

DOI: <https://doi.org/10.30898/1684-1719.2024.6.5>

УДК: 621.396.6; 621.397

УТОЧНЕНИЕ ГРАНИЦ ОБЛАСТЕЙ УВЕРЕННОГО ПРИЕМА ТЕЛЕВИЗИОННОГО СИГНАЛА В ОДНОЧАСТОТНОЙ СЕТИ DVB-T2

Л.Г. Стаценко¹, В.В. Петросьянц¹, А.Ф. Ломакин²,
Н.Е. Колесникова¹, Д.Е. Тихонов³

¹ Дальневосточный федеральный университет
690922, г. Владивосток, остров Русский, п. Аякс, 10

² ЗАО НПЦ «Цифровые технологии и проекты»
690002, Приморский край, г. Владивосток, Алтайская, 3

³ ПАО «Мегафон», 690091, Россия, Владивосток, Океанский проспект, 17

Статья поступила в редакцию 20 мая 2024 г.

Аннотация. В работе рассмотрен один из способов уточнения зон уверенного приема телевизионного сигнала в одночастотных сетях (ОЧС) DVB-T2 зоны «Владивосток», развернутых на ранее существующей инфраструктуре аналогового телевидения. Обсуждается имитационная модель ОЧС вещания, состоящая из модулей распространения радиоволн, передающей станции, приемной станции и геоинформационной системы. Выявлено, что используемые режимы вещания DVB-T2, эффективные высоты подвеса антенн и эффективные излучаемые мощности передатчиков могут приводить не только к возникновению внутри зоны обслуживания областей внутрисимвольной интерференции с пониженным качеством телевизионного сигнала, но и к эффекту, так называемого, «сетевого усиления». Установлено несоответствие используемого защитного интервала (ЗИ) топологии исследуемой ОЧС.

Ключевые слова: внутрисистемные помехи, качество ОЧС DVB-T2, моделирование сети DVB-T2, защитный интервал, сетевое усиление.

Финансирование: Данная работа выполнена в рамках государственного задания Минобрнауки России в сфере научной деятельности по проекту № FZNS-2023-0008.

Автор для переписки: Колесникова Наталия Евгеньевна,
kolesnikova.ne@dvfu.ru

Введение

Одной из сложностей при оценке качества ОЧС DVB-T2 является обеспечение требуемого отношения сигнал-шум в зоне обслуживания, что требует дорогостоящих экспериментальных исследований. Поскольку запас устойчивости ОЧС от помех зависит от выбранных при проектировании параметров вещания сети, установление единых параметров вещания для всех регионов России порождает ряд проблем при работе ОЧС на территориях со сложным рельефом [1-3]. В этих работах отмечается, что топология ОЧС DVB T2, развернутой на существующей ранее инфраструктуре аналогового телевидения, может приводить к возникновению внутрисистемных помех, что требует корректировки параметров сети.

Цель настоящей работы заключается в рассмотрении одного из способов уточнения зон уверенного приема ОЧС DVB T2, развернутых на ранее существующей инфраструктуре на территории со сложным рельефом.

Имитационная модель сети DVB-T2

Исследование качества ОЧС DVB T2 проводилось на основе имитационной модели эфирного телевидения, разработанной в департаменте электроники, телекоммуникации и приборостроения ФГБОУ ВО «ДВФУ», условно включающей в себя четыре основных элемента [3, 4]:

а) модуль прогнозирования распространения радиоволн, который использует современные параметрические и статистические модели и позволяет рассчитать ослабление радиосигнала на пути от передающей до приемной антенн;

б) модуль передающей станции, который определяет географические и технические параметры источников радиосигнала;

в) модуль приемной станции, который в соответствии с заданными требованиями к качеству сети (в том числе такие параметры как минимальный уровень полезного сигнала и отношение сигнал-шум, так и требования к процентам по месту и времени) определяет условия приема сигнала в заданной точке;

г) специализированная геоинформационная система, осуществляющая сбор, хранение, обработку и отображение пространственно-распределенной информации, включая геодезические параметры.

В модуле прогнозирования используются двумерные модели распространения радиоволн в дальней зоне, рекомендованные Международным союзом электросвязи (МСЭ) [6, 7, 17], в том числе позволяющих учесть особенности конкретной трассы, например, модель Лонгли-Райса в варианте точка–точка [8, 22, 23]. Имитационная модель сети DVB-T2 реализована в программном комплексе на основе клиент-серверной архитектуры, состоящей из трех элементов: клиент, база данных и сервер вычислений. Описание работы комплекса, основные стадии конкретного сеанса либо исследовательской задачи, либо поиска оптимального варианта ОЧС подробно изложены в [4, 20].

Способ уточнения зон уверенного приема ОЧС DVB-T2

В работах [13, 14] обсуждалось, что при приеме телевизионных сигналов в синхронной сети DVB-T2 все элементы принятых символов COFDM складываются конструктивно в том случае, если выполняется условие – запаздывание сигналов, приходящих на вход приемников сети, не превышает выбранный ЗИ. Это может приводить к определенному энергетическому выигрышу ОЧС, получившему определение «сетевое усиление» [14]. Действительно, при наличии большого количества передатчиков в зоне обслуживания параметры распределения результирующего суммарного сигнала перестают быть известными априори. При этом среднее значение объединенного

суммарного сигнала будет выше арифметической суммы средних значений отдельных сигналов, а стандартное отклонение объединенного суммарного сигнала будет меньше этого же показателя у отдельных сигналов [18]. Это следует из теоремы Чебышева, согласно которой для m сигналов $\mathbf{y}(t) = A\mathbf{x}(t, \boldsymbol{\alpha}, \boldsymbol{\beta}) + \mathbf{n}(t, \mathbf{v})$ от m передатчиков синхронной ОЧС, поступивших на вход телевизионного приемника, дисперсия реализаций будет равна:

$$D_y = \frac{1}{m^2} \sum_{k=1}^m D[\mathbf{x}(t, \boldsymbol{\alpha}, \boldsymbol{\beta}) + \mathbf{n}(t, \mathbf{v})], \quad (1)$$

где A – множитель 1, 0, учитывающий наличие или отсутствие сигнала;

$\mathbf{x}(t, \boldsymbol{\alpha}, \boldsymbol{\beta})$ – векторная реализация полезных сигналов, поступающих на вход телевизионного приемника от передатчиков синхронной сети, время задержки которых не превышает временной длительности ЗИ символа OFDM в системе DVB-T2;

$\boldsymbol{\alpha}$ – вектор информативных параметров полезного сигнала;

$\boldsymbol{\beta}$ – вектор неинформативных параметров полезного сигнала (совокупность случайных фаз и амплитуд, параметры случайной деполяризации сигнала);

$\mathbf{n}(t, \mathbf{v})$ – векторная реализация помехи;

\mathbf{v} – вектор случайных параметров помехи: в нашем случае все помеховые сигналы, поступающие на вход анализируемого телевизионного приемника, в том числе, от передатчиков синхронной сети, время задержки которых превышает временную длительность ЗИ.

Среднее значение, корреляционная функция и, особенно, стандартное отклонение сильно зависят от конфигурации конкретных сигналов и должны определяться посредством статистических процедур. Кроме этого, для практических расчетов при оценке суммарной напряженности при приеме сигналов в синхронной ОЧС системы DVB-T2 необходимо знание параметров распределения напряженности поля.

В большинстве известных методов прогнозирования потерь при распространении радиоволн предполагается, что значения напряженности поля имеют логарифмически нормальное распределение в зависимости от процента

местоположений. Поэтому для определения суммарного значения напряженности поля полезного сигнала в синхронной сети был принят логарифмически нормальный метод (k -LNM), который включает в себя следующие этапы [14]:

1) Преобразование значений напряженности полей и стандартных отклонений $\bar{F}_i, \sigma_i, i = 1 \dots n$ из шкалы дБ в шкалу неперов:

$$X_{Neper} = \frac{1}{10 \lg(e)} \cdot X_{dB}. \quad (2)$$

2) Определение среднего значения M_i и дисперсии S_i^2 n распределений уровней мощности (шкала неперов):

$$M_i = e^{\bar{F}_i + \frac{\sigma_i^2}{2}}, \quad S_i^2 = e^{2\bar{F}_i + \sigma_i^2} \cdot (e^{\sigma_i^2} - 1), \quad i = 1 \dots n. \quad (3)$$

3) Определение среднего значения M , и дисперсии S^2 , распределения суммарной мощности (шкала неперов):

$$M = \sum_{i=1}^n M_i, \quad S^2 = \sum_{i=1}^n S_i^2. \quad (4)$$

4) Определение параметров распределения, \bar{F}_Σ и σ_Σ приближительного логарифмически нормального распределения суммарного уровня (шкала неперов):

$$\sigma_\Sigma^2 = \log_e \left(k \frac{S^2}{M^2} + 1 \right), \quad \bar{F}_\Sigma = \log_e(M) - \frac{e_\Sigma^2}{2}, \quad i = 1 \dots n. \quad (5)$$

5) Преобразование \bar{F}_Σ и σ_Σ из шкалы неперов в шкалу дБ:

$$X_{dB} = 10 \lg(e) \cdot X_{Neper}, \quad (6)$$

\bar{F}_Σ и σ_Σ – среднее значение напряженности поля и стандартное отклонение, соответственно, приближенного логарифмически нормального распределения фактического суммарного уровня поля.

Поскольку ранее было установлено [11, 21], что среднее значение стандартного отклонения для условий ОЧС DVB-T2 «зона Владивосток» в преобладающем канале Релея равно 4,1 дБ, в соответствии с рекомендациями МСЭ-Р [9, 10], при суммировании полей значение k принималось равным 0,7.

Исследуемая ОЧС DVB-T2 «зона Владивосток» развернута на базе ранее действующей аналоговой телевизионной сети на существующих

антенно-мачтовых сооружениях, взаимное расположение которых не соответствует расположению передающих устройств в эталонной сети. Рассмотрим условие «сетевого усиления» синхронной сети для такой ситуации. Отсутствие внутрисетевой интерференции между двумя станциями ОЧС в любой точке зоны обслуживания определяется тем, что разность путей, пройденных сигналом от каждой станции, не превышает критическое расстояние, эквивалентное величине ЗИ. Это критическое расстояние $R_{кр}$ можно выразить (7):

$$R_{кр} = T_g \cdot c, \quad (7)$$

где T_g – абсолютное значение длительности ЗИ, в секундах; c – скорость света, м/с.

Очевидно, что конфигурация сети будет оптимальной, когда территориальный разнос между всеми станциями не превысит критическое расстояние. Для оценки степени влияния рассогласованности передатчиков с энергетической стороны необходимо определить, какой уровень сигнала создает каждый передатчик сети в зоне обслуживания другого. Если разность уровней сигналов от рассогласованных передатчиков превышает требуемое защитное отношение $CINR_{min}$ для выбранного режима модуляции, помеха от передатчика не будет воздействовать фатально. В противном случае передатчик считается помеховым. Поскольку каждый передатчик должен обеспечивать в своей зоне обслуживания минимальный уровень сигнала P_{min} , условие критического уровня мешающего сигнала запишется (8):

$$P_{cr} = P_{min} - CINR_{min}, \quad (8)$$

где P_{min} – минимальный требуемый уровень мощности сигнала на границе зоны обслуживания сети для конкретных параметров ОЧС.

Вычисленные в программном комплексе критические значения напряженности поля, создаваемые передатчиками в каждой малой зоне обслуживания ОЧС, показывают степень влияния рассогласованности передатчиков сети и являются критерием отнесения конкретного передатчика к

полезным, в этом случае выполняется условие «сетевого усиления» синхронной сети; либо мешающим.

Таким образом, для определения мест уверенного приема в каждой точке зоны обслуживания ОЧС должен применяться следующий алгоритм расчетов:

1) Определение и фиксация местоположения всех передатчиков исследуемой ОЧС;

2) Определение передающих устройств для каждой точки пространства в зоне ОЧС, для которых выполняется условие (7);

3) Расчет для каждой точки пространства в зоне ОЧС напряженности поля, создаваемое каждым передающим устройством, для которых выполняется условие (8);

4) Сложение напряженностей поля полезных передатчиков методом k-LNM для каждой точки пространства;

5) Оценка соответствия суммарной напряженности поля необходимому значению напряженности поля для уверенного приема для конкретных параметров ОЧС;

6) Для каждой точки пространства в зоне ОЧС определение передающих устройств, для которых время задержки превышает длительность ЗИ и вычисление уровня напряженности мешающего сигнала;

7) Сложение напряженностей поля мешающего сигнала методом k-LNM для каждой точки пространства;

8) Сравнение отношения суммарных значений напряженности поля полезного и мешающего сигналов с соответствующим защитным соотношением в совмещенном канале приема. По уровню отношения принимается решение об отнесении точки пространства к зоне уверенного приема, либо к зоне с внутрисистемными помехами, либо к зоне «теней».

Результаты моделирования

С помощью представленного алгоритма, реализованного в программном комплексе, были выполнены эксперименты для последовательной оценки отношений сигнал-шум для каждой точки в зоне обслуживания передатчиков ОЧС DVB-T2 «зона Владивосток». Параметры расчетов соответствуют параметрам действующей сети ОЧС DVB-T2 «зона Владивосток» (диапазон частот 750-758 МГц, ЗИ 1/16, 64 QAM, $P_{\min} = 55,5$ дБмкВ/м, $CINR_{\min} = 20$ дБ). Прежде всего, необходимо отметить, что полученные в результате моделирования параметра качества исследуемой сети соответствуют заявленным. Вместе с тем, расчеты показали, что территориальный разнос примерно половины телепередатчиков сети превышает критическое значение. Особенно интересны случаи, когда самые мощные передатчики в сети (мощность, подводимая к антенне, таких передатчиков составляет 5 кВт) могут создавать помехи маломощным передатчикам (мощность, подводимая к антенне, таких передатчиков 100 Вт). Например, в работе [20] показано, что передатчик в г. Владивостоке потенциально может создавать помехи для 30-ти передатчиков сети, а в с. Новожатково – для 22-х. Данные станции могут создавать помехи и друг другу, так как расстояние между ними превышает 120 км. Иными словами, с точки зрения территориального разнеса, конфигурация сети выглядит не лучшим образом. Расчеты показали, что все помехи могут исходить от передатчиков с высокой эффективно излучаемой мощностью и значительной высотой подвеса антенн, а именно: станции г. Владивосток, о. Русский, г. Уссурийск и с. Новожатково.

В качестве примера на рисунке представлен фрагмент рассчитанной зоны обслуживания одного из основных передатчиков сети г. Уссурийск. Области, в которых уровень напряженности поля ниже требуемого, не закрашены. Зеленым цветом обозначены области, в которых отношение сигнал-шум соответствует требуемым значениям. Желтым цветом обозначены области, в которых отношение сигнал-шум не соответствует требуемым значениям, но задержка между сигналами не превышает ЗИ и оба сигнала являются полезными. В этих

областях возможно появление, в том числе, эффекта одночастотного усиления (SFN Gain) [12,13]. Красным цветом обозначены возможные области возникновения интерференции.

Для подтверждения данных модельных расчетов были проведены измерения с помощью спектроанализатора качества сигнала в данных областях. Результаты полевых экспериментов подробно обсуждены в [11, 21]. Они подтверждают вывод о том, что запаздывание сигналов от мощных передатчиков сети могут создавать эффекты внутрисетевой интерференции в областях зоны обслуживания, расположенных на расстояниях l больше критического. В правом нижнем углу рисунка представлена часть экрана спектроанализатора с фиксацией сигналов от полезного передатчика г. Уссурийска ($l = 5.23$ км, $A = 50$ дБ, где A – мощность принимаемого сигнала в зоне проведения измерения) и от мешающего передатчика в г. Владивостоке ($l = 72.3$ км, $A = 34$ дБ) для одной из характерных малых зон. Видно, что требуемое соотношение сигнал/шум 20 дБ не выполняется.

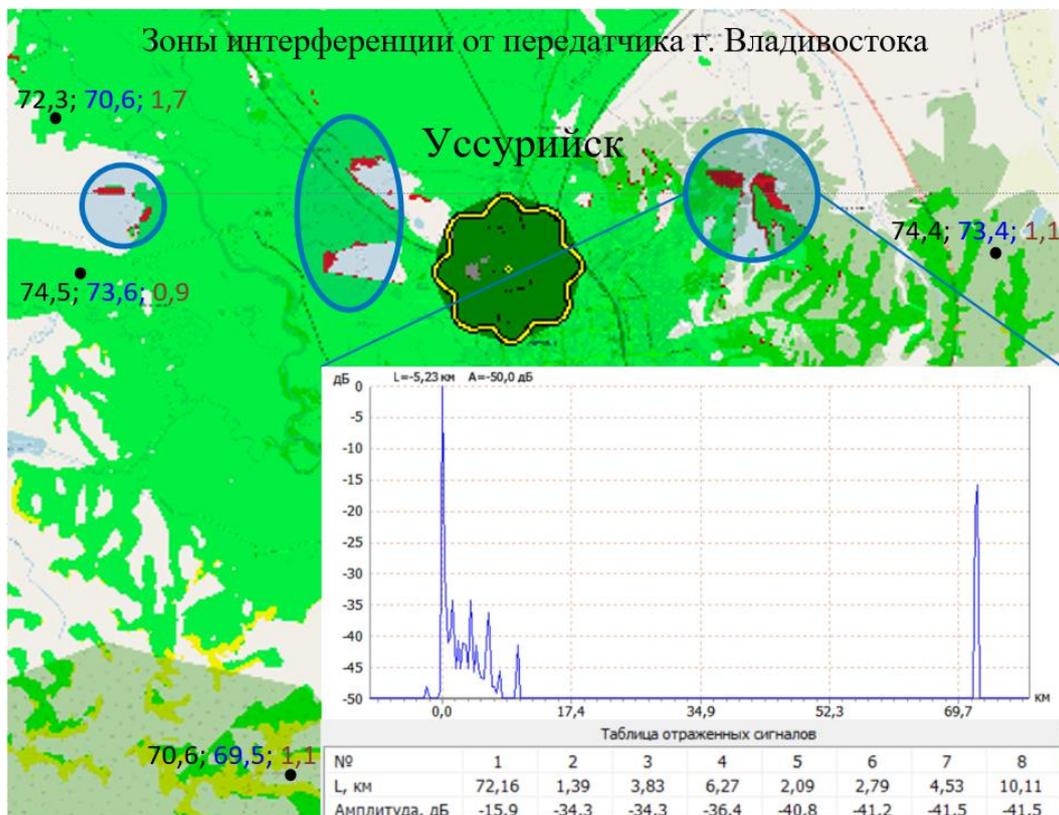


Рис. 1. Фрагмент зоны обслуживания ОЧС DVB-T2 «зона Владивосток» и выявленные области интерференции, создаваемые «мешающим» передатчиком г. Владивостока

Уменьшение мощности передатчиков кажется самым очевидным способом уменьшения или исключения областей интерференции в зоне обслуживания ОЧС DVB-T2 «зона Владивосток». Дополнительные расчеты, однако, показывают, что уменьшение подводимой к антенне мощности передатчиков в г. Владивостоке и с. Новожатково на 1 кВт не ухудшает качество покрытия ОЧС DVB-T2 «зона Владивосток», но выявленные области интерференции не исчезают [24]. Дальнейшее уменьшение мощностей этих передатчиков приводит к неприемлемому качеству вещания. Естественно, для обеспечения заданных параметров качества покрытия и исключения областей интерференции в ОЧС DVB-T2 «зона Владивосток» можно было бы увеличить ЗИ до величины $\frac{1}{4}$, что решило бы проблему возникновения областей интерференции радикально. Однако, это приведет к снижению информационной скорости цифрового потока и может рассматриваться в качестве крайнего средства.

Предустановленная задержка в вещании некоторых передатчиков сети является более предпочтительным вариантом [20]. Но такой подход требует оптимизации действующей телевизионной сети на основе достаточно сложных расчетов, выходящих за рамки данной работы.

Как уже упоминалось, при оценке качества сети должны учитываться не только простое геометрическое сложение зон уверенного приема каждого передатчика, не только взаимные помехи, но и так называемое «усиление сети» [10]. При работе передатчиков в синхронной сети все элементы принятого символа COFDM складываются конструктивно в том случае, если максимальное время задержки при многолучевом сигнале не превышает временной длительности ЗИ символа COFDM. Этот эффект получил название «сетевое усиление» синхронной ОЧС [10, 14].

Для оценки « сетевого усиления » был выбран один из фрагментов сети цифрового эфирного вещания Приморского края – ОЧС DVB-T2 «зона Владивосток». Все расчеты проводились для условий фиксированного приема на ненаправленную антенну. На основе изучения литературных источников выявлено, что все современные телевизионные приёмники сигналов DVB-T2

используют технологию демодулирования сигнала DVB-T2 по наибольшему значению пилот-сигнала в символе DVB-T2 [2]. Поэтому, при прогнозировании зон обслуживания ОЧС в качестве результирующего, как правило, принимается максимальный уровень сигнала, создаваемого конкретным передатчиком сети в каждой малой зоне приема. Между тем учет конструктивного сложения символов COFDM от всех передатчиков ОЧС может привести к «усилению сети» в пределах зоны обслуживания.

На рисунке, в качестве примера, представлены результаты расчетов «сетевого усиления» для некоторых характерных малых зон приема телевизионного сигнала в зоне обслуживания передатчика г. Уссурийска. Черным цветом на рисунке обозначено рассчитанное в программном комплексе максимальное значение напряжённости поля в малой зоне приема от передатчика г. Уссурийска, синим – значение напряжённости поля, рассчитанное по методу k-LNM, красным – повышение уровня сигнала за счет «усиления». Расчеты показали, что эффект «усиления» подвержен, как и ожидалось, значительным пространственным изменениям – от уровней, лежащих в пределах статистической погрешности, до значений, превышающих 4,7 дБ. В среднем же для всей ОЧС DVB-T2 «зона Владивосток» повышение уровня сигнала в каждой точке приёма составляет около 2 дБ при среднеквадратическом отклонении равном 0,78 дБ, что свидетельствует о статистической достоверности полученных результатов. Полученные результаты согласуются с выводами работы [13].

Заключение

Предложенный способ уточнения границ областей уверенного приема телевизионного сигнала в ОЧС DVB-T2, реализованный в программном комплексе, позволил выявить некоторые особенности топологии сети Приморья, вызываемые сложным рельефом. Существующий территориальный разнос передатчиков этой сети, в сочетании с высокой эффективноизлучаемой мощностью и значительной высотой подвеса передающих антенн, способствуют

возникновению внутрисистемных помех. При заданных параметрах вещания уровень сигнала за границей зоны обслуживания мощных передатчиков может достичь значений, превышающих требования ГОСТа. Одним из вариантов ликвидации областей внутрисистемных помех может быть введение предустановленных задержек времени излучения передатчиков, находящихся на границах зоны обслуживания с целью приведения всех эхо-сигналов в пределы установленного ЗИ.

Результаты исследований показывают, что для условий приема сигналов ОЧС зона «Владивосток» на ненаправленную антенну в синхронных сетях DVB-T2 наблюдается эффект, так называемого, «сетевого усиления», при котором уровень напряженности поля в малой зоне приема может повышаться до 4 дБ, при среднем значении, примерно, 2 дБ и стандартном отклонении 0,74 дБ. Это обстоятельство необходимо принимать во внимание при проектировании синхронной сети цифрового телевидения на этапе обоснования защитного интервала. Кроме этого, при оценке электромагнитной обстановки, анализе электромагнитной совместимости и определения частотно-территориального разноса для цифровых систем связи принятие в расчет этого эффекта также необходимо для обеспечения заданных параметров качества сети.

Очевидно, что эти предварительные результаты моделирования ОЧС «Владивосток» требуют продолжения экспериментальных подтверждений.я ОЧС «Владивосток».

Финансирование: Данная работа выполнена в рамках государственного задания Минобрнауки России в сфере научной деятельности по проекту № FZNS-2023-0008.

Литература

1. Карякин В.Л., Карякин Д.В., Морозова Л.А. Методы обеспечения работоспособности региональной сети SFN телерадиовещания // Modern problems and ways of their solution in science, transport, production and education. 2016.
2. Ломакин А.Ф., Стеценко Г.А. Некоторые особенности одночастотной сети DVB-T2 города Владивостока // Вестник Инженерной школы ДВФУ. 2016. № 4. С. 25-38.
3. Ломакин А.Ф. Возможный алгоритм модернизации сети DVB-T2 / А.Ф. Ломакин, Г.А. Стеценко // Вестник Инженерной школы ДВФУ (Владивосток). – 2017. Т. № 4(33). – С. 139-147.
4. Ломакин А.Ф., Стеценко Г.А., Гоголев Н. А. Программа для оптимизации одночастотных сетей цифрового телевидения DVB-T2 для территорий со сложным рельефом / Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2020617677 Федеральной службы по интеллектуальной собственности, 10 июля 2020 года.
5. Beutler R. Frequency Assignment and Network Planning for Digital Terrestrial Broadcasting Systems // Springer Science & Business Media Berlin, Heidelberg, Springer-Verlag. 2004.
6. Рекомендация МСЭ Р.1812 (A path-specific propagation prediction method for point-to-area terrestrial services in the VHF and UHF bands). URL: <https://www.itu.int/rec/R-REC-P.1812/> (дата обращения: 14.03.2024).
7. 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). URL: https://www.itu.int/dms_pubrec/itu-r/rec/p/R-REC-P.1546-6-201908-I!!PDF-R.pdf (дата обращения: 14.03.2024).
8. Kasampalis, S., Lazaridis, P.I., Zaharis, Z.D., Bizopoulos, A., Zettas, S., Cosmas, J. Comparison of Longley-Rice, ITM and ITWOM propagation models for DTV and FM broadcasting // WPMС. – 2013. С. 1-6.

9. Report ITU-R BT.2386-2. Digital terrestrial broadcasting: Design and implementation of single frequency networks (SFN). URL: https://www.itu.int/dms_pub/itu-r/opb/rep/R-REP-BT.2386-2-2019-PDF-E.pdf (дата обращения: 14.03.2024)
10. Tech 3348: Frequency and Network Planning Aspects of DVB-T2 // EBU. Geneva. 2013. URL: <https://tech.ebu.ch/publications/tech3348> (дата обращения: 14.03.2024)
11. Ломакин А.Ф., Стаценко Л.Г., Стеценко Г.А. Выявление возможных внутрисистемных помех в зоне «Владивосток» одночастотной сети DVB-T2 Приморского края // Известия ЮФУ, №6 (200). 2018. С. 152-163.
12. Plets D. On the Methodology for Calculating SFN Gain in Digital Broadcast Systems // IEEE Transactions on Broadcasting. 2010. –Vol. 56. – P. 331–339.
13. Ruckveratham B. Evaluation of SFN Gain for DVB-T2 / B. Ruckveratham, S. Promwong // 2017 International Conference on Digital Arts, Media and Technology (ICDAMT). – 2017. – P. 85–88.
14. МСЭ. Справочник по ЦНТВ. Цифровое наземное телевизионное вещания в диапазонах ОВЧ/УВЧ. Женева. 2002.
15. Методика определения зоны обслуживания одиночной передающей станции наземного цифрового ТВ-вещания стандарта DVB-T2. Утверждена решением ГКРЧ от 16.10.2015 г. № 15–35–04.
16. Методика расчета зоны обслуживания РЭС наземного цифрового телевизионного вещания системы DVB-T2 для фиксированного приема в полосах частот 174–230 и 470–790 МГц. Утверждена решением ГКРЧ от 22.07.2014 г. № 14–26–10.
17. 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. URL: https://www.itu.int/dms_pubrec/itu-r/rec/p/R-REC-P.1546-6-201908-I!!PDF-R.pdf (дата обращения: 14.03.2024).
18. Бакут П.А. и др. Теория обнаружения сигналов.-М.:Радио и связь, 1984.

19. Loreta A. Coverage Optimization for DVB-T2 SFN Networks // International Journal of Engineering Science Invention (IJESI) // Volume 7 Issue 2. 2018. С. 05-09.
20. Lomakin A.F., Petrosyants V.V., Kantur V.A., Statsenko V.N. Modeling of single-frequency DVB-T2 networks // International Multi-conference on industrial engineering and modern technologies, 2020.
21. Lomakin A.F., Petrosyants V.V., Kantur V.A., Statsenko V.N. Modeling and evaluation of intra-system interference in DVB-T2 single-frequency network // International Multi-conference on industrial engineering and modern technologies, 2019.
22. Longley A. G., Rice P. L. Prediction of tropospheric radio transmission loss over irregular terrain. A computer method-1968, U.S. Government Printing Office, Washington, ESSA Tech. Rep. ERL 79-ITS 67, 1968.
23. Shumate S. E. Longley-Rice and ITU-P.1546 combined: A new international terrain- specific propagation model // IEEE 72nd Vehicular Technology Conference Fall (VTC 2010-Fall). 2010. pp. 1–5.
24. Колесникова Н. Е., Логинов П. А., Тунеголовец Д. К. Организация альтернативной сети DVB-T2 в городе Владивостоке // Наука, техника, промышленное производство: история, современное состояние, перспективы: материалы научно-практической конференции ДВФУ, Владивосток, декабрь, 2018, с. 493-497.

Для цитирования:

Стаценко Л.Г., Петросьянц В.В., Ломакин А.Ф. Колесникова Н.Е. Тихонов Д.Е. Уточнение границ областей уверенного приема телевизионного сигнала в одночастотной сети DVB-T2. // Журнал Радиоэлектроники. – 2024. – №. 6. <https://doi.org/10.30898/1684-1719.2024.6.5>