

На правах рукописи



ДЖУЛАНИ ИСЛАМ О.М.

**АЛГОРИТМЫ ПОВЫШЕНИЯ ПОМЕХОУСТОЙЧИВОСТИ
ПЕРЕДАЧИ ИНФОРМАЦИИ В РЕГИОНЕ ПАЛЕСТИНЫ**

Специальность 05.12.04

«Радиотехника, в том числе системы и устройства телевидения»

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Владимир 2017

Работа выполнена на кафедре радиотехники и радиосистем в ФГБОУ ВО «Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых» (ВлГУ).

Научный руководитель **Полушин Петр Алексеевич**
доктор технических наук, доцент
профессор кафедры радиотехники и радиосистем
ФГБОУ ВО «Владимирский государственный
университет имени Александра Григорьевича
и Николая Григорьевича Столетовых»,
г. Владимир

Официальные оппоненты: **Приоров Андрей Леонидович**
доктор технических наук, доцент
доцент кафедры инфокоммуникации
и радиофизики ФГБОУ ВО
«Ярославский государственный университет
имени П. Г. Демидова», г. Ярославль

Синицин Дмитрий Вячеславович
кандидат технических наук
инженер 2-й категории Управления по Влади-
мирской области филиала ФГУП «РЧЦ ЦФО»
в Центральном федеральном округе, г. Владимир

Ведущая организация ФГБОУ ВО «Нижегородский государственный
технический университет имени Р. Е. Алексеева»,
г. Нижний Новгород

Защита состоится «07» июня 2017 г. в 14.00 часов на заседании диссертационного совета Д 212.025.04 при Владимирском государственном университете имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых по адресу: 600000, г. Владимир, ул. Горького, д. 87, корп. 3, ауд. 301-3.

С диссертацией можно ознакомиться в научной библиотеке ВлГУ и на сайте <http://diss.vlsu.ru>.

Автореферат разослан «03» апреля 2017 г.

Отзывы на автореферат в двух экземплярах, заверенные печатью, просим направлять по адресу: 600000, г. Владимир, ул. Горького, д. 87, ВлГУ, ФРЭМТ, ученому секретарю диссертационного совета Д 212.025.04.

Ученый секретарь диссертационного совета
доктор технических наук, профессор



А. Г. Самойлов

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. Задачи повышения помехоустойчивости передачи информации в радиотехнических системах особенно актуальны в настоящее время в связи с постоянным увеличением числа разнообразных радиоизлучающих средств, создающих внешние помехи. Это сопровождается сохранением, а иногда и ужесточением требований и норм на качество передачи. Кроме этого, рост объема информационных потоков вызывает необходимость использования широкополосных каналов передачи, в которых характерно появление частотно-селективных замираний, вызывающих межсимвольные искажения цифровых сигналов и усложнение сигнально-помеховой обстановки.

Все это справедливо и для региона Палестины, который достаточно населен и развивается быстрыми темпами. Кроме этого, трудности усугубляются тем, что регион известен нестабильной социально-политической обстановкой. Тем не менее, задачи повышения помехоустойчивости передачи сигналов стоят и здесь.

Одним из основных методов повышения помехоустойчивости является применение помехоустойчивого кодирования. Они активно развивались и развиваются в трудах зарубежных и отечественных ученых, таких, как Л.М. Финк, А.Г. Зюко, Д. Прокис, Е.Берлекамп, В.Л. Банкет, Э.Витерби, Дж. Кларк, Дж.К. Омура, Дж. Хеллер, и др. Однако эффективность методов зачастую недостаточна для обеспечения требований на качество передачи. В то же время системы передачи имеют внутренние резервы повышения качественных характеристик в различной сигнально-помеховой обстановке. Одновременно следует учитывать географические и другие особенности региона и рассматривать различные варианты построения систем передачи. Вышеизложенное показывает актуальность темы диссертации.

Цель работы заключается в разработке и исследовании методов и средств повышения помехоустойчивости передачи информации с помощью цифровых сигналов применительно к условиям Палестины.

Задачи работы, обусловленные поставленной целью, состоят в следующем:

1. Анализ особенностей линий передачи применительно к региону Палестины и выбор моделей сигнально-помеховой обстановки.
2. Анализ возможностей использования параллельных каналов передачи и расчет показателей линии передачи на примере линии одного из видов.
3. Разработка и исследование средств адаптивного сверточного кодирования и их применение в многоканальных системах передачи.
4. Разработка алгоритмов повышения помехоустойчивости передачи в системах с обратной связью при воздействии внешних помех и искажений.

Методы исследования, использованные в диссертации, основаны на математическом аппарате теории случайных процессов, теории вероятности и математической статистике, математическом моделировании и численных методах компьютерного эксперимента.

Объектом исследования являются системы передачи информации применительно к условиям Палестины, позволяющие модифицировать методы передачи цифровых сигналов.

Предметом исследования являются методы и средства повышения помехоустойчивости передачи цифровых сигналов, включая передачу по параллельным каналам и передачу в системах с обратной связью.

Научная новизна результатов диссертации заключается в следующем:

1. Впервые разработаны алгоритмы адаптивного сверточного кодирования сигналов и соответствующий программный комплекс, в том числе для многоканальных систем передачи.
2. Впервые разработан алгоритм адаптивного инвертирования передаваемых цифровых сигналов и программный комплекс для исследования его эффективности.
3. Впервые разработаны алгоритмы комплексного использования сверточного кодирования и комбинирования сигналов в многоканальных системах с обратной связью и соответствующий программный комплекс для исследования его эффективности.

Практическое значение результатов работы состоит в следующем:

1. Рассмотрены особенности использования многоканальных линий передачи информации в условиях Палестины.
2. Применение адаптивного сверточного алгоритма позволяет достигнуть выигрыш в энергопотенциале системы передачи на 2,5–3,5 дБ и выше.
3. При использовании алгоритма передачи с инвертированием при тех же условиях работы средний уровень принимаемого сигнала может быть увеличен на 2–2,4 дБ, а глубина замираний снижена на 4,2 дБ.
4. Использование комплексных алгоритмов кодирования и комбинирования в многоканальных системах с обратной связью дает возможность улучшать подавление внешних помех в различных условиях на 4–11 дБ.
5. Впервые разработаны и исследованы «Устройство подавления узкополосных помех» и «Двухступенчатый компенсатор межсимвольных искажений цифровых сигналов» (патенты № 147102 и №156821).

Положения, выносимые на защиту:

1. Алгоритмы адаптивного сверточного кодирования сигналов в многоканальных системах передачи информации обеспечивают выигрыш в энергопотенциале системы передачи на 2,5 и более.
2. Алгоритм адаптивного инвертирования передаваемых сигналов позволяет увеличить средний уровень принимаемого сигнала на 2–2,4 дБ и снизить глубину замираний на 4,2 дБ.
3. Алгоритмы комплексного использования сверточного кодирования и комбинирования сигналов в многоканальных системах с обратной связью допускают возможность подавления внешних помех в различных условиях на 4-11 дБ.

Апробация результатов. Результаты и положения работы проводилась в форме научных докладов и дискуссий по основным результатам диссертации на следующих конференциях: 11-я Международная научно-техническая конференция «Физика и радиоэлектроника в медицине и экологии ФРЭМЭ-2014», книга 2, Суздаль, 2014 г.; 11-я Международная научно-техническая конференция «Перспективные технологии в средствах передачи информации – ПТСПИ-2015» – Владимир–ВлГУ, 2015 г.; 12-я Международная научно-техническая конференция «Физика и радиоэлектроника в медицине и экологии ФРЭМЭ-2016», Владимир-Суздаль, 2016 г.; Международная научно-практическая конференция, Вологда, ООО «Маркер, 2015.

Степень достоверности и внедрение результатов.

Достоверность полученных в диссертации результатов подтверждается обоснованным выбором исходных данных, применением известных моделей сигналов и помех, корректным выбором основных допущений и ограничений при постановке задач и использованием современного математического аппарата и компьютерной среды.

Результаты работы внедрены в учебный и научный процессы кафедры радиотехники и радиосистем Владимирского государственного университета, и в Палестинский политехнический университет, г. Хеброн, Палестина, а также в ОАО «Владимирское КБ радиосвязи», г. Владимир, о чем получены акты внедрения.

По теме диссертации опубликовано: 17 печатных работ, из которых 5 работ в журналах, включенных в перечень ВАК, одна статья в журнале, включенном в международную рейтинговую систему «Scopus», и одна статья в зарубежном издании; 2 патента РФ на полезную модель; 4 свидетельства о государственной регистрации программы для ЭВМ; 4 издания в сборниках трудов международных научно-технических конференциях.

Структура диссертации: Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав, заключения, списка литературы и приложений и изложена на 150 страницах. Основная часть диссертации составляет 136 страниц, включая 72 рисунка и 20 таблиц, 3 приложения. Список литературы содержит 114 наименований, в том числе 16 работ автора. Общий объем приложений составляет 4 страницы.

КРАТКОЕ СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ

Во введении обосновывается актуальность темы диссертации, ставится цель работы и определяются необходимые для ее достижения задачи исследования. Приводятся научное и практическое значение диссертационной работы, основные положения, выносимые на защиту, результаты внедрения и структура работы.

Первая глава содержит анализ особенностей региона Палестины в использовании различных видов систем передачи. Разнообразие экономико-географических условий определяет предпочтительность разных видов систем, в частности, в густонаселенных районах эффективны кабельные линии передачи. В менее населенных районах и вдоль транспортных магистралей возможно использование радиорелейных линий, в малонаселенных и пустынных областях могут использоваться тропосферные и спутниковые линии передачи. Среди основных видов проанализированы кабельные линии и радиолинии. Рассмотрены сравнительные свойства радиорелейных систем прямой видимости, тропосферных систем и спутниковых систем.

В главе также описываются модели сигнально-помеховой обстановки, которые далее использованы при исследованиях, и параметры оценки качества передачи информации. В качестве модели сигналов принимаются цифровые сигналы, в качестве моделей аддитивных помех рассмотрены аддитивный белый гауссов шум (АБГШ), импульсные помехи со случайными параметрами и узкополосные помехи. В качестве моделей мультипликативных помех выделены «гладкие» замирания для относительно узкополосных сигналов и частотно-селективные замирания, вызывающие межсимвольные искажения для широкополосных сигналов.

В главе рассмотрены параметры помехоустойчивости передачи и основные методы ее повышения. В качестве основного показателя помехоустойчивости используется вероятность битовой (символьной) ошибки и достоверность передачи, понимаемая как процент времени сеанса наблюдения, в течение которого вероятность ошибки была не хуже заданной величины. Для подробного исследования методов повышения помехоустойчивости выбраны методы кодирования и методы параллельной передачи, реализуемые, как правило, в форме разнесенного приема.

Вторая глава содержит подробный расчет параметров системы передачи по параллельным каналам на примере тропосферной линии передачи на интервалы с различными исходными параметрами для условий Палестины. Расчет служит для определения помехоустойчивости передачи и возможной необходимости ее повышения в различных условиях.

При расчетах использованы типовые исходные основные технические показатели системы передачи (диапазон рабочих частот, мощность передатчика, коэффициент усиления антенн, и.т.д.). В качестве конечного результата выступают вероятность ошибки и достоверность передачи, на основе сравнения этих полученных значений делаются выводы о необходимости применения различных дополнительных методов повышения помехоустойчивости. Расчеты включают в себя: расчет ослабления в свободном пространстве и множителя ослабления в тропосфере, расчет усиления антенн, и их потери усиления, расчет глубины быстрых и медленных замираний, расчет уровня шумов и минимально допустимого отношения «сигнал/шум», учет совместного влияния «быстрых» и медленных замираний, учет влияния дифракционной составляющей.

Предложена и рассчитана удобная номограмма, которая дает возможность на основе исходных показателей производить оценку помехоустойчивости в системах, использующих метод выбора наилучшей рабочей частоты из нескольких заданных частот при различном количестве таких частот. В случае недостаточного уровня одного из показателей она может указывать направление и величину необходимого изменения соответствующих исходных параметров. Проанализированы возможности изменения параметров системы в условиях недостаточной помехоустойчивости передачи и в качестве путей ее повышения выбрано совместное взаимоувязанное использование методов кодирования и использование параллельной передачи сигналов.

Третья глава посвящена исследованиям возможностей структурной адаптации двухсторонних систем передачи к изменяющимся параметрам канала, включая системы с разнесением. Работа без адаптации требует для соблюдения норм на качество передачи использование неоправданно завышенного ресурса системы, который недоиспользуется значительную часть времени. Рассмотрены возможности адаптации различных видов ресурса системы и определено, что наиболее эффективным является управление видом модуляции и кодирования.

Для использование переменной скорости кодирования при постоянной скорости поступления информационных символов для передачи, и при постоянной энергии излучаемых символов, требуется буферизация символьных последовательностей. Предложены структурные схемы приемной и передающей частей одноканальной и многоканальной (рисунки 1 и 2) систем передачи и рассчитаны требования на устройства буферизации.

Передающая часть содержит m однотипных модулей, состоящих из блока памяти (FIFO $_i$), генератора записи (ГЗ), генератора считывания (ГС $_i$), кодера (К $_i$) и модулятора (М $_i$). Поток входных информационных символов $S_{ВХ}$ с помощью мультиплексора (MUX) разделяется на m потоков $S_{ВХ1} \div S_{ВХm}$.

Каждый из этих потоков записывается в свой блок FIFO $_i$, откуда затем подается на вход сверточного кодера К $_i$, где подвергается кодированию со скоростью $R_{К_i}$. После этого поток кодированных символов модулирует в модуляторе М $_i$ соответствующую поднесущую (одну из возможных частот из доступного набора $f_1 \div f_m$). После этого каждый из модулированных сигналов излучается по своему каналу передачи либо с помощью своего передатчика (ПРД, как показано на рисунке), либо все эти сигналы суммируются и излучаются общим широкополосным передатчиком

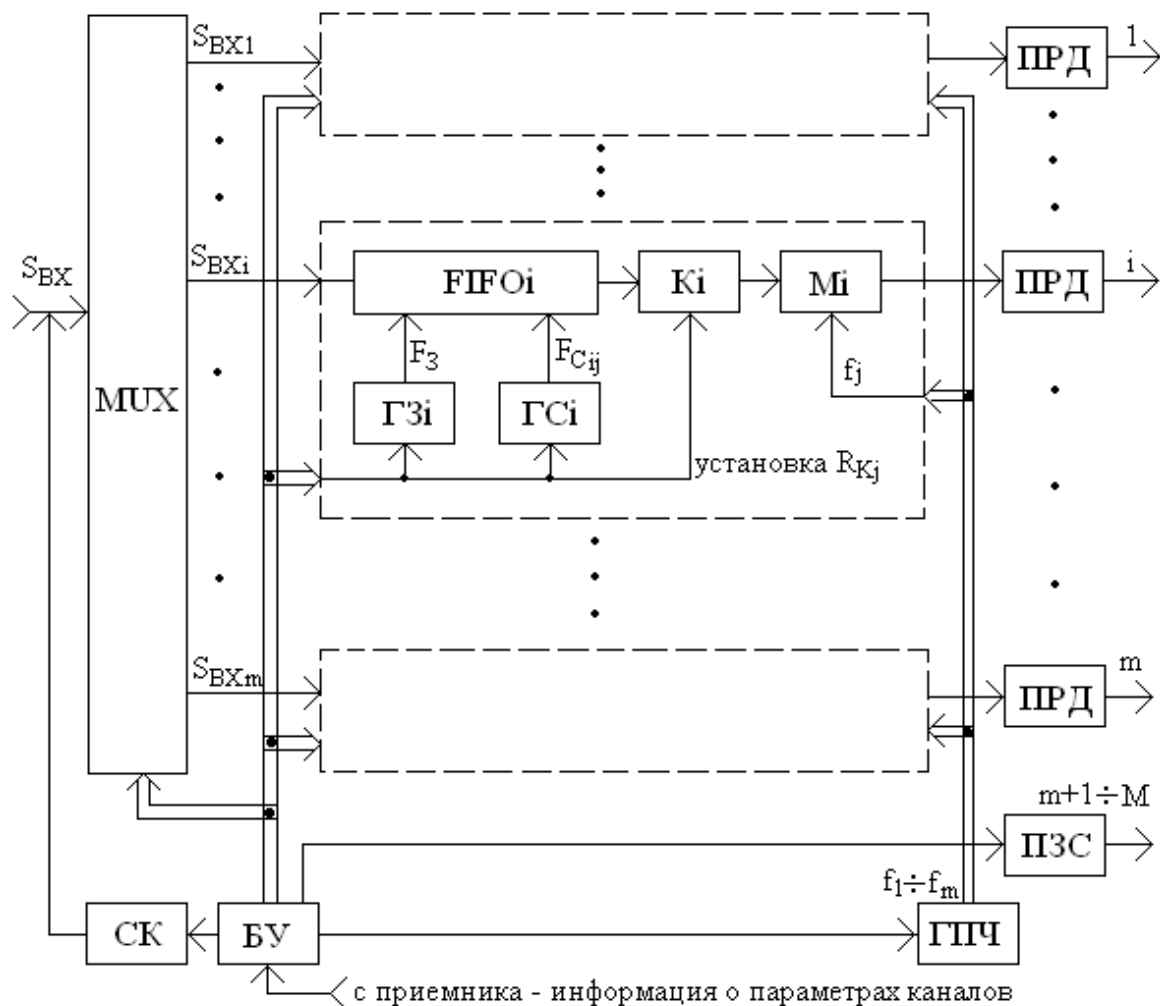


Рисунок 1 – Передающая часть системы передачи

В каждом из организуемых параллельных каналов информационные символы передаются со своей скоростью, поэтому мультиплексор из обще-

го потока последовательно выделяет каждому модулю различные порции символов, пропорциональные скорости R_{ki} , с которой этот модуль работает. Генераторы записи каждого модуля вырабатывают одну и ту же частоту записи F_3 , но подают записывающие сигналы только в те интервалы времени, когда с выхода мультиплексора информационные символы поступают на данный модуль.

В отличие от генераторов записи, генераторы считывания каждого модуля работают с различными скоростями F_{ij} , которые отличаются в разных модулях

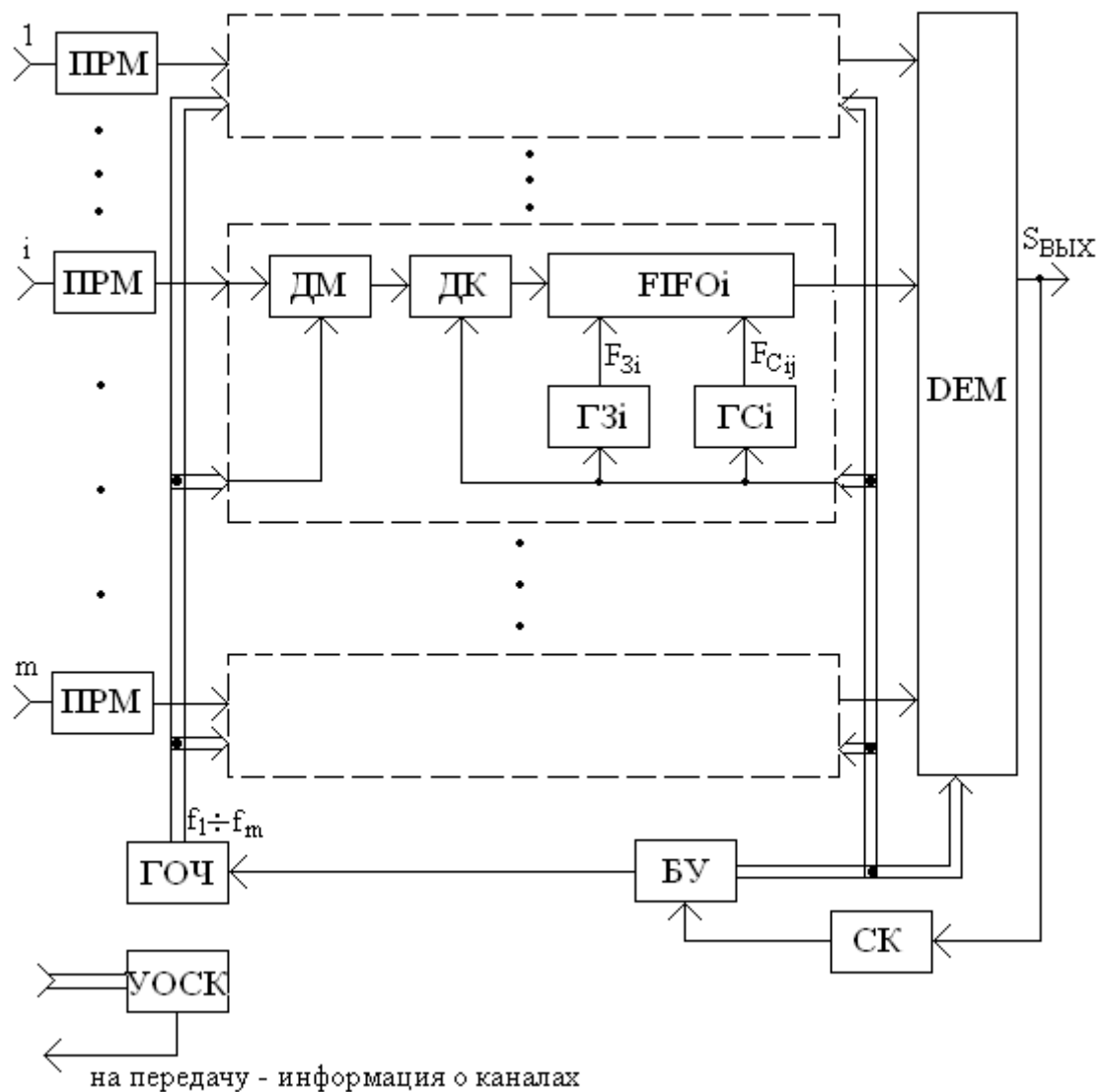


Рисунок 2 – Приемная часть системы передачи

номера $i=1 \div m$, и меняются по времени в зависимости от того, с какой кодовой скоростью R_{kj} должен в текущий момент работать кодер каждого

модуля. Генератор поднесущих частот (ГПЧ) вырабатывает весь набор частот $f_1 \div f_M$, на которых разрешено работать системе передачи. При этом на каждый из модуляторов подается одна из выбранных для него поднесущих. Распределением поднесущих по модуляторам управляет блок управления (БУ).

В приемной части (рисунок 2) на выходах каждого из приемников (ПРМ) также стоят однотипные модули, состоящие из демодулятора (ДМ), декодера (ДК), блока памяти (FIFO_i), генератора записи (ГЗ_i) и генератора считывания (ГС_i). Каждый модуль осуществляет набор операций, противоположный тому, который совершается в соответствующем модуле передающей части. Генератор опорных частот (ГОЧ) вырабатывает набор всех поднесущих частот, на которых может работать система передачи. Из них выбираются те, которые используются в текущий момент, и подключаются к соответствующим демодуляторам. Декодеры всех модулей производят декодирование принятых кодовых последовательностей с необходимыми скоростями. Демультимплексор (ДЕМ) поочередно запрашивает из блоков FIFO_i очередные порции декодированных символов и на выходе составляет непрерывную последовательность информационных символов $S_{\text{ВЫХ}}$, соответствующих передаваемой $S_{\text{ВХ}}$.

Для согласования скоростей получения символов блоками памяти и скоростей их считывания и подачи на демультимплексор, частоты сигналов, вырабатываемых генераторами записи и считывания каждого модуля регулируются с помощью блока управления (БУ), который также управляет работой ГОЧ, ДК и ДЕМ. Из выходного сигнала $S_{\text{ВЫХ}}$ аппаратурой служебного канала (СК) извлекается информация, передаваемая противоположной станцией, о том, какие частотные каналы используются и с какой кодовой скоростью. Кроме того, устройство оценки свойств каналов (УОСК) анализирует уровень сигналов во всех каналах, выделенных системе передачи, и передает эту информацию на противоположную станцию.

Поскольку процесс заполнения ячеек буфера случаен, то количество заполненных ячеек на некотором шаге l может быть описано некоторым вероятностным распределением в виде вектора \mathbf{p}^l . Вероятность обнуления p_1 и вероятность переполнения p_2 памяти определяются, как:

$$p_1 = q^{N-1}(1-q)/(1-q^N),$$

$$p_N = (1-q)/(1-q^N),$$

где N – емкость памяти; $q = \pi_-/\pi_+$; π_- и π_+ – вероятности увеличения и уменьшения заполненных ячеек в памяти на очередном шаге, определяемые скоростью записи и считывания. Переполнение памяти при продол-

жающемся замирании вызывает необходимость некоторое время передавать символы с пониженной помехоустойчивостью, а при обнулении памяти символы будут передаваться с избыточной помехоустойчивостью. В зависимости от соотношения значимости потерь от одного или другого результата можно варьировать скорость передачи символов.

Предложен алгоритм адаптации для систем с выбором одной или нескольких рабочих частот из набора возможных с применением описанного метода адаптации. С помощью компьютерного моделирования исследованы свойства алгоритма для различных наборов исходных параметров. В качестве примера приведены графики на рисунках 3 и 4. Графики показывают, насколько отличаются показатели соседних по качеству каналов при росте общего числа каналов, из которых осуществляется выбор лучших. По вертикальной оси на рисунке 3 отложен уровень лучших каналов в децибелах по отношению к медианному уровню одиночного релейского канала, наблюдающийся в процент времени $T\%$. Цифры при графиках соответствуют уровням: 1 – наилучший канал, 2 – следующий после наилучшего, и т.п. Прерывистая линия соответствует одиночному каналу.

На рисунке 4 по горизонтальной оси отложены номера n ранжированных каналов, цифры возле графиков – общее число каналов, из которых производится выбор. По вертикальной оси – уровень по отношению к медианному уровню одиночного канала, наблюдающийся в 98 % времени сеанса.

Четвертая глава посвящена исследованиям возможностей повышения помехоустойчивости при передаче сигналов по параллельным каналам в двухсторонних линиях передачи. При работе в отсутствие внешних помех предложен достаточно простой алгоритм для модуляции BPSK и случая «гладких» замираний, повышающий отношение «сигнал/шум».

Первоначально рассмотрим прием на одну антенну сигналов, передаваемых с двух разнесенных в пространстве антенн. Обычно сигналы излучаются синфазно каждой из антенн. Каждый из них приходит на приемную антенну по своей траектории, где испытывает воздействие замираний. Фазовый сдвиг при распространении сигнала по каждому каналу случаен и независим в разных каналах. В приемной антенне оба сигнала складываются, но относительный фазовый сдвиг между ними случаен. Поэтому если в передающих антеннах сигналы будут излучаться не синфазно, а с другим относительным фазовым сдвигом, например, противофазно, то статистические свойства входного сигнала приемника при этом не изменятся.

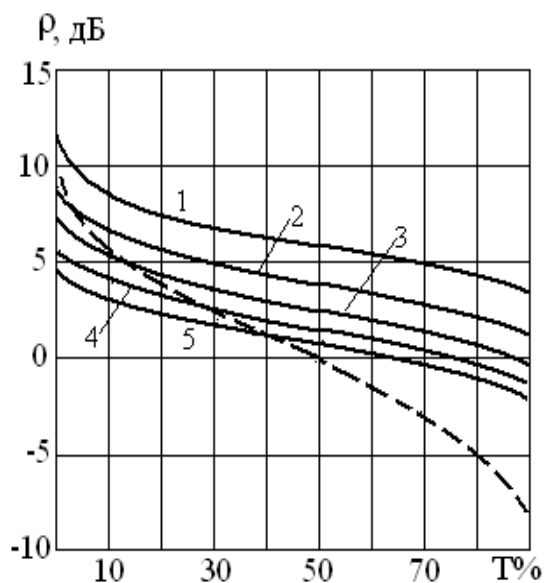


Рисунок 3

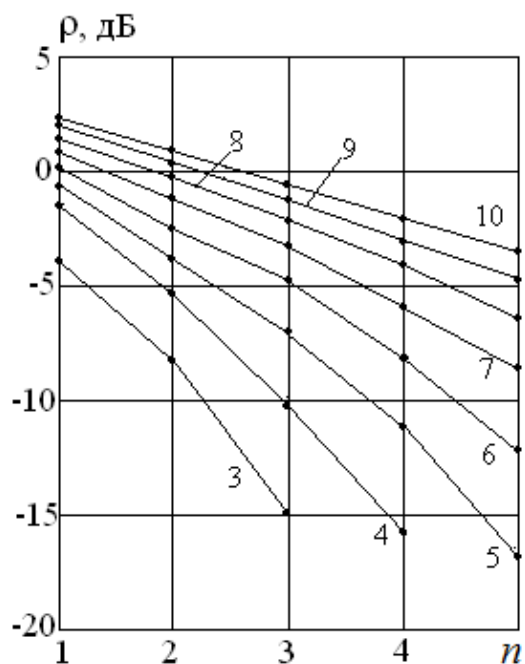


Рисунок 4

Замирания сигнала на входе приемника возможны в двух ситуациях. В одном случае коэффициенты передачи с обоих передатчиков в данный момент времени одновременно малы по величине. В другом оба коэффициента имеют значительную величину, но их фазы близки к противоположным, в результате оба сигнала взаимно вычитаются. В этом случае при инвертировании одного из излучаемых сигналов произойдет значительное увеличение его уровня. В соответствии с этим принципом на основе измерения в приемнике уровней специальных сигналов-маркеров по каналу обратной связи передатчик получает информацию о необходимости инвертирования одного из сигналов и заменяет синфазную передачу сигналов на противофазную. Инвертирование производится в соответствующих маломощных блоках.

На основе этого подхода рассмотрен общий случай применения N_T пространственно разнесенных передатчиков и N_R пространственно разнесенных приемников. Часть сигналы с передающих антенн излучаются синфазно, другие – противофазно. Текущее соотношение относительного сдвига фаз описывается вектор-столбцом \mathbf{h}_q , соответствующим q -му варианту инвертирования. Достигаемое отношение «сигнал/шум» определится формулой:

$$\rho_{\max} = \max_q \{\rho_q\} = (\sqrt{2 \max_q \{\mathbf{h}_q^T \mathbf{G}_0 \mathbf{h}_q\}}) / \sigma,$$

где σ – среднеквадратическое отклонение шума; $\mathbf{G}_0 = \mathbf{K}_C \mathbf{K}_C^T + \mathbf{K}_S \mathbf{K}_S^T$; \mathbf{K}_C и \mathbf{K}_S – ортогональные компоненты матрицы коэффициентов передачи от передающих антенн в приемные. В таблице 1 представлена величина возрас-

тания (в децибелах) медианы распределения сигнала при использовании алгоритма инвертирования по сравнению с ситуацией, когда при одинаковых прочих условиях работы метод инвертирования не используется.

Таблица 1 – Выигрыш при использовании алгоритма инвертирования

N_T	2	3	4	6	8
N_R					
2	2,4	3,6	4,5	5,9	6,8
3	2,3	3,5	4,4	5,7	6,7
4	2,2	3,4	4,3	5,5	6,5
6	2,1	3,2	4,1	5,4	6,4
8	2,1	3,2	4,0	5,4	6,4

В главе также предложены и исследованы алгоритмы подавления внешних помех одновременно с минимизацией уровня шума при совместном управлении коэффициентами распределения мощности передатчика по передающим антеннам и коэффициентами комбинирования сигналов в приемнике. При этом также используется набор специально организованных сигналов-маркеров. Реализация метода возможна как в «оптимальном» виде, обеспечивающем при ограниченной мощности передатчика максимально возможное отношение полезного сигнала к суммарному уровню помехи и шума «с/(п+ш)», так и в более простых квазиоптимальных вариантах, уступающих «оптимальному», но более простых в практической реализации.

Для всех вариантов отношение «с/(п+ш)» определится выражением: $\rho = \frac{P_0 \mathbf{a}^+ \boldsymbol{\mu}^* \boldsymbol{\mu}^T \mathbf{a}}{\mathbf{a}^+ \mathbf{R}_M \mathbf{a}}$, где \mathbf{a} и \mathbf{b} – вектора комплексных коэффициентов, соответственно, при объединении сигналов в приемнике и управлении уровнями сигналов в передатчике; P_0 – мощность передатчика; \mathbf{R}_M – суммарная корреляционная матрица помеховых и шумовых сигналов; $\boldsymbol{\mu} = \mathbf{K}^T \mathbf{b} = (\mathbf{K}_C + j\mathbf{K}_S)^T \mathbf{b}$; знак «Т» обозначает транспонирование.

В «оптимальном» случае вектор \mathbf{a} – собственный вектор матрицы $\mathbf{R}_M^{-1} \boldsymbol{\mu}^* \boldsymbol{\mu}^T$, соответствующий ее максимальному собственному числу; вектор \mathbf{b} – это вектор, соответствующий максимальному собственному числу матрицы $\mathbf{K}^* \mathbf{K}^T$. В квазиоптимальных вариантах в приемнике производится либо только обычное оптимальное сложение, либо только компенсация внешней помехи. А уже в передатчике весовые коэффициенты управляются таким образом, чтобы максимизировать отношение «с(п+ш)» с учетом обработки в приемнике. Для первого из этих вариантов вектор \mathbf{a} определится также, а вектор \mathbf{b} должен быть равен собственному вектору матрицы $\mathbf{K}^* \mathbf{R}_M \mathbf{K}^T$, соответствующему ее минимальному собственному числу. Для второго варианта вектор \mathbf{a} равен собственному вектору \mathbf{a}_p корреляционной

матрицы помех \mathbf{R}_y , соответствующему ее минимальному собственному числу, а вектор \mathbf{b} определится, как $\mathbf{b}=\mathbf{K}^+\mathbf{a}_p$.

На рисунках 5 и 6 (5 – передатчик, 6 – приемник) приведены укрупненные структурные схемы реализации описанных алгоритмов для двукратного разнесения

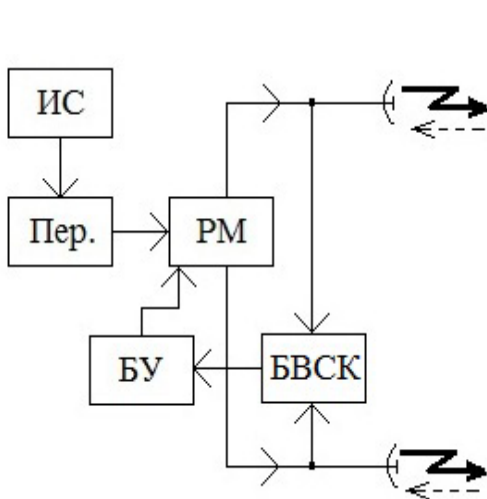


Рисунок 5 - Передатчик

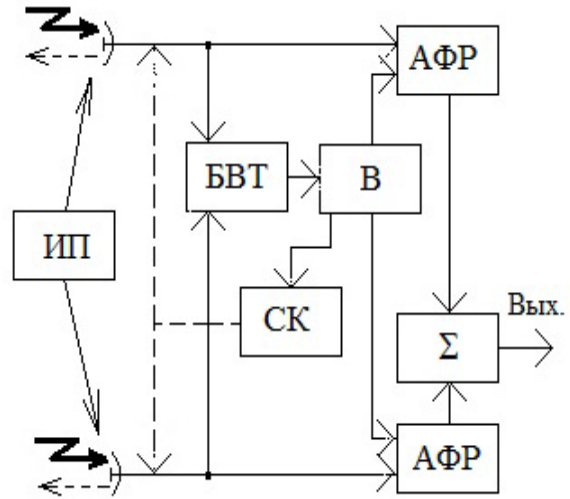


Рисунок 6 – Приемник

Необходимые вычисления коэффициентов производятся на приемной стороне. Источник сигнала (ИС) вырабатывает информационный сигнал, который необходимо передать по параллельным каналам. В передатчике (Пер.) он преобразуется и в распределителе (РМ) мощность распределяется по двум передающим антеннам. Те же антенны принимают сигналы с противоположной стороны интервала передачи. В блоке выделения служебного канала (БВСК) выделяется управляющая информация, транслированная с противоположной стороны. Блок управления (БУ) регулирует нужные значения весовых коэффициентов. Блок выделения тестовых сигналов-маркеров (БВТ) определяет значения элементов матрицы \mathbf{K} и помехи. В вычислителе (В) определяются вектора \mathbf{a} и \mathbf{b} . С помощью блока служебного канала (СК) значения элементов вектора \mathbf{b} транслируются обратно в передатчик. Значения элементов вектора \mathbf{a} используются в блоках амплитудно-фазовой регулировки (АФР) при сложении принятых информационных сигналов в сумматоре (Σ). Передача и прием антеннами основных сигналов показаны сплошными стрелками, служебных сигналов – прерывистыми стрелками. Показано также воздействие на приемные антенны помехового сигнала от внешнего источника помехи (ИП).

С помощью компьютерного моделирования исследовались сравнительные свойства алгоритмов при различных сочетаниях параметров сигнално-помеховой обстановки. В качестве примера на рисунках 7 и 8 приведены графики, соответствующие различным алгоритмам.

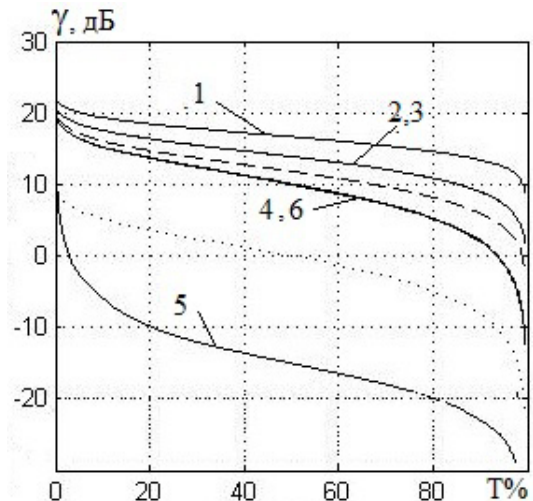
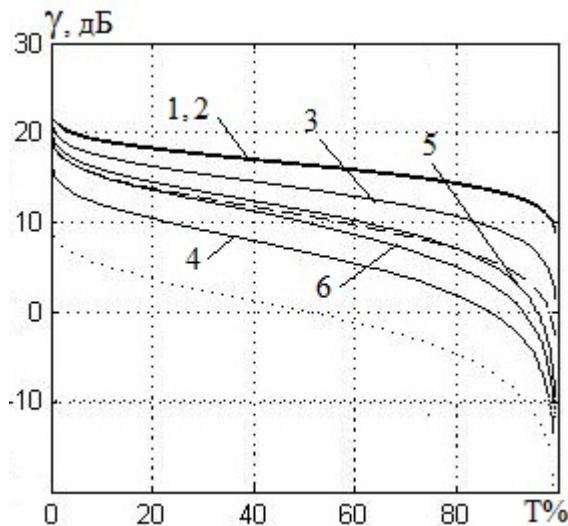


Рисунок 7 – Величина «с/п» = -10 дБ

Рисунок 8 – Величина «с/п» = 10 дБ

Вдоль оси ординат отложена величина γ отношения «с/(п+ш)». Вдоль оси абсцисс отложен процент $T\%$ общего времени сеанса передачи информации, в течение которого текущие значения отношения «с/(п+ш)» будут не ниже соответствующего значения γ . Рисунок 7 соответствует отношению «с/ш» = «с/п» = -10 дБ, рисунок 8 соответствует величинам «с/ш» = -10 дБ, «с/п» = 10 дБ. Нумерация графиков: 1 – передача в отсутствии внешних помех; 2 – «оптимальный» алгоритм; 3 – только компенсация помех в приемнике и управление в передатчике; 4 – только сложение в приемнике и управление в передатчике; 5 – «классическое» сложение в приемнике без управления в передатчике; 6 – только компенсация помех в приемнике без управления в передатчике. Пунктир – распределение одиночного сигнала. Квазиоптимальные алгоритмы ненамного проигрывают «оптимальному» и позволяют повысить эффективность подавления внешних помех на 4-11 дБ.

В заключении сформулированы основные результаты и выводы диссертации.

1. Выполнен анализ условий эксплуатации систем передачи информации в регионе Палестины с учетом условий региона. Рассмотрены различные виды линий передачи и их особенности и выбраны модели сигнально-помеховой обстановки.

2. Выполнен расчет тропосферной линии, как перспективной линии передачи в условиях Палестины, и оценены возможности повышения помехоустойчивости передачи различными методами. Предложена информативная номограмма оценки основных параметров средств системы передачи.

3. Рассмотрены пути повышения помехоустойчивости за счет адаптивного использования избытка ресурсов системы передачи, заключающегося в запасе энергopotенциала для компенсации изменений передающих свойств среды распространения.
4. Проанализированы методы управления параметрами сверточного кодирования и получены требования к буферизации символьных последовательностей, что позволяет повысить помехоустойчивость передачи на 2,5 дБ и выше.
5. В многоканальных системах с обратной связью впервые предложен и исследован алгоритм передачи с инвертированием сигналов, позволяющий увеличить при тех же условиях работы медианный уровень сигнала на 2-2,4 дБ и уменьшить глубину замираний на 4,2 дБ и разработан соответствующий программный комплекс для определения эффективности алгоритма.
6. Впервые разработаны исследованы алгоритмы совместного управления передачей многоканальных сигналов на приемной и передающей сторонах, улучшающие подавление мешающих сигналов в различных условиях на 4-11 дБ и соответствующий программный комплекс для исследования эффективности алгоритмов.

Основные результаты диссертации опубликованы в следующих работах:

Статьи в журналах из перечня ВАК, включенные в международную рейтинговую систему «Scopus» и опубликованные за рубежом.

1. Полушин, П.А. Воздействие сосредоточенных помех на системы передачи сигналов со сверточным кодированием [Текст] / П.А. Полушин, Д.В. Синицин, И. Джулани, Ж.Л. Гомес // Радиотехнические и телекоммуникационные системы.– 2014. – №3(15).– С. 69-73.(25%).
2. Никитин, О.Р. Арифмологический алгоритм сверточного кодирования цифровых сигналов при воздействии узкополосной помехи [Текст] / О.Р. Никитин, П.А. Полушин, Д.В. Синицин, И. Джулани // Вестник Рязанского государственного радиотехнического университета. – 2014. –№4 (выпуск 50).– часть 1. – С. 45-50.(25%).
3. Полушин, П.А. Метод компенсации межсимвольных искажений в системах связи с разнесением [Текст] / П.А. Полушин, Д.А. Мартышевская, И. Джулани // Вестник Рязанского государственного радиотехнического университета. – 2015. – №2 (выпуск 52). – С. 42-49.(30%).
4. Полушин П.А., Реализация компенсационного метода подавления межсимвольной интерференции цифровых сигналов [Текст] / П.А.Полушин, Д.А.Мартышевская, И.Джулани, А.В.Беляков // Проектирование и технология электронных средств. – 2015. – №2. – С. 40-46.(25%).

5. Никитин, О.Р. Подавление помех при передаче информации по параллельным каналам / О.Р.Никитин, П.А. Полушин, И.Джулани [Текст] // Технология текстильной промышленности. – 2015.– №4 (358). – С.137-140. (Scopus).(35%).
6. Никитин, О.Р. Возможность подавления внешних помех путем совместного управления приемом и передачей разнесенных сигналов / О.Р.Никитин, П.А.Полушин, И.Джулани [Текст] // Электросвязь. – 2016.– №11. – С. 72-74.
7. Polushin, P.A. Method of Diversed Transmission with Digital Signals Inversion / P.A.Polushin, I. Joulani // Indian Science Cruiser. – Calcutta, India – 2014. – September. – No. 5. – Vol. 28,– pp. 37-40.(50%).

Патенты и свидетельства на программы для ЭВМ

8. Полушин П.А., Синицин Д.В., Джулани И. Устройство подавления узкополосных помех // Патент № 147102 РФ, МПК Н04В 7/00. - №2014123973/07; Заявлено 10.06.2014. - Оpubл. 27.10.2014. Бюл. №30.(30%).
9. Полушин П.А., Мартышевская Д.А., Джулани И., Беляков А.В. Двухступенчатый компенсатор межсимвольных искажений цифровых сигналов // Патент №156821 РФ, МПК Н04В 7/00. - № 2012154705; Заявлено 17.12.2012. - Оpubл. 20.11.2015. Бюл. № 32.(25%).
10. Полушин П.А., Самойлов С.А., Смирнова Е.В., Джулани И., Гомес Ж.Л. Программный комплекс для исследования метода компенсации компонентов межсимвольной интерференции // Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ №2014616707: рег. 02.07.2014. – Заявлено 18.03.2014г., №2914612242. Оpubл. 20.07.2014.(20%).
11. Полушин П.А., Мартышевская Д.А., Джулани И., Матюха В.А. Программный комплекс для исследования метода разнесения с инвертированием цифровых сигналов // Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ №2014614833: рег. 08.05.2014. – Заявлено 18.03.2014г., №2014612249. – Оpubл. 20.06.2014.(25%).
12. Полушин П.А., Джулани И., Мартышевская Д.А. Программа исследования метода совместной компенсации помех–комбинирования разнесенных сигналов // Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ №2015619882: рег. 16.09.2015. – Заявлено 20.07.2015., №2015616600. – Оpubл. 20.10.2015.(35%).
13. Полушин П.А., Мартышевская Д.А., Джулани И., Смирнов Е.А. Программа исследования метода компенсации межсимвольных искажений цифровых сигналов // Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2015616315: рег. 05.06.2015. – Заявлено 10.04.2015, №2015612840 – Оpubл. 20.07.15.(30%).

Материалы конференций

14. Полушин, П.А. Применение метода инвертирования сигналов для повышения помехоустойчивости передачи биомедицинской информации / П.А.Полушин, В.А. Матюха, И.Джулани: сб. материалов докладов [Текст] / 11-я международная научно-техническая конференция «Физика и радиоэлектроника в медицине и экологии ФРЭМЭ-2014», книга 2, Суздаль, 1-3 июля 2014. – Владимир, ВлГУ, 2014. – С. 142-144.(35%).
15. Полушин, П.А. Метод совместного комбинирования/компенсации помех в телекоммуникационных системах [Текст] / П.А.Полушин, И.Джулани: сб. материалов докладов. / 11-я международная научно-техническая конференция «Перспективные технологии в средствах передачи информации – ПТСПИ-2015» – Владимир, 2015. – Владимир, ВлГУ, 2015. – С. 151-154.(70%).
16. Джулани, И. Повышение помехоустойчивости передачи сигналов с помощью метода инвертирования [Текст] / Сб. научных трудов по материалам международной научно-практической конференции, г.Вологда, 23 декабря 2015г.: в 3 частях. Часть 3. – Вологда: ООО «Маркер», 2015. – С.37-39.(100%).
17. Полушин, П.А. Параметрическая адаптация линии передачи биомедицинской информации / П.А.Полушин, И.Джулани, А.В.Беляков: сб. материалов докладов [Текст] / 12-я международная научно-техническая конференция «Физика и радиоэлектроника в медицине и экологии ФРЭМЭ-2016», книга 1, Владимир-Суздаль, 5-7 июля 2016. – Владимир, ВлГУ, 2016. – С. 343-346.(35%).

Подписано в печать 30.03.17.
Формат 60×84/16. Усл. печ. л. 0,93. Тираж 100 экз.
Издательство
Владимирского государственного университета
имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых.
600000, Владимир, ул. Горького, 87.