

АЗЕРБАЙДЖАНСКИЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

На правах рукописи

АФЛАТУН МУСТАФА оглы ШАРИФОВ

**УМЕНЬШЕНИЕ ВНУТРИСИСТЕМНЫХ ПОМЕХ
В СИСТЕМАХ ЦИФРОВОГО ТВ ВЕЩАНИЯ**

Специальность: 3325.01– Телекоммуникационная технология

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т
диссертации на соискание ученой степени
доктора философии по технике

Б а к у - 2 0 1 6

Работа выполнена в Азербайджанском Техническом Университете

Научный руководитель:

доктор технических наук, профессор

МАМЕДОВ И.Р.

Официальные оппоненты:

доктор технических наук, профессор

ГАСАНОВ А.Н.

кандидат технических наук, доцент

АБДУЛЛАЕВ Х.И.

**Ведущая организация: Институт Систем Управления
Национальной Академии Наук
Азербайджана**

Защита состоится 07 декабря 2016 г. в 11⁰⁰ часов на заседании Диссертационного Совета D 02.031 при Азербайджанском Техническом Университете по адресу: AZ1079, г. Баку, пр. Г. Джавида, 25.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Азербайджанского Технического Университета

Автореферат разослан 07 ноября 2016 г.

**Ученый секретарь
Диссертационного Совета
к.т.н., доцент**

ГЕЗАЛОВ Э.Б.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность проблемы. Системы цифрового ТВ вещания обеспечивают высокое качество воспроизведения изображения по сравнению с аналоговыми системами. В литературе приводятся результаты сравнения различных существующих систем цифрового ТВ вещания (ATSC, DVB и ISDB), показаны преимущества и недостатки каждой из них. Каждая система цифрового ТВ вещания имеет свои особенности и путем правильного выбора и регулировки параметров можно обеспечить высокую помехоустойчивость используемой системы, уменьшить внутрисистемные помехи.

В условиях действия конкретной системы цифрового ТВ вещания в нашей стране определение возможности развития других существующих систем цифрового ТВ вещания считаем излишним. Выявление недостатков и определение путей совершенствования применяемой системы цифрового ТВ вещания представляет большой научный и практический интерес.

Глобальная сеть цифрового ТВ вещания может быть построена с учетом рельефа местности страны, возникающих помех, созданных ТВ станциями сети этой и соседствующих стран, работающими в совмещенном или смежных каналах, существующей инфраструктуры действующей системы ТВ связи и вещания и др.

Следует отметить, что от правильного построения сети ТВ вещания зависят такие важные параметры системы, как помехоустойчивость, пропускная способность, частотная, информационная и энергетическая эффективности, количество и мощность ТВ станций, уровни помех от передатчиков ТВ станций, работающих в совмещенном и смежных каналах и т.д.

Кроме вышеназванных помех возникают еще и помехи, созданные при формировании сигнала цифрового ТВ вещания. Так и помехи, связанные с топологией сети ТВ вещания, эти помехи тоже называются внутрисистемными и уменьшение таких помех способствуют повышению помехоустойчивости и ряд других, связанных с нею параметров системы. Прогнозы и проводимые теоретические и экспериментальные исследования систем цифрового ТВ вещания показывают, что возможности уменьшения внутрисистемных помех не исчерпаны. Поэтому отыскание дополнитель-

ных возможностей уменьшения этих помех способствует повышению качественных показателей системы цифрового ТВ вещания.

Таким образом, уменьшение внутрисистемных помех в системах цифрового ТВ вещания является актуальной задачей.

Цель и задачи исследования. Целью настоящей работы является повышение помехоустойчивости системы цифрового ТВ вещания путем уменьшения внутрисистемных помех. Для достижения поставленной цели в работе решены следующие задачи:

- выявлены источники и причины возникновения внутрисистемных помех при формировании и передаче сигналов наземного цифрового ТВ вещания и их влияние на основные качественные показатели систем наземного цифрового ТВ вещания. Показаны основные направления уменьшения внутрисистемных помех в системах цифрового ТВ вещания типа DVB-T и DVB-T2;

- предложен адаптивный метод перераспределения мощности полезного сигнала по каналам OFDM модулятора с учетом мощности действующих помех в отдельных его каналах с целью поддержания отношения сигнал/помеха или вероятности ошибки в допустимых пределах;

- определены пределы регулировки мощности полезного сигнала в каналах OFDM модулятора исходя из допустимого значения отношения сигнал/шум в тех каналах модулятора, в которых не действуют помехи;

- выбрана модель многолучевого приема сигнала цифрового ТВ вещания в зоне с переотражениями волн и определен закон распределение мощности сигнала в райсовском канале цифрового ТВ вещания;

- исследованы возможности обеспечения минимальной или минимально используемой напряженности поля в зоне обслуживания системы цифрового ТВ вещания типа DVB-T и DVB-T2;

- определено отношение сигнал/помеха и изменение его значения для логнормального закона затухания сигнала и помехи при распространении и при действии одной тропосферной или постоянной помехи в зоне обслуживания станции цифрового ТВ вещания;

- определено отношение сигнал/помеха и его изменения при действии нескольких тропосферных и (или) постоянных помех в зоне обслуживания станции цифрового ТВ вещания путем приме-

нения метода Фентона для суммирования мощностей помех;
– определена устойчивость приема сигнала цифрового ТВ вещания при отсутствии помехи в зоне уверенного приема и при действии нескольких помех.

Объектом исследования является система наземного цифрового ТВ вещания типа DVB-T и DVB-T2.

Предметом исследования является уменьшение внутрисистемных помех и улучшение связанных с ними качественных показателей систем цифрового ТВ вещания.

Методы исследования. В работе использованы теоретические и экспериментальные методы исследования.

В теоретических исследованиях использованы теория оптимального радиоприема сигналов, теория информации, теория вероятностей, математическая статистика, дифференциальное и интегральное исчисления.

Для проверки основных теоретических результатов проведено экспериментальное исследование реальных каналов наземного цифрового ТВ вещания. Эксперименты проводились на базе современной действующей аппаратуры.

Достоверность полученных результатов также обоснована результатами численных расчетов и промышленными испытаниями.

Научная новизна. В ходе решения поставленных задач получены следующие наиболее существенные научные результаты, отличающиеся новизной:

1. Предложен метод и разработана схема адаптивной регуляции мощности полезного сигнала по каналам OFDM модулятора с целью:

а) поддержания постоянного значения отношения сигнал/помеха или;

б) сохранения равной вероятности ошибки в тех каналах, в которых возникают влияющие помехи.

2. Получены выражения для распределения мощности сигнала цифрового ТВ вещания, фактор Райса, дисперсия мощности в райсовском канале с целью определения радиуса зоны обслуживания цифрового ТВ передатчика.

3. Определено среднее значение отношения сигнал/помеха и изменение уровня этого отношения при действии одной или не-

скольких постоянных и (или) тропосферных помех в зоне обслуживания и затухании сигнала и помехи по логнормальному закону при распространении.

4. Определено повышение спектральной эффективности использования канала цифрового ТВ вещания по сравнению с аналоговым и зависимость этой эффективности от параметров модуляции и количества ТВ программ в вещаемом пакете.

Основные положения и результаты, выносимые на защиту. На защиту выносятся следующие основные положения:

1. Методика проведения анализа межсистемных помех в системе цифрового ТВ вещания и их влияния на основные качественные показатели системы.

2. Метод адаптивной регулировки мощности полезного сигнала по каналам OFDM модулятора с целью поддержания отношения сигнал/помеха и вероятности ошибки в требуемых пределах.

3. Полученное выражение для определения распределения мощности сигнала цифрового ТВ вещания в райсовском канале ТВ вещания и использование этого закона для определения уверенного приема сигнала в многолучевом канале.

4. Выражение среднего значения отношения сигнал/помеха в зоне обслуживания станции цифрового ТВ вещания и изменения этого отношения в канале с логнормальным законом затухания сигнала при распространении и при действии одной постоянной или тропосферной помехи.

5. Выражение среднего значения отношения сигнал/помеха в зоне обслуживания станции цифрового ТВ вещания и изменения этого отношения в канале с логнормальным законом затухания сигнала при распространении и при действии нескольких постоянных и (или) тропосферных помех.

6. Схема сети ТВ вещания, в которой показана равносторонняя решетка с охватом инфраструктуры аналогового ТВ вещания и системы связи через радиорелейной линии и ромб совмещенного канала на карте Азербайджанской республики.

Практическая ценность полученных результатов. Практическая ценность работы сводится к следующему:

1. Проведенный анализ возникающих внутрисистемных помех при формировании и передаче сигналов цифрового ТВ вещания типа DVB-T позволяет определить пути улучшения основных

качественных показателей выбранной системы.

2. Метод перераспределения мощности полезного сигнала по каналам OFDM модулятора позволяет повысить верность передачи сигнала системы цифрового ТВ вещания по частотно-селективным каналам.

3. Определение закона распределение мощности сигнала в райсовском канале, фактора Райса, дисперсии мощности и других параметров многолучевого канала ТВ вещания позволяет обеспечить уверенный прием в зоне обслуживания путем правильного определения излучаемой мощности цифрового ТВ передатчика.

4. Определение минимальной и минимально используемой напряженности поля в зоне обслуживания станции цифрового ТВ вещания, среднего значения отношения сигнал/помеха при действии одной или нескольких постоянных и (или) тропосферных помех позволяет рассчитать точное значение излучаемой мощности цифрового ТВ передатчика в каждом конкретном варианте и тем самым, уменьшить уровень внутрисистемных помех в сети цифрового ТВ вещания.

5. Построение решетки и ромба совмещенного канала на карте нашей страны позволяет определить координаты основных цифровых ТВ станций с использованием имеющейся инфраструктуры аналогового ТВ вещания и наземной радиорелейной линии.

6. Определение типов канала в зависимости от вида абонентского приема, влияние количества ТВ программ в пакете и параметров модуляции на радиус зоны уверенного приема позволяют оценить возможность повышения спектральной эффективности в канале цифрового ТВ вещания.

Результаты, полученные в диссертационной работе, использованы при построении глобальной сети цифрового наземного ТВ вещания в нашей стране.

Личный вклад. Все научные результаты и положения, полученные в диссертационной работе, принадлежат соискателю. Результаты работы отражены в научных статьях автора, опубликованных в Азербайджанских Республиканских и зарубежных журналах.

Апробация работы. Основные научные и практические результаты диссертационной работы докладывались и обсуждались на Азербайджанских Республиканских научно-технических и

научно-педагогических конференциях (г. Баку, 2008...2013 гг.), на Международных научно-технических конференциях (г. Москва, 2011...2015 гг.), на семинарах профессорско-преподавательского состава Азербайджанского Технического Университета (2006...2014 гг.).

Публикации. Основные результаты диссертационной работы опубликованы в восемнадцати печатных работах, в том числе в одном учебнике (издательство «Азернешр», г. Баку), в одном учебном пособии (издательство «R.N. Novguz-94», г. Баку), в двух монографиях (издательство «Азернешр», г. Баку), в пяти статьях в научных изданиях Азербайджанской Республики, в двух статьях в журнале «Электросвязь», в семи материалах докладов на Международных и на Азербайджанских Республиканских конференциях (гг. Баку и Москва).

Объем работы. Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав, заключения, списка использованной литературы и четырех приложений. Работа изложена на 149 страницах, содержит 21 рисунок, 7 таблиц, список использованной литературы насчитывает 161 наименований.

Содержание работы

Во введении обоснована актуальность темы, проанализировано состояние проблемы, сформулированы цель и задачи диссертации, приведены основные научные результаты и положения, выносимые на защиту, определена практическая ценность полученных результатов, даны сведения о публикациях, апробации и структуре работы.

В первой главе **«Критический анализ методов уменьшения внутрисистемных помех в системах цифрового ТВ вещания»** описаны методы формирования и передачи сигналов в цифровом наземном ТВ вещании типа DVB-T и DVB-T2. В результате проведенного анализа выявлены источники и основные причины возникновения внутрисистемных помех и пути их уменьшения.

В этой главе определены основные источники постоянных и тропосферных помех в зоне обслуживания передатчика цифрового ТВ вещания, выбрана модель для определения мощности сигнала (и помехи) в точке приема.

Приведены схемы и объяснены принципы формирования

OFDM сигнала, возможности возникновения нелинейных искажений при формировании сигнала.

В первой главе приведены выражения для оценки использования ресурсов канала, а именно – спектральной, энергетической и информационной эффективностей и пропускной способности канала ТВ вещания. Определены возможности повышения эффективности использования канала связи в выбранной системе, факторы, ограничивающие эту эффективность и методы уменьшения влияния таких факторов.

Указаны общие направления и приведен математический аппарат для решения поставленной проблемы.

В результате критического анализа существующих систем определены задачи последующих глав диссертации, их научные и практические значения.

Вторая глава «Многочувствительный прием сигнала цифрового ТВ вещания и искажения сигнала в частотно-селективном канале» диссертации посвящается проблемам уменьшения межсистемных помех путем перераспределения энергии сигнала по каналам OFDM модулятора в зависимости от мощности помехи. С этой целью проведена классификация известных систем OFDM модуляции, определены выражения коэффициента деления мощности по каналам модулятора. Проанализирована схема с обратной связью, где в зависимости от интенсивности шума осуществляется адаптивная регулировка качественных показателей системы в каналах модулятора. К числу таких параметров могут быть отнесены мощность элементарного сигнала, отношение сигнал/шум, вероятность ошибки и др.

Составлена полная структурная схема формирования сигнала цифрового ТВ вещания DVB-T с адаптивной регулировкой качественных показателей сигнала по каналам OFDM модулятора.

В этой главе рассмотрена модель канала связи с частотно-селективными замираниями, которая согласуется со схемой OFDM модулятора. Получено выражение для определения энергетического параметра по помехоустойчивости для систем с частотно-селективными замираниями, где мощность сигнала регулируется с учетом поддержания постоянного значения отношения сигнал/шум по всем каналам OFDM модулятора.

В литературе исследована помехоустойчивость системы свя-

зи с OFDM модуляцией и определена вероятность ошибки при наличии флуктуационного шума. Но полученная формула справедлива только для OFDM с постоянной и равной между собой энергией сигналов по каналам модулятора – OFDM-П.

В данной главе получено выражение для определения вероятности ошибки при действии широкополосной помехи или нелинейных искажений в частотно-селективном канале, для чего использован метод, в котором реальная широкополосная помеха представлена в виде белого гауссового шума, и при этом, с некоторой точностью, определен энергетический параметр по помехоустойчивости как отношение средней энергии сигнала E_{σ} к спектральной плотности мощности шума и вышеназванной помехи:

$$h_{\sigma\Sigma}^2 = \frac{P_c T_{\sigma}}{N_0 + N_{0п}}, \quad (1)$$

где N_0 – интенсивность шума, P_c – средняя мощность сигнала, T_{σ} – длительность информационного бита, $N_{0п} = P_{п} / \Delta F_{п}$ – спектральная плотность мощности помехи, $P_{п}$ – средняя мощность помехи, $\Delta F_{п} = 1 / T_{эп}$ – ширина полосы спектра помехи, $T_{эп}$ – длительность посылки помехи.

Построены зависимости вероятности ошибки от h_{σ}^2 и $h_{\sigma\Sigma}^2$ при приеме сигнала OFDM-П на фоне только флуктуационного шума и в случае действия сверхширокополосной помехи и на фоне флуктуационного шума соответственно для сигнала 16-QAM и 64-QAM (рис.1), где $h_{\sigma}^2 = E_{\sigma} / N_0$, E_{σ} – энергия одного бита. Для расчета использована программа MartCard 14.

На рис.1 приводятся также зависимости $p_{ош} = f(h_{\sigma\Sigma}^2)$ рассчитанные для вышеприведенных условий, когда 40% каналов OFDM модулятора подвержены к влиянию помехи с интенсивностью $N_{0п} = 0,5N_0$ при 16-QAM (кривая 2) и 64-QAM (кривая 4).

Из графиков следует, что на вероятность ошибки сильное влияние оказывает количество позиций QAM модуляции.

Например, при значении энергетического параметра, равной 5, вероятность ошибки для обоих условий приема при 64-QAM увеличивается примерно на один порядок по сравнению с 16-

QAM. Это обстоятельство объясняется тем, что с увеличением количества позиций спектральная и информационная эффективности

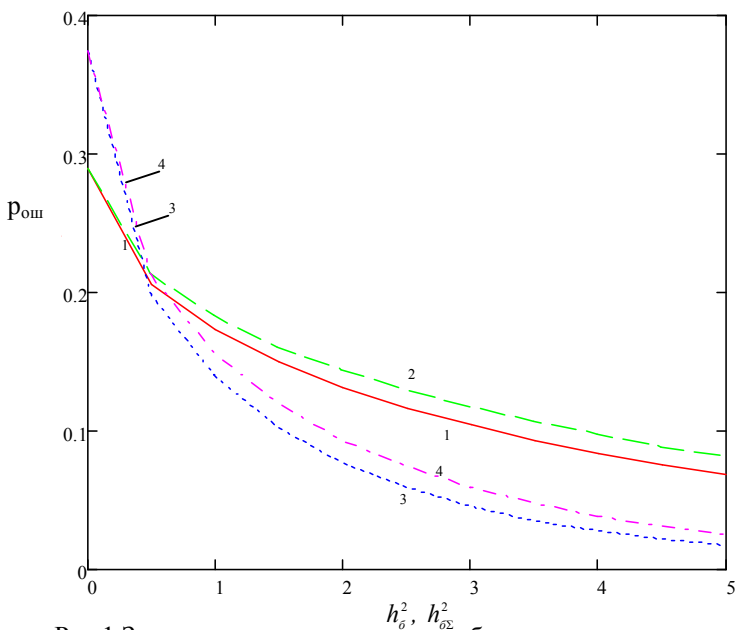


Рис.1. Зависимости вероятности ошибки от энергетических параметров $h_{\text{б}}^2$ и $h_{\text{б}\Sigma}^2$:

1– для приема сигнала OFDM-П на фоне только флуктуационного шума при 64-QAM; 2– в случае приема сигнала при действии сверхширокополосной помехи и на фоне флуктуационного шума при 64-QAM; 3– для приема сигнала OFDM-П на фоне только флуктуационного шума при 16-QAM; 4 – в случае приема сигнала при действии сверхширокополосной помехи и на фоне флуктуационного шума при 16-QAM;

увеличиваются. Но при этом расстояние между позициями в сигнальном созвездии уменьшается, увеличивается вероятность ошибки.

Крутизна уменьшения кривой вероятности ошибки при 16-QAM намного больше крутизны кривой этой вероятности при 64-QAM. Следует отметить, что вероятность ошибки при приеме сигнала на фоне только флуктуационного шума для обоих видов QAM всегда меньше вероятности ошибки в «свободных от помех» каналах при приеме сигнала в системе OFDM с одинаковым значением отношения сигнал/шум по каналам (OFDM-O) на фоне

флуктуационного шума и при действии сверхширокополосной помехи. Например, для значений энергетического параметра, равным $1,5 \dots 5$, отношение этих вероятностей примерно равно двум.

Однако, глубокая регулировка, требуемая для сохранения постоянного значения отношения сигнал/помеха по каналам OFDM модулятора при OFDM-О или минимального значения вероятности ошибки в системах OFDM, в которых коэффициенты передачи по каналам имеют оптимальное или квазиоптимальное значения (OFDM-Ор и OFDM-К соответственно), может привести к значительному уменьшению мощности сигнала в «свободных от помех» каналах. Поэтому должны быть определены пределы регулирования энергии элементарного сигнала в каждой системе по отдельности.

Определены пределы регулирования энергетических параметров в каждой системе. С этой целью найдены выражения энергетического параметра по помехоустойчивости в канале с помехами и определено уменьшение отношения сигнал/шум в «свободных от помех» каналах модулятора.

Для OFDM-О модуляции определено:

$$\frac{P_{\Sigma}}{NN_0 + NN_{0п} - N_1N_{0п}} = \frac{P_1}{N_1N_0}, \quad (2)$$

где P_{Σ} - суммарная мощность OFDM сигнала, P_1 - мощность сигналов N_1 каналов модулятора, N - общее количество каналов OFDM модулятора, N_1 - количество каналов, в которых не действуют помехи.

Если 40% каналов OFDM модулятора подвержены к влиянию помехи с интенсивностью $N_{0п} = 0,5N_0$, то: $P_{\Sigma} = 2P_1$. При этом уменьшение отношения сигнал/шум в «свободных от помех» каналах по сравнению с исходным его значением равно:

$$\frac{P_1T_{\sigma}}{N_1N_0} \Big/ \frac{P_{\Sigma}T_{\sigma}}{NN_0} = 0,83. \quad (3)$$

Проведенный расчет показывает, что при поставленных условиях отношение сигнал/шум уменьшается примерно на 20 % по сравнению с исходным значением.

Во второй главе также исследованы возможности повышения верности передачи в системе цифрового ТВ вещания в услови-

ях многолучевого приема. С этой целью определено распределение мощности сигнала в райсовском канале. Составлена модель канала, определен энергетический параметр для многолучевого распространения при использовании только одного луча из N лучей при приеме:

$$h_{\sigma_m}^2 = \frac{P_c T_{\sigma}}{N_0 + N_{0,m}} = \frac{E_{\sigma}}{N_0 + (N-1)E_{\sigma} \log_2 M}. \quad (4)$$

где M – количество позиций QAM, $N_{0,m}$ – интенсивность помехи, созданной многолучевым распространением при использовании только одного луча при приеме.

Получено выражение для определения вероятности ошибки при приеме сигнала цифрового ТВ вещания в многолучевом канале:

$$p_{\text{ош}}(h_{\sigma}^2) = \frac{2 \left(1 - \frac{1}{\sqrt{M}}\right)}{\log_2 M} Q \left(\sqrt{\frac{3 \log_2 M}{2(M-1)}} h_{\sigma}^2 \frac{1}{1 + (N-1)h_{\sigma}^2 \log_2 M} \right), \quad (5)$$

где $Q(\cdot)$ – функция ошибок.

При помощи программы MartCard построены зависимости вероятности ошибки от энергетических параметров в многолучевом канале при различных значениях энергии отдельных лучей и для 16-QAM и 64-QAM модуляции сигналов (рис. 2). Здесь же для сравнения приведены графики зависимости вероятности ошибки при когерентном приеме M-QAM сигнала цифрового ТВ вещания на фоне только флуктуационного шума и при однолучевом приеме сигнала.

Из приведенных графиков следует, что вероятность ошибки при многолучевом распространении сигнала всегда больше вероятности ошибки при приеме сигнала OFDM-П на фоне только флуктуационного шума, несмотря, что количество позиции QAM во втором случае больше количества этих позиций при многолучевом распространении.

На вероятность ошибки сильное влияние оказывает интенсивность неиспользованных лучей при многолучевом распространении. При этом как видно из рис. 2, с увеличением $h_{\sigma_m}^2$ вероятность ошибки остается высокой и почти постоянной. Но при сла-

бых неиспользованных лучах эта вероятность уменьшается.

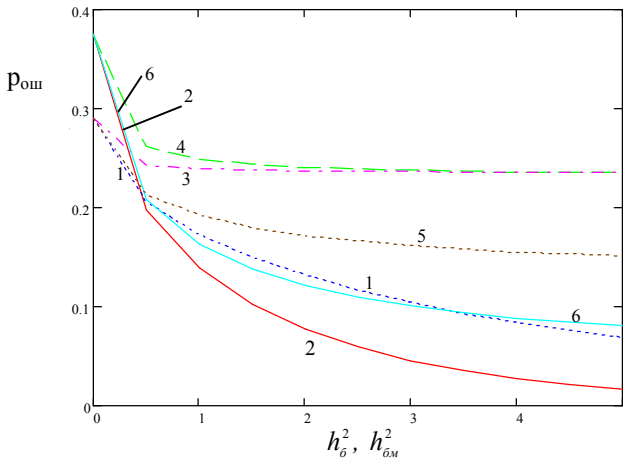


Рис.2. Зависимости вероятности ошибки от энергетических параметров h_{σ}^2 и $h_{\sigma M}^2$:

- 1 – для приема сигнала OFDM-П на фоне только флуктуационного шума при 64-QAM;
- 2 – для приема сигнала OFDM-П на фоне только флуктуационного шума при 16-QAM;
- 3 – в условиях многолучевого приема сигнала 64-QAM при $N=3$, $E_{\sigma 1}=0,3E_{\sigma}$, $E_{\sigma 2}=0,5E_{\sigma}$;
- 4 – в условиях многолучевого приема сигнала 16-QAM при $N=3$, $E_{\sigma 1}=0,3E_{\sigma}$, $E_{\sigma 2}=0,5E_{\sigma}$;
- 5 – в условиях многолучевого приема сигнала 64-QAM при $N=3$, $E_{\sigma 1}=0,03E_{\sigma}$, $E_{\sigma 2}=0,05E_{\sigma}$;
- 6 – в условиях многолучевого приема сигнала 16-QAM при $N=3$, $E_{\sigma 1}=0,03E_{\sigma}$, $E_{\sigma 2}=0,05E_{\sigma}$;

В третьей главе «Обеспечение защитного отношения в зоне уверенного приема сигналов цифрового ТВ вещания» диссертационной работы определены возможности обеспечения защитного отношения в зоне уверенного приема при действии одной или нескольких постоянных и (или) тропосферных помех. Здесь сравниваются значения минимальной или минимально используемой напряженности полей при приеме сигнала аналоговыми и цифровыми приемниками различного образца.

Для определения мощности сигнала и помехи в точке приема выбран логнормальный закон затухания сигнала при распространении, определено отношение сигнал/помеха при действии одной помехи.

Найдено выражение изменения уровня отношения сигнал/помеха для неоднородной сети цифрового ТВ вещания:

$$z_1 = P_{1, \text{дБ}} - P_{\text{пол}, \text{дБ}} + 10\kappa_c \lg R_{\text{пол}} - 10\kappa_1 \lg R_1 + 10 \lg w_{\text{тр}}, \quad (6)$$

где $w_{\text{тр}}$ – требуемое значение отношения сигнал/помеха, $z_1 = x_c - x_1$, $R_{\text{пол}}$ и R_1 – расстояние от полезной и мешающей станций до приемника соответственно, $P_{\text{пол}}$ и P_1 – мощность передатчика полезной и мешающей станций соответственно, x_c и x_1 – случайные величины, определяющие флуктуации уровня сигнала и помехи, k_c и k_1 – коэффициенты, определяющие скорости затухания сигнала и помехи в зависимости от расстояния. Здесь параметры $P_{1, \text{дБ}}$, $P_{\text{пол}, \text{дБ}}$ выражены в дБ.

Определено значение отношения сигнал/помеха для типичного варианта, когда в зоне действуют одна постоянная и несколько тропосферных помех. Найдено изменение уровня и математическое ожидание отношения сигнал/помеха при поставленных условиях:

$$m_w = P_{\text{пол}} - P_{\Sigma} + 10k_c \lg r_{\text{н1}} - 10 \lg \beta_{\text{нмеш1}} - 4,34 \sum_{i=2}^N \left(\frac{\beta_{\text{меш}i} R_i^{k_c}}{\beta_{\text{меш}i} R_i^{k_i}} \right). \quad (7)$$

Здесь $r_{\text{н}i} = R_i / R_{\text{пол}}$, $\beta_{\text{нмеш}i} = \beta_{\text{меш}i} / \beta_c$, β_c и $\beta_{\text{меш}i}$ – соответственно коэффициенты для полезного и мешающего сигнала, зависящие от высоты подвеса антенны и рабочего диапазона, $P_{\text{пол}}$, P_{Σ} выражены в дБ.

Построены зависимости изменения уровня отношения сигнал/помеха при действии одной тропосферной и одной постоянной помехи, где R_1 и R_2 – соответственно расстояние от приемника до источников постоянной и тропосферной помех (рис. 3).

Из рисунка следует, что флуктуация уровня отношения сигнал/помеха при поставленных условиях мало зависит от требуемого значения отношения сигнал/помеха. На этот параметр сильное влияние оказывают координаты влияющей станции и затухание помехи при распространении.

Значение отношения сигнал/помеха получено и при действии нескольких тропосферных или постоянных помех, для чего при помощи метода Фентона определена мощность суммарной помехи P_{Σ} в точке приема. Среднее значение отношения сигнал/помеха определена для однородной и неоднородной сети ТВ вещания.

В четвертой главе «Уменьшение внутрисистемных помех путем правильного построения сети цифрового ТВ вещания.

Экспериментальное обоснование достоверности полученных результатов» диссертационной работы проведена классификация

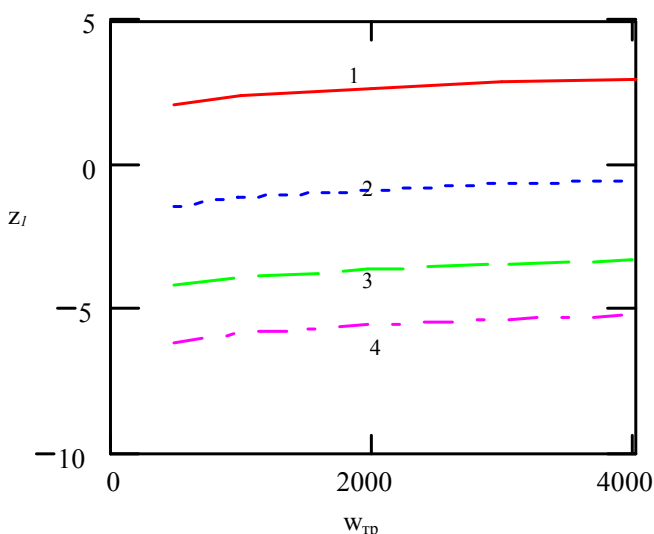


Рис. 3. Зависимость $z_l = f(w_{тp})$, рассчитанная для значений $P_{\Sigma}=1, 2P_{пол}$, $k_c=2$ и:

- 1) $R_1/R_{пол}=2$, $R_2/R_1 = 2$, $R_l = 40$ км, $k_f=2$; 2) $R_1/R_{пол}=3$, $R_2/R_1 = 2$, $R_l = 60$ км, $k_f=2$;
- 3) $R_1/R_{пол}=4$, $R_2/R_1 = 4$, $R_l = 80$ км, $k_f=4$; 4) $R_1/R_{пол}=5$, $R_2/R_1 = 4$, $R_l = 100$ км, $k_f=4$;

каналов цифрового ТВ вещания. Показана структура сети цифрового ТВ вещания и построен ромб совмещенного канала на карте страны. Для обеспечения уверенного приема и определения надежности приема использованы кривые распространения, построенные для цифровых ТВ передатчиков со средней мощностью 1кВт.

Определена методика и рассчитана мощность цифрового ТВ передатчика головной станции общереспубликанских ТВ программ в случае, когда в зоне уверенного приема не действуют помехи. С этой целью определена средняя высота рельефа местности вокруг антенны, эффективная высота передающей антенны, напряжение шума на входе цифрового ТВ приемника, расстояние прямой видимости. Выбрана конфигурация диаграммы направленности передающей антенны на горизонтальной плоскости. Для сравнения путем экспериментальных измерений построены конту-

ры зоны уверенного приема аналоговых ТВ передатчиков головной станции общереспубликанских ТВ программ с пиковой мощностью 5 кВт. Оценена также возможность применения опытного цифрового ТВ передатчика со средней мощностью 300 Вт в г. Баку и на Апшеронском полуострове.

В этой главе определена устойчивость приема сигнала цифрового ТВ вещания при отсутствии помех с учетом дисперсии полезного сигнала и при действии нескольких постоянных и (или) тропосферных помех в зоне обслуживания. Предложено применение метода Фентона для определения дисперсии суммарной помехи и устойчивости приема. Получено выражение параметра устойчивости приема, когда в зоне обслуживания действуют N помех:

$$K(T_{\text{меш}}) = \frac{A + F_1(\beta) + F_2(\beta) + E_{\text{меш}}(50) - E_{\text{пол}}(50)}{\sqrt{\sigma_{\text{пол}}^2 + 20 \lg(1,64 \dots 4,54) + 20 \lg \varepsilon(P_1)}}. \quad (8)$$

Здесь $E_{\text{пол}}(50)$ и $E_{\text{меш}}(50)$ - соответственно медианные значения напряженности поля полезного и мешающего сигнала, $\sigma_{\text{пол}}^2$ - дисперсия полезного сигнала, A - защитное отношение, дБ; $F_1(\beta)$ - ослабление мешающего сигнала приемной антенной, дБ; $F_2(\beta)$ - ослабление мешающего сигнала при различной поляризации, дБ; β - угол между направлениями на полезную и мешающую станции

из точки приема, $\varepsilon(P_i) = \frac{\sum_{i=1}^N P_i^2}{\left(\sum_{i=1}^N P_i\right)^2}$ - множитель дисперсии,

P_i - мощность i -й мешающей помехи.

При помощи MartCard построены зависимости $K(T_{\text{меш}}) = f[\varepsilon(P_i)]$, для значений $\sigma_{\text{пол}} = 6$ дБ, $F_1(\beta) = -10$ дБ, $A = 30$ дБ, $F_2(\beta) = 0$, $E_{\text{меш}}(50) = 20$ дБ (рис.4).

Из графика следует, что при вышеприведенных значениях параметров и при чрезмерно малых значениях $\varepsilon(P_i)$ устойчивость приема оказывается выше требуемого значения. При помощи рис. 4, определено значение периода устойчивого приема относительно всего года в процентах. Например, при $E_{\text{пол}} = 50$ дБ и $\varepsilon(P_i) = 0,5$ $K(T_{\text{меш}}) = -1,5$ и поэтому $T = 95$ %, что соответствует требуемому значению при фиксированном приеме. Допустим, что требуется 98%-ый устойчивый прием. Это соответствует значению

$K(T_{\text{меш}}) = -1,85$. Из рис. 4 следует, что такой прием может быть обеспечен при $E_{\text{пол}} = 50$ дБ и $\varepsilon(P_i) \approx 0,12$ или $E_{\text{пол}} = 52$ дБ и $\varepsilon(P_i) = 0,5$ при вышезаданных значениях других параметров. Если уменьшить устойчивость приема до 70 % в портативном приеме, то при заданных значениях других параметров появляется возможность

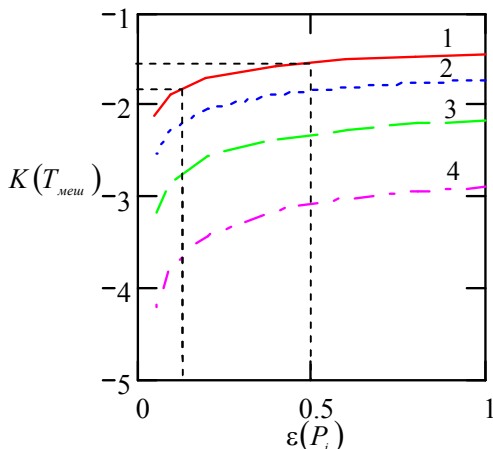


Рис. 4. Зависимость параметра устойчивости приема от $\varepsilon(P_i)$ для значений:

1 - $E_{\text{пол}} = 50$ дБ, 2 - $E_{\text{пол}} = 52$ дБ, 3 - $E_{\text{пол}} = 55$ дБ, 4 - $E_{\text{пол}} = 60$ дБ.

значительного уменьшения значения $E_{\text{пол}}$.

В этой главе также определена эффективность использования ресурсов канала ТВ вещания. С этой целью составлена таблица, в которой при одинаковой зоне уверенного приема определено количество передаваемых программ в зависимости от параметров модуляции и FEC. Построены графики изменения спектральной эффективности в зависимости от энергетической. Определено влияние энергетической эффективности на спектральной при фиксированных значениях информационной эффективности.

В заключении даются основные результаты, полученные в диссертационной работе. Важнейшие из них следующие:

- при формировании сигнала цифрового ТВ вещания типа DVB-T и DVB-T2 и передаче его по сети наземного ТВ вещания возникают внутрисистемные помехи в виде интерференционных

помех или нелинейных искажений;

– основными причинами возникновения специфических нелинейных искажений являются дестабилизация поднесущих частот при формировании OFDM сигнала и частотно-селективные замирания, характерные для систем передачи сверхширокополосных сигналов;

– частотно-селективные замирания могут быть уменьшены путем адаптивной регулировки мощности сигнала по каналам OFDM модулятора с целью поддержания отношения сигнал/помеха или вероятности ошибки в допустимых пределах в каналах, подверженных к влиянию помех;

– глубина регулировки мощности полезного сигнала ограничивается с минимально допустимым значением отношения сигнал/шум в каналах OFDM модулятора, которые не подвержены к влиянию помех;

– при отсутствии помех мощность ТВ передатчика определяется из расчета обеспечения минимальной напряженности поля в зоне уверенного приема. При этом кроме других параметров учитывается также коэффициент шума цифрового ТВ приемника, который превышает значение аналогичного параметра аналоговых ТВ приемников и нового, и старого образцов;

– правильное частотно-территориальное планирование сети цифрового ТВ вещания способствует уменьшению интерференционных межсистемных помех и тем самым, повышению спектральной эффективности;

В приложениях определены основные параметры сети цифрового ТВ вещания и приема сигнала цифрового ТВ вещания, на основе построенной решетки границы зон уверенного приема станций цифрового ТВ вещания Азербайджанской Республики, надежность приема. Составлена схема синхронизации поднесущих частот OFDM модуляции для цифрового ТВ вещания типа DVB-T2.

Основные положения диссертационной работы опубликованы в следующих работах:

1. Шарифов А.М. Цифровая спутниковая связь (монография). Баку: 2005, 128 с.

2. Шарифов А.М., Эфендиев И.Д. Некоторые проблемы обеспечения уверенного приема сигналов цифрового ТВ вещания на Апшеронском полуострове / Материалы Азерб. Республиканской НПК «Современные проблемы учебы в техн. высш.учебн. заведениях», г.Баку, 2008, с. 363-364.

3. Мамедов И.Р., Шарифов А.М., Аббасов М.Г. Прием сигналов цифрового ТВ вещания в условиях многолучевого приема // Ученые записки Сумгаитского Гос. Унив.-тета, 2008, № 1, с.85-88.

4. Мамедов И.Р., Шарифов А.М., Аббасов М.Г. Расчет номинальной мощности передатчика цифрового ТВ вещания головной станции в г. Баку // Электросвязь, 2008, №11, с. 30-32.

5. Мамедов И.Р., Шарифов А.М., Аббасов М.Г. Определение минимально-допустимого уровня мощности принимаемого сигнала в райсовском канале ТВ вещания / 54-ая научно-техническая и учебно-методическая конференция проф.-препод. состава и аспирантов АзГУ, г.Баку, 2009, с.41-42.

6. Məmmədov İ.R., Şərifov Ə.M., Abbasov M.H., Ağayev A.Ə., Əfəndiyeva Z.A., Radiorabitə və radio-televiziya uyum avadanlıqlarının istismarının təhlükəsizliyi. Bakı, Novruz-94, 2009, 173 səh.

7. Мамедов И.Р., Ахадов И.Д., Шарифов А.М., Аббасов М.Г. Цифровое телевидение: Формирование и передача сигнала (монография). Баку: Азернешр, 2010, 150 с.

8. Мамедов И.Р., Шарифов А.М., Аббасов М.Г. Расчет напряженности поля ТВ станции при действии внутрисистемных помех // Ученые записки АзГУ, 2011, №2, с. 108-114.

9. Мамедов И.Р., Шарифов А.М., Аббасов М.Г. Уверенный прием сигнала ТВ вещания в условиях многолучевого приема / Труды 19-ой Международной НТК «Современные телевидение и радиоэлектроника», г. Москва, 2011, с. 323-326.

10. Мамедов И.Р., Шарифов А.М., Аббасов М.Г. Обеспечение защитного отношения в сети цифрового телевизионного (ТВ) вещания / Труды 20-ой Международной НТК «Современные телевидение и радиоэлектроника», г. Москва, 2012, с. 64-67.

11. Шарифов А.М. Уменьшение нелинейных искажений при передаче OFDM сигналов по частотно-селективным каналам // Научные труды Азербайджанской Национальной Академии Авиации, 2012, №1, с.141-150.

12. Мамедов И.Р., Шарифов А.М., Аббасов М.Г. Адаптивная регулировка мощности сигнала по каналам OFDM модулятора/Труды 21-ой Международной НТК «Современные телевидение и радиоэлектроника», г. Москва, 2013, с. 49-51.

13. Мамедов И.Р., Шарифов А.М. Расчет напряженности поля при действии постоянных и тропосферных помех// Научные Известия Сумгаитского Государственного Университета, 2013, том 13, №2, с. 103-107.

14. Мамедов И.Р., Шарифов А.М. Обеспечение защитного отношения в зоне уверенного приема сигналов цифрового ТВ вещания// Научные Труды Азербайджанской Государственной Морской Академии, 2013, №2, с. 104-108.

15. Мамедов И.Р., Шарифов А.М. Регулировка мощности сигнала по каналам M-QAM-OFDM модулятора// Электросвязь, 2014, №3, с. 40-43.

16. Мамедов И.Р., Шарифов А.М., Аббасов М.Г. Верность передачи в системе цифрового телевизионного вещания в условиях многолучевого приема/ Труды 22-ой Международной НТК «Современные телевидение и радиоэлектроника», г. Москва, 2014, с. 64-67.

17. Мамедов И.Р., Шарифов А.М., Аббасов М.Г. Устойчивость приема сигналов цифрового ТВ вещания при воздействии мешающих сигналов / Труды 23-ой Международной НТК «Современные телевидение и радиоэлектроника», г. Москва, 2015, с. 31-34.

18. Məmmədov İ.R., Əhədov İ.C., Şərifov Ə.M., Abbasov M.H. Kosmik və yerüstü radorabitə və teleradio yayım sistemləri (Dərslük). Bakı, Azərənəşr, 2014, 328 səh.

ƏFLATUN MUSTAFA oğlu ŞƏRİFOV

**RƏQƏMLİ TELEVİZİYA YAYIM SİSTEMLƏRİNDƏ
SİSTEMDAXİLİ MANEƏLƏRİN AZALDILMASI
X Ü L A S Ə**

OFDM siqnallarının tezlik-seçici kanallarla verilməsi zamanı qeyri-xətti təhriflərin azaldılması probleminə baxılmış və OFDM modulyasiyalı siqnalların tezlik-seçici kanallarla verilişi sistemlərində maneədayanıqlığın artırılması imkanları tədqiq edilmişdir. OFDM modulyatorun kanalları üzrə simvolların enerjilərinin adaptiv tənzimlənməsi sxemi təklif edilmişdir.

Çoxşüahlı kanallarda TV yayım siqnalının qəbulu xüsusiyyətləri analiz olunmuşdur. Bu siqnalın amplitudunun paylanma qanununun funksional çevrilməsi yolu ilə həmin kanalda siqnalın gücünün paylanma qanunu tapılmışdır. Gücün ehtimal sıxlığının onun orta qiymətindən asılılığı öyrənilmişdir.

TV stansiyasının xidmət zonasında daimi və troposfer maneələri təsir etdikdə tələb olunan səhə gərginliyinin təmin olunması məsələsinə baxılmışdır. TV stansiyasının xidmət zonasında siqnalın və maneələrin güclərinin tapılması üçün statistik metodlardan istifadə olunmuşdur. Bir və ya bir neçə daimi və ya troposfer maneələrinin təsir etdiyi şəraitdə xidmət zonasında siqnal/maneə nisbətinin orta qiyməti təpılmışdir. İnterferensiya maneələrinin gücləri bir-birinə təxminən bərabər olduqda və ya onlardan biri digərlərindən çox güclü olduqda səhvlərin ehtimalı hesablanmışdır.

Bakı şəhəri və Abşeron yarımadasında yayım aparmaq üçün istifadə olunan rəqəmli TV yayım baş stansiyasının nominal gücü hesablanmışdır. TV yayım şəbəkəsində TV vericisinin gücünün tapılması metodikası göstərilmişdir. Baş stansiya üçün düz radiogörmə məsafəsi hesablanmışdır. Bu məqsədlə kompüter vasitəsilə verici antenmanın effektiv hündürlüyü tapılmış və istiqamət diaqramı çıxırılmışdır. Yayılma qrafiklərinin köməyli səhə intensivliyi təyin olunmuşdur.

Azərbaycan Respublikası ərazisində rəqəmli TV yayım şəbəkəsinin tezlik-məsafə planlaşdırılması aparılmış və bu şəbəkənin layihələndirilməsi üçün lazımi parametrlər tapılmışdır.

AFLATUN MUSTAFA SHARIFOV

**REDUCTION OF THE INTERSYSTEM NOISES
IN THE DIGITAL TV BROADCASTING SYSTEMS**

A B S T R A K T

Reduction of the nonlinear distortions of the OFDM signal in the frequency-selective channels is considered and the possibilities of increase of the noise immunity of the system with OFDM signal modulation in the frequency-selective channel are investigated. The scheme of adaptive adjustment of the energy distribution on the OFDM modulator channels is offered.

Receiving of the digital TV broadcasting signals in the multipath channels is analysed. Expression of power density probability for the digital TV broadcasting signal is determined by the functional transformation of the voltage density probability of this signal. Changing of power density probability depending on the power average value is studied.

Maintenance of the used field electrical intensity in the condition of the constant and tropospheric hindrances in the service zone of the TV stations is considered. The statistical method is applied for the definition of the signal and the hindrances power in the zone of service of the TV station. The average value of the signal-interference ratio is defined in the condition of the one or number of constant and troposphere hindrances. The probabilities of the communication in the cases when the powers of interferences are approximately equal among themselves or one of them dominates are calculated.

Nominal power of the digital TV broadcasting transmitter of the base station in Baku is determined. Is described the method of power determination of the transmitters in TV broadcasting link. It is counted the straight direction line length and the power of the base station's transmitter. For this purpose the effective height and diagram of antenna by the computer are obtained. By the propagation graphics is determined the field tension.

It is carried out frequency-territorial planning of the digital TV broadcasting network on Azerbaijan Republic. The necessary parameters for designing of the network are found.

AZƏRBAYCAN TEXNİKİ UNIVERSİTETİ

Əlyazma hüququnda

ƏFLATUN MUSTAFA oğlu ŞƏRİFOV

**RƏQƏMLİ TV YAYIM SİSTEMLƏRİNDƏ
SİSTEMDAXİLİ MANEƏLƏRİN AZALDILMASI**

İxtisas: 3325.01 – Telekommunikasiya texnologiyası

**Texnika üzrə fəlsəfə doktoru elmi dərəcəsi
almaq üçün təqdim olunan dissertasiyanın**

A V T O R E F E R A T I

B a k ı - 2 0 1 6