

О применении программы Radio Mobile для расчета зон покрытия передатчиков, работающих в диапазоне ОВЧ

Ю.А. Ковалгин^{1*}

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

*Адрес для переписки: kowalgin@sut.ru

Информация о статье

Поступила в редакцию 24.03.2021

Принята к публикации 24.05.2021

Ссылка для цитирования: 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

Аннотация: Рассмотрена особенность применения программы Radio Mobile для расчета зон покрытия аналоговых ЧМ- и цифровых DRM-передатчиков; показано, при каких условиях вводимых первичных данных обеспечивается получение достоверных результатов; установлено соотношение уровней обоих передатчиков, при котором обеспечивается равенство их зон покрытия.

Ключевые слова: цифровое вещание, зона покрытия ОВЧ-передатчика.

Вводная часть

Используя первичные данные рекомендаций МСЭ-R таких, как рекомендация МСЭ-R BS.1660-8. «Техническая основа для планирования наземного цифрового звукового радиовещания в полосе ОВЧ» [1] и рекомендация МСЭ-R P.1546-6. «Метод прогнозирования для трасс связи "пункта с зоной" для наземных служб в диапазоне частот от 30 МГц до 4000 МГц» [2] и ряда других, мы можем разработать методику расчета зоны покрытия цифровых DRM-передатчиков, работающих в диапазоне ОВЧ. Подход к ее разработке, последовательность процедур, необходимых для расчета, подробно изложены в [1–5]. Общий подход к расчету зон покрытия аналоговых и цифровых передатчиков представлен в [6]. Анализ представленного материала свидетельствует о том, что результаты вычислений зависят от множества факторов, тщательный учет которых достаточно трудоемок, требует выполнения очень большого числа рутинных операций. В частности, необходим учет таких факторов, как выходная мощность передатчика, чувствительность приемника, несущая частота передатчика, усиление и диаграммы направленности передающей и приемной антенн, потери в фидере, затухание радиоволн при распространении в воздушной среде, профили трасс с высотными отметками для выбранных радиальных направлений. Кроме учета сведений, представленных в указанных рекомендациях, расчет предпо-

лагает также и нанесение полученных зон покрытия на карты местности, что неизбежно сопровождается применением дополнительных программных продуктов с детальной проработкой всех особенностей рельефа местности для каждого из выбранных радиальных направлений, иначе говоря точного учета профилей трасс с их высотными отметками. А это, в свою очередь, требует выполнения дополнительного пласта вычислений, необходимых для учета распределения напряженности поля передатчика по покрываемой территории. С этой точки зрения автоматизация данных вычислений полезна для практики, востребована жизнью, что подтверждается наличием соответствующих программных пакетов. Однако до сих пор в публикациях отсутствуют сведения о достоверности получаемых с их помощью результатов.

Целью настоящей работы и является решение данной задачи.

Основная часть

Для расчета зоны покрытия прежде всего необходимо знание минимального уровня напряженности поля передатчика в точке приема. Обычно он выполняется для высоты приемной антенны 10 м над уровнем Земли для $T = 50 \%$ времени и $L = 50 \%$ мест охвата в зоне покрытия и затем корректируется с учетом условий приема.

Рекомендация МСЭ-R BS.1660-8 [1] определяет следующие условия приема:

- FX (аббр. от англ. Fixed Reception) – стационарный прием, высота расположения приемной антенны составляет 10 м над уровнем земли;
- PO (аббр. от англ. Portable Outdoor) – прием вне помещения на переносные устройства;
- PO-H (от англ. Handheld Portable Outdoor) – прием вне помещения на портативные переносные устройства;
- PI (аббр. от англ. Portable Indoor) – прием в помещении на переносные устройства;
- PI-H (от англ. Handheld Portable Indoor) – прием в помещении на портативные переносные устройства.

Условия PO и PI моделируют прием в пригородной зоне с хорошими условиями и приемником с всенаправленной антенной; условия PO-H и PI-H моделируют ситуацию приема в городской среде с плохими условиями приема и с приемником, оборудованным внешней антенной. Прием в помещении предполагает, что приемная антенна расположена на высоте не менее 1,5 м над уровнем пола в помещениях первого этажа, имеющих окно. Прием вне помещения также предполагает, что антенна расположена на высоте 1,5 м над уровнем земли.

Рекомендация МСЭ-R BS.1660-8 [1] расчет минимальной напряженности поля в точке приема требует вести последовательно по приведенным ниже формулам.

Входная мощность шума приемника $P_{ш.пр}$:

$$P_{ш.пр} = F + 10 \log_{10}(k \cdot T_0 \cdot B), \text{ дБВт},$$

где: $F = 7$ дБ – коэффициент шума приемника (дБ); k – постоянная Больцмана ($k = 1,38 \cdot 10^{-23}$ Дж/К); $T_0 = 290$ К – абсолютная температура; B – ширина полосы шума приемника (Гц).

Минимальный уровень мощности полезного сигнала на входе приемника $P_{s,min}$:

$$P_{s,min} = (C/N)_{min} + P_{ш.пр}, \text{ дБ(Вт)},$$

где $(C/N)_{min}$ – минимальное отношение сигнал/шум:

– для DRM-тракта – это значение на входе декодера DRM-приемника (дБ), необходимое для получения битовой ошибки на выходе декодера не более чем $BER = 10^{-4}$, зависит от вида модуляции и скорости кода, т. е. от помехозащищенности цифрового потока;

– для ЧМ-тракта – это значение, необходимое для получения отношения сигнал/шум в канале звука ЧМ-приемника не менее 60 дБ.

Минимальная плотность потока мощности (величина вектора Пойнтинга) в месте приема φ_{min} :

$$\varphi_{min} = P_{s,min} - A_a + L_f, \text{ дБ(Вт/м}^2\text{)},$$

где L_f – потери в фидере приемника (дБ) не зависят от вида модуляции и скорости кода, зависят от выбранного значения несущей частоты f ; A_a – эффективная апертура антенны (дБм²):

$$A_a = 10 \log_{10}[(1,64/4\pi) \cdot (300/f)^2] + G_0, \text{ дБм}^2,$$

где f – центральная (несущая) частота радиоканала (МГц); G_0 – усиление антенны относительно полуволнового вибратора (дБм); оба параметра зависят от частоты, но не зависят от вида модуляции и скорости кода.

Требуемый минимальный уровень напряженности поля в месте расположения приемной антенны E_{min} :

$$E_{min} [\text{дБ(мкВ/м)}] = \varphi_{min} [\text{дБВт/м}^2] + 10 \log_{10} Z_{\rho} [\text{дБОм}] + 20 \log_{10} (1\text{В}/1\text{мкВ}),$$

где $Z_{\rho} \approx 120\pi$ [Ом] – волновое сопротивление в свободном пространстве; в итоге имеем:

$$E_{min} [\text{дБ(мкВ/м)}] = \varphi_{min} [\text{дБВт/м}^2] + 145,8 [\text{дБОм}];$$

после подстановки имеем:

$$E_{min} [\text{дБ(мкВ/м)}] = P_{s,min} - 10 \log_{10}[(1,64/4\pi) \cdot (300/f)^2] - G_0 + L_f + 145,8, \text{ дБ(мкВ/м)}.$$

Для аналогового тракта полоса частот радиоканала $\Delta f_{рк}$ при частотной модуляции определяется, как известно, выражением $\Delta f_{рк} = 2(F_v + \Delta f_d)$, где F_v – верхняя модулирующая частота; Δf_d – девиация несущей частоты. Для системы с пилот-тоном верхняя модулирующая частота комплексного стереосигнала составляет 53 кГц, девиация частоты в нашей стране принята равной ± 50 кГц, что дает нам значение $\Delta f_{рк} = 206$ кГц. С учетом этого значение входной мощности шума ЧМ-приемника $P_{ш.пр}$ соответствует $-143,9$ дБВт. Для системы DRM это значение равно $\Delta f_{рк} = 96$ кГц [4, 5], что дает нам значение $P_{ш.пр} = -146,98$ дБВт. В обоих случаях входная мощность шума приемника не зависит от характеристик передатчика, определяется только коэффициентом шума приемника и полосой частот радиоканала.

Кроме того, для одного и того же значения несущей частоты усиление приемной антенны G_0 и потери в фидере L_f не зависят от вида модуляции, определяются только условиями приема (FX, PI, PI-H, PO, PO-H), одинаковы для аналогового и цифрового трактов приема.

Из опубликованных данных следует, что современные ЧМ-приемники обеспечивают отношение сигнал/шум в канале звука (после частотного детектора и стереодекодера) не менее 60 дБ при отношении сигнал/шум в точке приема не хуже 30 дБ.

Для аналоговых систем ЧМ-радиовещания частотное планирование ведется из условия фиксированного приема, FX: высота расположения приемной антенны принята равной 10 м над уровнем

Земли, число мест охвата в зоне покрытия составляет $L = 50 \%$. При этом в зоне покрытия требуемое минимальное медианное значение напряженности поля передатчика превышает также в $T = 50 \%$ времени. Для этих условий в соответствии с рекомендациями ITU-R BS.412-9 [7] и ITU-R BS.450-3 [8] на границе зоны покрытия независимо от условий приема напряженность поля при работе передатчика в стереорежиме должна быть для сельской местности не менее 54 дБ(мкВ/м). В этом случае все характеристики, заявленные в стандарте для данной системы, будут выполнены (ГОСТ Р. 51107-97 [9] и ГОСТ 51741-2001, [10]).

Для системы DRM (ETSI standard ES 201980 V3.2.1. (2012-6)), носящей пороговый характер,

минимальный уровень требуемой напряженности поля передатчика на границе зоны покрытия кроме перечисленных выше факторов зависит также и от вида модуляции поднесущих частот в OFDM-блоке и скорости кода, установленной для цифрового потока в канале пользователя (МСЭ-R BS.1660-8, [1]).

Результаты вычислений с использованием вышеприведенных формул и сведений рекомендаций ITU-R BS.412-9 [7] и МСЭ-R BS.1660-8 [1] дают нам значения требуемой минимальной напряженности поля на антенне приемника $E_{\min}$, представленные в таблице 1.

ТАБЛИЦА 1. Требуемый минимальный медианный уровень напряженности поля на антенне приемника для разных условий ЧМ- и DRM-приема, несущая частота передатчика 95,7 МГц (ITU-R BS.412-9, [7] и МСЭ-R BS.1660-8, [1])

TABLE 1. Required Minimal Median Level of the Field Strength on the Receiver's Antenna for Different FM- and DRM-Receiving Conditions, Main Transmitter Frequency of 95,7 MHz (ITU-R BS.412-9, [7] and ITU-R BS.1660-8, [1])

№	Наименование параметра		Условия приема					
			FX	PI	PI-H	PO	PO-H	MO
1.	Потери в фидере	L_c (дБ)	1,37	0,00	0,00	0,00	0,00	0,274
2.	Усиление антенны	G_D , дБ	0,00	-2,20	-19,4	-2,20	-19,4	-2,20
3.	Эффективный раскрыв антенны	A_a , (дБм) ²	1,081	-1,12	-18,319	-1,12	-18,319	-1,12
4.	Минимальная плотность потока мощности в месте приема	$\Phi_{\min}$ (дБВт/м ²)	-146,02	-138,92	-118,36	-138,92	-118,36	-140,50
5.	Минимальный уровень напряженности поля на принимающей антенне ЧМ-приемника	$E_{\min}$, дБ(мкВ/м)	54					
6.	Минимальный уровень напряженности поля на принимающей антенне DRM-приемника при модуляции QAM-4 для скорости кода:	$E_{\min}$, дБ(мкВ/м)						
	0,25		2,97	9,799	26,999	9,799	26,999	8,273
	0,33		3,41	10,239	27,439	10,239	27,439	8,713
	0,40		3,63	10,459	27,659	10,459	27,659	8,933
7.	Минимальный уровень напряженности поля на принимающей антенне DRM-приемника при модуляции QAM-16 для скорости кода:	$E_{\min}$, дБ(мкВ/м)						
	0,33		7,409	15,79	32,939	15,79	32,939	13,413
	0,411		8,989	17,37	34,519	17,37	34,519	14,993
	0,50		10,009	18,39	35,539	18,39	35,539	16,013
	0,625		11,169	19,55	36,699	19,55	36,699	17,29

Приведенные в рекомендации МСЭ-R BS.1660-8 [1] значения требуемой минимальной медианной напряженности поля на принимающей антенне DRM-приемника диапазона ОВЧ II (87,5...108 МГц) приведены для каждого вида модуляции поднесущих частот только для одного значения скорости кода $R = 0,33$ (модуляция QAM-4) и $R = 0,50$ (модуляция QAM-16). Напомним, что от скорости кода зависит значение только одного параметра $(C/N)_{\min}$. При этом минимальная медианная напряженность поля при выбранном виде моду-

ляции для другого значения скорости кода может быть найдена как:

$$E_{\min 2} = E_{\min 1} - (SNR_1 - SNR_2), \text{ дБ(мкВ/м)},$$

где $E_{\min 1}$ – минимальная медианная напряженность поля при выбранных значениях вида модуляции и скорости кода при требуемом стандартом отношении сигнал/шум равном SNR_1 , $E_{\min 2}$ – тоже самое, но для другой скорости кода и требуемым стандартом отношении сигнал/шум, обеспечивающие получение вероятности появления битовой ошибки, не превышающей 10^{-4} , как это и требует-

ся стандартом, приведены в таблице 2. Эти данные соответствуют стационарному приему на штыревую антенну в помещении на расстоянии 12 км от телебашни в Санкт-Петербурге, несущая частота DRM-передатчика 95,7 МГц [15]. Они получены экспериментальным путем и позволяют, используя приведенное выше выражение и данные таблицы 2, найти требуемое минимальное значение напряженности поля при DRM-приеме и для других значений скорости кода, не представленных в данной рекомендации.

Итак, приведенные в таблице 1 данные позволяют рассчитать радиус зоны покрытия передатчика при аналоговом ЧМ- и DRM-приеме, считая, что полученные значения $E_{\min}$ выполняются на границе зоны покрытия.

ТАБЛИЦА 2. Значения требуемого SNR для разных режимов модуляции и скорости кода в канале MSC

TABLE 2. Values of the Required SNR for Different Modulation Regimes and Coding Rates in MSC Channel

Модуляция поднесущих частот в канале пользователя	Скорость кода, R	Требуемое значение SNR, дБ
4-QAM	0,250 (PL0)	2,27
4-QAM	0,333 (PL1)	2,71
4-QAM	0,400 (PL2)	2,93
4-QAM	0,500 (PL3)	4,09
16-QAM	0,330 (PL0)	7,64
16-QAM	0,411 (PL1)	9,22
16-QAM	0,500 (PL2)	10,24
16-QAM	0,625 (PL3)	11,40

Кроме требуемого при приеме значения $E_{\min}$, на размер зоны покрытия передатчиков существенно влияют: электрические характеристики Земли; значение несущей частоты; условия приема; изменения напряженности поля передатчика, вызванные климатическими факторами, особенностями распространения и условиями приема радиоволн, рельефом местности, наличием различных препятствий на пути распространения радиоволн; уровень промышленных и атмосферных помех; шумовые характеристики и чувствительность приемника; эффективная высота подвеса передающей и приемной антенн; параметры антенно-фидерных устройств.

Учет столь большого множества факторов достаточно трудоемок, важно, что он в значительной степени опирается часто на эмпирические данные рекомендаций международного союза электросвязи ITU-R, требует при расчете зон покрытия проведения очень большого числа вычислений. При этом получаемый на основе этих данных результат всегда требует экспериментальной проверки, ибо при расчетах, как правило, используются усредненные данные, заимствованные из рекомендаций ITU-R P.372 [11], P.527-4 [12], P.528-3 [3],

P. 832-4 [13], P.1546-7 [2], BS.1660-8 [1], BS.412-9 [7] и BS.450-3 [8].

Потери при распространении радиоволн зависят, прежде всего, от диэлектрической проницаемости среды ϵ и проводимости почвы σ , значения которых ко всему прочему являются функцией частоты f , состава и структуры почвы, особенностей климата конкретного региона. Рекомендация ITU-R P.527-4 приводит следующие значения для диапазона ОВЧ: проводимость почвы σ (См/м) лежит в пределах от 0,001 (почва средней сухости) до 0,01 (влажная почва); диэлектрическая проницаемость среды ϵ составляет соответственно 15 (почва средней сухости) и 30 (влажная почва). Рекомендация ITU-R P.832-4 [13] дает нам значение $\epsilon = 17$ для района Санкт-Петербурга, правда, для частоты 1 МГц. Опираясь на эти данные и данные рекомендации ITU-R P.527-4 [12], примем, что для региона Санкт-Петербурга $\epsilon = 20$ и $\sigma = 0,005$ См/м без учета сезонных климатических изменений. Эти данные будем использовать при расчете зоны покрытия.

Особую трудность при расчете зоны покрытия вызывает необходимость учета рельефа местности для профиля трассы каждого радиального направления. Наличие в зоне покрытия различного рода индивидуальных особенностей на пути распространения радиоволн (искусственных и естественных препятствий, имеющейся растительности) оказывают существенное влияние на размер зоны покрытия, особенно на появление внутри нее так называемых малых зон, где прием сигнала вообще становится невозможным.

Применение специализированного программного обеспечения (ПО) при оценке зоны покрытия может не только повысить достоверность получаемых результатов по сравнению с ручным расчетом, но и позволяет существенно экономить время, необходимое для его выполнения и для последующего учета возможных изменений напряженности поля для разных условий приема, с целью выявления малых зон, где прием сигнала оказывается невозможным. Однако, эти преимущества достигаются только в случае, если при разработке ПО с особой тщательностью выполнен учет всего множества факторов, влияющих на особенности распространения радиоволн в диапазоне ОВЧ, что имеет место далеко не всегда.

В настоящее время при оценке зоны покрытия наибольшее распространение в нашей стране получили две программы: Radio Planner v.2.1 (для коммерческого применения) и Radio Mobile v.11.6.6, распространяемая на бесплатной основе. Обе они, как это следует из доступных источников, учитывают все множество факторов, влияющих на особенности распространения радиоволн в диапазоне ОВЧ, а именно: значение несущей частоты радиоканала, высоту подвеса передающей и при-

емной антенн, особенности рельефа местности и растительного покрова для каждого из радиальных направлений, электрические характеристики Земли, влияние второго луча при приеме, индивидуальные особенности аналоговых и цифровых приемопередающих трактов. В основе учета каждого из перечисленных факторов лежат сведения, имеющиеся в соответствующих документах ITU-R. Однако полноценных данных, подтверждающих достоверность получаемых с помощью этих программ результатов, в публикациях нет.

Для детального исследования зоны покрытия передатчиков компанией ООО «Дигитон Системс» был разработан и введен в эксплуатацию экспериментальный аналого-цифровой тракт в формате ЧМ/DRM для обслуживания Санкт-Петербурга и прилегающей к нему территории. Несущая частота ЧМ-передатчика составила 95,9 МГц и мощность 3000 Вт; для цифрового DRM-передатчика эти значения, соответственно, оставили 95,7 МГц и 640 Вт. Передающий тракт аналогового радиовещания включал стереокодер системы с пилот-тоном, ЧМ-модулятор и радиочастотный усилитель передатчика «Полюс ПТ». Передающий тракт цифрового DRM-радиовещания включал контент-сервер компании Fraunhofer, DRM-модулятор компании Rfmondial и радиочастотный усилитель передатчика «Полюс ПТ». Предыскажение в канале ЦРВ системы DRM соответствовало рекомендации 651 МККР, для компрессии цифровых аудиоданных использовался кодек MPEG-4 xHE-AAC. Оба передающих тракта работали на общее антенно-фидерное устройство и использовали общий модернизированный радиочастотный усилитель. Высота подвеса передающей антенны относительно Земли составила 278 м, усиление передающей антенны равно 6 дБм, потери в фидере составили 1,575 дБм.

Все характеристики выбранного оборудования передающих трактов ЧМ- и DRM-радиовещания удовлетворяли требованиям соответствующих стандартов [9, 10, 14], что было подтверждено результатами проведенных измерений.

Для натурных измерений в опытной зоне аналого-цифрового радиовещания использовался модернизированный профессиональный контрольно-измерительный приемник компании Rfmondial (Model RF-SE19) с питанием от бортовой сети автомобиля с четверть волновой калиброванной антенной типа Kathrein K 51 16 4/510 351 с антенным фактором $K = 7,69$ дБ(1/м). Ослабление сигнала в кабеле, соединяющем антенну и высокочастотный вход приемника, было измерено анализатором ZVL Network Analyzer компании «Rohde & Schwarz» и составило 0,49 дБ на частоте 96 МГц.

При проведении измерений были учтены требования рекомендаций ITU-R. Все измерения были выполнены для условия мобильного приема. Вы-

сота приемной антенны составляла 1,5 м над уровнем Земли.

В общей сложности были получены данные изменения напряженности поля и отношения сигнал/шум для каждого из передатчиков с изменением расстояния до телебашни, а также установлены границы зон покрытия с учетом требований рекомендаций МСЭ-R BS.1660-8 [1], ITU-R BS.450-3 [8] и ITU-R BS.412-9 [7]. Карта маршрутов перемещения автомобиля представлена на рисунке 1.

Заметим также, что Санкт-Петербург находится в низине, по мере удаления от места расположения передающей антенны наблюдается подъем уровня суши, возрастающий с удалением от передатчика. Последнее сопровождается увеличением радиуса оптической видимости, а значит и возможного максимального значения радиуса зоны покрытия. Основание телебашни расположено на высоте 10,5 м над уровнем моря, подъем суши в зоне покрытия по мере удаления от телебашни изменяется для разных радиальных направлений в интервале 35...75 м, составляя в среднем в пределах зоны покрытия около 50...60 м. Результаты оценки радиуса зоны покрытия представлены в таблице 3 для мощности ЧМ-передатчика 3000 Вт и DRM-передатчика 640 Вт при высоте подвеса передающей антенны относительно Земли 278 м, усилении антенны 6 дБм и потерях в фидере АФУ 1,575 дБм.

ТАБЛИЦА 3. Радиус зоны покрытия для условий мобильного приема

TABLE 3. Radius of the Coverage Zone for Mobile Receiving Conditions

Тип приемопередающего тракта системы радиовещания	Модуляция: – направление	Радиус зоны покрытия, км
Система с пилот-тоном	Частотная	49...52
Система DRM	QAM-4, $R = 0,25$:	67
	– западное,	64
	– северное,	
	QAM-16, $R = 0,625$:	49
	– северное,	57
	– юго-западное,	54
	– юго-восточное,	64
	– восточное	

Достоверность этих данных подтверждена многочисленными измерениями и может служить основой при расчете зон покрытия передатчиков с помощью ПО Radio Mobile.

Прежде всего, в программе Radio Mobile необходимо выбрать место расположения передающей станции и точек приема, расположенных в разных радиальных направлениях. Для открытия карты местности в программе нужно нажать клавишу F8 (рисунок 2), в открывшемся окне, нажав клавишу «Ввести широту, долготу», ввести координаты телебашни Санкт-Петербурга (широта $59^{\circ} 58' 35''$ и долгота $30^{\circ} 19' 14''$, установить размер извлекаемой карты в пикселях: 1900×1000 пикселей), после чего нажать в данном окне клавишу «Извлечь».

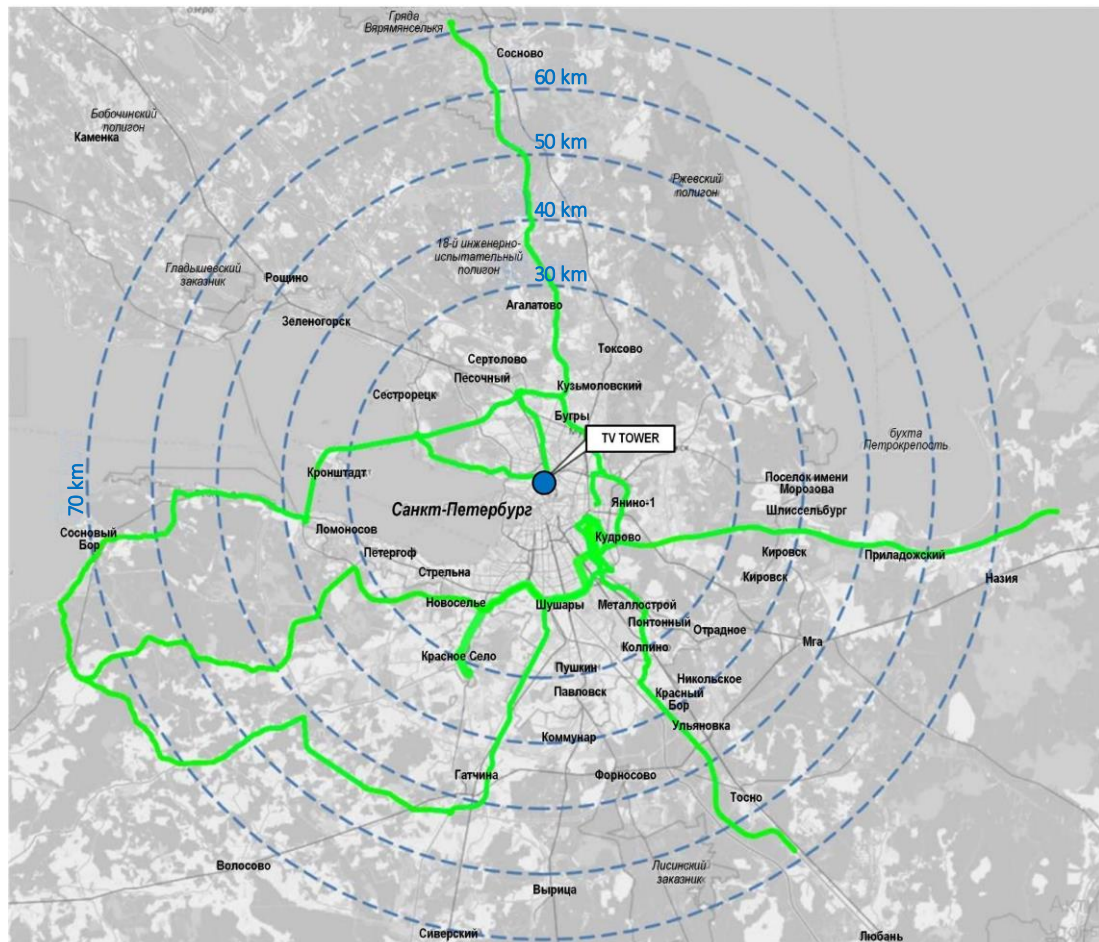


Рис. 1. Карта маршрутов при проведении измерений

Fig. 1. Travelling Maps for Carrying out the Measurements

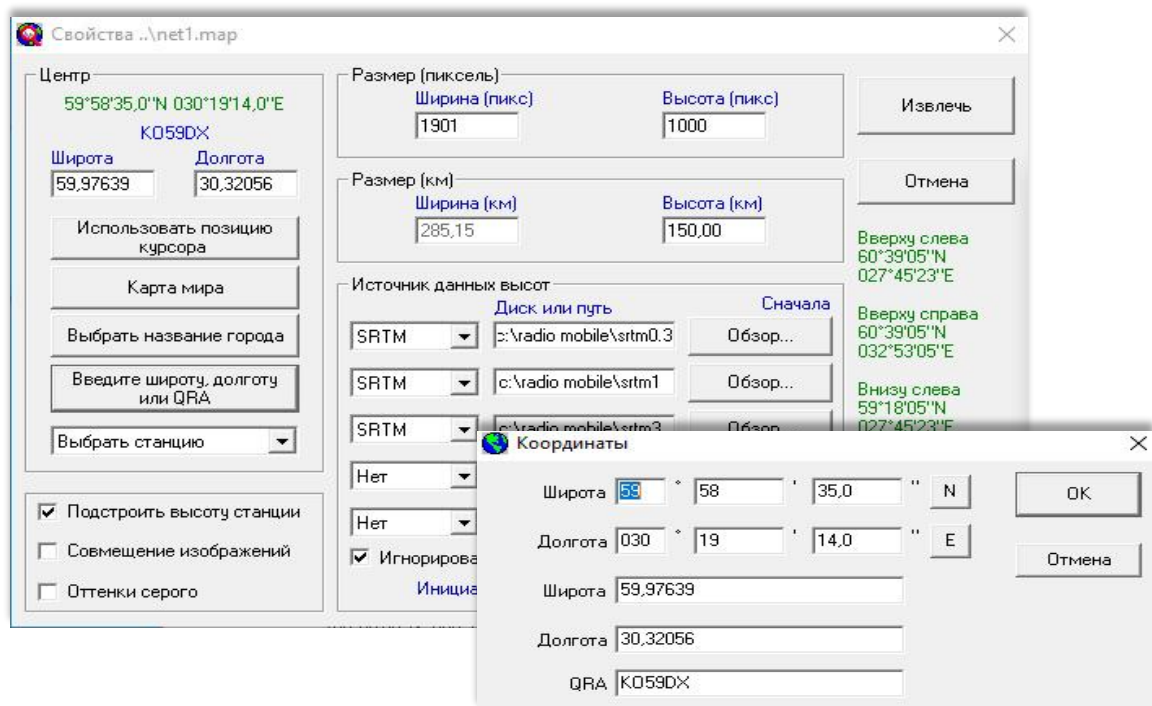


Рис. 2. Окно «Свойства» и вкладка для ввода координат расположения передатчика на карте местности

Fig. 2. Window "Properties" and the Inset for Entering Receiver Coordinates on the Landscape Map

Программа нарисует карту местности Санкт-Петербурга и прилегающей к нему территории. Для выбора радиальных направлений приема на полученной карте местности нужно курсор установить в позицию места приема, нажав на мышке левую кнопку, затем в меню «Файл» открыть окно «Свойства станций», в этом окне набрать имя станции (например, ЧМ-приемник_1), выбрать для нее пиктограмму, затем нажать клавишу «Поместить станцию в позицию курсора», после чего на карте местности появится выбранное нами название станции приема в выбранной нами точке и соответствующее ей радиальное направление. Аналогичные процедуры следует повторить, выбирая радиальные

направления и места расположения других точек приема. В общей сложности число выбранных радиальных направлений должно быть не менее пяти. После выполнения всех этих процедур на карте местности будут показаны все выбранные места приема и радиальные направления для каждой из них так, как это показано на рисунке 3.

Расчеты в программе Radio Mobile выполняются отдельно для каждого из выбранных направлений (например, представленных на рисунке 3), затем полученные данные могут быть обобщены (усреднены) для получения окончательных результатов.



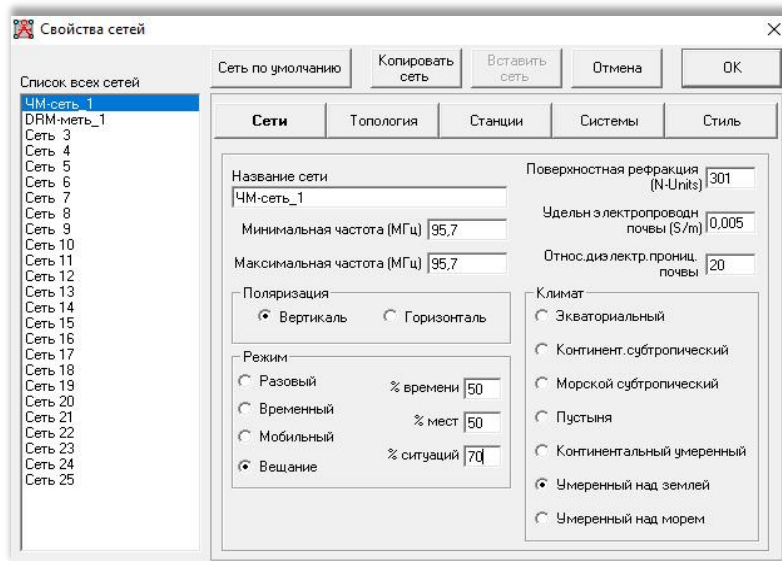
Рис. 3. Карта местности с показом расположения мест передающей и приемной станций для последующего расчета зон покрытия для выбранных радиальных направлений

Fig. 3. A Landscape Map Showing the Positions of the Transmitting and Receiving Stations in Order to Calculate Coverage Zones in the Radial Directions

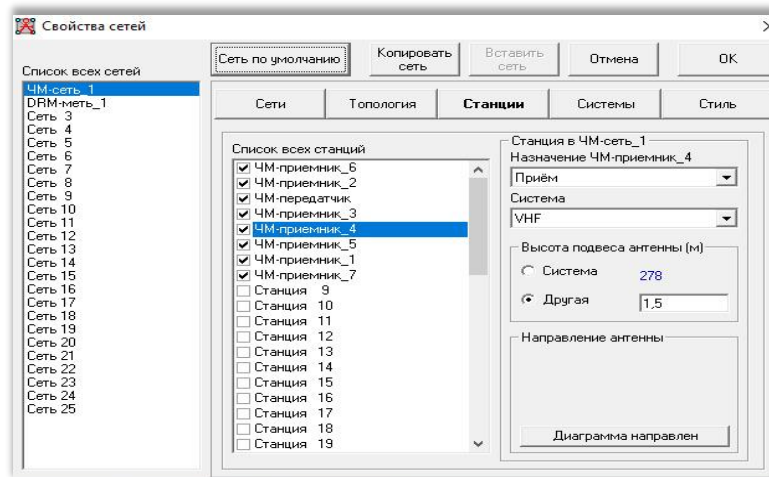
После выбора радиальных направлений необходимо ввести исходные данные для расчета зон покрытия отдельно для аналоговой и цифровой сетей. Для этого необходимо (рисунок 4а) в окне «Свойства сетей», нажать клавишу «Сети», в поле «Название сети» ввести при расчете зоны покрытия аналогового передатчика название данной сети, например, «ЧМ-сеть_1», а для цифровой сети радиовещания ввести соответственно «DRM-сеть_1». Далее в этом же окне нужно указать значение несущей частоты передатчика, например, 95,7 МГц, вид поляризации (в нашем случае – вертикальная), выбрать режим работы «Вещание», указать для исследуемого региона значения удельной проводимости почвы σ и диэлектрической проницаемости среды ϵ (для Санкт-Петербурга $\sigma = 0,005$ См/м, $\epsilon = 20$). Кроме того, в окне «Свойства сетей» следует указать также проценты времени T и мест L , в течение которых в зоне покрытия превышаются требуемые рекомен-

дацией ITU-R минимальные медианные значения напряженности поля передатчика: для аналоговой ЧМ-сети эти значения составляют 50 и 50 % [7], для цифровой DRM-сети [1] соответственно 70 и 99 % для фиксированного приема, FX; 99 и 95 % для условий приема PI, PI-H, PO, PO-H; 99 и 99 % для условий мобильного приема MO.

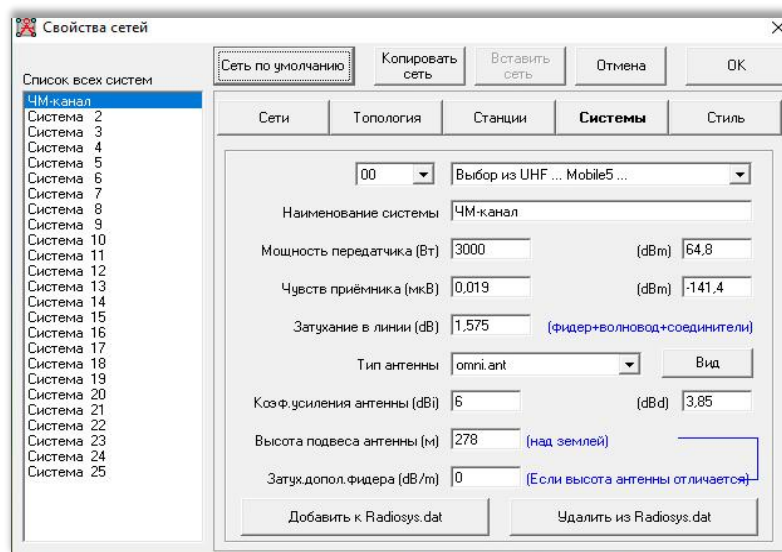
Затем следует поставить галочку в одной из позиций поля «Климат», в нашем случае в районе Санкт-Петербурга «Умеренный над землей». Что же касается такого параметра как «% ситуаций», то в рекомендациях ITU-R по частотному планированию такой показатель отсутствует, нет также соответствующих пояснений к его применению и в информации, поясняющей работу данной программы. Тем не менее изменение его величины существенно влияет на размер зоны покрытия. Ниже при проведении расчетов значение данного параметра будет уточнено.



a)



b)



c)

Рис. 4. Пример введенных исходных данных для расчета зоны покрытия ЧМ-передатчика в окне «Свойства сетей» на вкладках: а) «Сети», б) «Станции», в) «Системы»

Fig. 4. An Example of the Use of Input Data to Calculate Coverage Zones of an FM-Transmitter in Window "Network Properties" by Selecting: а) "Networks", б) "Stations", в) "Systems"

Затем в окне «Свойства сетей» следует нажать кнопку «Топология» и в открывшейся вкладке для аналоговой сети активировать точки «В зоне прямой видимости» и «Аналоговая сеть...». Для цифровой сети нужно в этом окне активировать показатель «Цифровая сеть. Звездная топология». После чего следует нажать кнопку «Станции» (рисунок 4b) и в открывшейся вкладке для аналоговой ЧМ-сети, выделяя галочкой соответствующие позиции, ввести названия станций приема, например, вместо «Станция 1» в этой позиции написать ЧМ-передатчик_1, ниже вместо «Станция 2» ввести «ЧМ-приемник_1», еще ниже «ЧМ-приемник_2» и так далее для всех станций. Для цифровой сети ввести, соответственно, «DRM-передатчик_1», «DRM-приемник_1», «DRM-приемник_2» и т. д. В правой части этой вкладки необходимо указать назначение каждой станции: для передающей станции это «Передача» (Мастер), для приемных станций, соответственно, – «Прием» (Слейв). Ниже в окошечке «Система» нужно ввести название канала, например, «ЧМ-канал» для аналоговой сети или «DRM-канал» для цифровой сети.

После чего необходимо перейти в раздел «Системы» и в открывшейся вкладке (рисунок 4c) для каждого вида исследуемого канала заполнить исходные данные: «Наименование системы» (ЧМ-или DRM-канал), «Мощность передатчика» (Вт), «Чувствительность приемника» (мкВ), «Затухание в линии» передающей антенны с учетом всех соединений (дБм), «Тип антенны» с учетом ее характеристик направленности (дБм), «Коэффициент усиления антенны» (дБм), «Высота подвеса антенны» относительно Земли (м), «Затухание дополнительного фидера» (дБм), если таковой имеется. После ввода этих данных следует нажать клавишу «Добавить...». После заполнения этих данных необходимо открыть вкладку «Стиль», выбрать здесь «Режим распространения», например, «Два луча» при прямой видимости, а также пределы изменения чувствительности приемника в дБ от введенного ранее значения. На этом ввод исходных данных для расчета зоны покрытия завершен. Для ее построения достаточно выбрать любое радиальное направление. Программа при расчете зоны покрытия учитывает особенности рельефа местности, наличие искусственных сооружений, особенности распределения растительного покрова в каждом из радиальных направлений.

Для оценки особенностей профиля трассы следует в основном окне программы Radio Mobile в меню «Инструменты» выбрать вкладку «Радиоканал» (рисунок 5a), далее в нижней ее части слева из числа возможных станций выбрать «ЧМ-передатчик» (или DRM-передатчик, если это цифровой канал), а справа – одну из возможных станций приема, например, ЧМ-приемник_1 (см. рисунок 5a). Затем следует в меню «Инструменты» открыть окно «Зона охвата», при построении зоны

покрытия в полярных координатах перейти в подменю «Зона охвата в полярных координатах» открыть соответствующую вкладку (рисунок 5b).

В окошечке «Радиус» указать минимальное и максимальное расстояния, затем выбрать цвет для отображения зоны покрытия и в левой нижней части этой вкладки указать пороговое значение напряженности поля на границе зоны покрытия, дБ(мкВ/м). Для аналоговой сети это значение равно 54 дБ(мкВ/м), для цифровой сети – значение минимальной напряженности поля, зависящее от вида модуляции поднесущих частот и скорости кода, приведено в таблице 1. Теперь следует нажать клавишу «Рисовать» и программа нарисует зону покрытия в выбранном нами цвете и другими деталями, выделенными в подразделе «График».

В качестве примера на рисунке 6 (сверху) представлена зона покрытия для аналогового ЧМ-передатчика (несущая частота 95,7 МГц, затухание в фидере 1,575 дБм, высота подвеса и коэффициент передачи ненаправленной передающей антенны, соответственно, 278 м и 6 дБм при $\sigma = 0,005$, $\varepsilon = 20$; шаг сетки равен 10 км), а на рисунке 6 (по середине и внизу – тоже самое, но для DRM-передатчика (при $T = 99\%$, $L = 99\%$, $C = 95\%$).

Для получения сетки расстояний от передатчика в меню «Правка» выбрать позицию «Создать кольца», в открывшейся вкладке выбрать позицию станции передачи (например, ЧМ-передатчик), единицу измерения (км), шаг сетки (например, 10 км), и ее цвет, после чего нажать кнопку «Рисовать». Программа нарисует кольцевую сетку с выбранным шагом.

Сравнение результатов расчетов в программе Radio Mobile и натурных измерений при мобильном приеме показало следующее:

- программа Radio Mobile обеспечивает получение достоверных результатов при расчете зон покрытия для аналоговых ЧМ-передатчиков при значении $C = 70\%$, а при расчете зон покрытия DRM-передатчиков при $C = 95\%$;

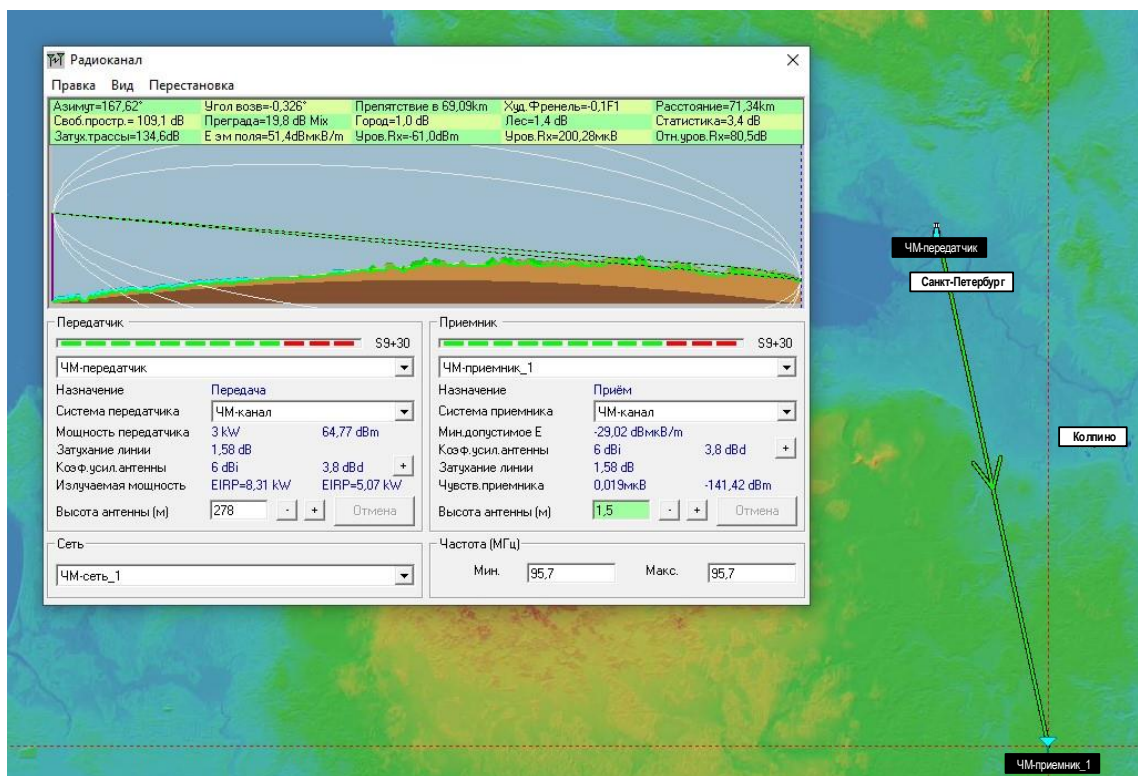
- равенство зон покрытия аналогового (ЧМ) и цифрового (DRM) передатчиков при мобильном приеме наблюдается при соотношении их уровней равном ~ 7 дБм при работе цифрового передатчика в режиме модуляции QAM-16 и скорости кода $R = 0,625$ (что соответствует наименьшей помехозащищенности DRM-сигнала; переход к модуляции QAM-4 и скорости кода $R = 0,25$ (режим наибольшей помехозащищенности) увеличивает радиус зоны покрытия цифрового DRM-передатчика в среднем на 10...15 км, что соответствует результатам натурных измерений (таблица 3); для других условий приема это соотношение будет другим, что следует из таблицы 1;

- программа Radio Mobile позволяет также для каждого радиального направления получить профиль трассы с целым рядом дополнительных све-

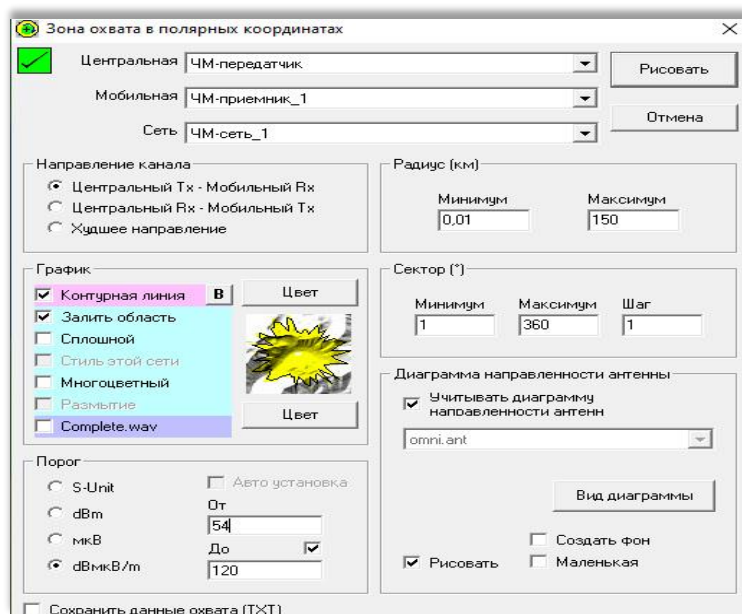
дений, включая и изменение напряженности поля передатчика с расстоянием, что полезно для выявления проблемных мест приема или так называемых проблемных зон приема внутри зоны покрытия.

Наличие порогового эффекта, свойственное любым системам цифрового радиовещания, является, пожалуй, наиболее существенным их недостатком,

требующим очень тщательного частотного планирования. Однако он с лихвой окупается существенным увеличением числа и качества передаваемых программ, возможностью передачи дополнительной информации, и, что самое важное, наличием существенного энергетического выигрыша и более экономным использованием ограниченного радиочастотного ресурса.



a)



b)

Рис. 5. Пример введенных данных для расчета зоны покрытия ЧМ-передатчика в меню «Инструменты» на вкладках: а) «Радиоканал»; б) «Зона охвата в полярных координатах»

Fig. 5. An Example of the Input Data for Calculating Coverage Zones of an FM-Transmitter in "Instruments" Menu by Selecting: а) "Radio Channel", б) "Coverage Zone in Polar Coordinates"

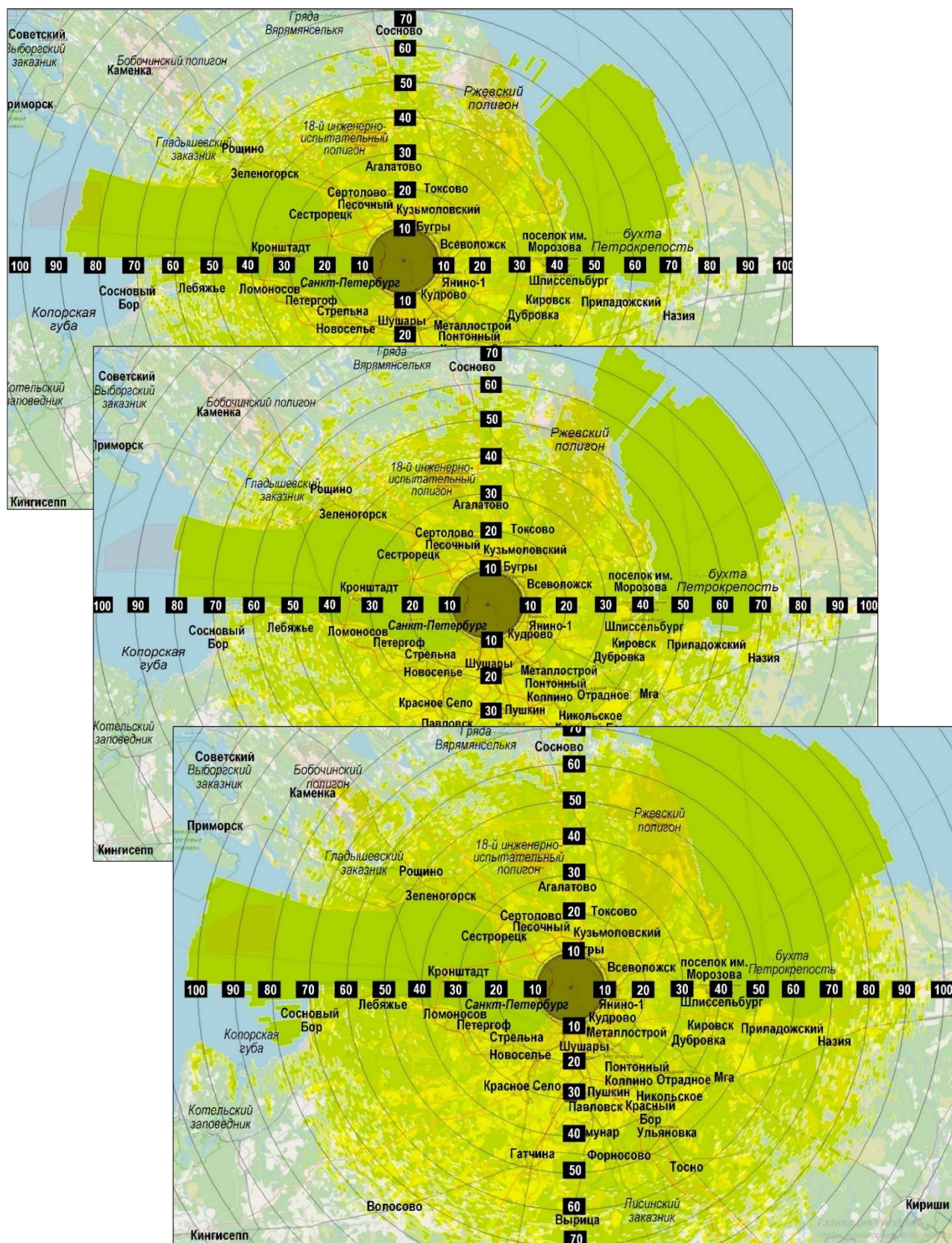


Рис. 6. Зона покрытия аналогового ЧМ-передатчика (сверху) и цифрового DRM-передатчика: модуляция поднесущих частот QAM-16 (посередине) и QAM-4 (внизу)

Fig. 6. Coverage Zone of an FM-Transmitter (Upper Image) and a Digital DRM-Transmitter; the Sub-Frequency Modulation is QAM-16 (Middle Image) and QAM-4 (lower image) for Mobile Receiving

Закключение

1) Исследована возможность применения программы Radio Mobile для расчета зон покрытия аналоговых ЧМ- и цифровых DRM-передатчиков.

2) Найдены путем сравнения расчетных данных с результатами натурных измерений значения параметра «% ситуаций», необходимое для получения достоверных результатов при оценке размера зоны покрытия для разных условий приема.

3) Установлено, что при мобильном приеме обеспечивается равенство зон покрытия аналого-

вого ЧМ- и цифрового DRM-передатчиков при соотношении их уровней мощности около 7 дБм в случае, когда DRM-передатчик работает в режиме наихудшей помехозащищенности при модуляции поднесущих частот QAM-16 и скорости кода, равной $R = 0,625$. Переход в режим наилучшей помехозащищенности (модуляция QAM-4 и скорость кода $R = 0,25$) обеспечивает при сохранении прежней мощности DRM-передатчика увеличение радиуса зоны покрытия в среднем на 10...15 км.

БЛАГОДАРНОСТИ

Автор выражает благодарность руководителю НОЦ СПбГУТ «Технологии информационных образовательных систем» С.В. Мышьянову за любезно предоставленные экспериментальные данные (рисунок 1, таблицы 2 и 3).

Список используемых источников

1. Рекомендация МСЭ R BS.1660-8 (06/2019). Техническая основа для планирования наземного цифрового звукового радиовещания в полосе ОВЧ.
2. 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.
3. Рекомендация МСЭ-R P.528-3 (02/2012). Кривые распространения радиоволн для воздушной подвижной и радионавигационной служб, работающих в диапазонах ОВЧ, УВЧ и СВЧ.
4. Ковалгин Ю.А. Цифровое радиовещание: системы и технологии. М.: Горячая линия – Телеком, 2021. 580 с.
5. Planning Parameters for DRM Mode E ('DRM+') concerning the use in VHF bands I, II and III. V 3.0 – 04/05/2011.
6. Быховский М.А. Основы управления использованием радиочастотного спектра: Частотное планирование сетей телерадиовещания и подвижной связи. Автоматизация управления использованием радиочастотного спектра. Том 3. М.: КРАСАНД, 2012. 368 с.
7. Rec. ITU-R BS.412-9 (12/1998). Planning standards for terrestrial FM sound broadcasting at VHF.
8. Rec. ITU-R BS.450-3 (1982-1995-2001). Transmission standards for FM sound broadcasting at VHF.
9. ГОСТ Р. 51107-97. Системы стереофонического радиовещания. Основные параметры. Методы измерений. М.: ИПК Издательство стандартов, 1998.
10. ГОСТ Р. 51741-2001. Передатчики радиовещательные стационарные диапазона ОВЧ. Основные параметры, технические требования и методы измерений. М.: ИПК Издательство стандартов, 2001.
11. Rec. ITU-R P.372-14 (08/2019). Radio noise.
12. Рекомендация МСЭ-R P.527-5 (08/2019). Электрические характеристики земной поверхности.
13. Рекомендация МСЭ-R. P. 832-4 (07/2015). Мировой атлас проводимости почвы.
14. ETSI ES 201 980 v.4.2.1 (2021-01). Digitale Radio Mondiale (DRM). System Specification. EBU-UER, 184 p.

* * *

On the Application of the Radio Mobile Software for Calculating the Coverage Zones of Transmitters Broadcasting in the VHF Range

Y. Kovalgin¹

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

Article info

DOI:10.31854/1813-324X-2021-7-2-24-36

Received 24th March 2021

Accepted 25th May 2021

For citation:, 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

Abstract: *This work considers the application of the Radio Mobile software for calculating the coverage zones of analogue FM- and digital DRM-transmitters. The requirements for the initial input data, enabling the reliable results, are demonstrated. It is shown that equality of the coverage zones of both transmitter types is determined by the proper ratio of the transmitter's signal levels.*

Keywords: *digital broadcasting, coverage zone of a VHF-transmitter.*

ACKNOWLEDGMENT

The author expresses his gratitude to S.V. Myshiyarov, head of the Scientific-Educational Centre of St. Petersburg State University of telecommunications, for the kindly supplied experimental data. (figure 1, tables 2 u 3).

References

1. Rec. ITU-R BS.1660-8 (06/2019). *Technical basis for planning of terrestrial digital sound broadcasting in the VHF band.*
2. Rec. ITU-R P.1546-6 (08/2019). *The prediction method for "point-zone" communication of ground services in the frequency range from 30 MHz to 4000 MHz*
3. Rec. ITU-R P.528-3 (02/2012). *Propagation curves for aeronautical mobile and radionavigation services using the VHF, UHF and SHF bands.*
4. Kovalgin Yu.A. *Digital Broadcasting: Systems and Technologies*. Moscow: Goriachaia liniia – Telekom Publ.; 2021. 580 p. (in Russ.)
5. *Planning Parameters for DRM Mode E ('DRM+') concerning the use in VHF bands I, II and III. V 3.0 – 04/05/2011.*
6. Bykhovsky M.A. *Fundamentals of Radio Frequency Spectrum Management: Frequency Planning of Broadcasting and Mobile Networks. RF Spectrum Management Automation. Vol. 3*. Moscow: KRASAND Publ.; 2012. 368 p. (in Russ.)
7. Rec. ITU-R BS.412-9 (12/1998). *Planning standards for terrestrial FM sound broadcasting at VHF.*
8. Rec. ITU-R BS.450-3 (1982-1995-2001). *Transmission standards for FM sound broadcasting at VHF.*
9. GOST P. 51107-97. *Stereophonic broadcasting systems. Main parameters. Methods of measurements*. Moscow: IPK Izdatelstvo standartov Publ.; 1998. (in Russ.)
10. GOST P. 51741-2001. *Broadcasting transmitters, fixed Very High Frequency (VHF). Main parameters, technical requirements and methods of measurement*. Moscow: IPK Izdatelstvo standartov Publ.; 2001.
11. Rec. ITU-R P.372-14 (08/2019). *Radio noise.*
12. Rec. ITU-R P.527-4 (08/2019). *Electrical characteristics of the surface of the Earth.*
13. Rec. ITU-R P. 832-4 (07/2015). *World Atlas of Ground Conductivities.*
14. ETSI ES 201 980 v.4.2.1 (2021-01). *Digitale Radio Mondiale (DRM). System Specification*. EBU-UER, 222 p.

Сведения об авторах:

**КОВАЛГИН
Юрий Алексеевич**

доктор технических наук, профессор, профессор кафедры телевидения и метрологии Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М.А. Бонч-Бруевича, kowalgin@sut.ru