

20. *Moiseev V.F., Zaykov V.P.* Vliyanie rezhima raboty termoelektricheskogo ustroystva na ego nadezhnost' [The influence of the mode of operation of the thermoelectric device reliability], *Tekhnologiya i konstruirovaniye v elektronnoy apparature* [Technology and designing in electronic equipment], 2001, No. 4-5, pp. 30-33.
21. *Djeu N.* Laser cooling by spontaneous anti-Stokes scattering, *Phys. Rev. Lett.*, 1981, Vol. 46, pp. 236-239.
22. *Paliy A.V., Zamkov E.T., Serba P.V.* Opredelenie tolshchiny pogranichnogo sloya pri obtekanii tela aerodinamicheskim potokom metodom elektrostatičeskoj analogii [Determination of the thickness of the boundary layer in the flow around the body by an aerodynamic flow method of electrostatic analogy], *Izvestiya YuFU. Tekhnicheskie nauki* [Izvestiya SFedU. Engineering Sciences], 2012, No. 1 (126), pp. 192-197.
23. *Shabarov V.V.* Primeneniye sistemy ANSYS k resheniyu gidrogazodinamicheskikh zadach [Application of the system in ANSYS for solution of tasks of water and gas flows]. Nizhniy Novgorod, 2006, 108 p.
24. *Paliy A.V., Zamkov E.T.* Mekhanizm vozniknoveniya treniya i soprotivleniya tela v gazovom potoke [The mechanism of friction and resistance of the body in the gas stream], *Izvestiya YuFU. Tekhnicheskie nauki* [Izvestiya SFedU. Engineering Sciences], 2012, No. 1 (126), pp. 186-191.
25. *Paliy A.V., Zamkov E.T., Buleyko V.G.* Mekhanizm sozdaniya soprotivleniya ploskoy poverkhnosti v gazovom potoke tangentsial'noy sostavlyayushchey skorosti molekuly gaza [The mechanism of creation of resistance of a flat surface in a gas stream of a tangential component of speed of a molecule of gas], *Izvestiya YuFU. Tekhnicheskie nauki* [Izvestiya SFedU. Engineering Sciences], 2013, № 1 (138), pp. 197-202.

Статью рекомендовал к опубликованию д.т.н., профессор С.П. Тарасов.

**Чернов Николай Николаевич** – Южный федеральный университет; e-mail: nnchernov@sfedu.ru; 347922, г. Таганрог, ул. Шевченко, 2; кафедра электрогидроакустической и медицинской техники; д.т.н.; профессор.

**Палий Александр Викторович** – e-mail: a.v.\_paliy@mail.ru; 347928, г. Таганрог, ул. Петровская, 81; тел.: 88634328049; к.т.н.; доцент; НКБ «МИУСЮФУ», инженер-конструктор 2-й кат.

**Chernov Nikolay Nikolaevich** – Southern Federal University, e-mail: nnchernov@sfedu.ru; 2, Shevchenko street, Taganrog, 347922, Russia; the department of electrohydroacoustic and medical technology; dr. of eng. sc.; professor.

**Palii Alexander Viktorovich** – e-mail: a.v.\_paliy@mail.ru; 81, Petrovskaya, Taganrog, 347928, Russia; phone: +78634328049; cand. of eng. sc.; associate professor; SFedU SDB «ACS», design engineer of the second category.

УДК 621.396.6:621.397

DOI 10.23683/2311-3103-2018-6-152-163

**Г.А. Стеценко, А.Ф. Ломакин, Л.Г. Стаценко**

## **ВЫЯВЛЕНИЕ ВОЗМОЖНЫХ ВНУТРИСИСТЕМНЫХ ПОМЕХ В ЗОНЕ «VLADIVOSTOK» ОДНОЧАСТОТНОЙ СЕТИ DVB-T2 ПРИМОРСКОГО КРАЯ**

*Анализируются результаты моделирования одночастотной сети DVB T2 Приморского края на предмет возникновения внутрисистемных помех на совмещенном канале. Описывается ситуация, когда качество вещания сети для региона со сложным рельефом, построенной на базе ранее развернутой инфраструктуры, существенно зависит от выбранного значения защитного интервала. Поскольку исследуемая конфигурация сети уникальна, используемые режимы вещания DVB-T2, эффективные высоты подвеса антенн и эффективные излучаемые мощности передатчиков могут определять не только размер зоны обслуживания*

ния, но и приводит к возникновению внутри зоны обслуживания областей внутрисимвольной интерференции с пониженным качеством сигнала. Данное предположение подтверждается результатами численного моделирования по выявлению областей с критическим уровнем помех в зоне обслуживания телевизионного передатчика в г. Уссурийске при работе центрального передатчика сети, расположенного в г. Владивостоке. Используется модель Лонгли-Райса, параметры которой учитывают текущие режимы вещания сети и положения ГОСТа РФ по цифровому телевидению. При анализе результатов численного моделирования выявлено несколько областей с критическим уровнем помех в зоне обслуживания сети DVB-T2. Причина – невыполнение условий корректной работы передатчиков одночастотной сети на территории со сложным рельефом. При установленных режимах работы сети, запаздывание сигнала от центрального передатчика сети в г. Владивостоке может создать эффекты внутрисетевой интерференции в удаленных областях обслуживания. Выявленная особенность подтверждается данными полевых измерений качества телевизионного сигнала в проблемных областях, проведенных в соответствии с существующими нормами и требованиями. Предлагаются некоторые варианты снижения уровня влияния помех. Так, для рассматриваемого примера, возможными способами исключения эффектов внутрисетевой интерференции могут быть либо уменьшение мощности мешающего центрального телепередатчика сети, либо изменение основного параметра сети - защитного интервала – до величины 1/4 полезного символа. В тоже время, при сохранении существующего территориального разнеса РППС и диаграмм направленности антенных систем, эффективным приемом исключения взаимного влияния передатчиков может стать оптимизация предустановленной относительной задержки для каждого передатчика сети.

*Внутрисистемные помехи; ОЧС DVB-T2; модельные расчет; измерение качества сигнала.*

**G.A. Stetsenko, L.G. Statsenko, A.F. Lomakin**

#### **DETECTION OF POSSIBLE INTRA-SYSTEM INTERFERENCE IN THE «VLADIVOSTOK» ZONE OF THE SFN DVB-T2 PRIMORSKY KRAI**

*The article analyzes the results of simulation the occurrence of intra-system interference on a co-channel in a single-frequency DVB-T2 network in the Primorskiy Krai. The situation is described when the quality of network broadcasting for a region with a complex terrain, built on the basis of a previously deployed infrastructure, significantly depends on the selected value of the guard interval. Since the network configuration under study is unique, the used DVB-T2 broadcasting modes, effective antenna heights and effective transmitter power can determine not only the size of the service area, but also lead to intra-symbol interference areas with reduced signal quality inside the service area. This assumption is confirmed by the results of numerical modeling to identify areas with a critical level of interference in the service area of a television transmitter in the city of Ussuriysk when the central transmitter of the network located in Vladivostok is operating. The Longly-Rice model is used, the parameters of which take into account the current network broadcasting modes and the provisions of the Russian GOST on digital television. When analyzing the results of numerical simulation, several areas with a critical level of interference in the service area of the DVB-T2 network were identified. The reason of it is non-fulfillment of the conditions for the correct operation of the transmitters of a single-frequency network in an area with difficult terrain. With the established network operating modes, the signal lag from the central network transmitter in Vladivostok can create the effects of intranet interference in remote service areas. The revealed feature is confirmed by the data of field measurements of the quality of the television signal in problem areas, carried out in accordance with existing standards and requirements. Some options are offered to reduce the effect of interference. So, for the example in question, possible ways to eliminate the effects of intranet interference can be either reducing the power of the interfering central television transmitter of the network, or changing the main network parameter — the guard interval — to 1/4 of the useful symbol. At the same time, while maintaining the existing spatial separation of the RCF and antenna patterns of antenna systems, optimization of the preset relative delay for each network transmitter can be an effective method of eliminating the mutual influence of transmitters.*

*Intra-system interference; DVB-T2 SFN; model calculation; signal quality measurement.*

**Введение.** В Приморском крае развернута сеть вещательного цифрового телевидения DVB-T2, в основном состоящая из семи цифровых синхронных зон (ОЧС зон). Одной из них является зона «Vladivostok», построенная на базе 45 передающих станций и ранее созданной инфраструктуры. Одночастотная сеть представляет собой группу телевизионных передатчиков, работающих на совмещенном канале без создания помех друг другу при правильной конфигурации и формирующих единую зону обслуживания. Поскольку взаимное расположение передатчиков сети ОЧС зоны «Vladivostok» создает предпосылки для появления внутрисистемных помех при их работе, была предпринята попытка оценить степень влияния этих помех. В настоящей работе обсуждаются результаты численных исследований возможного возникновения интерференционных помех на совмещенном канале в зоне обслуживания (ЗО) передатчика в г. Уссурийске от центрального передатчика сети (сопка Орлиная, г. Владивосток).

В качестве методологической основы исследований при расчете зон обслуживания ОЧС приняты методика [1], модель Лонгли-Райса [2] и положения ГОСТа РФ по ЦТВ [3–5]. Достоверность расчетов подтверждалась результатами натурных измерений параметров телевизионного сигнала в проблемных областях в соответствии с требованиями [6]. Модельные расчеты проводились по заданным существующим параметрами сети (табл. 1) и передающих станций (табл. 2), принятых для вещания пакета программ 2-го мультиплекса в Приморском крае.

Таблица 1

**Параметры ОЧС DVB-T2 г. Владивостока**

Параметр	Значение
Поляризация	Горизонтальная
Диапазон частот	750 – 758 МГц, 56 ТВК
Центральная частота	754 МГц
Вид модуляции	64QAM
Скорость кодирования	4/5
Размерность ДПФ	32к
Защитный интервал	1/16 (224 мкс)
Способ приема сигнала	Фиксированный
Высота приемной антенны	10 м
Канал распространения	АБГШ
Чувствительность приемника	26 мкВ (-91,7 дБВ) -89,1
Требуемая напряженность поля	53,4 дБмкВ/м
Требуемое отношение сигнал/шум	20 дБ

Таблица 2

**Параметры передатчиков сети**

Передатчик	«Владивосток»	«Уссурийск»
Тип антенны	4 панели, 8 этажей	4 панели, 8 этажей
Координаты	43°07'20" С.Ш. 131°53'55" В.Д.	43°49'02" С.Ш. 131°56'21" В.Д.
Высота подвеса	185 метров	65 метров
Мощность передатчика	5000 Вт	1000 Вт

Известно, что в основе частотного планирования ОЧС лежит оценка радиуса зоны обслуживания при выполнении требуемого качества приема полезных сигналов. Исходя из этого определяются эффективные излучаемые мощности телевизионных передатчиков, высоты подвеса предающих антенн и необходимый территориальный разнос между зонами обслуживания, в которых используется совмещенный частотный канал. Конечная цель подобных расчетов для различных сценариев планирования – обеспечение максимально возможной зоны обслуживания сети. Оптимальным сценарием считается тот, при котором, при заданной требуемой напряженности поля  $E_{гр}$ , в каждой точке ЗО выполняется условие: отношение уровня полезного сигнала  $E_S$  к уровню помехи  $E_I$  не превышает соответствующий допустимый параметр  $A$  – защитное отношение [4]. При корректном планировании ОЧС предполагается обязательный учет взаимного влияния передатчиков синхронной зоны. Так, расширение зоны обслуживания сети и решение проблемы теневых зон не могут быть достигнуты повышением мощности передатчиков или увеличением высоты подвеса антенн, поскольку это может привести к снижению качественных характеристик принимаемого сигнала из-за перекрытия зон обслуживания соседних передатчиков. Этому вопросу посвящены ряд публикаций [7–20].

**Расчет границ зоны интерференции.** Рассмотрим частный случай возникновения внутрисимвольных помех в сетях ОЧС (помеха DVB-T2 от DVB-T2) на примере моделирования зон обслуживания двух передатчиков ОЧС Приморья: центрального, расположенного на сопке Орлиная, г. Владивосток и передатчика в г. Уссурийске. Расстояние между ними составляет 77,3 км.

При планировании ОЧС DVB-T2 последовательно рассчитывают уровни полезного сигнала  $E_S$  и возможных помех в каждой точке ЗО, при этом требования к качеству приема сигнала формулируются следующим образом [7]:

- ◆ на границе ЗО условие  $E_S \leq E_{гр}$  должно выполняться не более чем в  $L_E$  % мест и  $T_E$  % времени ( $L_E$  % и  $T_E$  % < 50);

- ◆ на границе ЗО условие  $\rho = P_S / \sum_{k=1}^N P_{Ik} \leq A$  должно выполняться не более

чем в  $L_A$  % мест и  $T_A$  % времени ( $L_A$  % и  $T_A$  % < 50). Здесь  $\rho$  – отношение сигнал/помеха;  $P_S$  и  $P_{Ik}$  – мощности полезного сигнала и помех, поступающих на вход приемника;  $A$  – защитное отношение).

В нашем случае перечисленные выше параметры следующие:  $L_E$ ,  $T_E$ ,  $L_A$ ,  $T_A = 5$  %,  $E_{гр} = 53,4$  дБмкВ/м,  $A = 20$  дБ. Критерием принадлежности точки пространства к ЗО является одновременное выполнение этих условий, и первое из них позволяет определить необходимый энергетический потенциал вещательных станций ОЧС, расположенных в ЗО. Второе требование к качеству приема сигнала позволяет оценить оптимальное расстояние между ЗО создаваемыми каждым передатчиком ОЧС. В общем случае расстояние между станциями, расположенными в одной общей ЗО, должно выбираться таким образом, чтобы запаздывание сигналов от каждой из них в точке приема не превышало выбранный защитный интервал. Запаздывание обуславливается различием путей, пройденных каждым сигналом до точки приема, и является причиной возникновения внутрисетевой интерференции.

Для отсутствия внутрисетевой интерференции между двумя станциями ОЧС в конкретной точке зоны обслуживания необходимо выполнить одно из условий:

- ◆ разность путей, пройденных сигналом от каждой станции, не превышает критическое расстояние, эквивалентное величине защитного интервала;

- ◆ уровни этих двух сигналов отличаются на величину большую, чем защитное отношение для выбранного режима модуляции.

Критическое расстояние  $R_{KP}$  для первого условия определяется по формуле (1):

$$R_{KP} = T_g \cdot C, \quad (1)$$

где  $T_g$  – абсолютное значение длительности защитного интервала (ЗИ), в секундах;  $C$  – скорость света, м/с.

Предложим простой способ определения зоны, в которой выполняется первое условие наличия внутрисетевой интерференции. Поскольку граница этой зоны состоит из множества точек плоскости, для которых разность расстояний от двух передатчиков равна критическому  $R_{KP}$ , ее можно представить в виде гиперболы, фокусы которой расположены в антеннах исследуемых телевизионных передатчиков.

Запишем каноническое уравнение гиперболы в виде (2):

$$\frac{x^2}{a^2} - \frac{y^2}{b^2} = 1, \quad (2)$$

Действительная полуось этой гиперболы  $a$ , равная расстоянию от центра гиперболы до ее вершины, в нашем случае будет составлять половину критического расстояния  $R_{KP}$ . Фокусное расстояние  $c$  будет равно половине расстояния между передатчиками. Тогда можно выразить  $a$  (3) и  $b$  (4) как:

$$a = \frac{R_{KP}}{2} = \frac{T_g \cdot C}{2} = 33,6 \text{ км}, \quad (3)$$

$$b = \sqrt{c^2 - a^2} = 19,1 \text{ км}, \quad (4)$$

В таком случае сектор, в котором могут проявляться внутрисистемные помехи, будет ограничен асимптотами гиперболы, уравнение которых имеет вид (5):

$$y = \pm \frac{b}{a} x = \pm 0,5685 x, \quad (5)$$

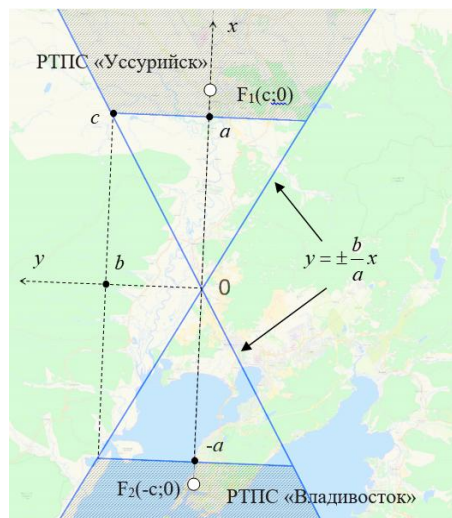


Рис. 1. Предварительная оценка границ зоны интерференции

Заштрихованной областью на рис. 1 представлен вариант предварительной оценки границ зоны возможной интерференции, полученный достаточно простым способом построения асимптот и определения вершины гиперболы с помощью параметра  $a$ .

Для точного определения границ зоны можно построить (рис. 2) ветви гиперболы (6), используя уравнение (2) и подставив в него полученные значения  $a$  и  $b$ :

$$\frac{x^2}{33,6^2} - \frac{y^2}{19,1^2} = 1, \quad (6)$$

Необходимо отметить, что одной из мер устранения зон интерференции является установка задержки вещания сигнала для того РПРС, в зоне обслуживания которого появляются эти зоны. Величину этой предустановленной задержки  $\tau$  можно вычислить с помощью выражения (7), полученного с использованием ранее обозначенных величин (3, 4). Для исследуемой пары передатчиков она будет составлять 33,7 мкс.

$$\tau = \frac{2 \cdot (c - a)}{C}, \quad (7)$$

Использование задержки смещает фокус гиперболы, расположенный в удаленном РПРС ближе к центральному передатчику, до момента полного ее исчезновения при  $c = a$ .

Заметим, что используемый на центральном передатчике ОЧС «Владивосток» комплекс антенн имеет достаточно высокий коэффициент усиления и формирует эффективную излучаемую мощность в направлении Уссурийска около 200 кВт, что создает предпосылки для проверки выполнения второго условия отсутствия внутрисетевой интерференции. Для этого необходимо оценить отношение уровня полезного ТВ сигнала («Уссурийск») к помеховому сигналу («Владивосток»), руководствуясь методикой [8].

**Выявление зон интерференции.** Следуя [8], введем обозначения:  $P_{l\_изл}$  – мощность (дБкВт),  $h_{l\_эфф}$  – эффективная высота подвеса (м), а  $G_l$  – коэффициент усиления (дБ) антенны вещательной станции РПРС «Владивосток», создающей помехи на границе ЗО РПРС «Уссурийск»;  $P_{s\_изл}$  – мощность (дБкВт),  $h_{s\_эфф}$  – эффективная высота подвеса (м), а  $G_s$  – коэффициент усиления (дБ) антенны вещательной станции РПРС «Уссурийск»;  $g_r$  – коэффициент усиления (дБ) антенны приемника сигналов в направлении на станцию, создающую помехи приему сигналов;  $G_r$  – коэффициент усиления (дБ) приемной антенны в направлении на вещательную станцию своей ЗО;  $A$  – защитное отношение (дБ);  $D_0$  – расстояние от приемника до вещательной станции РПРС «Уссурийск» (км);  $D_1$  – расстояние от приемника до вещательной станции РПРС «Владивосток» (км).

Используя приведенные выше обозначения, выражения, определяющие мощность полезного сигнала (8) и мощность помехи (9) на входе приемника вещательного сигнала, с учетом флуктуации уровней сигнала, и помехи по месту и времени, в относительных единицах (дБкВт), можно записать:

$$P_S = G_r + G_S + P_{s\_изл} + L_m(D_0, h_{s\_эфф}, h_r) + X_{L_S} + X_{T_S}, \quad (8)$$

$$P_r = g_r + G_l + P_{l\_изл} + L_m(D_1, h_{l\_эфф}, h_r) + X_{L_l} + X_{T_l}. \quad (9)$$

Уровень мощностей является случайным вследствие флуктуации потерь на всех трассах распространения полезного сигнала и помех, имеющих протяженности  $D_0$  и  $D_1$ . Флуктуации потерь определяются случайными составляющими  $X_L$  и  $X_T$  (по месту и времени). Расчет этих величин производился по методу Фентона [8].

Ослабление сигналов  $L_m(D, h_{эфф}, h_r)$  в нашем случае рассчитывалось по модели Лонгли-Райса с учетом подстилающей поверхности и условий распространения радиоволн на сухопутной трассе.

Таким образом, отношение уровней полезного сигнала к помехе на входе приемника можно определить по формуле (10):

$$\rho_0 = P_S - P_I + [(G_r + G_S) - (g_r + G_I)] + \quad (10)$$

$$+ [L_m(D_0, h_{s\_эфф}, h_r) - L_m(D_1, h_{l\_эфф}, h_r)] + X_{L3} + X_{T3},$$

Вычисленное  $\rho_0$  по (10) сравнивалось с  $A$  (требуемым защитным отношением). При этом, если выполнялось условие  $\rho_0 \geq A$ , то влияние мешающей станции в точке приема считалось незначительным. Если же в данной точке  $\rho_0 < A$ , то корректный прием сигнала считался невозможным в следствие влияния межсимвольной интерференции.

Вышеописанный подход использовался для последовательной оценки отношений сигнал/помеха для каждой точки возможной области интерференции в зоне обслуживания г. Уссурийска. Эти расчеты проводились с использованием верифицированного программного комплекса Radio Mobile [2].

Результаты расчетов представлены на рисунке 2. 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 защитного интервала и оба сигнала являются полезными. В этих областях возможно появление эффекта одночастотного усиления (SFN Gain) [15, 16]. Красным цветом обозначены области возникновения интерференции. На рис. 2 представлены несколько зон интерференции в зоне обслуживания РТПС «Уссурийск»: одна крупная в незаселенной области на северо-востоке, в которых возможна деградация полезного сигнала, а также две маленьких чуть западнее станции.

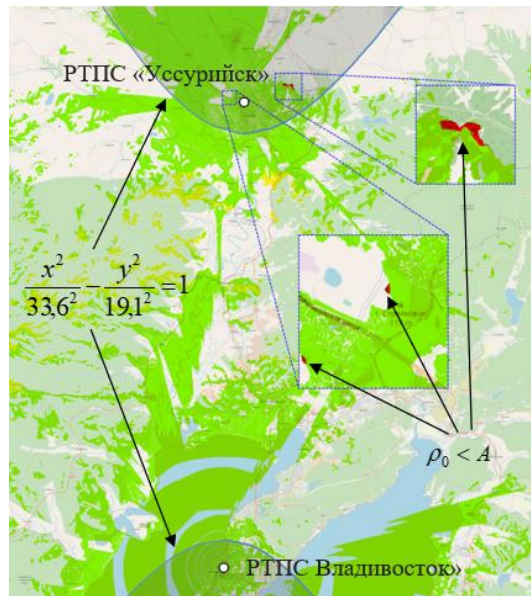


Рис. 2. Взаимное влияние передатчиков г. Владивостока и г. Уссурийска

Для проверки результатов модельных расчетов были построены профили трасс распространения полезного и помехового сигнала до точки приема (рис. 3 и 4). Видно, что напряженность помехового сигнала в точке приема, создаваемая передатчиком «Владивосток», равна 51,6 дБмкВ/м (рис. 3), а напряженность полезного

сигнала от передатчика «Уссурийск» – 62,5 дБмкВ/м (рис. 4). Разница между ними составляет 10,9 дБмкВ/м, что не соответствует требованиям ГОСТ, согласно которым защитное отношение на влияние передатчиков DVB-T2/DVB-T2 должно быть не менее 20 дБ [5].

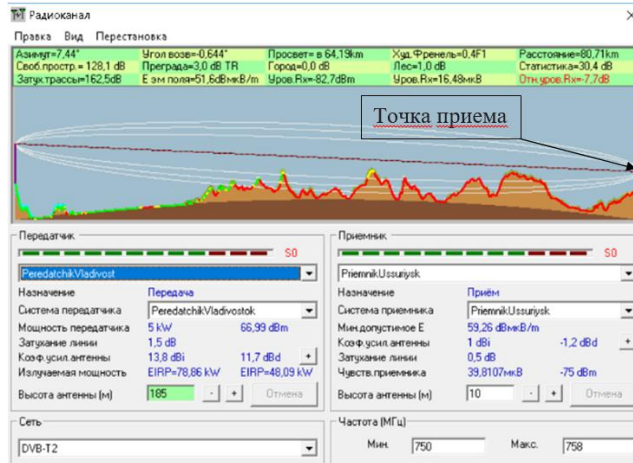


Рис. 3. Радиоканал от передатчика «Владивосток» до возможной зоны интерференции (точка приема на расстоянии 80,7 км, уровень сигнала 51,6 дБмкВ/м)

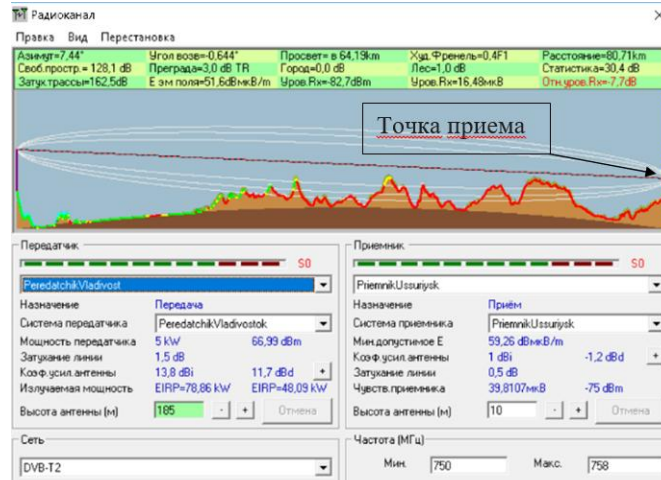


Рис. 4. Радиоканал от передатчика «Уссурийск» до возможной зоны интерференции (точка приема на расстоянии 7,8 км, уровень сигнала 62,5 дБмкВ/м)

Проверка первого условия возникновения интерференции показала, что разность расстояний, проходимых помеховым (80,7 км.) и полезным сигналом (7,8 км.) до точки приема составляет  $\Delta R = 72,9$  км. Поскольку полученная разность расстояний больше  $R_{кр} = 67,2$  км, выполняются оба условия возникновения области интерференции в зоне обслуживания сети DVB-T2 города Уссурийска. Проверка остальных зон интерференции показала аналогичный результат.



**Полевые измерения.** Для подтверждения данных модельных расчетов были проведены измерения качества сигнала в данных областях в зоне перекрытия в исследуемой зоне. Использовался комплект оборудования, состоящий из анализатора сигналов DVB-T/T2 «Planar IT-15T2» и калиброванной логопериодической измерительной антенны HE200 R&S. Качество сигнала также проверялось с помощью портативного DVB-T2 тюнера. Измерения проводились в строгом соответствии с методикой [6] на высоте 1.5 метра и вводились корректировки на уровень 10 метров, также производилась калибровка антенны с помощью коэффициентов и графиков. Измерялись параметры сигнала DVB-T2: уровень сигнала, неравномерность спектра, MER, значение BER до декодера Витерби, значение BER после декодера Витерби, констелляция, эхо-диаграмма. Особое внимание уделялось режиму измерения эхо-сигналов, а именно - устанавливался факт наличия сигналов, опаздывающих на величину, превышающую длительность защитного интервала и с уровнем, не удовлетворяющим критерию защитного отношения. На рис. 5 приведен скриншот из рабочего окна программы ItToolsT2 с измерением эхо-сигналов для такого случая.

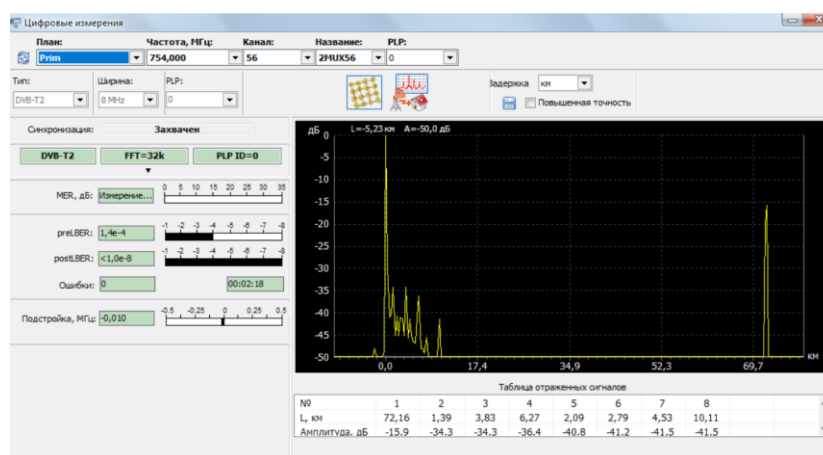


Рис. 5. Измерение эхо-граммы в ПО ItToolsT2

Видно, что мешающий сигнал от передатчика Владивостока приходит в точку приема за пределами ЗИ (73 км), отношение сигнал/помеха около 15 дБ, что меньше защитного отношения (требуемое защитное отношение – 20дБ). Таким образом, модельные расчеты подтвердились результатами измерений.

**Заключение.** При планировании и оптимизации ОЧС DVB-T2 для региона со сложным рельефом, важную роль играет правильный выбор защитного интервала. Существующая конфигурация сети в Приморье уникальна, её параметры определяют не только размер зоны обслуживания, но и вероятность возникновения областей внутрисимвольной интерференции, снижающих качество вещания. При сохранении существующего территориального разнеса РППС, величины защитного интервала и диаграмм направленности антенных систем, способом исключения взаимного влияния передатчиков является оптимизация предустановленной относительной задержки для каждого передатчика сети.

В работе рассмотрен простой способ оценки границ зоны возможной интерференции для случая двух передатчиков ОЧС. Выявлено, что при установленном режиме работы, запаздывание сигнала от центрального передатчика г. Владивостока может создать эффекты внутрисетевой интерференции в удаленных областях обслуживания.

Результаты моделирования и проведенные полевые измерения взаимного влияния передатчиков ОЧС DVB-T2 «Владивосток» и «Уссурийск» демонстрируют наличие нескольких областей интерференции в зоне обслуживания РТПС «Уссурийск». Причина – невыполнение условий корректной работы передатчиков ОЧС на территории со сложным рельефом. Возможной регулировкой для исключения данной ситуации может быть уменьшение мощности мешающего передатчика (РТПС «Владивосток»), изменение основного параметра сети - защитного интервала – с 1/16 на 1/4 полезного символа, либо использование предустановленной задержки в РТПС «Уссурийск», равной 33,7 мкс.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. 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.
2. Radio Mobile. Официальный сайт программы. – Режим доступа: <http://www.ve2dbe.com>, свободный (дата обращения: 04.12.2018).
3. ГОСТ Р 55947–2014. Телевидение вещательное цифровое. Приемники для эфирного цифрового телевизионного вещания DVB-T2. Основные параметры. Технические требования. Методы измерений и испытаний. Дата введения в действие: 01.01.2015.
4. ГОСТ Р 54715–2011. Телевидение вещательное цифровое. Планирование наземных сетей цифрового телевизионного вещания. Технические основы. Дата введения в действие: 01.07.2013.
5. ГОСТ Р 56458–2015 Телевидение вещательное цифровое. Защитные отношения для целей планирования сетей цифрового наземного телевизионного вещания второго поколения (DVB-T2). Дата введения в действие: 01.09.2015.
6. 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.
7. Коржихин Е.О. Особенности построения одночастотных сетей в новом стандарте цифрового вещания DVB –T2 // Т–Comm – Телекоммуникации и Транспорт. – 2010. – №. 9. – С. 3-5.
8. Быховский М.А., Дотолев В.Г., Лашкевич А.В. и др. Основы частотного планирования сетей телевизионного вещания: учеб. пособие. – М.: Горячая линия Телеком, 2015. – 308 с.
9. Гладкова Е.О., Гриценко А.А., Жиров В.А. Влияние внутрисистемных помех на зоны обслуживания MFN и SFN сетей наземного цифрового телевизионного вещания // Информосфера. – 2013. – № 57. – С. 17-19.
10. Ломакин А.Ф., Стеценко Г.А. Возможный алгоритм модернизации сети DVB-T2 // Вестник Инженерной школы ДВФУ. – 2017. –Т. № 4 (33). – С. 139-147.
11. Ломакин А.Ф., Стеценко Г.А. Некоторые особенности одночастотной сети DVB T2 города Владивостока // Вестник Инженерной школы ДВФУ. – 2016. –Т. № 4 (29). – С. 25-38.
12. Brugger R., Hemingway D. OFDM receivers – impact on coverage of inter–symbol interference and FFT window positioning // EBU Tech. Review. – 2003. P. 1-12.
13. Li C.W., Telemi S., Zhang X.L., Brugger R., Angulo I., Angueira P. Planning Large Single Frequency Networks for DVB-T2 // IEEE Transactions on Broadcasting. – 2015. –Vol. 61. – P. 376-387.
14. Garro E., Barjau C., Gomez–Barquero D., Kim J., Sung–Ik Park, Hur N. Layered Division Multiplexing with Distributed Multiple–Input Single–Output Schemes // IEEE Transactions on Broadcasting. – 2018. – P. 1-10.
15. Plets D. On the Methodology for Calculating SFN Gain in Digital Broadcast Systems // IEEE Transactions on Broadcasting. – 2010. – Vol. 56. – P. 331-339.
16. Ruckveratham B., Promwong S. Evaluation of SFN Gain for DVB-T2 // 2017 International Conference on Digital Arts, Media and Technology (ICDAMT). – 2017. – P. 85-88.
17. Ксензенко П., Варданян В., Химич П. Опыт построения одночастотной сети цифрового телевизионного вещания в Испании // Mediasat. – 2011. – P. 2-11.

18. Morgade J., Angueira P., Arrinda A., Pfeffer R. SFN-SISO and SFN-MISO gain performance analysis for DVB-T2 network planning // IEEE Transactions on Broadcasting. – 2014. – Vol. 60 (2). – P. 272-286.
19. Li C., Telemi S., Angueira P., Brugger R., Zhang X., Morgade J., Peña I., Arrinda A., Zhang Z. Optimal DVB-T2 network planning using theoretical SFNs // 2014 IEEE International Symposium on Broadband Multimedia Systems and Broadcasting. – 2014. – P. 1-6.
20. Martinez G., Sanchez J., Gomez-Barquero D., Cardona N. Optimization of the Digital Terrestrial Television Transmission Mode of DVB-T2 in Colombia // IEEE Latin America Transactions. – 2015. – P. 2144-2151.

## REFERENCES

1. Metodika rascheta zony obsluzhivaniya RES nazemnogo tsifrovogo televizionnogo veshchaniya sistemy DVB-T2 dlya fiksirovannogo priema v polosakh chastot 174–230 i 470–790 MGts. Utverzhdena resheniem GKRCCH ot 22.07.2014 g. № 14–26–10 [The method of calculating the service area of the RES digital terrestrial television broadcasting system DVB-T2 for fixed reception in the frequency bands 174–230 and 470–790 MHz. Approved by the decision of the State Committee of the Republic of Kazakhstan No 14–26-10, dated July 22, 2014].
2. Radio Mobile. Ofitsial'nyy sayt programmy [Radio Mobile. The official website of the program]. Available at: <http://www.ve2dbe.com>, svobodnyy (accessed 04 Desember 2018).
3. GOST R 55947–2014. Televidenie veshchatel'noe tsifrovoe. Priemniki dlya efirmogo tsifrovogo televizionnogo veshchaniya DVB-T2. Osnovnye parametry. Tekhnicheskie trebovaniya. Metody izmereniy i ispytaniy. Data vvedeniya v deystvie: 01.01.2015 [Television broadcast digital. Receivers for terrestrial digital television broadcasting DVB-T2. Main settings. Technical requirements. Methods of measurement and testing. Date of entry into force: 01.01.2015].
4. GOST R 54715–2011. Televidenie veshchatel'noe tsifrovoe. Planirovanie nazemnykh setey tsifrovogo televizionnogo veshchaniya. Tekhnicheskie osnovy. Data vvedeniya v deystvie: 01.07.2013 [Television broadcast digital. Planning terrestrial networks for digital television broadcasting. Technical basics. Date of introduction into action: 01.07.2013].
5. GOST R 56458–2015. Televidenie veshchatel'noe tsifrovoe. Zashchitnye otnosheniya dlya tseley planirovaniya setey tsifrovogo nazemnogo televizionnogo veshchaniya vtorogo pokoleniya (DVB-T2). Data vvedeniya v deystvie: 01.09.2015 [Television broadcasting digital. Protection relationships for the purposes of planning second-generation digital terrestrial television broadcasting networks (DVB-T2). Date of entry into force: 01.09.2015].
6. Metodika opredeleniya zony obsluzhivaniya odinochnoy peredayushchey stantsii nazemnogo tsifrovogo TV–veshchaniya standarta DVB-T2. Utverzhdena resheniem GKRCCH ot 16.10.2015 g. № 15–35–04 [The method of determining the service area of a single transmitting station of terrestrial digital TV - DVB-T2 standard broadcasting. Approved by the decision of the State Committee on Radio Frequency Protection of 10/16/2015 No. 15–35–04].
7. Korzhikhin E.O. Osobennosti postroeniya odnochastotnykh setey v novom standarte tsifrovogo veshchaniya DVB –T2 [Features of the construction of single-frequency networks in the new digital broadcasting standard DVB-T2], *T-Comm – Telekommunikatsii i Transport* [T – Comm - Telecommunications and Transport], 2010, No. 9, pp. 3-5.
8. Bykhovskiy M.A., Dotolev V.G., Lashkevich A.V. i dr. Osnovy chastotnogo planirovaniya setey televizionnogo veshchaniya: ucheb. posobie [Basics of frequency planning television broadcasting network: studies. manual]. Moscow: Goryachaya liniya Telekom, 2015, 308 p.
9. Gladkova E.O., Gritsenko A.A., ZHirov V.A. Vliyanie vnutrisistemnykh pomekh na zony obsluzhivaniya MFN i SFN setey nazemnogo tsifrovogo televizionnogo veshchaniya [Influence of intra-system interference on the MFN and SFN service areas of terrestrial digital television broadcasting networks], *Infosfera* [Infosphere], 2013, No. 57, pp. 17-19.
10. Lomakin A.F., Stetsenko G.A. Vozmozhnyy algoritm modernizatsii seti DVB-T2 [Possible algorithm for upgrading the DVB-T2 network], *Vestnik Inzhenernoy shkoly DVFU* [Bulletin of the FEFU School of Engineering], 2017, Vol. No. 4 (33), pp. 139-147.
11. Lomakin A.F., Stetsenko G.A. Nekotorye osobennosti odnochastotnoy seti DVB T2 goroda Vladivostoka [Some features of a single-frequency DVB-T2 network in Vladivostok], *Vestnik Inzhenernoy shkoly DVFU* [Bulletin of the FEFU School of Engineering], 2016, Vol. No. 4 (29), pp. 25-38.

12. *Brugger R., Hemingway D.* OFDM receivers – impact on coverage of inter-symbol interference and FFT window positioning, *EBU Tech. Review*, 2003, pp. 1-12.
13. *Li C.W., Telemi S., Zhang X.L., Brugger R., Angulo I., Angueira P.* Planning Large Single Frequency Networks for DVB-T2, *IEEE Transactions on Broadcasting*, 2015, Vol. 61, pp. 376-387.
14. *Garro E., Barjau C., Gomez-Barquero D., Kim J., Sung-Ik Park, Hur N.* Layered Division Multiplexing with Distributed Multiple-Input Single-Output Schemes, *IEEE Transactions on Broadcasting*, 2018, pp. 1-10.
15. *Plets D.* On the Methodology for Calculating SFN Gain in Digital Broadcast Systems, *IEEE Transactions on Broadcasting*, 2010, Vol. 56, pp. 331-339.
16. *Ruckveratham B., Promwong S.* Evaluation of SFN Gain for DVB-T2, *2017 International Conference on Digital Arts, Media and Technology (ICDAMT)*, 2017, pp. 85-88.
17. *Ksenzenko P., Vardanyan V., Khimich P.* Opyt postroeniya odnochastotnoy seti tsifrovogo televizionnogo veshchaniya v Ispanii [The Experience of Building a Single-Frequency Network of Digital Television Broadcasting in Spain], *Mediasat*, 2011, pp. 2-11.
18. *Morgade J., Angueira P., Arrinda A., Pfeffer R.* SFN-SISO and SFN-MISO gain performance analysis for DVB-T2 network planning, *IEEE Transactions on Broadcasting*, 2014, Vol. 60 (2), pp. 272-286.
19. *Li C., Telemi S., Angueira P., Brugger R., Zhang X., Morgade J., Peña I., Arrinda A., Zhang Z.* Optimal DVB-T2 network planning using theoretical SFNs, *2014 IEEE International Symposium on Broadband Multimedia Systems and Broadcasting*, 2014, pp. 1-6.
20. *Martinez G., Sanchez J., Gomez-Barquero D., Cardona N.* Optimization of the Digital Terrestrial Television Transmission Mode of DVB-T2 in Colombia, *IEEE Latin America Transactions*, 2015, pp. 2144-2151.

Статью рекомендовал к опубликованию д.т.н., профессор П.А. Стародубцев.

**Стетенко Георгий Алексеевич** – Дальневосточный федеральный университет; e-mail: stetsenko\_ga@students.dvfu.ru; Бухта Аякс, 10, кампус ДВФУ, литер В, корпус № 3, остров Русский, г. Владивосток, Россия, 690922; тел.: +79243344721; аспирант кафедры электроники и средств связи.

**Стаценко Любовь Григорьевна** – e-mail: statsenko.lg@dvfu.ru; тел.: 8423652424 (доб. 1048); д.т.н.; профессор кафедры электроники и средств связи.

**Ломакин Александр Федорович** – e-mail: lomakin.af@dvfu.ru; тел.: +79147912807; к.г.н.; доцент кафедры электроники и средств связи.

**Stetsenko Georgiy Alexeevich** – Far Eastern Federal University; e-mail: stetsenko\_ga@students.dvfu.ru; Ajax Bay, 10, FEFU campus, Litter V, building No. 3, Russian Island, Vladivostok, Russia, 690922; phone: +79243344721; graduate student the department of electronics and communication.

**Statsenko Lyubov Grigor'evna** – e-mail: statsenko.lg@dvfu; phone: +7423652424 (add. 1048); dr. of eng. sc.; professor the department of electronics and communication.

**Lomakin Aleksandr Fedorovich** – e-mail: lomakin.af@dvfu.ru; phone: +79147912807; cand. of geogr. sc.; associate professor the department of electronics and communication.