

На правах рукописи



Альшрайдех Абдаллах Мохаммад

**РАЗРАБОТКА ИЗМЕРИТЕЛЬНОГО КОМПЛЕКСА
ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА ПЕРЕДАЧИ ЦИФРОВОЙ
ИНФОРМАЦИИ ПО РАДИОКАНАЛАМ**

**Специальность: 05.12.13 – Системы, сети
и устройства телекоммуникаций**

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Владимир 2015

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

**Научный
руководитель:**

Самойлов Александр Георгиевич

доктор технических наук, профессор, декан факультета
радиофизики, электроники и медицинской техники
ФГБОУ ВПО «Владимирский государственный уни-
верситет имени Александра Григорьевича и Николая
Григорьевича Столетовых.

**Официальные
оппоненты:**

Ямпурин Николай Петрович

доктор технических наук, профессор, заведующий ка-
федрой «Конструирование и технологии радиоэлек-
тронных средств» Арзамасского политехнического ин-
ститута (филиал) НГТУ, г. Арзамас.

Рябоконь Алексей Владимирович

Кандидат технических наук, инженер 1-й категории
ОАО «Владимирское конструкторское бюро радиосвя-
зи», г. Владимир.

**Ведущая
организация:**

Закрытое акционерное общество «Конструкторское
опытное бюро радиоаппаратуры - ЗАО «КОБРА»),
г. Владимир.

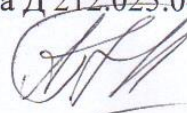
Защита состоится «27» мая 2015 г. в 16.00 ч. в ауд. 301-3 на заседа-
нии диссертационного совета Д 212.025.04 при Владимирском государ-
ственном университете имени Александра Григорьевича и Николая Григо-
рьевича Столетовых по адресу: 600000, г. Владимир, ул. Горького, д. 87,
корп. 3, ауд. 301.

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

Автореферат разослан « 25 » марта 2015 г.

Отзывы в двух экземплярах, заверенные печатью, просим направлять по
адресу: 600000, г. Владимир, ул. Горького, д. 87, ВлГУ, ФРЭМТ.

Ученый секретарь диссертационного совета Д 212.025.04
доктор технических наук, профессор



А. Г. Самойлов

Введение

Актуальность работы. В последние годы наблюдается бурное развитие систем цифровой связи. Ее достоинство в возможности восстановления на приемной стороне искаженного при передаче сигнала определило постепенную замену аналоговых систем на цифровые. Однако проблема повышения помехозащищенности осталась также как и для аналоговых систем нерешенной, так как шумы, помехи и замирания сигнала, влияющие на качество передачи информации, приводят к появлению на приемной стороне ошибок.

Развитие цифровых систем передачи информации является одной из главных составляющих мирового прогресса в сфере телекоммуникаций. В настоящее время цифровые системы передачи информации вошли в повседневную жизнь миллионов людей. Трудно представить себе нашу действительность без сотовой связи, спутниковых систем, интернета, цифрового телевидения и т.д.

Это стало возможным вследствие научных, технических и технологических достижений нескольких последних десятилетий. Но бурный рост инфокоммуникационного пространства породил новые проблемы. Теснота эфира, все более сложная помеховая обстановка и непрерывно растущие скорости передачи информации по каналам связи вошли в противоречие с качеством передачи информации. Над разрешением этого противоречия работают и отдельные ученые и целые научные коллективы, много достигнуто, но с развитием телекоммуникаций разрастается и проблема.

Загруженность радиочастотного спектра и ограничения на мощность излучения радиопередающих устройств в населенных пунктах, а также стремление разработчиков уменьшить массу и габариты антенных устройств, выдвинули помехоустойчивое кодирование на передовые позиции по обеспечению высокого качества информационного обмена.

Увеличение мощности передатчика, повышение чувствительности приемника, рост усиления антенн частично решают проблему, но ценой значительного удорожания систем связи. Более действенным средством оказалось применение помехоустойчивого кодирования, позволяющего за счет внесения избыточности при передаче информации находить и исправлять повре-

жденные символы. Помехоустойчивое кодирование цифровой информации дало такие значительные положительные результаты, что его стали применять не только при передаче цифровой информации, а и при ее хранении, несмотря на увеличение хранимого объема за счет избыточности.

Разработки в направлении развития помехоустойчивого кодирования вели и ведут такие ученые как А.И. Витерби, Е.Р. Берлекамп, Ю.Б. Зубарев, В.В. Золотарев, Г.В. Овечкин, Р. Блейхут, Д.Ж. Прокис, С. Лиин, Д.Ж. Каstellло, Хемминг Р.У., Финк Л.М., Боуз Р.Ч., Рей-Чоудхури Д.К., Хоквингем А.М., Рид И.С., Соломон Г.М., Э.М. Габидулин, Голей М.Д. и многие другие.

Однако сложность и многообразие каналов передачи информации, различие методов передачи информационных потоков и ряд других причин не позволили найти универсальный вид помехоустойчивого кодирования и проблема выбора наилучшего вида кодирования для конкретного канала передачи информации пока не решена.

Разработчики средств передачи информации вынуждены выбирать методы помехоустойчивого кодирования для разрабатываемых систем, исходя из опыта эксплуатации подобных устройств в уже существующих системах. Поэтому экспериментальный подбор видов модуляции, обработки сигналов и методов помехоустойчивого кодирования, обеспечивающий наиболее высокое качество передачи информации в конкретном канале связи представляется в настоящее время актуальной задачей.

Для реализации такого подхода необходим комплекс, позволяющий экспериментально, путем моделирования сигналов и имитации условий передачи сообщений, определять наиболее выгодные для конкретного канала передачи информации методы формирования и обработки сигнала, обеспечивающие заданное качество информационного обмена. Из-за различий в информационном обмене по кабельным и беспроводным каналам ограничим диссертационное исследование только радиоканалами.

Диссертационное исследование направлено на разработку измерительного комплекса для верификации устройств помехоустойчивого кодирования и выбора наиболее успешного метода обработки сигналов для конкретного радиоканала передачи цифровой информации, который возможно имитировать.

Объектом исследований являются функциональные устройства, моделирующие прохождение цифровых сигналов через каналы радиосвязи.

Предметом исследований является алгоритмы и методики оценки качества передачи цифровой информации по каналам радиосвязи.

Целью исследования является разработка измерительного комплекса для оценки возможностей устройств помехоустойчивого кодирования и выбора успешного метода обработки сигналов для радиоканала передачи цифровой информации, который возможно имитировать.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

- провести анализ возникновения ошибок при передаче информации и методов борьбы с ними,
- разработать алгоритм оценки качества передачи цифровой информации и структуру реализующего его универсального измерительного комплекса,
- предложить пути построения имитаторов радиоканала, позволяющих физически моделировать воздействие шума, замираний сигнала и помех на исследуемые информационные потоки,
- выбрать программно-аппаратное обеспечение для осуществления различных методов кодирования, модуляции, демодуляции и декодирования исследуемых цифровых сигналов.
- разработать методику оценки качества передачи цифровой информации в соответствии с помощью предложенного комплекса

Методы исследования. Решение перечисленных выше задач выполнено с использованием известных положений теории помехоустойчивого кодирования сигналов, теории вероятности и математической статистики, методов моделирования процессов и систем, теории дифференциального и интегрального исчисления.

- Научная новизна** диссертационной работы заключается в следующем:
- Предложены пути экспериментальной оценки качества передачи цифровой информации в лабораторных условиях.
 - Разработана методика экспериментального тестирования помехоустойчивых кодов.
 - Разработана методика ускоренного тестирования помехоустойчивых кодов.

- Разработан алгоритм оценки качества передачи цифровой информации по радиоканалам и реализующий его комплекс.

Практическая значимость работы заключается в следующем:

- Разработанный комплекс дает возможность проектировать системы связи, в лабораторных условиях экспериментальным путем обеспечивая их наилучшее соответствие определенным радиоканалам.

- Применение разработанного комплекса позволяет до создания системы связи оценить качество передачи цифровой информации по радиоканалам линий связи.

- Разработанный лабораторный комплекс оценки качества передачи цифровой информации сокращает расходы на проектирование систем связи.

Достоверность и обоснованность результатов обусловлена корректным применением апробированного математического аппарата, известных методов теории помехоустойчивого кодирования сигналов, теории вероятности и математической статистики, а также подтверждением теоретических результатов модельными экспериментами.

Апробация работы. Основные результаты исследования докладывались и обсуждались на 6 научно-технических конференциях

- Владимир-Суздаль, Международная НТК «Перспективные технологии в средствах передачи информации», ВлГУ, 2011 г. и 2013 г.

- Санкт-Петербург, «Всероссийская научная конференция студентов-радиофизиков», ЛГУ. - 2012

- Санкт-Петербург 69-я Научно-техническая конференция посвященная Дню радио, ЛЭТИ. – 2014.

- Суздаль, Международная НТК «Физика и радиоэлектроника в медицине и экологии», ВлГУ. – 2014.

- Муром, НТК «Прикладные вопросы формирования и обработки сигналов в радиолокации, связи и акустике», МИ ВлГУ. – 2013.

Публикации. Полученные при диссертационном исследовании результаты работы опубликованы в 10 научных публикациях, в том числе в 4-х статьях, включенных ВАК в перечень рецензируемых журналов для диссертационных работ.

Реализация и внедрение результатов работы. Результаты диссертационной работы нашли практическое применение в учебном процессе и в проводимой исследовательской работе в ФГБОУ ВПО «Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых», что подтверждено соответствующими актами.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, трех глав, заключения и списка литературы. Объем работы 117 страниц, список литературы включает 105 наименований.

Личный вклад. Результаты исследования получены автором в процессе обучения в аспирантуре. Изложенные в работе методики и предложенные алгоритмы разработаны лично автором. Отмечу, что публикации и изложение работы на русском языке мне поправили. В публикациях по теме исследования автору принадлежат аналитические решения, расчеты, предложения по построению структур и участие в экспериментах.

Основные положения, выносимые на защиту

- Комплекс верификации помехоустойчивых кодов и реализующие его устройства.
- Алгоритм оценки качества передачи цифровой информации.
- Методика оценки адекватности имитатора радиоканала реальным каналам связи.
- Методика лабораторного тестирования помехоустойчивых кодов.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность темы, сформулирована научная проблема, дана общая постановка решаемых задач и аннотация диссертационной работы.

В первой главе содержится обзор и анализ средств цифровой радиосвязи, в котором рассмотрены причины снижения достоверности передачи цифровой информации.

Передаточная функция канала связи является случайно изменяющейся величиной $H(f, t, R, D, \{\Phi\})$ и зависит от частоты (f), времени наблюдения (t), протяженности интервала связи (R), объема переизлучения сигнала (D),

задержки сигнала во времени и сложного функционала $\{\Phi\}$, суммарно учитывающего климат, погоду, подстилающую поверхность на линии связи и другие параметры канала связи.

Одной из основных причин снижения достоверности приема цифровой информации является уменьшение отношения сигнал/шум+помехи на входе приемного устройства (ПРМ). Другая причина - это искажения сигнала, из-за замираний сигнала в канале связи и межсимвольной интерференции. Эти причины снижения достоверности приема цифровой информации приводят к различным типам ошибок: стирание сигнала (пропадание посылок на выходе детектора ПРМ); ошибочный прием (прием вместо единичной посылки нулевой и наоборот).

Различные каналы связи имеют свои особенности, но наиболее сложными являются многолучевые радиоканалы. В таких каналах, кроме ослабления сигналов при распространении, из-за изменений параметров атмосферы из-за климатических и погодных условий, многолучевости и других причин возникают искажения передаточной функции канала, называемые замираниями. Процесс замираний многофакторный и нестационарный. Но для диапазонов КВ, УКВ и СВЧ ученые нашли в радиоканалах два интервала локальной стационарности передаточной функции $T_{\text{л.с.}} < 5$ минут и $T_{\text{л.с.}} < 3$ часов.

Флуктуации огибающей принимаемого сигнала на интервале $T_{\text{л.с.}} < 3$ часов, называемые медленными замираниями, исследователи описывают логарифмически-нормальным законом распределения вероятностей

$$w(x) = \frac{1}{\sigma_m x \sqrt{2}} \exp\left(-\frac{(\ln x - m_m)^2}{2\sigma_m^2}\right), \quad (1)$$

где m_m и σ_m - параметры распределения.

Быстрые замирания сигнала наиболее точно описывают четырехпараметрическим законом распределения вероятностей (2-3), при определенных параметрах принимающим различные формы, как показано на рис 1. В результате замираний сигнала, помех, тепловых и переходных шумов на выходе ПРМ возникают как одиночные, так и групповые ошибки. Критерии качества при передаче информации для

аналоговых и цифровых телекоммуникационных систем различны. Для аналоговых систем общепризнанным критерием качества принимаемой информации является отношение мощности полезного сигнала к суммарной мощности шума и помеховых сигналов. Для систем передачи цифровой информации (СПЦИ) основным критерием качества приема информации является вероятность битовой ошибки.

$$w(H) = 2HN_xN_y \exp\left(\frac{-H^2}{2\sigma_x^2}\right) \sum_{i=0}^{\infty} \sum_{j=0}^{\infty} \left[\frac{K_x^i K_y^j H^{2(i+j)}}{i!j!(i+j)!} \right] \cdot {}_1F_1[(i+0,5);(i+j+1); \left(\frac{1}{2\sigma_x^2} - \frac{1}{2\sigma_y^2}\right) H^2]; \quad (2)$$

$$N_x = \frac{1}{\sigma_x \sqrt{2}} \exp\left(\frac{-m_x^2}{2\sigma_x^2}\right); \quad N_y = \frac{1}{\sigma_y \sqrt{2}} \exp\left(\frac{-m_y^2}{2\sigma_y^2}\right); \quad K_x = \frac{m_x^2}{4\sigma_x^4}; \quad K_y = \frac{m_y^2}{4\sigma_y^4}, \quad (3)$$

где $\sigma_x, \sigma_y, m_x, m_y$ - параметры четырехпараметрического закона распределения вероятностей; ${}_1F_1[Z]$ - гипергеометрическая функция; H - модуль передаточной функции канала.

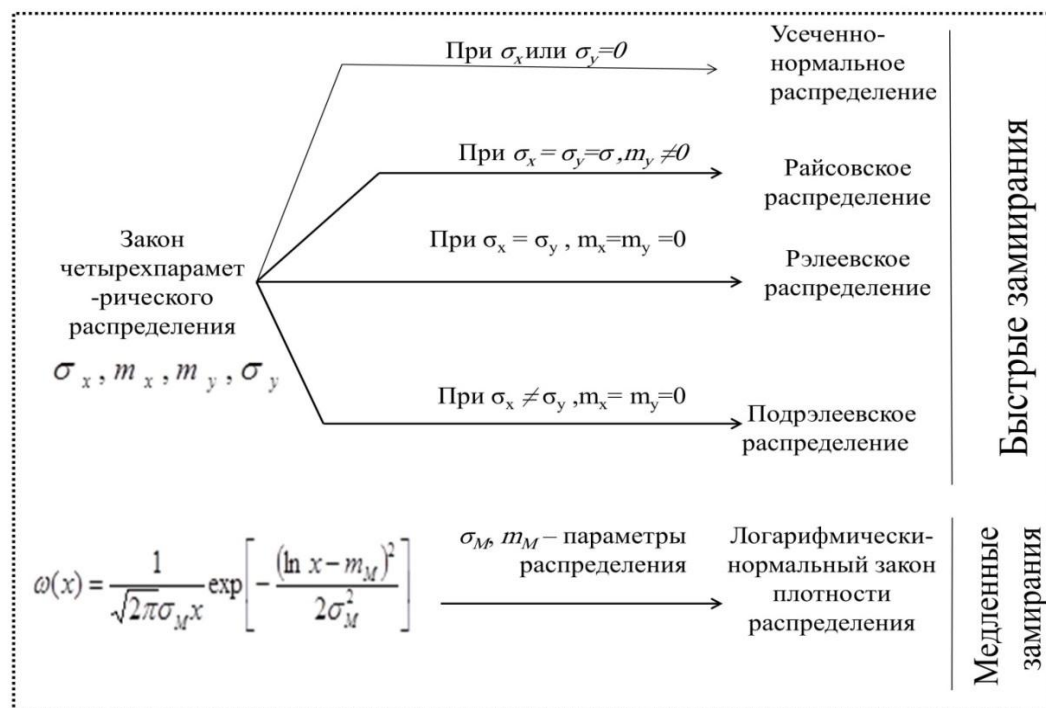


Рисунок 1. Законы распределения замираний сигнала в многолучевых радиоканалах

Эти критерии близки друг другу, так как оба зависят от энергии полезного сигнала и от совокупной мощности мешающих сигналов. Поэтому обеспечение высокого качества передачи информационных потоков с минимально допустимыми искажениями напрямую связано с увеличением энергopotенциала систем радиосвязи. Но если соотношение сигнал/шум на входе ПРМ можно увеличить, повышая энергopotенциал системы связи, то для противодействия негативному влиянию помеховых сигналов этого часто недостаточно и без применения избыточных корректирующих кодов в таких случаях не обойтись. Однако проблема выбора наилучшего вида кодирования для радиоканалов передачи информации пока не решена.

Поэтому диссертационное исследование направлено на разработку комплекса, позволяющего для различных конкретных радиоканалов передачи цифровой информации находить помехоустойчивый код (или сочетание нескольких кодов) наиболее успешно исправляющий ошибки, присущие этому радиоканалу, при минимальных потерях энергии и допустимых задержках в передаче сообщений.

Во второй главе приведена классификация применяемых кодов помехоустойчивого кодирования, показано как проходит выбор какого-либо кода для определенной задачи и на каких основаниях и критериях этот выбор должен иметь место. В частности рассматривался код Рида-Соломона как основной применяемый код для исправления как одиночных, так и пакетных ошибок при передаче информации пакетными методами. Рассмотрена вероятность возникновения ошибки P_b в системах передачи цифровой информации для когерентного ПРМ и некогерентного ПРМ.

При разработке цифровых систем передачи информации необходимо решить сложную задачу по оценке эффективности применения того или иного помехоустойчивого кода с учетом динамических стохастических свойств конкретного канала передачи информации, характеристик информационного потока, допустимого времени запаздывания сигнала и других многочисленных факторов. Перспективным, на наш взгляд, становится создание устройства, позволяющего экспериментально оценить качество применения различных помехоустойчивых кодов в конкретных каналах передачи информации.

Разработана методика верификации помехоустойчивых кодов которая состоит из последовательного выполнения следующих работ:

1. Изучение свойств канала радиосвязи в котором планируется создание СПЦИ.
2. Синтез программно-аппаратным путем имитатора радиоканала, позволяющего накладывать на передаваемый СПЦИ сигнал шумы, замирания, помехи и обеспечивать временные запаздывания сигнала, адекватные реальному радиоканалу.
3. Создание источника цифрового сигнала, имитирующего передаваемый по СПЦИ цифровой поток.
4. Обеспечение возможности замены кодеков в СПЦИ, позволяющее исследовать различные виды помехоустойчивых кодов.
5. Обеспечение возможности замены видов модуляции в СПЦИ, позволяющее определить наиболее эффективный вид модуляции для данной СПЦИ.
6. Построение комплекса анализа, позволяющего определять вероятность ошибки в СПЦИ.

Для выполнения таких задач предложен программно-аппаратный комплекс (ПАК), структурная схема которого приведена на рисунке 2.

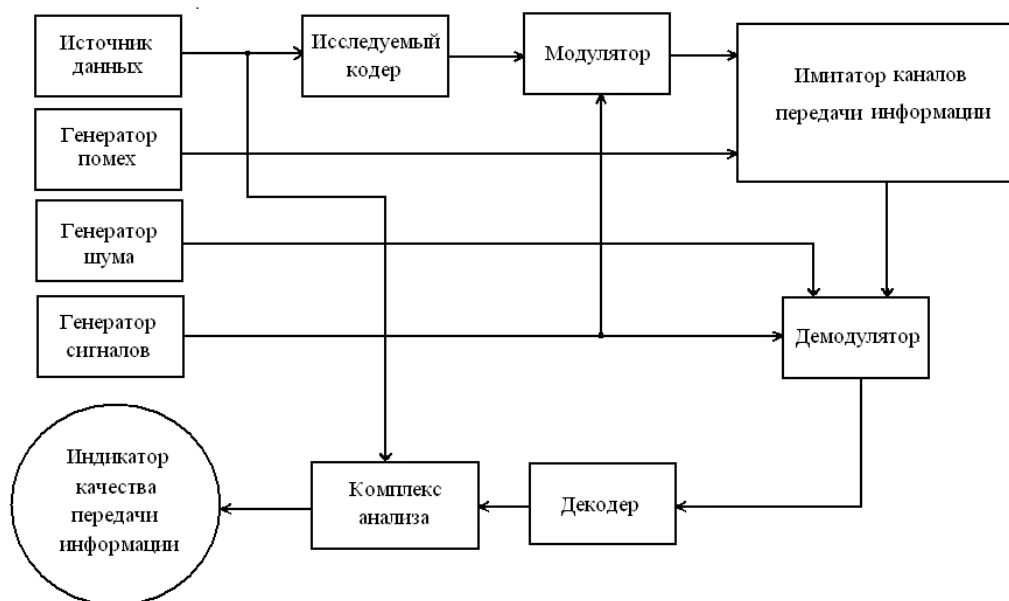


Рисунок 2. Программно-аппаратный комплекс верификации помехоустойчивых кодов

Предложена методика ускоренного тестирования помехоустойчивых кодов с помощью ПЭВМ, структурная схема которой приведена на рис.3. Этот метод относится к аппаратно-программным методам определения вероятности ошибки, когда анализ и декодирование информации строится на вероятностях принятых декодером битов или символов.

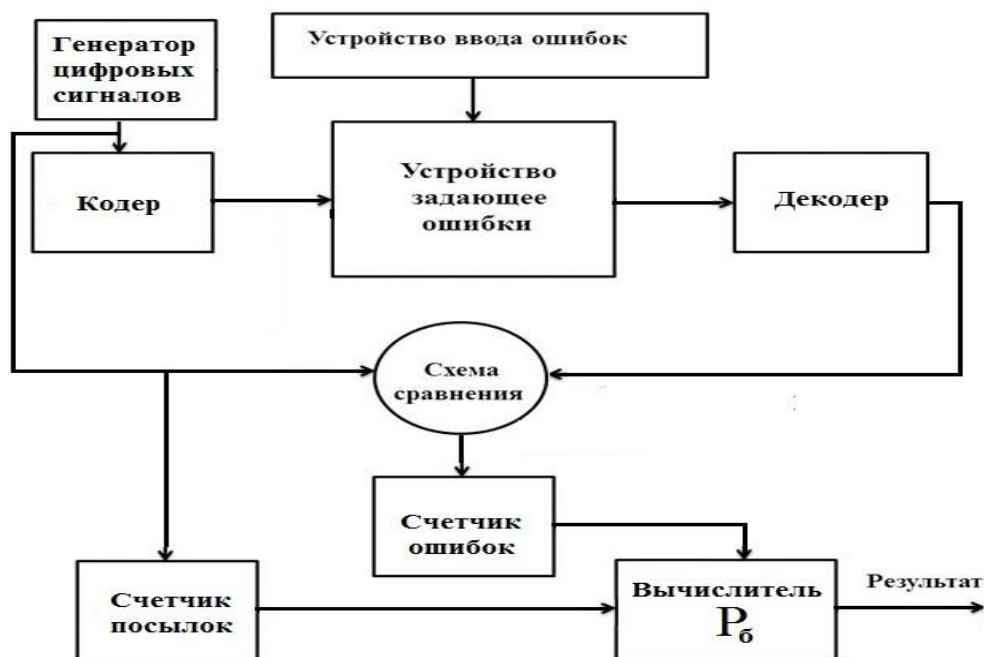


Рисунок 3. Структурная схема комплекса ускоренной верификации помехоустойчивых кодов

Недостатком такого метода является относительно низкое быстродействие системы из-за скоростных ограничений стандартных интерфейсов ПЭВМ и необходимостью поддержки этих интерфейсов аппаратной частью кодека.

Для исследования эффекта размножения ошибок при использовании кодека Рида-Соломона, можно программировать постановщик помех, на случай, когда число ошибок заведомо больше исправляющей способности кодека. Так при длине блока N символов и избыточности $2t$ символов, имеет смысл проверять количество ошибок на выходе декодера при числе поврежденных символов E от $t+1$ до N . Тогда вероятность символьной ошибки P_s , с учетом эффекта размножения составит $P_s = \frac{1}{N} \sum_{t+1}^N P_i M_i$, где M_i – число поврежденных символов на выходе декодера при i ошибках в канале связи; P_i –

вероятность возникновения i поврежденных символов в блоке информации длиной N . $M_i = \frac{X}{Z}$, где: X -общее число ошибок; Z - количество экспериментов. $P_i = f(P_b)$, где P_b - вероятность (для одного бита) в канале связи; f - функция вычисления вероятности символьной ошибки от вероятности битовой ошибки.

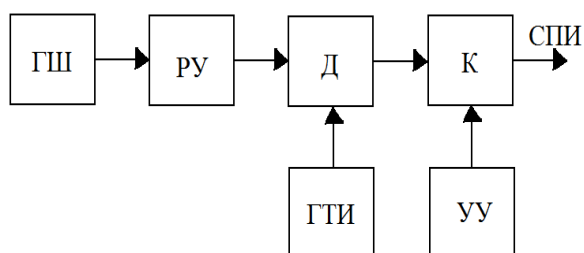
Вероятность не повреждения символа P_o определим как $P_o = (1 - P_\delta)^X$, а вероятность повреждения символа P_x определим как $P_x = 1 - P_o = 1 - (1 - P_\delta)^X$

Суммарная вероятность на выходе декодера определится выражением:

$$P_{\text{ош. вых}} = P_s = \sum_{i=1}^N P_{si}$$

Приведен алгоритм «мягкого» декодирования, который позволяет повысить помехоустойчивость систем связи на 1-1.5дБ по соотношению сигнал/шум. Однако использование подобных алгоритмов имеет свои недостатки.

В третьей главе рассмотрены вопросы реализации измерительного комплекса оценки качества передачи цифровой информации по радиоканалам. Для разработанной во второй главе методики по оценке эффективности помехоустойчивых кодов предлагается программно-аппаратный комплекс (ПАК), структурная схема которого приведена на рис. 2, выполняющий широкий спектр задач.



Для ПАК предложен имитатор исходного цифрового сигнала, схема которого показана на рисунке 4.

Рисунок 4. Схема имитатора цифровых сообщений

Схема работает следующим образом. Усиленный в регулируемом усилителе (РУ) сигнал от генератора шума (ГШ), схемы которого также представлены в работе, после процедуры дискретизации (Д), осуществляемой с помощью генератора тактовых импульсов (ГТИ), и квантования (К), выпол-

няемого с помощью устройства управления (УУ), будет иметь характеристики случайного и нестационарного во времени цифрового сообщения.

Основные узлы ПАК можно реализовать, используя стандартное оборудование, серийно выпускаемое различными фирмами. Генераторы цифровых и аналоговых сигналов, модуляторы и демодуляторы производятся в большом многообразии, в том числе и универсальные, позволяющие путем ручного или программного управления менять свои рабочие характеристики. В качестве генераторов помеховых сигналов и шума можно использовать набор из типовых стандартных генераторов сигналов, серийно выпускаемых промышленностью, а можно применить легко перепрограммируемый векторный генератор, например, фирмы National Instruments, позволяющий создавать сигналы разнообразной формы.

Однако такой узел ПАК, как имитатор радиоканалов передачи информации (ИРКПИ), не является стандартным. Хотя известен целый ряд разработок имитаторов каналов связи и передачи информации, все они являются узкоспециализированными и предназначены для моделирования определенных каналов передачи информации: коротковолновых, тропосферных, спутниковых. Для создания универсального ИРКПИ был проведен выбор имитатора из известных и его модернизация для обеспечения возможности управления его параметрами и выходными характеристиками.

Синтез источника сигнала с логарифмически-нормальным законом распределения (1) для генератора медленных замираний базируем на положением теории вероятностей о трансформации одномерной плотности вероятностей $\omega(u_{\text{вх}})$ в плотность $\omega(u_{\text{вых}})$ при прохождении случайного процесса через нелинейное безинерционное звено с характеристикой $u_{\text{вых}} = K(u_{\text{вх}})$, удовлетворяющей условию монотонности и дифференцируемости в определенном диапазоне входных значений. Для случая логарифмически-нормального процесса При входном сигнале от генератора псевдослучайной последовательности импульсов (ГПСПИ) характеристика преобразования определена

в виде
$$K^* = (U_{2^n - 1} - U_1) \int_0^{u_{\text{вых}}} \omega(u_{\text{вх}}) du_{\text{вх}}, \quad \text{где: } K^* - \text{функция, обратная иско-}$$

мой функции $K(u_{\text{вх}})$; U_1 – уровень единичного сигнала; U_{2^n-1} – уровень (2^n-1) -го сигнала ГПСПИ.

Для случая логарифмически-нормального процесса на выходе преобразователя

$$K^* = (U_{2^n-1} - U_1) \Phi\{\ln(u_{\text{вых}}/u_{\text{вх}})/\sigma\},$$

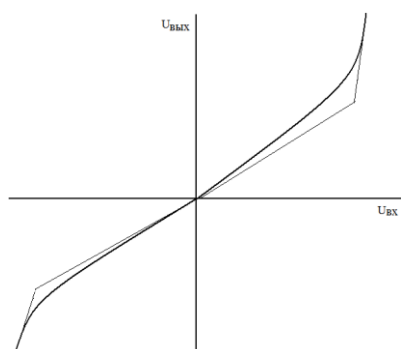
где: $\Phi(z)$ – интеграл вероятностей; σ – дисперсия процесса медленных замираний.

И функция преобразования $K(u_{\text{вх}})$ имеет вид

$$u_{\text{вых}} = u_{\text{вх}} \exp\{\sigma \Phi^*[u_{\text{вх}}/(U_{2^n-1} - U_1)]\}, \quad (4)$$

где $\Phi^*(z)$ – функция, обратная интегралу вероятностей $\Phi(z)$.

Поэтому для организации случайного процесса с логарифмически-нормальной одномерной плотностью вероятностей, необходимо осуществить два преобразования – вида $\Phi^*(z)$ и вида экспоненты.



Для реализации преобразований (4) можно заменить характеристику преобразования набором отрезков прямых, используя при этом кусочно-линейную аппроксимацию, показанную на рис. 5 с помощью операционных усилителей и диодов.

Рисунок 5. Аппроксимация характеристики преобразования

Структурная схема имитатора медленных замираний показана на рис.6 и состоит из ГПСП с тактовым генератором (ТГ), цифроаналогового преобразователя (ЦАП), двух нелинейных преобразователей П1 и П2, характеристики которых представляют собой функцию $\Phi^*(z)$, обратную интегралу вероятностей и экспоненту, модулятора (М) в котором сформированный сигнал управляет сигналом высокой частоты.

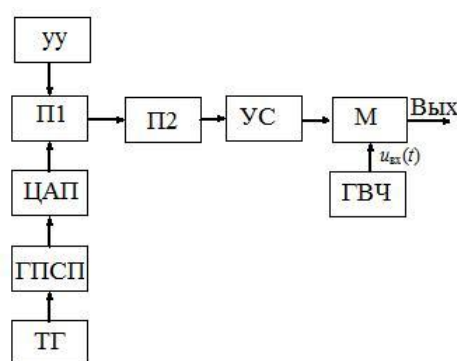


Рисунок 6. Имитатор медленных замираний

При имитации быстрых замираний удобно использовать точечную модель канала с рассеянием для которой выражения, описывающие радиоканал

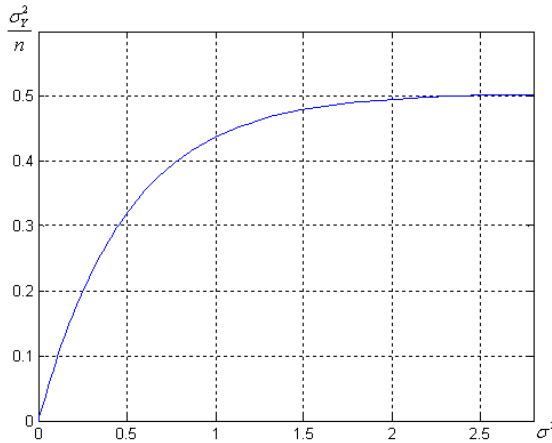
с множеством точечных переизлучателей, сводятся к отношению средних мощностей регулярной и флуктуирующей компонент сигнала

$$q^2 = \frac{m_x^2 + m_y^2}{\sigma_x^2 + \sigma_y^2} = \frac{2 \exp(-\sigma^2)}{[1 - \exp(-\sigma^2)]^2 + [1 - \exp(-2\sigma^2)]},$$

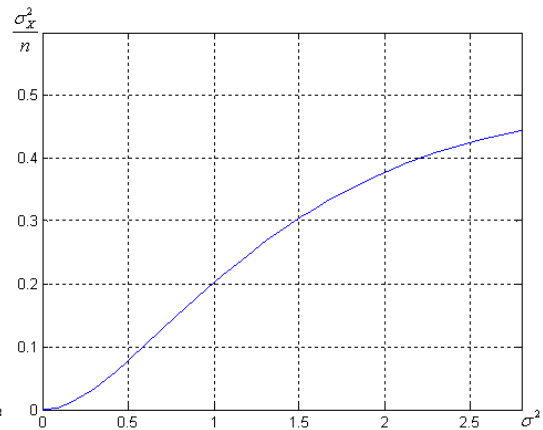
параметрам асимметрии

$$\beta^2 = \frac{\sigma_x^2}{\sigma_y^2} = \frac{[1 - \exp(-\sigma^2)]^2}{+ [1 - \exp(-2\sigma^2)]}$$

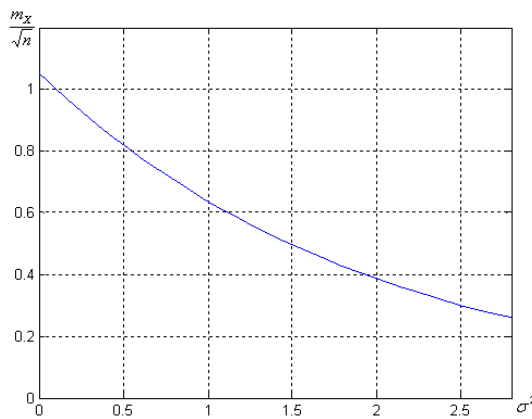
и дисперсии функции рассеяния σ^2 . Зная диапазон изменения глубины быстрых замираний на моделируемой трассе можно найти область изменения коэффициента вариации К вар, затем область изменения отношения средних мощностей регулярной и флуктуирующей компонент сигнала q^2 и после этого найти пределы изменения параметров $m_x, m_y, \sigma_x^2, \sigma_y^2$ для конкретной трассы радиосвязи. На рис. 7а-7



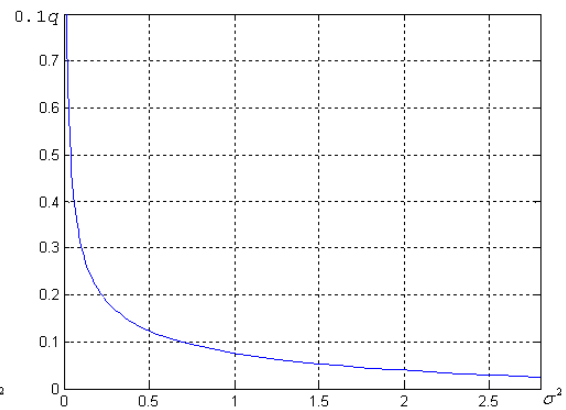
7 а



7 б



7 с



7 д

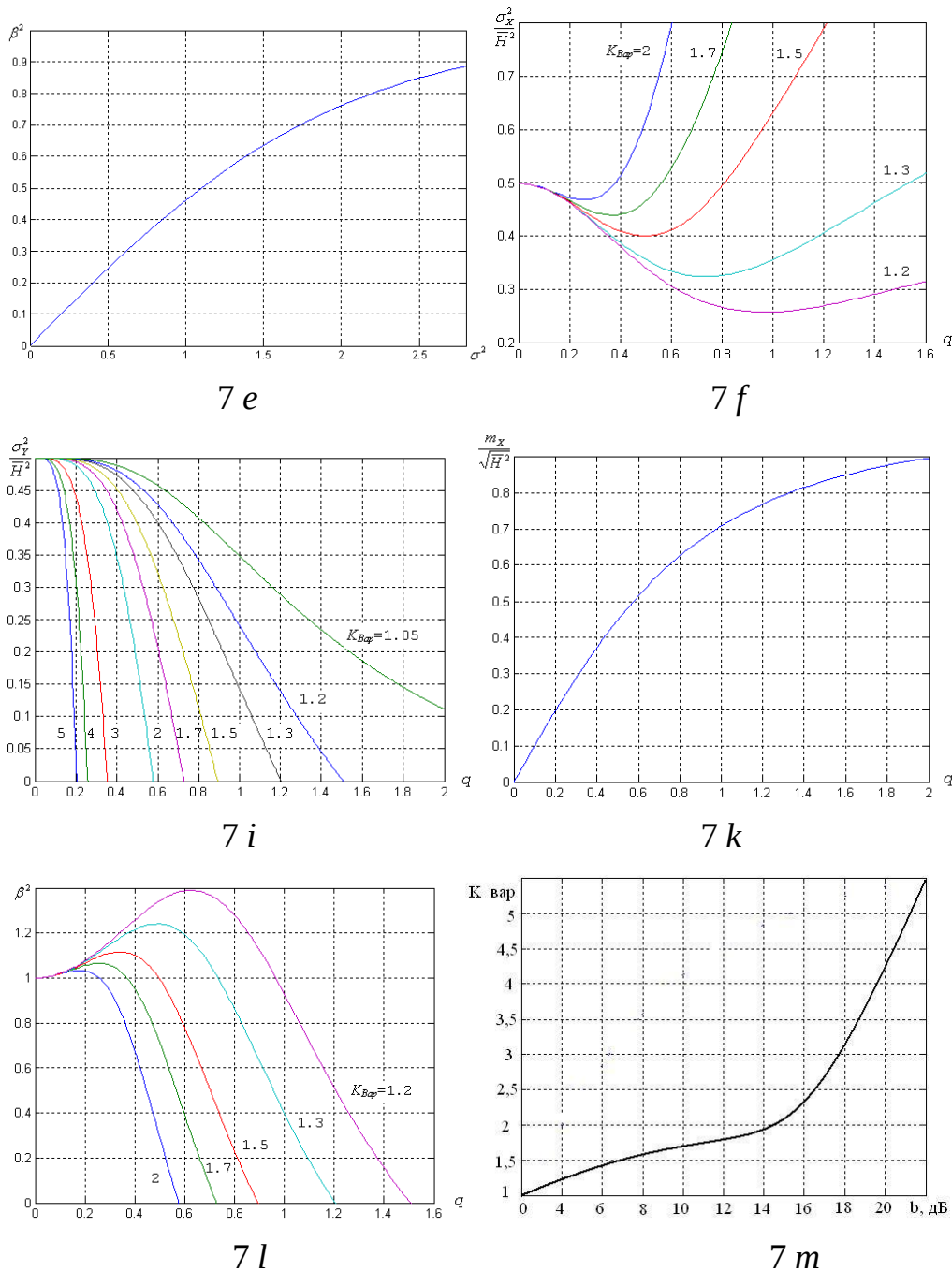


Рисунок 7. Определение параметров закона замираний (2) для трассы связи

В этой же главе предложены схемные реализации имитаторов быстрых и селективно-частотных замираний и даны рекомендации по выбору количества моделируемых лучей распространения сигнала.

Предложена методика поэтапной оценки адекватности имитатора реальным радиоканалам, суть которой состоит в оценке по критериям согласия сначала соответствия реальной статистики искажений и замираний сигналов в канале связи известным законам распределения вероятностей (фактически

формирование математической модели канала), а затем оценке по критериям согласия соответствия статистики моделируемых ИРКПИ искажений и замираний сигналов и математической модели радиоканала.

Алгоритм оценки приведен на рис. 8.



Рисунок 8. Упрощенный алгоритм оценки адекватности ИРКПИ реальным каналам связи

На рис. 9 приведен пример расчета адекватности моделируемых быстрых замираний закону (2) по нескольким реализациям моделируемого процесса.

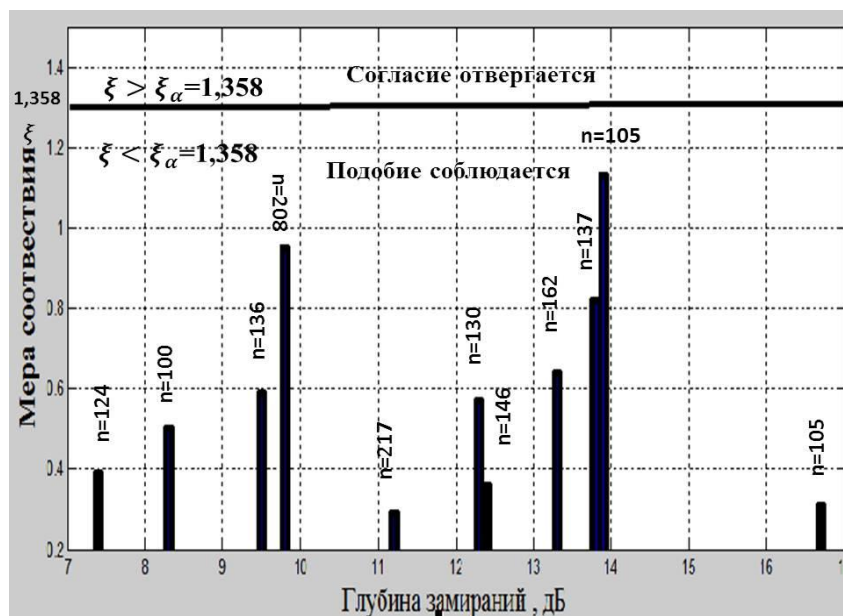


Рисунок 9. Пример оценки адекватности ИРКПИ

четырёхпараметрическому закону распределения вероятностей

Разработан алгоритм и структурная схема оценки качества передачи цифровой информации (рис.10) с помощью разрабатываемого измерительно-го комплекса оценки качества передачи цифровой информации по радиоканалам и алгоритм такой оценки

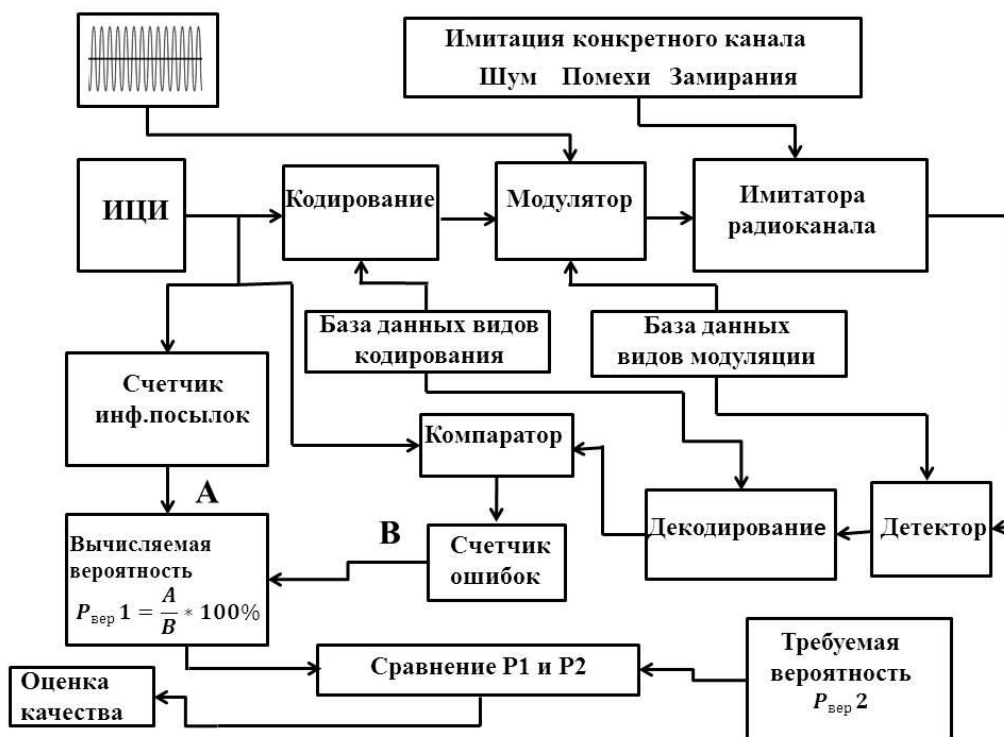


Рисунок 10. Оценка качества передачи цифровой информации

Предлагаемый алгоритм работы комплекса оценки качества передачи информации выглядит следующим образом:

Шаг 1. Определение количества передаваемых посылок.

Источник цифровой информации (ИЦИ) подает информационный сигнал на кодер и на счетчик информационных посылок, который определяет количество передаваемых в канал связи посылок (число A).

Шаг 2. Выбор метода кодирования и типа помехоустойчивого кода.

Помехоустойчивое кодирование может выполняться различными кодами. Базы помехоустойчивых кодов управляют методами кодирования и декодирования, формируя соответствующую обработку сигнала от ИЦИ.

Шаг 3. Выбор вида модуляции.

Закодированный определенным помехоустойчивым кодом информационный сигнал поступает на модулятор, управляемый от базы протоколов модуляции, имеющий возможность выбора вида модуляции для различных каналов и систем связи.

Шаг 4. Воздействия на сигнал в канале связи.

С выхода модулятора информационный сигнал поступает на управляемый имитатор канала связи в котором подвергается воздействию шума, помех и замираний, характерных для заданного канала передачи информации.

Шаг 5. Прием информационного сообщения.

После имитатора искаженный сигнал поступает на управляемый от базы протоколов модуляции демодулятор, выделяющий информационную составляющую принятого сигнала.

Шаг 6. Декодирование принятого сообщения.

Информационный поток с выхода демодулятора поступает на управляемый от базы помехоустойчивых кодов декодер, выделяющий информационную составляющую принятого сигнала.

Шаг 7. Обнаружение ошибок.

Принятый сигнал и исходный сигнал от ИЦИ поступают на компаратор, выделяющий ошибочно принятые символы.

Шаг 8. Оценка вероятности ошибок.

Сформированные значения чисел A и B поступают на вычислитель, определяющий вероятность ошибки для принятого вида кодирования и за-

данного типа модуляции передаваемого сигнала в конкретном канале, моделируемом имитатором канала.

Шаг 9. Сравнение результата с заданной величиной.

Рассчитанная вероятность ошибки сравнивается с требуемой для данной системы передачи информации.

Шаг 10. Новая итерация или конец оценки качества передачи информации.

По результатам сравнения полученной при эксперименте вероятности ошибки и заданной для исследуемой системы связи принимаем решение либо к переходу к другому виду кодирования (повторяя процедуры шагов 1-10), либо удовлетворяясь полученными результатами

В заключении сформулированы основные результаты работы:

1. Предложен комплекс для лабораторной оценки качества передачи цифровой информации, который дает возможность проектировать системы связи, в лабораторных условиях экспериментально находя их наилучшее соответствие определенным радиоканалам.
2. Предложены структуры построения имитатора радиоканала, позволяющего в лабораторных условиях моделировать воздействия на радиосигналы быстрых, медленных и селективно-частотных замираний.
3. Определены зависимости параметров закона распределения вероятностей, описывающего быстрые замирания сигналов в различных радиоканалах.
4. Разработан алгоритм для лабораторной экспериментальной оценки качества передачи цифровой информации по радиоканалам.
5. Создана методика оценки помехоустойчивых кодов, позволяющая в лабораторных условиях определить возможности какого-либо помехоустойчивого кода для конкретного канала радиосвязи.
6. Предложена методика ускоренного тестирования результативности помехоустойчивых кодов.

СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Научные труды в журналах из перечня ВАК РФ:

1. Альшрайдех, А.М. Верификация устройств помехоустойчивого кодирования / А. М. Альшрайдех, А. Г. Самойлов, // Проектирование и технология электронных средств.-2013. № 1.– С. 48-51.

2. Альшрайдех, А.М. Исследование «Мягкого» декодирования кода Рида-Соломона / А. М. Альшрайдех, Ж.Л. Гомес, С.А. Самойлов, А.А. Сидоренко // Проектирование и технология электронных средств.- 2014.- № 1.- С. 8-11.

3. Альшрайдех, А. М. Аппаратно-программный комплекс исследования помехоустойчивых кодеров/ А. М. Альшрайдех, Ж. Л. Гомес. , А. Г. Самойлов, С. А. Самойлов // Радиотехнические и телекоммуникационные системы.- 2014.- №3.-С. 52-55.

4. Альшрайдех, А. М. Имитация многолучевых каналов передачи информации / А. М. Альшрайдех, А. Г. Самойлов, С. А. Самойлов, А. Ф. Жоау // Проектирование и технология электронных средств. -2014.-№ 2.- С. 12-18.

Публикации в материалах конференций:

5. Альшрайдех, А.М. Разработка лабораторного комплекса разработчика телекоммуникационного оборудования / А.М. Альшрайдех, // Тезисы докладов 16-й всероссийской научной конференции студентов-радиофизиков. Санкт-Петербург,- 2012.-С. 55-57.

6. Альшрайдех, А. М., Экспериментальное исследование помехоустойчивых кодов / А.М. Альшрайдех, Ж.Л. Гомес , С.В. Чернов, // Тезисы докладов 16-й всероссийской научной конференции студентов-радиофизиков. Санкт-Петербург,- 2012.-С. 58-60.

7. Альшрайдех, А. М. Разработка комплекса тестирования устройств помехоустойчивого кодирования / А. М. Альшрайдех, А. Г. Самойлов // Перспективные технологии в средствах передачи информации/Материалы 10-й международной конференции.Владимир.-2013.- Т. 2.- С.150-152.

8. Альшрайдех, А. М. Замирания информационных сигналов в многолучевых телекоммуникационных радиоканалах / А. М. Альшрайдех, А. Г. Са-

мойлов // Прикладные вопросы формирования и обработки сигналов в радиолокации, связи и акустике / 4-й научно-практический семинар. Муром. - 2013 /Сборник тезисов докладов.-С. 7-8.

9. Альшрайдех, А. М. Оценка достоверности помехоустойчивого кодирования / А. М. Альшрайдех, А. Г. Самойлов, //69-я Научно-техническая конференция посвященная Дню радио. Санкт-Петербург,-2014.-Сборник докладов.- С. 37- 38.

10. Альшрайдех, А. М. Имитация сигналов источника цифровых сообщений / А. М. Альшрайдех, А. Жоау, А. Г. Самойлов, С.А. Самойлов // Физика и радиоэлектроника в медицине и экологии» ФРЭМЭ/Труды 9-й международной научной конференции . Владимир-Суздаль.-2014.К.1.-С.229-230.

Подписано в печать 23.03.2015 г.

Формат 60x84x16. Усл. печ. л. 1.28. Тираж 100 экз.

Заказ _____

Издательство

Владимирского государственного университета
имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых.
600000, Владимир, ул. Горького, 87.

