12	70
2	11.05.2021	QAM4 PL0	99	0:50:18	25	86
3		QAM4 PL1		0:42:44	26	78
4		QAM4 PL2		0:37:42	26	78
5		QAM4 PL3		0:39:17	26	78
6		QAM16 PL0		0:40:15	26	78
7		QAM16 PL1		0:34:44	26	78
8		QAM16 PL2		0:34:23	26	78
9		QAM16 PL3		1:13:06	26	78

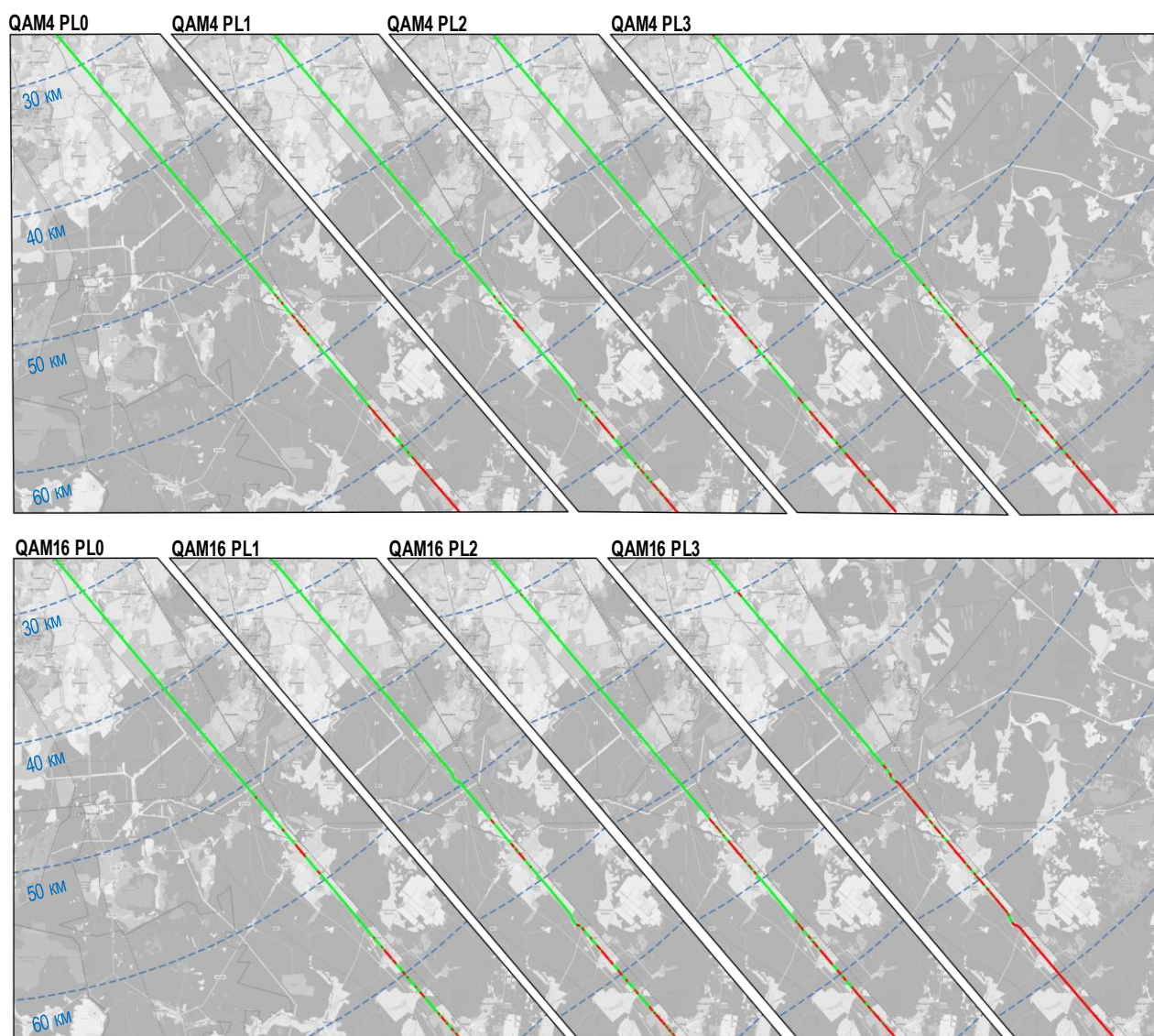


Рис. 1. Качество приема сигнала для разных режимов DRM в юго-восточном направлении

Fig. 1. Signal Reception Quality for Different DRM MODES in the Southeast Direction

На рисунке 2 представлены зависимости измеренной напряженности поля от расстояния до передатчика для соответствующих маршрутов, приведенных на рисунке 1. На рисунке 3 приведены гистограммы качества декодирования сигнала DRM измерительным приемником, сгруппированные по километровым интервалам в зависимости от расстояния до передатчика. В целях сопоставления на рисунках 1-3 проиллюстрирован отрезок с 26 по 78 км маршрута, который представляет собой практически прямую линию под небольшим углом к радиальному направлению удаления от передатчика.

Маршрут проходит по равнинной местности без резких перепадов высот и затенений естественными препятствиями. Минимальная высота над уровнем моря (15 м) наблюдается на начальном отрезке маршрута и возрастает при удалении от СПБ до максимальной в 65 м.

В г. Тосно присутствовали сильные помехи в интервалах 55–60 и 65–70 км, на графиках напряженности поля прослеживается увеличение уровня при одновременном падении отношения сигнал/шум (SNR, аббр. от англ. Signal-to-Noise Ratio). Помеха на 65–70 км представляла собой незарегистрированную УКВ-ЧМ радиостанцию, которая перебивала при прослушивании звуковой сигнал «Comedy Radio» на частоте 95,9 МГц и была стационарной, т.е. фиксировалась на всех итерациях измерений. Очевидно, что проценты некорректно декодированных кадров на гистограммах рисунка 3 в указанных интервалах связаны преимущественно с данными помехами, что затрудняет оценку градации границ зоны обслуживания в зависимости от режима. По всей видимости, граница лежит в 70–72 км для наиболее помехоустойчивого режима QAM4 PL0, а разница при переключении между режимами существенно меньше в сравнении с похожим по ха-

рактору рельефа восточным направлением. Характеристики приема от QAM4 PL0 до QAM16 PL2 очень похожи, и лишь QAM16 PL3 показывает себя существенно хуже, ограничивая зону обслуживания на 48 км еще до участка влияния стационарной помехи (ошибки на 31 км также обусловлены помехой).

Измерения в юго-восточном направлении показывают иллюстрируют проблему наличия в радиозфере большого количества помех, существенно превышающих уровень промышленного

шума, заложенного в критерии планирования зон обслуживания радиостанций. Причем, используемый режим помехоустойчивости передатчика DRM в данной ситуации мало влияет на возможность противостоять подобным помехам ввиду их большой мощности.

Измерение на повышенной мощности (674 Вт) проводилось при QAM16 PL3 с неполным совпадением маршрута относительно основной серии измерений. Соответствующие иллюстрации приведены на рисунках 4 и 5.

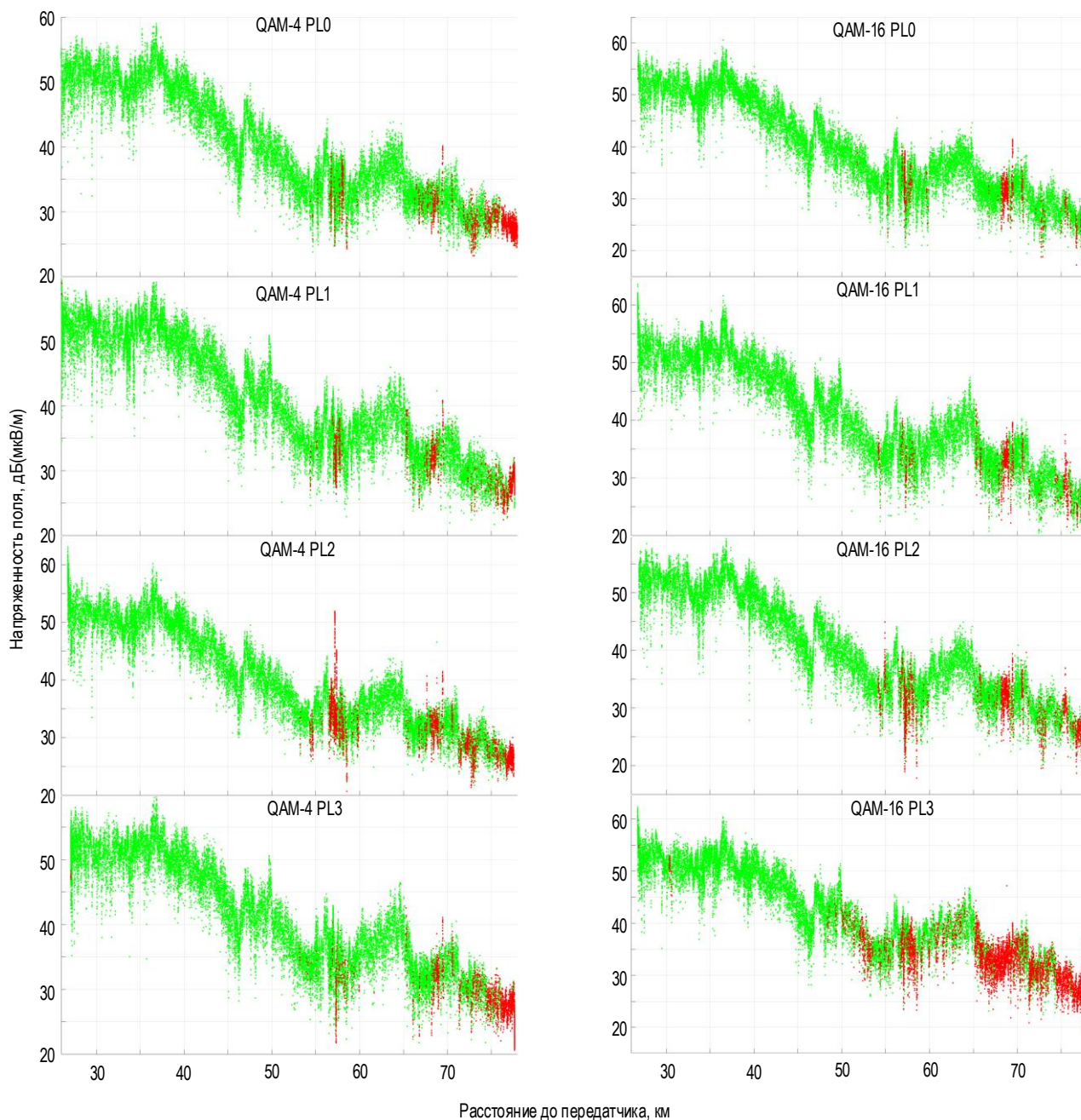


Рис. 2. Зависимости измеренной напряженности поля от расстояния до передатчика для маршрутов в юго-восточном направлении

Fig. 2. Dependences of the Measured Field Strength on the Distance to the Transmitter for Routes in the Southeast Direction

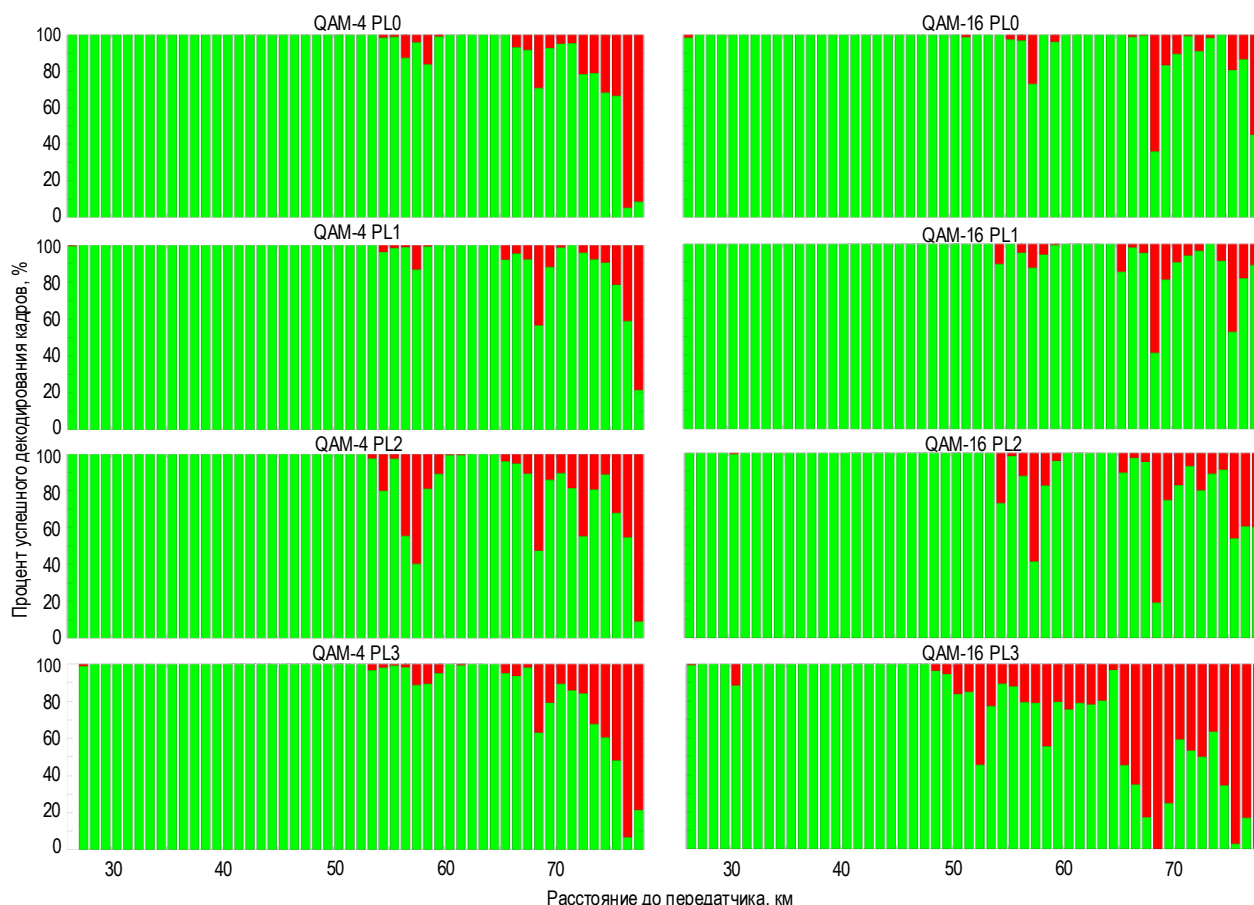


Рис. 3. Нормированные гистограммы качества декодирования сигнала в юго-восточном направлении

Fig. 3. Normalized Histograms of the Decoding Quality of the Signal in the South-Eastern Direction

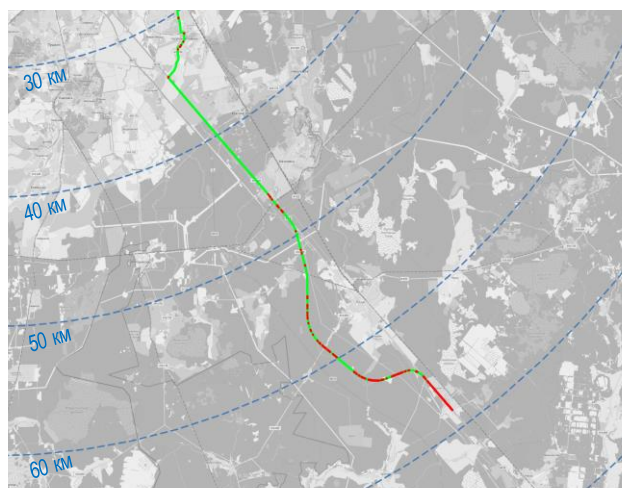


Рис. 4. Качество приема сигнала в юго-восточном направлении при QAM16 PL3 674 Вт

Fig. 4. Signal Reception Quality in the Southeast Direction at QAM16 PL3 674 Wt

Результаты показывают, что повышение мощности передатчика в данном случае, также как и в восточном направлении, позволяет существенно улучшить качество приема и сдвинуть границу зоны обслуживания ближе к геометрическому горизонту распространения радиоволн.

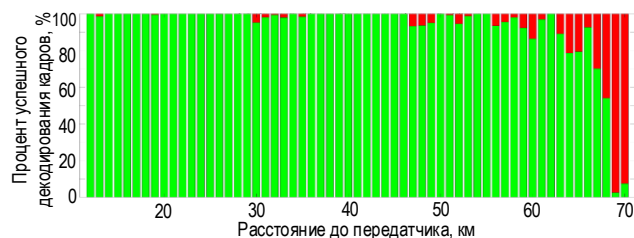


Рис. 5. Нормированная гистограмма качества декодирования сигнала в юго-восточном направлении при QAM16 PL3 674 Вт

Fig. 5. Normalized Histogram of the Decoding Quality of the Signal in the South-Eastern Direction at QAM16 PL3 674 Wt

№ 4: Западное направление (СПб – Сосновый бор)

Маршрут в западном направлении проходил из Санкт-Петербурга в Сосновый Бор, перечень измерений представлен в таблице 2. Измеренные параметры качества в западном направлении представлены на рисунках 6–8. В целях сопоставления проиллюстрирован отрезок с 42 по 68 км маршрута. Маршрут до 57 км проходит вдоль берега Финского залива, в интервале 57–59 км радиальное направление меняется на окружное к передатчику и далее до конца маршрута вновь на радиальное.

ТАБЛИЦА 2. Перечень измерений в западном направлении

TABLE 2. List of Measurements in the Western Direction

№ п/п	Дата измерения	Режим передачи	Мощность передатчика, Вт	Длительность записи, мин	Расстояние до передатчика, км	
					минимальное	максимальное
1	01.12.2020	QAM4 PL0	652	0:51:48	14	70
2	30.11.2020	QAM16 PL3	631	0:37:39	38	75
3	13.05.2021	QAM4 PL0	99	0:46:10	35	77
4		QAM4 PL1		0:24:25	42	68
5		QAM4 PL2		0:22:53	42	68
6		QAM4 PL3		0:21:51	42	68
7		QAM16 PL0		0:33:59	35	68
8		QAM16 PL1		0:31:29	35	68
9		QAM16 PL2		0:37:15	35	69
10		QAM16 PL3		0:39:19	42	77
11		QAM16 PL3		1:14:08	10	69

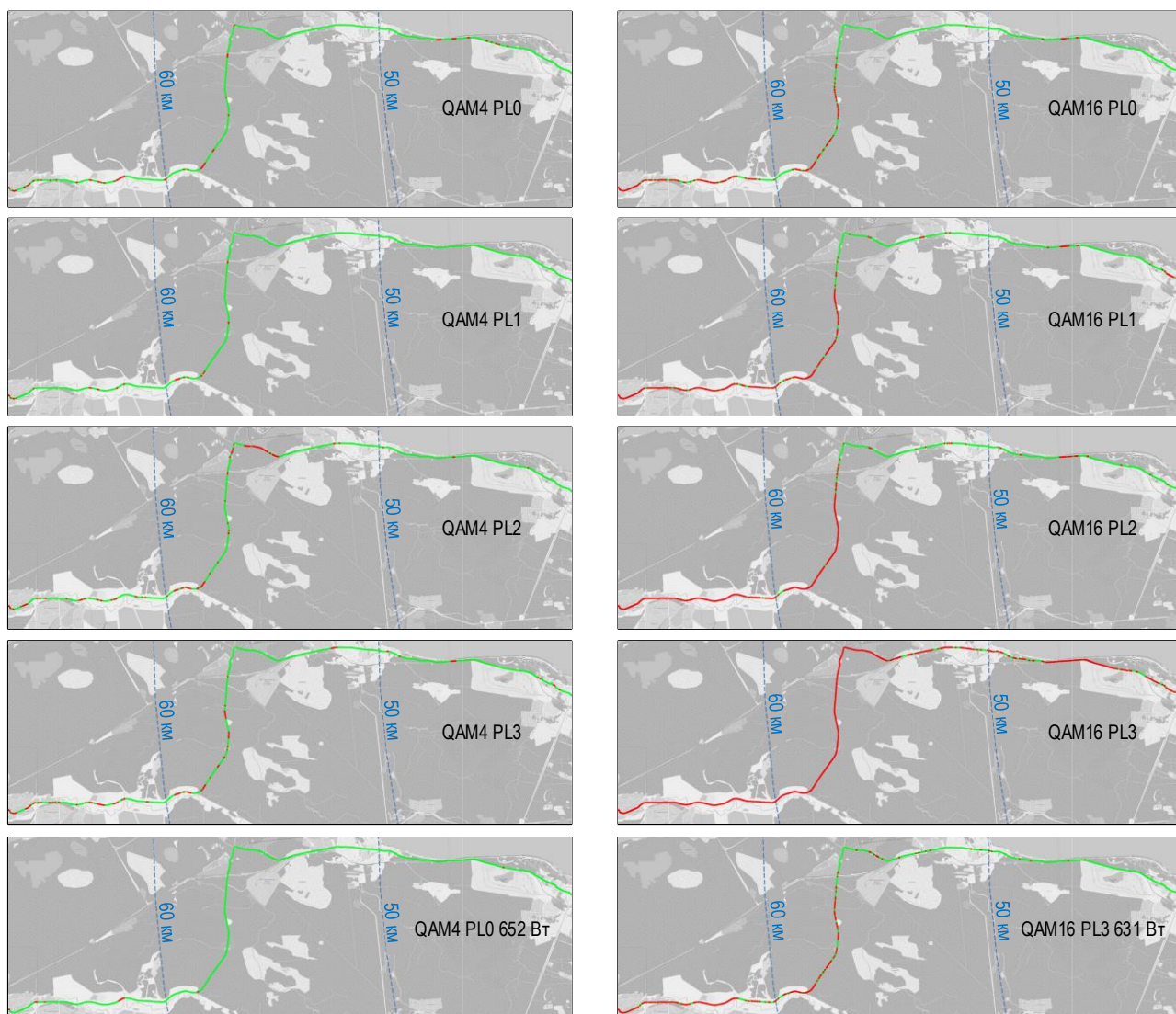


Рис. 6. Качество приема сигнала для разных режимов DRM в западном направлении

Fig. 6. Signal Reception Quality for Different DRM Modes in the Western Direction

До 57 км напряженность поля достаточна для корректного декодирования сигнала в режимах от QAM4 PL0 до QAM16 PL2, возникающие ошибки преимущественно связаны с помехами на маршруте. Напряженность поля резко падает после 57 км, и для режимов с QAM4 оказывается достаточной для приема сигналов вплоть до окончания зоны на 68 км маршрута, а для режимов QAM16 ограничением можно считать 57 км. Начиная с 69 км, при въезде в Сосновый Бор присутствует сильная помеха, не позволяющая декодировать

сигнал. Режим QAM16 PL3 аналогично предыдущим направлениям показывает существенно большее ухудшение характеристик приема, зона обслуживания ограничивается 41 км (гистограмма полного маршрута на рисунке 9). Увеличение мощности для QAM4 PL0 не расширяет зону обслуживания, ввиду ее ограничения сильной помехой, но улучшает качество приема в пределах всей зоны до близкого к безошибочному; для QAM16 PL3 существенно улучшает прием в части маршрута до 57 км до сопоставимого с QAM16 PL1 99Вт качества.

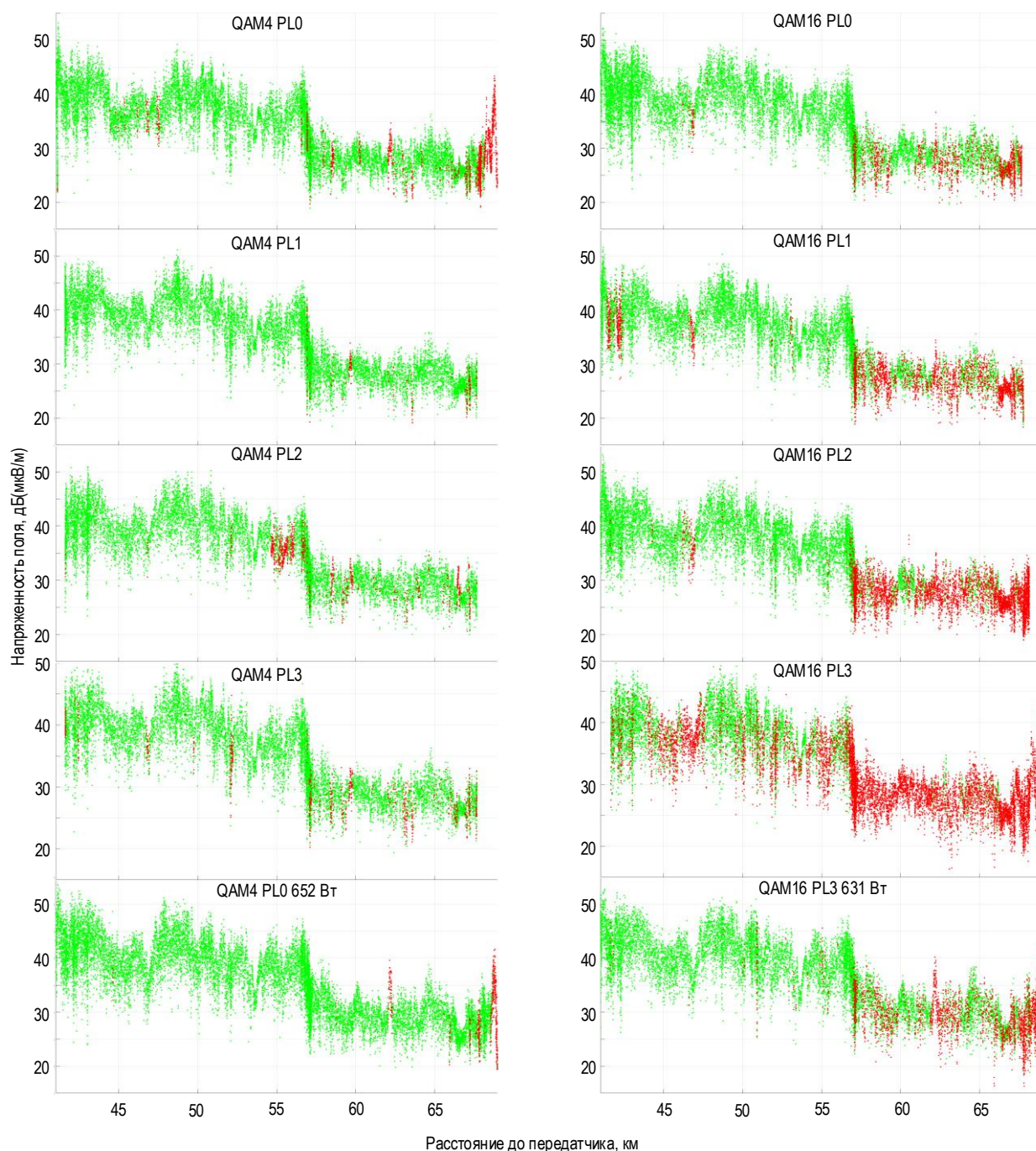


Рис. 7. Зависимости измеренной напряженности поля от расстояния до передатчика для маршрутов в западном направлении
Fig. 7. Dependences of the Measured Field Strength on the Distance to the Transmitter for Routes in the Western Direction

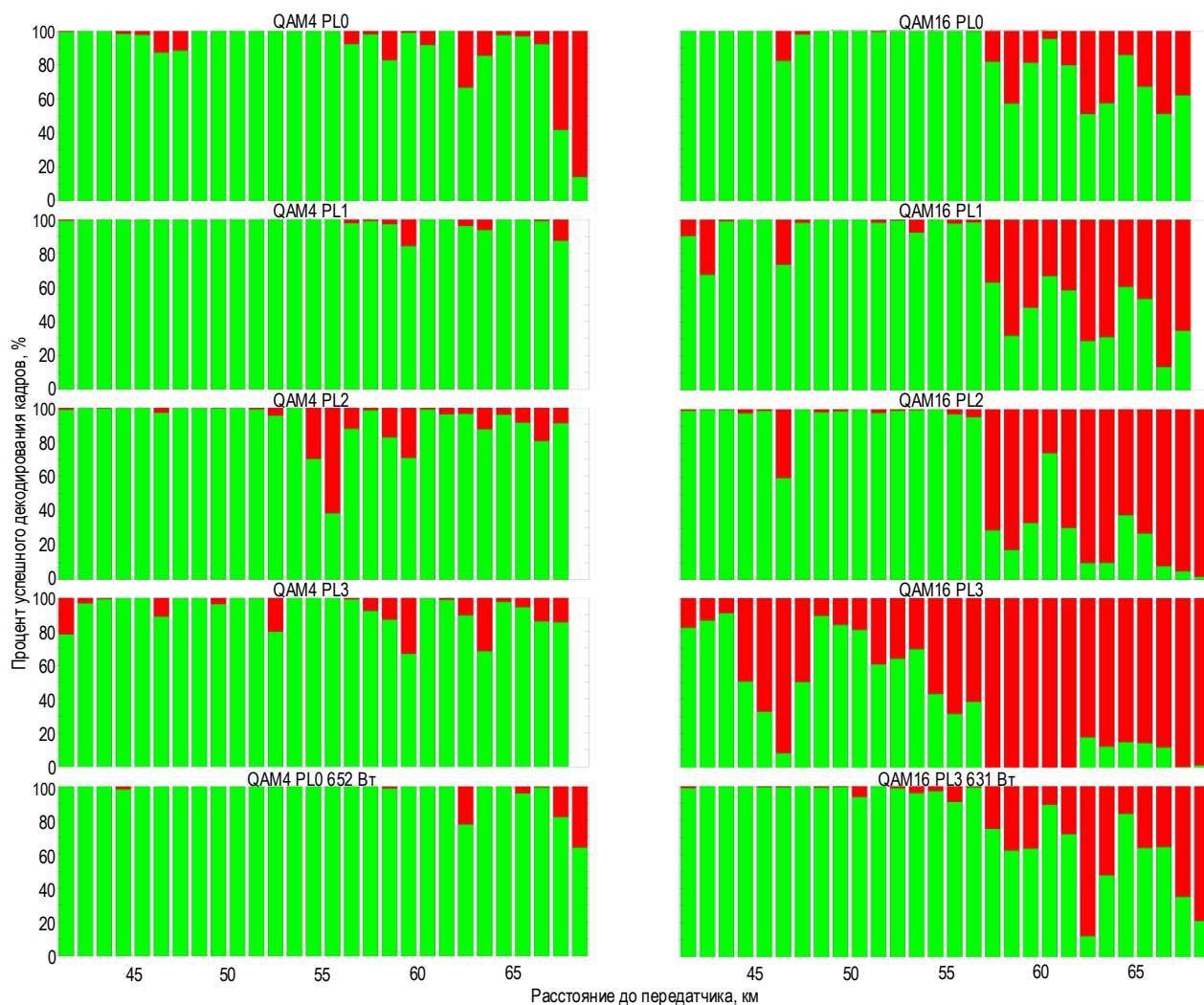


Рис. 8. Нормированные гистограммы качества декодирования сигнала в западном направлении

Fig. 8. Normalized Histograms of the Decoding Quality of the Signal in the Western Direction

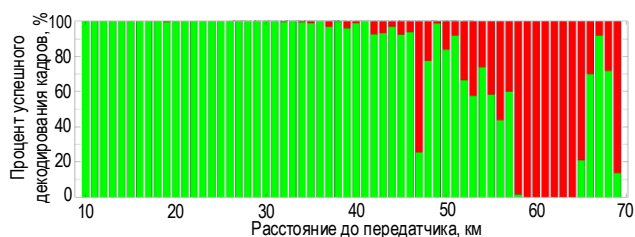


Рис. 9. Нормированная гистограмма качества декодирования сигнала в западном направлении при QAM16 PL3 99 Вт, полный маршрут

Fig. 9. Normalized Histogram of the Decoding Quality of the Signal in the Western Direction at QAM16 PL3 99 W, Full Route

Выводы по результатам исследований

Оценка границ зон обслуживания в основной серии измерений (*O*) и при повышенной мощности (*P*) на основании полученных экспериментальных данных в опытной зоне Санкт-Петербурга для наиболее (QAM4 PL0) и наименее (QAM16 PL3) помехоустойчивых режимов передачи DRM представлена в таблице 3.

ТАБЛИЦА 3. Интерпретация границ зон обслуживания, полученных в ходе измерений

TABLE 3. Interpretation of the Boundaries of Service Areas Obtained during Measurements

Направление	Граница зоны обслуживания, км			
	при QAM4 PL0		при QAM16 PL3	
	<i>O</i>	<i>P</i>	<i>O</i>	<i>P</i>
северное	64	64	31	49
восточное	72	77	30	64
юго-восточное	72	–	48	54
западное	68	68	41	57

Результаты измерений показывают следующее.

Во-первых, для маршрутов с ровным рельефом без резких провалов напряженности поля при применении помехоустойчивых режимов передачи увеличение мощности передатчика незначительно увеличивает зону обслуживания, т. к. ее ограничение обусловлено уменьшением напряженности поля до уровня радишумов при достижении гео-

метрического горизонта распространения радиоволн; при применении менее помехоустойчивых режимов передачи эффект увеличения зоны обслуживания более выражен, т. к. на продолжительном отрезке маршрута увеличивается запас на флуктуации радиосигнала до требуемых декодером значений SNR; для наименее помехоустойчивого режима QAM16 PL3 выигрыш в километрах достигает кратной разницы.

Во-вторых, для маршрутов, на которых ограничением является естественное затенение или наличие сильной помехи при применении помехоустойчивых режимов кодирования увеличение мощности передатчика мало влияет на размер зоны обслуживания, т. к. для компенсации эффекта затенения требуется существенно больший запас мощности, при этом в зонах неуверенного приема качество декодирования улучшается; при менее помехоустойчивых схемах кодирования увеличение мощности дает значительный эффект для расширения зоны обслуживания.

В ходе проведения измерений было выявлено большое количество помех выше среднего уровня шумов на всех маршрутах, как в условиях городской застройки, так и в сельской местности. Некоторые помехи были стационарными и проявлялись при разнесенных во времени измерениях. Очевидно, что преодоление данной проблемы методами радиопланирования невозможно и полностью зависимо от качества радиочастотного контрoля.

В целом, на сегодняшний день не разработан систематизированный подход к определению границ зоны обслуживания для системы DRM. При радиопланировании текущая практика апеллирует к граничным значениям напряженности поля, включающим запасы на быстрые и медленные замирания сигнала как для цифровых, так и для аналоговых систем [3–6]. Между тем характеристика ухудшения качества сигнала на границах зоны для цифровых и аналоговых систем существенно отличается. Несмотря на то, что критерий качества приема сигнала DRM является объективным параметром, а прием сигнала DRM носит выражено пороговый характер: при определении границ зоны обслуживания в процесс неизбежно вовлечена субъективная оценка слушателей, т. е. при въезде в зону неуверенного приема часть слушателей сочтет качество приема неприемлемым и переключит станцию раньше, а часть – позже. Пороговый эффект цифровых систем в зоне неуверенного приема может значительно ухудшить субъективное восприятие звукового сигнала и существенно снизить зону обслуживания.

Учет малых зон с невыполнением критерия качества для цифровых систем является более ответственной задачей в сравнении с аналоговыми, т. е. если даже передатчик способен обеспечить достаточную среднюю напряженность поля вплоть до расстояния геометрического горизонта, но на маршруте движения слушателя будет присутствовать продолжительный участок неуверенного приема, реальная зона обслуживания для многих пользователей будет ограничена этим участком.

Как было отмечено выше, к определению границ зон обслуживания цифровой системы сложно применить объективный критерий ввиду субъективной природы восприятия ухудшения качества звука. В качестве одного из инструментов оценки данного параметра для режима мобильного приема предлагается ввести использование нормированных гистограмм распределения кадров DRM принятых с ошибками и без в дополнение к традиционно используемым формам представления данных мобильных измерений.

Возможности по гибкой настройке параметров мультимплекса DRM в части выбора схем модуляции-кодирования являются преимуществом стандарта. Выбор комбинации схемы модуляции и кодирования при передаче сигнала влияет на помехоустойчивость приема и объем данных, которые можно передать. Выбор параметров при проектировании радиостанции остается за вещателем и всегда является компромиссом между размером зоны обслуживания радиостанции и скоростью цифровых потоков (т. е. количеством программ, которые можно передать в одном мультимплексе). Стандарт позволяет включить в один мультимплекс, транслируемый в полосе частот 100 кГц – до 4 аудиопрограмм, каждая из которых кодируется наиболее эффективным на сегодняшний день кодеком xHE-AAC, а также широкий перечень дополнительных звуковых мультимедийных данных. Однако такая гибкость системы является скорее препятствием для практического внедрения технологии вещателями в условиях отсутствия исчерпывающих рекомендаций, позволяющих установить взаимосвязи между объемом передаваемого контента, требуемыми энергетическими характеристиками передающего оборудования и конечным охватом слушателей цифрового радиовещания.

Полученные в ходе измерений систематизированные статистические данные о распределении значений напряженности поля, SNR и уровня радишумов в дальнейшем будут использованы при разработке методики радиопланирования и радиоконтроля зон обслуживания передатчиков DRM в ОВЧ диапазоне.

Список используемых источников

1. 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
2. ETSI ES 201 980 V4.2.1 (2021-01) Digital Radio Mondiale (DRM). System Specification. European Broadcast Union.

3. Рекомендация МСЭ-R BS.1660-8 (06/2019) Техническая основа для планирования наземного цифрового звукового радиовещания в полосе ОВЧ.
4. Рекомендация МСЭ-R P.1546-6 (08/2019) Метод прогнозирования для трасс связи пункта с зоной для наземных служб в диапазоне частот от 30 МГц до 4000 МГц.
5. Рекомендация МСЭ-R P.1812-6 (09/2021) Метод прогнозирования распространения сигнала на конкретной трассе для наземных служб «из пункта в зону» в диапазонах УВЧ и ОВЧ.
6. 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 2

S. Myshyanov¹ 

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

Article info

DOI:10.31854/1813-324X-2021-7-4-138-146

Received 26th July 2021

Revised 6th December 2021

Accepted 6th December 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 2. *Proc. of Telecom. Universities*. 2021;7(4):138–146. (in Russ.) DOI:10.31854/1813-324X-2021-7-4-138-146

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. 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. *Proceedings of Telecommunication Universities*. 2021;7(3):101–112. (in Russ.) DOI:10.31854/1813-324X-2021-7-3-101-112
2. ETSI ES 201 980 V4.2.1 (2021-01) *Digital Radio Mondiale (DRM). System Specification*. European Broadcast Union.
3. Rec. ITU-R BS.1660-8 (06/2019) *Technical basis for planning of terrestrial digital sound broadcasting in the VHF band*.
4. Rec. ITU-R P.1546-6 (08/2019) *Method for point-to-area predictions for terrestrial services in the frequency range 30 MHz to 4 000 MHz*.
5. Rec. ITU-R P.1812-6 (09/2021) *A path-specific propagation prediction method for point-to-area terrestrial services in the frequency range 30 MHz to 6 000 MHz*.
6. 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
 <https://orcid.org/0000-0002-7511-012X>