

Министерство образования Республики Беларусь  
Учреждение образования  
Белорусский государственный университет  
информатики и радиоэлектроники

УДК 621.396.712

Галуза  
Анастасия Валерьевна

Модели расчета дальности наземного цифрового телерадиовещания

**АВТОРЕФЕРАТ**

на соискание степени магистра технических наук  
по специальности 1-45 80 01 Системы, сети и устройства телекоммуникаций

---

Научный руководитель  
Липкович Э.Б.  
доцент

---

Минск 2019

## ВВЕДЕНИЕ

Работа посвящена исследованию свойств каналов передачи информации в условиях многолучевого распространения радиоволн. Многолучевое распространение характерно для городской среды и радиоканалов внутри зданий. В силу интерференции волн, приходящих в точку приема с различными амплитудами и фазами, возникает искажение пространственно-временной структуры полезного сигнала, в частности его дисперсия и замирания. Это сказывается на качестве, скорости и надежности передачи информации. Многолучевое распространение необходимо учитывать в системах стационарной и мобильной радиосвязи.

К числу причин, приводящих к ухудшению качества приема (особенно при мобильном приеме в условиях разновысокой городской застройки), можно отнести межсимвольную интерференцию, селективные и медленные замирания. Противостояние помехам и межсимвольным искажениям в данных системах организовано посредством параллельного способа передачи низкоскоростных потоков данных с использованием частотного уплотнения ортогонально-моделированных несущих. Принятый метод многочастотной передачи сигналов относится к пассивному способу борьбы с быстрыми селективными замираниями и межсимвольной интерференцией и не требует изучения состояния радиоканала во время приема.

К числу важных требований при реализации многочастотного способа передачи можно отнести: обеспечение высокой линейности тракта для снижения уровня переходных помех между сигналами, синхронную передачу всех моделированных несущих, эффективный и надежный способ упаковки несущих в выделенной полосе частот.

Главными недостатками систем с многочастотным способом построения следует считать их чувствительность к нелинейности тракта передачи, возможным смещениям по частоте и флуктуациям фазы. При многочастотном способе передачи возрастает сложность построения устройств на приемной стороне, поскольку необходимо отслеживать и компенсировать частотную и фазовую нестабильности радиоспектра для сохранения условий ортогональности его компонент.

В научной литературе отсутствуют общие методы расчета характеристик канала передачи информации в условиях многолучевого распространения радиоволн. В существующих методах прогнозирования параметров радиоканала, в большинстве случаев, осуществляется определение его физических характеристик на основе моделирования распространения радиоволн. Для этого используются эмпирические, статистические, детерминированные и

комбинированные методы. Детерминированные методы обеспечивают более высокую точность расчета характеристик канала по сравнению со статистическими и эмпирическими, и в современных системах связи, оперирующих с малыми пространственными масштабами, являются наиболее эффективными.

К настоящему времени предложено несколько статистических моделей принимаемого сигнала, использующих различные принципы объяснения замираний в радиоканалах. Названные модели необходимы как для синтеза оптимальных алгоритмов демодуляции в таких каналах, так и для количественного анализа качества создаваемых систем передачи. Важно, что многие из этих моделей реализованы в виде специальных прикладных программ для компьютеров поскольку в современных цифровых системах передачи используется столь сложная обработка принимаемого сигнала, что оценка качества системы оказывается возможной только при статистическом имитационном компьютерном моделировании.

Исследование распространения волнового колебания достаточно сложно и с трудом поддается теоретическому анализу. Имеет место большое разнообразие факторов, вызывающих как детерминированное, так и случайное ослабление сигнала, достигающего входа приемного устройства. Вследствие их воздействия принимаемый сигнал искажается не только аддитивным шумом, но и мультипликативной помехой, название которой вытекает из того факта, что она изменяет интенсивность сигнала, т.е. перемножается с амплитудой сигнала.

Определение дальности вещания является актуальным в практических задачах планирования и развертывания систем беспроводной передачи информации.

## **ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ**

Достижения в области телекоммуникационных систем обеспечивают безграничные возможности в предоставлении услуг пользователям. Исследования в области эффективности связи предоставляют возможность обеспечивать широкий круг пользователей качественными услугами связи по доступной цене.

Целью диссертационной работы является разработка методики расчета дальности наземного цифрового вещания с использованием математических моделей расчета помехоустойчивости систем.

В диссертационной работе излагаются основные положения по числовым характеристикам многолучевых каналов связи. Так же приводятся основные вероятностные модели сигналов. Приводятся теоретические положения по

вопросам распространения радиоволн в реальных условиях, замирания в многолучевых каналах, помехоустойчивого кодирования, а также разрабатывается математическая модель расчета дальности в условиях реального приема. Выполняются расчеты графических зависимостей для различных форматов модуляции, приводятся методики расчета различных показателей наземных систем передачи. В диссертационной работе ставятся и решаются следующие задачи:

- теоретический анализ распространения сигнала на радиолиниях в условиях стационарного и мобильного приема сигналов;
- оценка причин снижения эффективности радиосвязи при организации цифрового вещания и способы повышения достоверности приема;
- математические модели расчета помехоустойчивости приема при многопозиционных видах модуляции, сверточном и блочном кодировании;
- расчетные модели дальности вещания при многочастотном способе передачи сигналов, перемежении данных и кодировании.

Тема диссертационной работы соответствует пункту 5 приоритетных направлений научных исследований Республики Беларусь на 2016–2020 гг., утвержденных Постановлением Совета Министров Республики Беларусь № 190 от 12 марта 2015 г. «Информатика и космические исследования».

Результаты данной диссертационной работы были представлены на XII Международной научно технической конференции, 19-20 октября 2017г., г. Минск, а так же на 54-й научной конференции аспирантов, магистрантов и студентов, г. Минск, 23–27 апреля 2018 г.

Данная диссертационная работа проверена на антиплагиат и все заимствованные источники имеют ссылки.

## **КРАТКОЕ ОПИСАНИЕ РАБОТЫ**

Распространение радиоволн накладывает фундаментальные ограничения на качество передачи информации по радиоканалам. Путь распространения радиоволны от передатчика к приемнику может иметь самые разнообразные геометрические представления. В простейшем случае прямой видимости в свободном пространстве – это прямая линия. При наличии одного отражателя, не прерывающего линию прямой видимости, приемник принимает электромагнитные волны, распространяющиеся по двум путям – по линии прямой видимости (прямой луч) и ломаной линии «передатчик-отражатель-приемник» (отраженный луч с углом прихода на приемную антенну). В реальных условиях в точку приема может приходиться много лучей, прошедших от передатчика к приемнику по очень сложным путям, имеющим разную длину. В

условиях интенсивной городской застройки число возможных путей прихода радиоволн к приемнику может оказаться неограниченно большим, когда значения углов их прихода заполняют непрерывный интервал  $[0, 2\pi]$ . Таким образом, отражение радиоволн от различных препятствий на пути их распространения является первым существенным эффектом, который приходится учитывать при построении вероятностных моделей различных радиоканалов.

Импульсная характеристика канала передачи существенно зависит от взаимного положения передатчика и приемника на местности и может существенно изменяться при их перемещении. Не всегда можно достаточно легко указать число принимаемых лучей и выделить луч с максимальной задержкой, поскольку число лучей может быть очень большим, а мощность многих из них может оказаться сравнимой или даже меньше мощности собственного шума приемника.

В мобильной радиосвязи параметры каналов изменяются во времени, поскольку движение передатчика и/или приемника приводит в результате к изменению пути распространения. Скорость изменения таких условий распространения определяет скорость замираний (скорость изменения ухудшения характеристик вследствие замирания). Мелкомасштабное замирание называется релейским, если имеется большое число многократно отражающихся путей и нет компонента сигнала вдоль луча обзора; огибающая такого сигнала статистически описывается с помощью релейской функции плотности вероятности. Если преобладает незамирающий компонент сигнала, такой как путь распространения вдоль луча обзора, огибающая мелкомасштабного замирания описывается функцией плотности вероятности Райса.

Ключевым параметром, определяющим характеристику любой задачи приема, является интенсивность сигнала, или отношение сигнал-шум. Энергия сигнала или его мощность во всех предшествующих формулах характеризовали уровень сигнала на входе приемника. Необходимо иметь возможность предсказывать интенсивность сигнала в некоторой точке пространства, удаленной от передающей антенны, учитывая эффекты, сопровождающие распространение электромагнитной волны.

Классический подход к расчету распределения электромагнитного поля в присутствии отражающих и поглощающих объектов заключается в расчете напряженности поля в однородном изотропном пространстве на основе законов отражения, дифракции и рассеяния. Однако специфические условия города исключают возможность непосредственного применения такой методики. Непостоянство расположения приемников и передатчиков в мобильной сети

радиосвязи, огромное количество фиксированных препятствий сложной формы делают невозможным расчет распределения радиополя. Поэтому точные аналитические методы используются только в исключительных, простейших случаях, например, при расчете теневой зоны за очень большим зданием при точно известном расположении передатчика базовой станции. Реальный расчет распределения электромагнитного поля осуществляется на основе двух моделей – «большого расстояния» (large scale model) и «малого расстояния» (little scale model).

Минимальный уровень напряженности поля на границе зоны обслуживания, при котором обеспечивается требуемая достоверность приема рассчитывается, согласно по формуле

$$E_{\text{мин}} = \rho_{\text{тр}} - g_{\text{Пр.П}} + 10 \cdot \lg T_c + 20 \cdot \lg f_p + 5,26, \text{ дБ(мкВ/м)},$$

где  $\rho_{\text{тр}} = 10 \cdot \lg(P_c/P_{\text{ш}})$  – требуемое отношение мощности несущей к мощности шума (ОНШ), дБ;  $g_{\text{Пр.П}}$  – усиление приемной (относительно полуволнового вибратора) в направлении на передающую станцию, дБ;  $T_c$  – эффективная шумовая температура приемного устройства, К;  $f_p$  – рабочая частота вещания, ГГц.

В результате усредненное (медианное) УНП для стационарного приема

$$\begin{aligned} E_{\text{ст}}(70) &= \rho_{\text{тр.ст}} - g_{\text{Пр.П}} + 10 \cdot \lg T_c + 20 \lg f_p + 8,16 = \\ &= \rho_{\text{тр.ст}} + 20,1 + 13,5 f_p, \text{ дБ(мкВ/м)}, \\ E_{\text{ст}}(95) &= E_{\text{ст}}(70) + 6,1, \text{ дБ(мкВ/м)}, \end{aligned}$$

где  $\rho_{\text{тр.ст}}$  – требуемое ОНШ при стационарном приеме, дБ.

В случае мобильного приема учитывается так же энергетический запас  $\Delta E(L)$  на местоположение антенн и среднеквадратическое отклонение сигналов  $\sigma = 7,43$  дБ внутри помещения, запас на проникновение сигналов внутрь помещения (8,11 или 14 дБ) или салона транспортного средства (7 дБ)  $L_{\text{вн}}$ , запас на снижение высоты подвеса антенны  $\Delta L_{\text{ан}}$  относительно высоты 10 м.

При стационарном приеме сигналов на внешнюю направленную антенну, благодаря ее пространственной избирательности, уровень помех на ее выходе относительно небольшой. В этих условиях статистические свойства действующих помех описываются распределением вероятностей Райса. Вместе с тем, в зависимости от состояния среды распространения, характеристик антенн, их размещения и плана окружающей застройки, может наблюдаться рост уровня помех и искажений переданных бит.

При мобильном и портативном приеме сигналов на ненаправленные антенны особенно в условиях сложного рельефа местности и интенсивного движения транспорта на входе приемных устройств может присутствовать высокий уровень отраженных сигналов, которые поступили на приемник по различным путям от объектам переотражений. Эти сигналы нестационарны во времени и пространстве и имеют существенный разброс в значениях фаз, уровней и временных задержек. Результирующий спектр, взаимодействующих на входе антенны сигналов, характеризуется значительными искажениями с глубоким ослаблением отдельных компонент.

В большинстве действующих и создаваемых сетей мобильного вещания стандарта DVB-H используется модуляция QPSK, которая наиболее эффективна с точки зрения максимального охвата обслуживанием.

Снижение величины УНП при обеспечении требуемого качества приема видится в повышении усиления антенны и снижения коэффициента шума приемника. Такой путь реален, например, в развернутых сетях мобильного цифрового вещания на территории Франции и Германии приемные устройства имели встроенные антенны с коэффициентом усиления минус 4,65 дБ и при этом коэффициент шума приемника составлял 5 дБ. Таким образом, значение УНП может быть снижена на 10 дБ.

Несмотря на использование в системах DVB-H энергетически эффективного метода модуляции QPSK, зоны обслуживания будут меньше, чем в системах DVB-T при стационарном приеме. Обычно для увеличения размеров зон покрытия мобильным вещанием повышают выходную мощность передатчика для значений от 2 до 5 кВт. Перспективно также повышение чувствительности приемников с использованием принципа сдвоенного приема. Выигрыш от этого решения может составить от 2 до 5 дБ.

## **ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

По результатам проведенной работы можно сделать следующие выводы.

1 Показано, что при использовании параметров, рекомендуемых для планирования, расчетные зависимости минимального УНП можно выразить через два переменных значения – ОНШ и частоту. В результате исключается проблема, связанная с дискретным представлением параметров частоты.

2 Получены расчетные формулы для определения ОНШ при различных параметрах кодирования, модуляции и вероятности ошибок для стационарного и мобильного приемов в рамках стандартов DVB-T.

3 Получены расчетные формулы для определения минимального уровня напряженности поля при необходимой достоверности приема.

4 Получены модель расчёта помехоустойчивости цифровых систем при отсутствии и наличии кодирования.

5 Проведен теоретический анализ многолучевости на радиолиниях в условиях стационарного и мобильного приема сигналов.

6 Произведена оценка причин снижения эффективности радиосвязи при организации цифрового вещания и способы повышения достоверности приема.

7 Получены математические модели расчета помехоустойчивости приема при многопозиционных видах модуляции, сверточном и блочном кодировании.

8. Получены расчетные модели дальности вещания при многочастотном способе передачи сигналов, перемежении данных и кодировании

Результаты диссертационной работы могут использоваться в учебном процессе при выполнении курсовых и дипломных работ, а также в научных центрах и лабораториях при проектировании наземных систем связи, т.к. они являются универсальными, применимы для различных сочетаний модуляции и кодирования и дают достаточно точный результат.

## **СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ**

1-А Галуза, А.В. Оценка расчета дальности при цифровом наземном вещании / А. В. Галуза, Э. Б. Липкович // Современные средства связи: материалы XII Международной НТК, 19-20 октября 2017г., г. Минск. – г. Минск.: Белорусская государственная академия связи, 2017. – С. 103-105.

2-А Галуза, А. В. Особенности технологий цифрового наземного вещания ATSC 3.0 / А. В. Галуза // Инфокоммуникации: материалы 54-й научной конференции аспирантов, магистрантов и студентов, Минск, 23–27 апреля 2018 г. – Минск: БГУИР, 2018. – С. 21.