

На правах рукописи



Суханов Дмитрий Владимирович

**ИССЛЕДОВАНИЯ ВОЗМОЖНОСТИ ПОВЫШЕНИЯ ДО-
СТОВЕРНОСТИ ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ В ЗАБОЙНЫХ ТЕЛЕ-
МЕТРИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ С ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫМ КА-
НАЛОМ СВЯЗИ**

Специальность 05.12.13 –
Системы, сети и устройства телекоммуникаций

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание учёной степени
кандидата технических наук

Самара – 2016

Работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики» (ФГБОУ ВО ПГУТИ, г. Самара).

Научный
руководитель:

Горячкин Олег Валериевич

доктор технических наук, доцент, заведующий кафедрой теоретических основ радиотехники и связи ФГБОУ ВО ПГУТИ, г. Самара

Официальные
оппоненты:

Данилин Александр Иванович

доктор технических наук, доцент, заведующий кафедрой радиотехники ФГАОУ ВО «Самарский государственный аэрокосмический университет имени академика С.П. Королева (национальный исследовательский университет)»

Гладких Анатолий Афанасьевич

кандидат технических наук, доцент, профессор кафедры телекоммуникаций ФГБОУ ВПО «Ульяновский государственный технический университет»

Ведущая
организация:

ФГБОУ ВО «Самарский государственный технический университет»

Защита состоится 10 июня 2016г. в 12-00 часов на заседании Диссертационного совета Д 219.003.02 при Поволжском государственном университете телекоммуникаций и информатики по адресу: 443010, г. Самара, ул. Л.Толстого 23.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ФГБОУ ВО ПГУТИ и на сайте www.psuti.ru/science/diss-ob

Автореферат разослан

«__» _____ 2016г.

Учёный секретарь диссертационного совета Д 219.003. 02
д-р техн. н., профессор



А.И.Тяжев

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования. В настоящее время для измерения технологических и геофизических параметров в процессе бурения в бескабельных забойных телеметрических системах (ЗТС) используется в основном электромагнитный канал связи. Основными достоинствами таких систем, в отличие от акустических, гидравлических и кабельных, являются надёжность и низкая стоимость. Вместе с тем электромагнитный канал связи обладает и некоторыми недостатками, такими как ограничение дальности действия из-за свойств геологического разреза, зависимостью от материала бурильных труб, отсутствием возможности исследования в соленосных отложениях и достаточно высокой сложностью электронного управляющего блока. В системах глубинного бурения нефтяных и газовых скважин система передачи информации сверхдлинноволнового диапазона обеспечивает оперативное управление траекторией ствола наклонно-направленных и горизонтальных скважин в процессе бурения гидравлическими забойными двигателями. В процессе бурения для ориентирования бурильного оборудования (отклонителя) система связи обеспечивает передачу телеметрической информации при необходимости изменения азимута ствола скважины или его зенитного угла; для ориентирования отклонителя на забое в вертикальных скважинах при резке ствола по заданному направлению; для определения угла закручивания бурильной колонны реактивным моментом забойного двигателя; для индикации динамических характеристик работы долота; измерения естественной радиоактивности пород.

Степень разработанности темы. В разработке телесистем с электромагнитным каналом связи сыграли большую роль основополагающие исследования и практические результаты, связанные с именами таких ученых, как Грачев Ю.В., Варламов В.П., Шишкин О.П., Грачев Б.А., Панфилов Г.А., Калинин А.Г., Молчанов А.А., Морозов В.П., Дмитриуков Ю.Ю., Абрамов Г.С., Скобло В.З. Рыжанов Ю.В., Чупров В.П., Епишев О.Е., Леготин Л.Г., Ellis D.V., Singer J.M., Poh Kheong Vong, Rodger D., Marshall A. и др.

На сегодняшний день на практике именно характеристики системы электромагнитной связи ограничивают такие важные показатели как глубина бурения и точность проводки скважины. При этом основным ограничивающим фактором является низкая помехоустойчивость системы связи и связанная с этим проблема повышения скоро-

сти передачи данных в таких каналах. В этой связи исследования в направлении поиска путей повышения помехоустойчивости системы связи являются актуальной научно-технической задачей, которую можно сформулировать как «повышение достоверности передачи данных в забойных телеметрических системах с электромагнитным каналом связи».

Цель работы и задачи исследования. Целью диссертационной работы является экспериментальное и теоретическое исследование характеристик реального канала ЗТС на материале, собранном на месторождениях с разными геологическим разрезом и помеховой обстановкой, а также разработка рекомендаций по оптимальному построению системы передачи телеметрической информации и их экспериментальная отработка.

В соответствии с целью работы были поставлены следующие задачи:

1. Статистическая обработка записей реальных сигналов, прошедших канал связи ЗТС. Создание каталога основных типов аддитивных помех в канале связи ЗТС.

2. Синтез математической и компьютерной модели канала связи ЗТС. Исследование потенциальной помехоустойчивости канала ЗТС в условиях наличия аддитивных флуктуационных, импульсных и сосредоточенных помех.

3. Разработка рекомендаций по оптимальному построению системы передачи телеметрической информации и их экспериментальная отработка.

Научная новизна работы.

1. Впервые получена математическая модель канала ЗТС, учитывающая реальные искажения и помехи, характерные для различных месторождений и установленные по результатам обработки значительного объёма экспериментальных данных.

2. Впервые получено оптимальное по минимуму вероятности ошибки соотношение параметров кодера данных и канала, а также алгоритмов демодуляции с учётом реальных ограничений ЗТС.

3. Предложен способ повышения скорости передачи данных, основанный на учёте особенностей измерения азимутального и зенитного углов в инклинометрах ЗТС.

4. Разработана методика выбора сигнально-кодовых конструкций в ЗТС, позволяющая провести совместную оптимизацию помехозащищённого кода и синхросигнала.

Теоретическая и практическая значимость работы. Разработанные рекомендации по повышению помехоустойчивости канала ЗТС позволяют повысить среднюю механическую скорость бурения скважин, а повышение скорости передачи телеметрической информации – количество телеметрических параметров ЗТС. Разработанные в результате совместной оптимизации сочетания кода и синхросигнала ЗТС позволяют повысить точность проводки скважин.

Методология и методы исследования. Задачи проведенных исследований решены на основе методов статистической радиотехники, численных методов, а также компьютерного имитационного моделирования и натурального эксперимента.

Положения, выносимые на защиту:

1. Создана математическая модель канала ЗТС, учитывающая реальные искажения и помехи, характерные для месторождений с разными геологическим разрезом и помеховой обстановкой.

2. Показано, что рекомендации по повышению помехоустойчивости ЗТС, основанные на оптимальном по вероятности ошибке соотношении параметров кодера данных и канала, а также алгоритмов демодуляции позволяют повысить достоверность данных до 50% в реальном канале.

3. Предложен способ повышения скорости передачи, основанный на учёте особенностей измерения азимутального и зенитного углов в инклинометрах ЗТС, позволяющий уменьшить среднее время выдачи показаний инклинометра на 20%.

4. Получены характеристики сочетаний для различных помехоустойчивых кодов и синхросигналов с учётом ограничения по времени выдачи данных.

Достоверность полученных результатов подтверждается соответствием результатов расчётов и результатов моделирования экспериментальным данным. Данная работа попадает под пункты 2, 8, 13 и 14 паспорта специальности 05.12.13 – Системы, сети и устройства телекоммуникаций.

Внедрение результатов работы.

Результаты проведенных в диссертации исследований внедрены в НИР «Глубина», проведённой в ПГУТИ (г. Самара) по заказу ООО «ТехГеоБур» (г. Самара) в 2007г.

Разработанные в диссертационной работе рекомендации внедрены в экспериментальный комплект аппаратуры в скважинных приборах «СП-690» и «СП-691», разработанных ООО «ТехГеоБур»

(г. Самара) в 2014г. Разработанное программное обеспечение для проведения имитационного моделирования канала ЗТС использовано в учебном процессе ПГУТИ (г. Самара). Использование результатов работы подтверждено соответствующими актами о внедрении.

Апробация результатов исследования.

Основные результаты диссертационной работы докладывались на XIII и XVII Международных НТК «Радиолокация, навигация, связь» Воронеж (2007, 2011); X Международной НТК «Физика и технические приложения волновых процессов» (2011); VII, VIII, XII и XV Международных НТК «Проблемы техники и технологий телекоммуникаций» (2006, 2007, 2011, 2014), Всероссийских НТК «Актуальные проблемы радиоэлектроники и телекоммуникаций» Самара, СГАУ им. акад. С.П.Королёва (2011, 2012); XV, XVIII-XXII НТК ПГУТИ (2008, 2011-2015).

Публикации. Основные результаты по теме диссертации изложены в 19 печатных работах (из 27), 4 из которых изданы в журналах, рекомендованных ВАК.

Структура и объем работы.

Диссертационная работа состоит из введения, четырёх глав, заключения, списка литературы, приложения. Основная часть содержит 99 страниц машинописного текста, 74 рисунка и 13 таблиц. В библиографию внесены 56 наименований.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении рассматриваются актуальность темы диссертационной работы, формулируется цель исследования и основные задачи. Анализируются основные проблемы, ограничивающие реализацию требуемых характеристик, дается обзор состояния вопроса.

В первой главе представлены результаты экспериментального исследования реальных каналов ЗТС. Основным объектом исследования является реакция канала ЗТС на сигнальный импульс (элемент) или реакция канала на функцию автокорреляции сигнального элемента $Z_0(t)$. Для экспериментальной оценки реакции канала на сигнальный импульс можно использовать сигналы ЗТС, которые периодически передаются между пакетами данных для синхронизации.

При наличии рассеяния, сигнал на выходе канала связи можно записать в виде

$$\begin{aligned}
 U(\tau) &= \int_{-\infty}^{+\infty} S(t)h(\tau-t)dt = \\
 &= \sum_{k=1}^M a_k \int_{-\infty}^{+\infty} S_0(t-kT)h(\tau-t)dt = \sum_{k=1}^M a_k g(\tau-kT)
 \end{aligned} \tag{1}$$

где $g(\tau)$ – реакция канала на сигнальный элемент, $h(\tau)$ – импульсная характеристика канала связи. В этом случае, пренебрегая влиянием информационных символов, отсчеты сигнала, прошедшего фильтр, согласованный с синхропосылкой, можно записать в виде

$$Z_i = \sum_{k=-M}^M \psi_a(k) \psi_g(\Delta t_i - kT), \tag{2}$$

где $\psi_a(k)$ – автокорреляция кодовой последовательности синхросигнала, $\psi_g(t)$ – реакция канала на функцию автокорреляции сигнального элемента.

Реакцию канала на функцию автокорреляции сигнального элемента можно представить в виде

$$\Psi_g(t) = \int_{-\infty}^{+\infty} Z_0(t)h(t-\tau)dt. \tag{3}$$

Найдём реакцию канала на функцию автокорреляции сигнального элемента. Для этого составляющие выражения (2) можно записать в матричной форме. Отсчеты сигнала на выходе СФ обозначим в виде вектора

$$\mathbf{Z} = (Z_0 \quad \dots \quad Z_{pM_0})^T, \tag{4}$$

где p – параметр сверхдискретизации, M_0 – число элементов синхросигнала на выходе СФ. Автокорреляционную функцию знаковой последовательности, дополненную нулями в точках, не совпадающих с началом сигнального элемента, запишем в виде следующей матрицы:

$$\Psi_a = \begin{pmatrix} \psi'_a(-pM_0) & 0 & \dots & \psi'_a(0) \\ 0 & \psi'_a(-pM_0+1) & & \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ \psi'_a(0) & 0 & \dots & \psi'_a(pM_0) \end{pmatrix} \tag{5}$$

В свою очередь, реакция канала примет вид:

$$\Psi_g = (\psi_g(-M_0p) \quad \dots \quad \psi_g(0))^T. \tag{6}$$

Тогда реакция на автокорреляционную функцию сигнального элемента будет равна произведению вектора отсчетов сигнала на выходе СФ и обратной матрицы автокорреляции знаковой последовательности

$$\Psi_g = \Psi_a^{-1} \mathbf{Z}. \quad (7)$$

Для экспериментального исследования характеристик канала подземной связи сверхдлинноволнового диапазона взяты данные, записанные в условиях буровой при различных условиях прохождения сигнала.

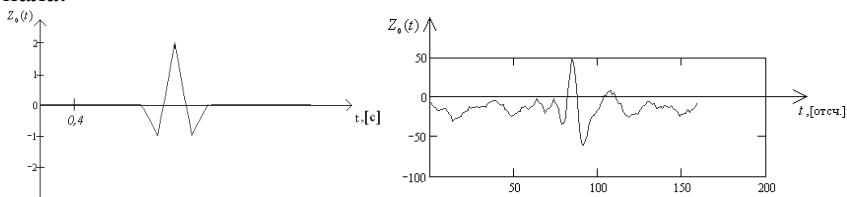


Рисунок 1 – Восстановленная реакция канала связи на функцию автокорреляции сигнального элемента (справа), идеальная (слева).

Анализ полученных результатов оценки реакции канала связи на функцию автокорреляции сигнального элемента позволяет сделать вывод о фактическом отсутствии существенного рассеяния сигнала в анализируемых файлах данных. Искажения формы сигнала вызваны ограничением полосы пропускания канала связи, влиянием аддитивных помех, эффектами квантования. Канал ЗТС характеризуется наличием сильных помех, в результате действия которых происходят сбои синхронизации и теряются пакеты данных. Помехи в подобных системах имеют различные характеристики и происхождение.

Во второй главе рассматривается вопрос повышения помехоустойчивости ЗТС, выбора на основе имитационного моделирования оптимальной сигнально-кодовой конструкции сигнала, проверки достоверности имитационной модели. Для решения этой задачи была разработана имитационная модель ЗТС в среде программирования Matlab 6.1 и проведена калибровка имитационной модели относительно штатного программно-аппаратного комплекта ЗТС. Результаты калибровки иллюстрирует рисунок 2.

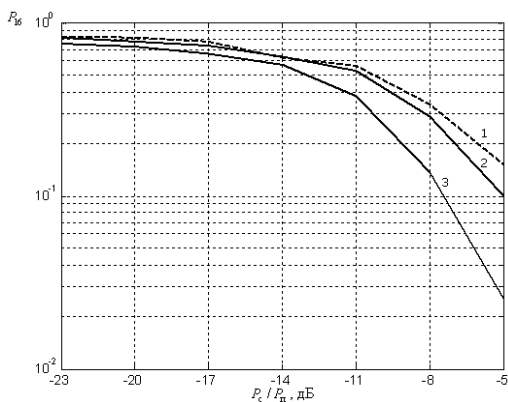


Рисунок 2 – Оценка вероятности ошибки полубайта на выходе сравниваемых приёмников от отношения сигнал-помеха; сигнал помехи взят из файла 11010115.S8. 1 – Реальная ЗТС; 2 – Модель ЗТС с входным фильтром; 3 – модель ЗТС без фильтра.

Как показали результаты сравнительного моделирования, характеристики качества работы имитационной модели ЗТС не хуже, а в большинстве случаев даже лучше, чем реальной ЗТС. Калибровка модели ЗТС на синтетических и реальных шумах позволяет рассмотреть различные варианты сигнально-кодовых конструкций и оценить их помехоустойчивость в реальном канале.

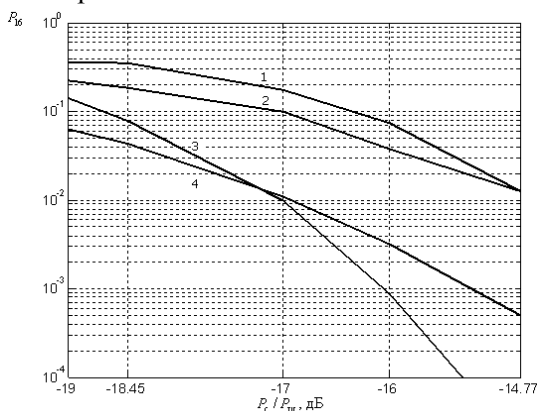


Рисунок 3 – Оценка вероятности ошибки полубайта на выходе сравниваемых приёмников от отношения сигнал-шум в канале с белым гауссовским шумом. 1 – приёмник ЗТС; 2 – модель ЗТС, блочный код (16,4,8); 3 – свёрточный код (4,1,16), $\nu = 4$, 4 – блочный код (24,4,12).

В результате проведенного моделирования можно сделать сле-

дующие выводы:

1. Использование свёрточного кода (4,1,16) вместо биортогонального кода (16,4,8) выгодно при отношениях сигнал-шум $P_C / P_{ш} \geq -19$ дБ. Использование свёрточного кода с большим свободным расстоянием обеспечивает выигрыш по мощности более 3 дБ на уровне $P_{16} = 10^{-4}$.

2. Биортогональный код (24,4,12) по сравнению с кодом (16,4,8) обеспечивает выигрыш по мощности равный 2 дБ на всём диапазоне отношения сигнал-шум.

3. Если использовать коды с большей длиной, чем код (24,4,12), то можно получить более существенный выигрыш по мощности: более 2 дБ для кодов с длиной 32, более 5 дБ для кодов с длиной 64 и более 7,5 дБ для кодов с длиной 128.

В третьей главе рассмотрены вопросы разработки рекомендаций по оптимизации ЗТС в части увеличения скорости передачи информации и улучшения качества синхронизации. Получена формула (8) для расчёта значений зенитного угла, при которых можно провести коррекцию разрядности азимутального угла в алгоритме дифференциального кодирования.

$$\theta = \frac{180}{\pi} \arcsin \sqrt{\frac{\cos(J_{10} L/10) - 1}{\cos(2^{N-1} w) - 1}}, \quad (8)$$

где w – шаг изменения азимутального угла, N – количество бит для его кодирования, L – длина интервала бурения между наращиваниями и J_{10} – предельно допустимая пространственная интенсивность искривления ствола скважины. Для азимута можно отметить, что при значениях зенитных углов, полученных по формуле (8), происходит уменьшение разрядности значений азимутального угла.

Средняя (несущая) частота передаваемого сигнала в ЗТС составляет обычно 2,5÷10 Гц (окно прозрачности среды 0,5÷20 Гц). Скорость передачи информации в таких системах порядка 0,2÷2,5 бит/с, поэтому приходится использовать корректирующие коды относительно небольшой размерности, а синхропоследовательности выбираются с меньшей длиной. Данные, передающиеся в кадре, предшествующем синхропоследовательности, и сразу после неё, являются для синхронизации своеобразными «шумами», которые приводят к аномальным ошибкам в процессе синхронизации.

В процессе оптимизации сравнивались различные сочетания кодов для синхроставки с одной стороны, и блоковых ПЗК, с другой стороны. Метод сравнения – полный перебор по информационным символам a_1, \dots, a_M , количество которых определяется максимальной длиной синхропоследовательности и равно 40. Однако для перебора всех информационных сочетаний потребовалось бы 2^M итераций цикла усреднений по вероятности сочетаний, что приводит к недопустимо долгому времени вычислений. Поэтому расчет вероятностей сочетаний осуществлялся по методу Монте-Карло, при этом число итераций оказалось существенно меньше, чем полный перебор.

Далее используется методика для сравнения синхронизирующих свойств сочетаний помехоустойчивого кода с синхропоследовательностью по вероятности ошибки синхронизации, усреднённой для всех комбинаций кодовых слов на фиксированном интервале кадра данных. Предполагая независимость отсчетов шума на выходе согласованного фильтра, получим выражение (9) для вероятности ошибочной синхронизации при действии АБГШ

$$P_{ош}(a_1, \dots, a_M) = 1 - \prod_{l=1}^{N_f/2} \left\{ \operatorname{erf}^* \left(\frac{\Phi_{(N_f/2)-l} - \Phi_{N_f/2}}{\sqrt{2\sigma^2}} \right) \operatorname{erf}^* \left(\frac{\Phi_{(N_f/2)+l} - \Phi_{N_f/2}}{\sqrt{2\sigma^2}} \right) \right\} \quad (9),$$

где Φ_k – это ВКФ СП и СП+ПЗК, N_f – длина анализируемого сигнала на выходе СФ в отсчетах, $\sigma^2 = N_{синх} \sigma_{ш}^2$, $N_{синх}$ – длина СП в отсчетах, $\sigma_{ш}^2$ – дисперсия шума на входе СФ, а $\operatorname{erf}^*(x)$ – расширенная функция ошибок. На рисунке 4 представлены результаты расчётов по формуле (9) для разных сочетаний кодов, сведённые на одном графике для сравнения. На рисунке 4 обозначены: 1) «игольчатая» последовательность длиной 48 бит+ПЗК (16,4,8), 2) комбинированный код Баркера 7x7+ПЗК (16,4,8), 3) практически слились сочетания, где, в качестве СП использована М-последовательность длиной 63 бита, а в качестве ПЗК следующие коды: а) (16,4,8); б) код-произведение (8,4,4)x(3,1,3) (24,4,12); в) код Адамара (24,48,12); д) БЧХ (16,5,8); е) расширенный код Голея (24,12,8); ф) М-последовательность (15,4,8). 4) комбинированный код Баркера 13x5+(16,4,8), 5) М-последовательность длиной 63 бита+1 добавочный бит + ПЗК (16,4,8), 6) М-последовательность длиной 63 бита + ПЗК (16,4,8) – синхронизация по 2-м синхропоследовательностям одновременно.

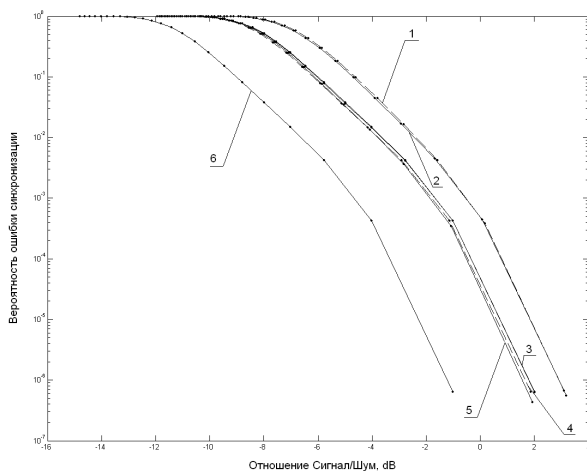


Рисунок 4 – Сравнение различных сочетаний синхропоследовательностей и кодов по вероятности ошибки синхронизации.

Из приведённых графиков видно, что лучше оказались те сочетания, в которых выбраны СП длиной 63÷65 бит. При равной длине синхропоследовательности несколько лучшие результаты показало сочетание М-последовательности длиной 63 бита+1 добавочный бит с ПЗК (16,4,8) и комбинированного кода Баркера 7x7 с ПЗК (16,4,8) соответственно. Кроме этого, синхронизация по 2-м синхропоследовательностям одновременно даёт существенную добавку помехоустойчивости (до 3 дБ), однако различие информационных бит в кадрах может существенно снизить данный выигрыш.

В четвёртой главе представлены результаты экспериментальной проверки разработанных рекомендаций. Для этого были модернизированы опытные образцы передатчика и цифрового приёмника ЗТС в ООО «ТехГеоБур». Чтобы сравнить между собой различные варианты телесистемы, желательно сопоставить показания, закодированные разными кодами при одном уровне одинаковых по своим вероятностным характеристикам шумов и при одинаковых искажениях канала. С этой целью был разработан формат кадра передаваемых данных, в котором из четырех показаний канала «Отклонитель» первое и третье показания закодированы «традиционным» кодом (16, 4, 8), а второе и четвертое – одним из предложенных, то есть (24, 4, 12). При этом соседние по времени СКК проходят один и тот же канал связи, т.к. глубина скважины за длительность выхода кадра данных меняется пренебрежимо мало. В

таблице 1 можно увидеть результаты сравнения из фрагмента журнала рейса телесистемы. В выделенной строке по достоверности (одноразрядное целое число справа от значения) можно наблюдать тот случай, когда с помехой новый вариант системы (телеметрические параметры «Откл. 2» и «Откл. 4», достоверность «6» и «7» соответственно) справился, в отличие от старого (телеметрические параметры «Откл. 1» и «Откл. 3», достоверность «1» и «0» соответственно).

Таблица 1. Сравнение двух систем помехоустойчивого кодирования

Зенит		Азимут		Откл.1		Откл.2		Откл.3		Откл.4	
28,8	0	219	5	127	0	314	5	188	2	279	6
38,8	3	218	3	264	4	176	6	358	5	190	6
26,6	0	222	5	309	1	325	6	178	0	268	7
38,9	6	219	6	269	7	130	5	358	4	147	4
37,1	1	251	5	347	1	257	6	192	2	302	7

В заключении сформулированы основные научные и практические результаты диссертационной работы:

1. Проведена статистическая обработка реальных сигналов, прошедших канал связи ЗТС, создан каталог основных типов аддитивных помех в канале связи ЗТС и определены их характеристики.

2. Проведен синтез математической и компьютерной модели канала связи ЗТС, выполнены исследования потенциальной помехоустойчивости канала ЗТС в условиях временной дисперсии сигнала и наличия аддитивных флуктуационных, импульсных и сосредоточенных помех.

3. Проведена разработка рекомендаций по модификации приемной и передающей частей существующей системы ЗТС, представлено несколько вариантов технических решений поставленной задачи с аргументацией и ожидаемыми характеристиками.

4. Описан способ сжатия передаваемых данных, использующий априорную информацию об источнике данных, предложена методика выбора СКК и сравнения между собой фиксированных сочетаний ПЗК с синхрокодами.

Результаты работы могут быть использованы для проведения дальнейшего совершенствования забойных телеметрических систем с электромагнитным каналом связи с целью увеличения помехоустойчивости как демодуляции-декодирования, так и синхронизации (новый вариант справляется с теми помехами, с которыми не справлялся аналог-прототип), а, следовательно, и глубины бурения или скорости передачи телеметрической информации.

Список работ, опубликованных по теме диссертации.

В изданиях из перечня ВАК

1. Горячкин О.В., Григоров И.В., Долгополов В.Н., Петров О.А., Суханов Д.В., Хабаров Е.О. Пути повышения эффективности бескабельных телеметрических забойных телесистем подземной связи. Инфокоммуникационные технологии. - 2009. – Т.7. - №4. – с.46-55.
2. Горячкин О.В., Суханов Д.В. Совместная оптимизация сочетания помехоустойчивого кода и синхропоследовательности в забойных телеметрических системах. Успехи современной радиотехники и электроники. - 2015. - №11. – с.73-77.
3. Горячкин О. В., Суханов Д. В. Повышение скорости передачи данных забойных телеметрических систем. Вестник Поволжского государственного технологического университета. Сер.: Радиотехнические и инфокоммуникационные системы. - 2015. – №4 (28). – с.18-25.
4. Суханов Д.В. Экспериментальный выбор сигнально-кодовой конструкции для забойной телеметрической системы в условиях реальных помех. Инфокоммуникационные технологии. - 2016. – Т.9. - №1. – в печати.

Тезисы докладов научных конференций

5. Горячкин О.В, Григоров И.В., Суханов Д.В., Хабаров Е.О. Пути повышения помехоустойчивости систем подземной радиосвязи сверхдлинноволнового диапазона // Материалы VII МНТК "Проблемы техники и технологий телекоммуникаций", 20-23 ноября 2006 - г.Самара: ПГАТИ.- 2006. - С.33-34.
6. Горячкин О.В., Григоров И.В., Петров О.А., Суханов Д.В., Хабаров Е.О. Некоторые особенности канала передачи информации в системах подземной радиосвязи сверхдлинноволнового диапазона // Радиолокация, навигация, связь: сборник научных трудов XIII МНТК, г. Воронеж, 17-19 апреля 2007. - Воронеж, 2007. - Т.2.- С.1197-1202.
7. Горячкин О.В., Григоров И.В., Петров О.А., Суханов Д.В., Хабаров Е.О. Возможные пути повышения эффективности бескабельных телеметрических забойных систем // Материалы VIII МНТК "Проблемы техники и технологий телекоммуникаций", Уфа, 26-28 ноября 2007. - С.230-234.
8. Горячкин О.В., Григоров И.В., Петров О.А., Суханов Д.В., Хабаров Е.О. Исследования путей повышения достоверности передачи данных в забойных телеметрических системах с электромагнитным

каналом связи // Материалы XV РНК профессорско-преподавательского состава, научных сотрудников и аспирантов ПГАТИ. - г.Самара: ПГАТИ. - 2008. - С.28-29.

9. Суханов Д.В. Постановка задачи совместной оптимизации СКК и синхронизирующих последовательностей Материалы XVIII РНК профессорско-преподавательского состава, научных сотрудников и аспирантов ПГУТИ. – г.Самара: ПГУТИ. - 2011. - с.19.
10. Суханов Д.В., Хабаров Е.О., Фомченко Я.Э. Декодирование турбо-решётчатых СКК при повышенной удельной скорости модуляции. Материалы XVIII РНК профессорско-преподавательского состава, научных сотрудников и аспирантов ПГУТИ. – г. Самара: ПГУТИ. - 2011. - с.5.
11. Суханов Д.В., Хабаров Е.О., Фомченко Я.Э. Декодирование сигнальных последовательностей с турбо-решетчатой кодовой модуляцией в каналах с МСИ Радиолокация, навигация, связь: сборник научных трудов XVII МНК, г. Воронеж, 12-14 апреля 2011. - Воронеж, 2011.
12. Суханов Д.В. Поиск путей повышения помехозащищённости забойных телеметрических систем. Материалы XII МНТК «Проблемы техники и технологий телекоммуникаций» ПТиТТ-2011 г. Казань: КГТУ им. А.Н.Туполева, 21-24 ноября 2011г. с.125-126.
13. Поиск путей повышения помехозащищённости забойных телеметрических систем. Материалы РНТК «Актуальные проблемы радиоэлектроники и телекоммуникаций» Самара, СГАУ им. акад. С.П.Королёва – 10-12 мая 2011г. с. 47-48.
14. Поиск путей повышения помехозащищённости забойных телеметрических систем. Материалы X МНТК «Физика и технические приложения волновых процессов», г. Самара, 11-17 сентября 2011г. с.58.
15. Суханов Д.В. Использование априорной информации о передаваемых забойной телеметрической системой данных для их сжатия. Материалы XIX РНК профессорско-преподавательского состава, научных сотрудников и аспирантов ПГУТИ. – г. Самара: ПГУТИ. – 2012г. (CD-ROM)
16. Суханов Д.В. Сравнение вероятности ошибки синхронизации для различных вариантов кода в забойных телесистемах. Материалы XX РНК профессорско-преподавательского состава, научных сотрудников и аспирантов ПГУТИ. – г. Самара: ПГУТИ. – 2013г. (CD-ROM)

17. Горячкин О.В., Суханов Д.В. Результаты исследования сочетаний помехозащищённых кодов с синхропоследовательностями для широкополосных фазоманипулированных сигналов. Материалы XXI РНТК профессорско-преподавательского состава, научных сотрудников и аспирантов ПГУТИ. – г. Самара: ПГУТИ. – 2014г. (CD-ROM)
18. Горячкин О.В., Сокирский Г.С., Суханов Д.В., Ширманов М.И. Поиск путей повышения помехоустойчивости синхронизации забойных телеметрических систем. Материалы XV МНТК «Проблемы техники и технологий телекоммуникаций» ПТиТТ-2014 г. Казань: КНИТУ им. А.Н.Туполева-КАИ, 18-21 ноября 2014г. с.79-81.
19. Горячкин О.В., Суханов Д.В. Критерии для сравнения сочетаний кодов. Материалы XXII РНТК профессорско-преподавательского состава, научных сотрудников и аспирантов ПГУТИ. – г. Самара: ПГУТИ. – 2015г. (CD-ROM)

Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования “Поволжский государственный
университет телекоммуникаций и информатики” 443010, г. Самара, ул. Льва Толстого 23

Подписано в печать 04.04.16 г. Формат 60 x 84/16 Бумага офсетная №1. Гарнитура Таймс.
Заказ _____ Печать оперативная. Усл. печ. л. _____. Тираж 100 экз.

Отпечатано в издательстве учебной и научной литературы Поволжского государственного
университета телекоммуникаций и информатики 443090, г. Самара, Московское шоссе 77, т.
(846) 228-00-44