

На правах рукописи



Корнеева Наталья Николаевна

ИССЛЕДОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМОВ ДИАГНОСТИКИ
КОДИРОВАННЫХ ЦИФРОВЫХ СИГНАЛОВ

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 Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых (ВлГУ)»

Научный руководитель: **Никитин Олег Рафаилович**, доктор технических наук, профессор, заслуженный деятель науки, заведующий кафедрой радиотехники и радиосистем ВлГУ.

Официальные оппоненты: **Шиманов Сергей Николаевич**, доктор технических наук, профессор кафедры физики Военной Академии РВСН им. Петра Великого (филиал в г. Серпухов).
Прохоров Иван Сергеевич, кандидат технических наук, начальник лабораторного сектора открытого акционерного общества «Владимирское конструкторское бюро радиосвязи», г. Владимир.

Ведущая организация: ФГБОУ ВО «Ярославский государственный университет им. П. Г. Демидова», г. Ярославль.

Защита состоится «12» сентября 2017 года в 14.00 часов на заседании совета Д 212.025.04 при Владимирском государственном университете имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых по адресу: 600000, г. Владимир, ул. Горького, 87, корпус 3, ауд. 301.

С диссертацией можно ознакомиться в научной библиотеке Владимирского государственного университета имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых и на сайте <http://diss.vlsu.ru/>.

Автореферат разослан «19» мая 2017 г.

Отзывы на автореферат, заверенные печатью, просим направлять по адресу: 600000, г. Владимир, ул. Горького, 87, ВлГУ, РТ и РС.

Ученый секретарь диссертационного совета
доктор технических наук, профессор



А. Г. Самойлов

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования. В настоящее время в подавляющем большинстве цифровых систем передачи информации применяются различные виды помехоустойчивого кодирования. Это обусловлено различными факторами, в частности, ростом общего количества радиоизлучающих средств, создающих фон разнообразных внешних помех, а также тем, что требования на качество передачи информации имеют тенденцию к повышению. В такой ситуации использование помехоустойчивых кодов в большинстве случаев достаточно эффективно решает соответствующие проблемы.

Основы помехоустойчивого кодирования при передаче информации были заложены работами К. Шеннона в 1948 году. Им было показано, что если скорость передачи информации меньше пропускной способности канала, то в принципе могут быть подобраны код и способ его декодирования, которые обеспечивают восстановление поврежденной последовательности со сколь угодно большой точностью. С тех пор было разработано и разрабатывается большое число разнообразных кодов, обладающих различными свойствами по восстановлению исходной переданной информационной последовательности, а также скоростью работы, объемом необходимых вычислений, и т.д.

В нашей стране среди специалистов в области применения помехоустойчивого кодирования известны работы таких ученых, как Б.А. Котельников, Ю.Б. Зубарев, А.Н. Колмогоров, В.В. Зяблов, Л.М. Финк, Г.Н. Овечкин, О.Р. Никитин., А.Г. Самойлов, П.А. Полушин, и др. Среди выдающихся зарубежных специалистов можно выделить Дж. Мэсси, А. Витерби, Р. Галлагера, Р. Блейхута, У. Питерсона, Э. Берлекампа, Д. Форни и др.

При осуществлении на приемной стороне процедуры декодирования предполагается, что все параметры применяемого кода и структура кодера заранее полностью известны. На основе этого осуществляется процедура соответствующего декодирования. В то же время в реальной обстановке условия работы системы передачи информации могут быть достаточно разнообразны. Возможны ситуации, когда параметры используемого кода, необходимые для декодирования, известны не полностью, либо неизвестны вообще, например, если происходит их быстрая смена, а передача информации в приемник об этом задерживается. Информация о структуре кодера важна для систем радиомониторинга и систем адаптивного кодирования. При смене канала передачи или системы передачи требуемая для декодирования информация может отсутствовать. В случаях радиопротиводействия такую информацию получить проблематично в принципе. В таких ситуациях восстанавливающие свойства помехоустойчивых кодов резко ухудшаются, либо прием кодированных сигналов становится принципиально невозможным.

В то же время в передатчике в процессе кодирования вносятся определенные связи между формируемыми кодовыми символами. Анализируя эти связи, можно во многих случаях получить отсутствующую информацию о параметрах используемого кода. Это позволит восстановить исправляющую способность кода и обеспечить требуемый уровень помехоустойчивости, что обуславливает актуальность решения подобных диагностических задач. Задачи особенно актуальны для наиболее часто используемых сверточных и блочных кодов.

Объект исследования. Методы помехоустойчивого кодирования цифровых сигналов.

Предмет исследования. Алгоритмы диагностики параметров сверточных и блочных двоичных кодов на основе принимаемых цифровых кодовых последовательностей.

Цель и задачи исследования. Повышение эффективности использования помехоустойчивого кодирования за счет предварительной диагностики

кодовых последовательностей путем анализа принимаемых цифровых сигналов, и восстановления утраченной информации.

Для достижения этой цели необходимо решить следующие **задачи**.

1. Провести обзор различных методов получения сверточных и блочных кодов, включая модифицированные и перфорированные коды, и проанализировать особенности, которые возможно использовать для целей диагностики.

2. Разработать алгоритмы диагностики сверточных кодов, включая различные их варианты, в том числе «быстрые» алгоритмы диагностики.

3. Разработать алгоритмы диагностики различных вариантов блочных кодов, включая циклические коды.

4. Разработать диагностические алгоритмы для различных видов модификации кодов (укороченных кодов, расширенных кодов, перфорированных кодов).

5. Создать программные средства, с помощью которых исследовать характеристики предложенных алгоритмов.

Методы исследования. В диссертационной работе используется теория вероятностей и математической статистики, теория кодирования, теория матриц, математическое и компьютерное моделирование.

Научная новизна. В рамках диссертационной работы были получены следующие научные результаты.

1. Проведен анализ методов формирования сверточных и блочных кодов и выделены особенности, которые возможно использовать для их диагностики на основе принимаемых кодовых последовательностей.

2. Предложены алгоритмы диагностики сверточных кодов, включая «быстрые» алгоритмы диагностики.

3. Разработаны алгоритмы диагностики блочных кодов, позволяющие определять параметры циклических и линейных блочных кодов.

4. Предложены алгоритмы диагностики модифицированных кодов, включая укороченные, расширенные и перфорированные коды.

Практическая значимость.

1. Предложенные алгоритмы обработки цифровых сигналов позволяют за счет восстановления исправляющей способности кодов увеличить помехоустойчивость приема.

2. Разработанные алгоритмы дают возможность обеспечить вероятность неправильной диагностики при вероятности битовой ошибки менее 10^{-3} (при малых уровнях шума) до величины не хуже $10^{-4} \div 10^{-6}$ за 20-30 циклов анализа. При повышении вероятности ошибки для обеспечения такого же результата длительность анализа увеличивается в 2-4 раза.

3. Применение «быстрых» алгоритмов анализа сокращает время диагностики в 5-10 раз.

4. Разработаны и исследованы программные средства диагностики сверточных и блочных кодов и их модификаций, дающие возможность определить параметры кодеров путем анализа принимаемой кодовой последовательности.

На защиту выносятся:

1. Алгоритмы определения кодового ограничения и структуры сверточных кодов, включая «быстрые» алгоритмы диагностики.

2. Алгоритмы диагностики линейных блочных и циклических кодов.

3. Алгоритм диагностики укороченных и расширенных кодов и алгоритмы определения структуры и параметров перфорированных кодов.

Внедрение научных результатов диссертационной работы проведено в учебный процесс на кафедре радиотехники и радиосистем Владимирского государственного университета, а также в ОАО «Владимирский завод «Электроприбор», г. Владимир, о чем получены акты внедрения.

Апробация работы проведена в форме научных докладов по основным результатам работы и дискуссий, которые проходили на следующих научных конференциях:

- 11-я МНТК «Перспективные технологии в средствах передачи информации – ПТСПИ-2015»;

- 12-я МНТК «Физика и радиоэлектроника в медицине и экологии (ФРЭМЭ 2016);

-2-я МНТК «Наука и образование: проблемы и стратегии развития» - Уфа,15-16 ноября 2016г.

Личный вклад автора. Все основные результаты диссертации получены автором лично. В работах, выполненных в соавторстве, личный вклад превышает 40%.

Публикации. По теме диссертации опубликовано 13 печатных научных работ, в том числе 4 статьи в изданиях, входящих в список ВАК РФ; 5 материалов докладов на конференциях различного уровня, включая международные; 1 патент на изобретение, 3 свидетельства о государственной регистрации программ для ЭВМ.

Структура и объем диссертации. Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав, заключения, списка литературы и приложений. Общий объем диссертационной работы с приложениями составляет 191 страниц, в том числе 179 страниц основного текста. Работа содержит 115 рисунков, 1 таблицу, список использованной литературы содержит 105 наименований.

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.

В первой главе рассматриваются причины и условия работы, в которых появляется необходимость диагностики принятых кодированных сигналов с целью определения неизвестной структуры и параметров используемого кодера. Отсутствие или неполнота подобной информации приводит к тому, что декодирование либо возможно лишь частично, либо невозможно в принципе.

Это приводит к значительному снижению помехоустойчивости передачи или к ее полному срыву. В то же время, анализируя взаимосвязи между кодированными символами, можно восстановить необходимую информацию о параметрах кодера. Соответствующие процедуры и алгоритмы зависят от вида применяемого метода кодирования.

Для выполнения поставленной задачи проводится обзор известных методов кодирования с анализом их свойств и характеристик, которые можно использовать для целей диагностики. Рассматриваются критерии помехоустойчивости передачи сигналов и выбираются параметры, по которым можно оценивать качество вырабатываемых диагностических решений.

Во второй главе рассматриваются процедуры и алгоритмы диагностики сверточных кодов. Предлагается основной принцип, позволяющий определять структуру кодера по принятому кодированному сигналу. Он заключается в том, что в передатчике полученная кодовая последовательность \mathbf{u}_0 может быть разбита на группы символов, сформированных при появлении на входе кодера одного нового информационного символа. Каждый кодовый символ образуется сверткой определенного числа исходных информационных символов с соответствующим порождающим полиномом \mathbf{g}_i . Символы, образованные с помощью каждого полинома формируют соответствующие частные кодовые последовательности.

Сущность предлагаемого алгоритма базируется на том, что все эти частные кодовые последовательности образованы из одной и той же исходной информационной последовательности $\mathbf{m}(X)$, где X – оператор, описывающий задержку по времени на интервал T длительности одного символа. Кроме этого предполагается, что за время сеанса анализа структура кодера остается неизменной. Таким образом, символы одной группы из каждой частной последовательности могут принимать не произвольные, а только взаимосвязанные значения, анализируя которые можно установить параметры кодера.

Подробно рассмотрена ситуация использования кодовой скорости $R=1/2$, полученные результаты расширены на произвольную кодовую скорость. В случае $R=1/2$ две частные кодовые последовательности описываются полиномами $\mathbf{u}_1(X)=\mathbf{g}_1(X)\mathbf{m}(X)$ и $\mathbf{u}_2(X)=\mathbf{g}_2(X)\mathbf{m}(X)$, где произведение означает свертку полиномов. Рассмотрены и исследованы три алгоритма диагностики, построенные по одному принципу. Он заключается в использовании вспомогательных «поисковых» полиномов $\mathbf{h}_1(X)$ и $\mathbf{h}_2(X)$. Их вид в процессе диагностики изменяется в определенной последовательности, после достижения некоторого условия «поисковые» полиномы отождествляются с искомыми порождающими полиномами $\mathbf{g}_1(X)$ и $\mathbf{g}_2(X)$, определяющими структуру кодера.

Принцип работы первого предложенного алгоритма заключается в полиномиальном делении кодовых последовательностей на «поисковые» полиномы, т.е. получении вспомогательных последовательностей $\mathbf{y}_1(X)=\mathbf{u}_1(X)/\mathbf{h}_1(X)=[\mathbf{g}_1(X)/\mathbf{h}_1(X)]\mathbf{m}(X)$ и $\mathbf{y}_2(X)=\mathbf{u}_2(X)/\mathbf{h}_2(X)=[\mathbf{g}_2(X)/\mathbf{h}_2(X)]\mathbf{m}(X)$. В случае совпадения «поисковых» полиномов $\mathbf{h}_1(X)$ и $\mathbf{h}_2(X)$ с порождающими полиномами $\mathbf{g}_1(X)$ и $\mathbf{g}_2(X)$, значения символов последовательностей $\mathbf{y}_1(X)$ и $\mathbf{y}_2(X)$ будут совпадать, что является индикатором правильности диагностики. Вторым исследованным алгоритмом заключается в том, что первая частная последовательность подвергается операции $\mathbf{h}_2(X)/\mathbf{h}_1(X)$, т.е. полиномиальному делению на полином $\mathbf{h}_1(X)$ и свертке (фактически, повторному свертчному кодированию) с использованием полинома $\mathbf{h}_2(X)$. Совпадение полученной таким образом последовательности $\mathbf{y}_1(X)=[\mathbf{h}_2(X)/\mathbf{h}_1(X)]\mathbf{u}_1(X)=[\mathbf{h}_2(X)/\mathbf{h}_1(X)]\mathbf{g}_1(X)\mathbf{m}(X)$ с последовательностью $\mathbf{y}_2(X)$ укажет на правильность диагностики.

Третий алгоритм, который обладает лучшими показателями, был выбран для подробной проработки. Он заключается в получении вспомогательных последовательностей в форме: $\mathbf{y}_1(X)=\mathbf{h}_1(X)\mathbf{u}_1(X)=\mathbf{h}_1(X)\mathbf{g}_1(X)\mathbf{m}(X)$ и $\mathbf{y}_2(X)=\mathbf{h}_2(X)\mathbf{u}_2(X)=\mathbf{h}_2(X)\mathbf{g}_2(X)\mathbf{m}(X)$, т.е. в простом повторном свертчном кодировании частных кодовых последовательностей $\mathbf{u}_1(X)$ и $\mathbf{u}_2(X)$ с помощью

«поисковых» полиномов. Ситуация совпадения последовательностей $y_1(X)$ и $y_2(X)$ означает совпадение полиномов:

$$\mathbf{h}_1(X)=\mathbf{g}_2(X) \text{ и } \mathbf{h}_2(X)=\mathbf{g}_1(X), \quad (1)$$

т.е. нахождение параметров кодера. Рассмотрены два варианта алгоритма, используемые при относительно малом уровне шумов (вероятности битовой ошибки менее 10^{-3} , алгоритм А) и большом уровне шумов (вероятность битовой ошибки более 10^{-3} , алгоритм Б). Кроме этого, если кодовое ограничение K кодера также неизвестно, то предлагается алгоритм его оценки, выполняемый до поиска вида порождающих полиномов.

Оба алгоритма состоят в выполнении ряда циклов анализа. В каждом цикле анализа для пары «поисковых» полиномов отбираются выборки обеих частных кодовых последовательностей длиной K и домножаются на данную пару полиномов. Если результаты свертки совпадают, то в специальную матрицу записывается единица в ячейку, определяемую видом данных «поисковых» полиномов, записанным в форме двоичного кода. После перебора всех возможных видов «поисковых» полиномов в каждом цикле около половины ячеек матрицы заполняются единицами, в остальных присутствуют нули.

В следующем цикле осуществляются аналогичные операции с новыми выборками частных последовательностей. Если используется алгоритм А, то элементы вновь полученной матрицы арифметически умножаются с элементами в тех же позициях предыдущей матрицы. Если используется алгоритм Б, то соответствующие элементы арифметически складываются.

Появление единицы в конкретной позиции в каждом цикле случайно кроме позиции, соответствующей условию (1), в которой единица появляется в каждом цикле. В результате после каждого последующего цикла в алгоритме А количество ненулевых элементов матрицы будет сокращаться, пока не останется единственный ненулевой элемент, соответствующий правильному диагностическому решению (1). Алгоритм иллюстрируется укрупненной схемой на рисунке 1.

На рисунках 2-4 представлен вид матрицы в начале процедуры, в одном из промежуточных циклов и после ее окончания для кодового ограничения $K=5$ для кода $(25,37)_8=(21,31)_{10}$ в восьмеричной и десятичной формах записи при общем количестве циклов анализа $N=10$. Рисунок 5 относится к алгоритму Б по окончании $N=50$ циклов анализа. В алгоритме А остается единственный правильный вид полиномов. В алгоритме Б правильный вид полиномов соответствует максимальной накопленной сумме в соответствующем элементе матрицы. Вероятность необходимой повторной диагностики, т.е. вероятность того, что кроме правильного решения останется хотя бы одно неправильное, равна $P_H = [1 - (1 - 0,5^N)^Q]$, где $Q = 2^{2K} - 2$.

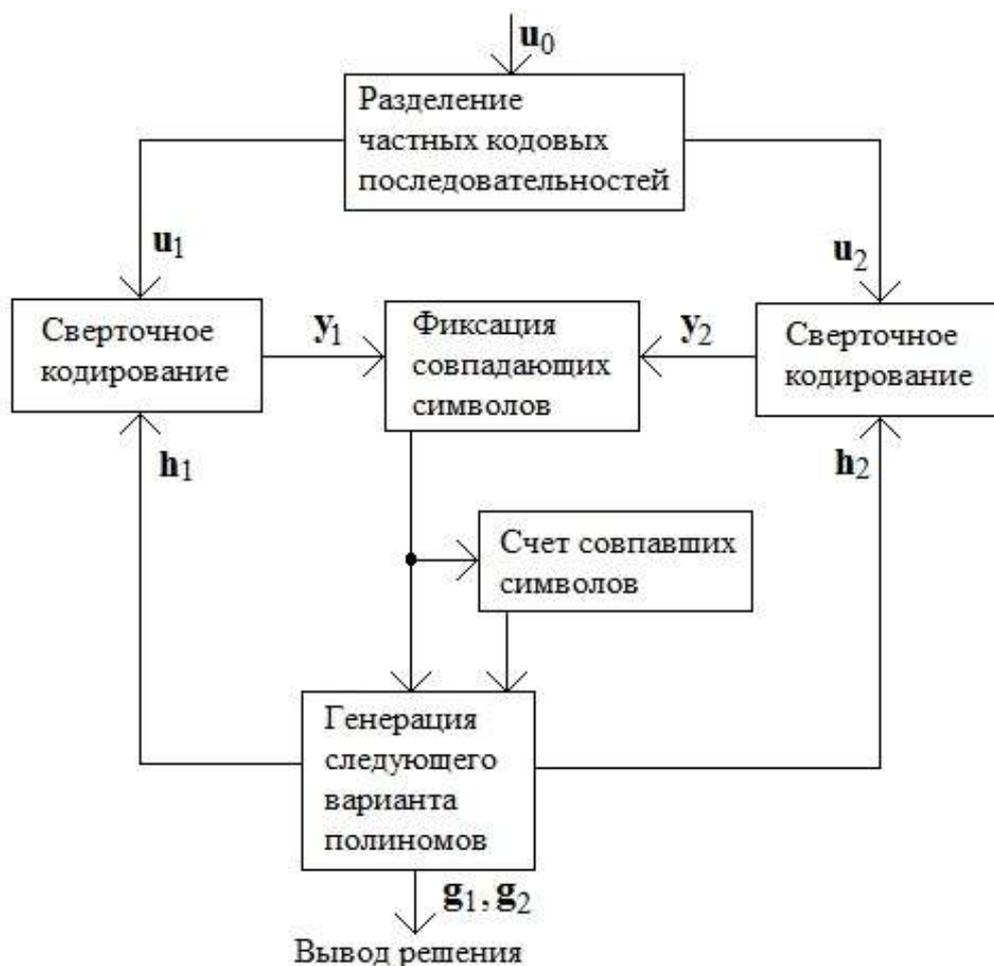


Рисунок 1.

Предложенный алгоритм определения кодового ограничения базируется на том, что взятые синхронные группы символов из обеих частных последовательностей могут иметь не произвольные сочетания символов, а ограниченной их количество, зависящее от значения кодового ограничения K . Соотношение между максимально возможным количеством вариантов и наблюдаемым количеством позволяет определить K .

Таким образом, вероятность неправильного решения при проведении N записей равна:
$$P_K = \sum_{i=V}^R C_i^R \exp(-i \frac{N}{R}) [1 - \exp(-\frac{N}{R})]^{R-i},$$
 где $C_i^R = R! / [i!(R-i)!]$, $R = 2^L \times 2^{K-1}$, $V = 2^{L+K-2} (2 - \sqrt{2})$, L – длина группы символов анализируемых частных последовательностей.

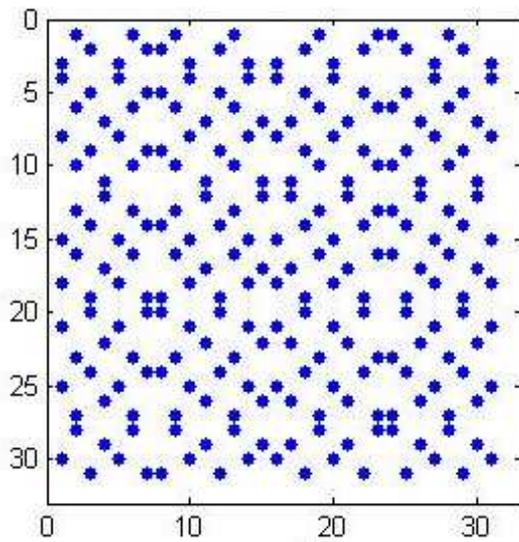


Рисунок 2.

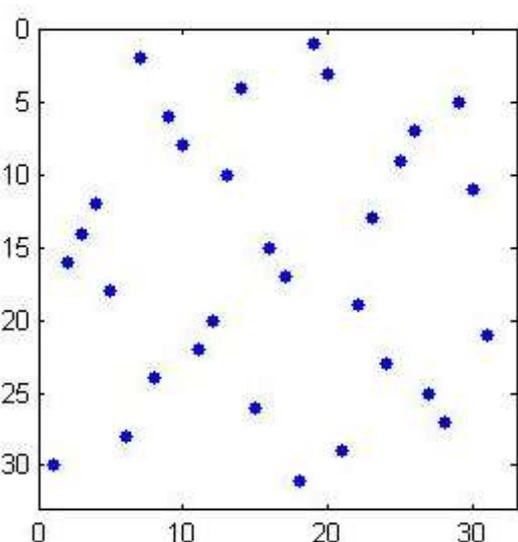


Рисунок 3.

Были предложены и изучены также «быстрые» алгоритмы анализа, использующие свойства применяемых значений параметров кодера.

Графики вероятности P_C необходимого количества циклов, которые нужно провести для выработки диагностического решения при различных значениях кодового ограничения, представлены на рисунке 6

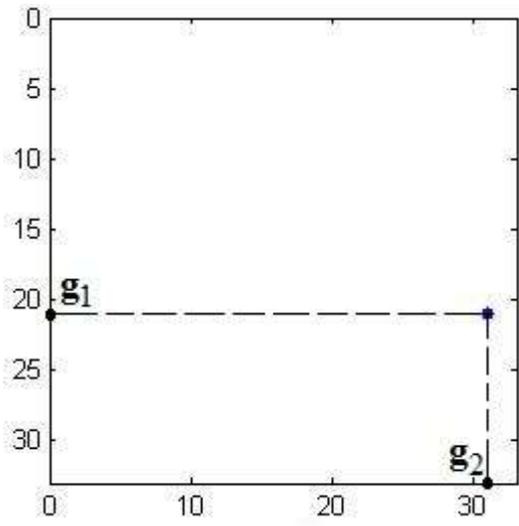


Рисунок 4.

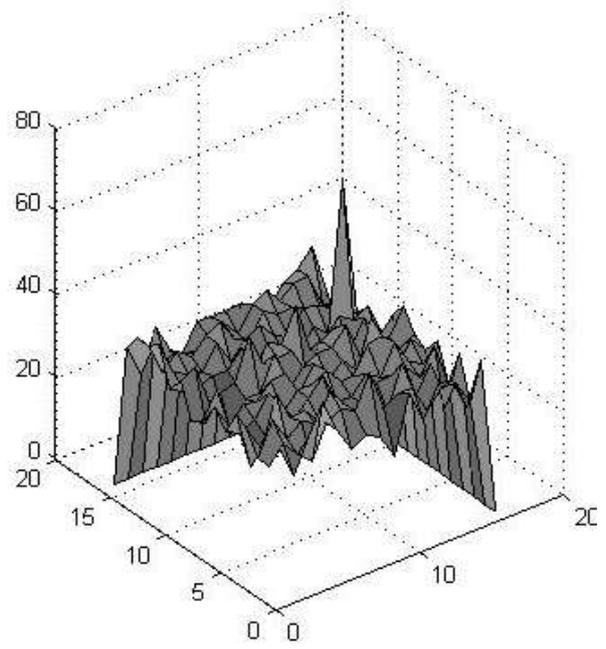


Рисунок 5.

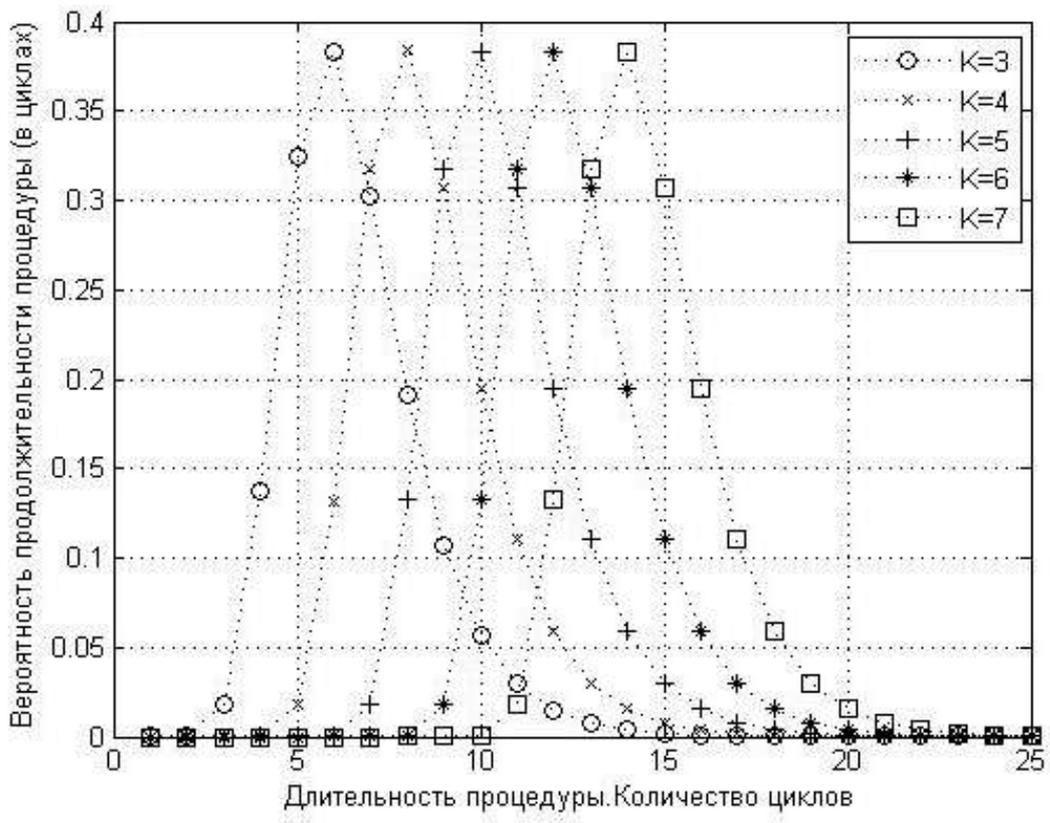


Рисунок 6.

В третьей главе предложены и исследованы алгоритмы диагностики блоковых кодов. При диагностике циклических кодов используется факт, что каждый последующий блок является произведением различных информационных полиномов и постоянного порождающего полинома. Для каждого блока находится его разложение на простые полиномы, и отбираются простые полиномы, являющиеся общими для всех блоков из некоторого набора. Произведение этих простых полиномов и принимается как искомый вид порождающего полинома.

На рисунках 7-9 приведен пример разложения разных кодовых блоков, полученных с помощью порождающего полинома $g=127_{10}=111111_2=X^6+X^5+X^4+X^3+X^2+X+1$, являющегося произведением простых полиномов $g_1=11_{10}=1011_2=X^3+X+1$ $g_2=13_{10}=1101_2=X^3+X^2+1$. В каждом из блоков присутствуют также и другие полиномы, относящиеся к информационной части блоков, но сомножители порождающего полинома присутствуют всегда.

Для их выделения достаточно относительно небольшого количества кодовых блоков. На рисунке 10 в виде графического представления матрицы показаны наборы полиномов, относящиеся к шести кодовым блокам. (Степень затемнения элемента матрицы означает общее количество данного делителя – простого полинома в кодовом блоке). Делители 11_{10} и 13_{10} наблюдаются в каждом блоке.

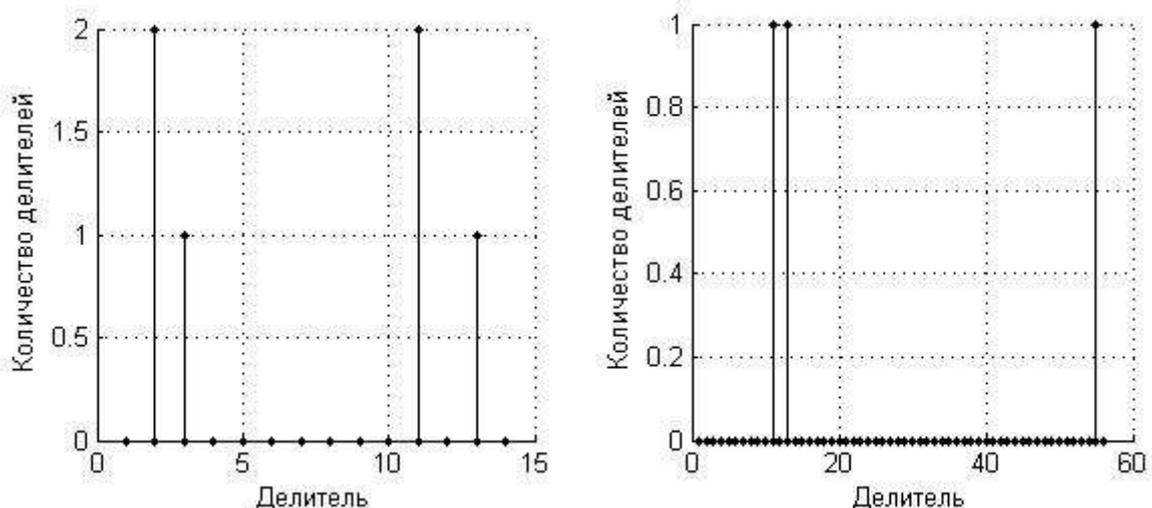


Рисунок 7.

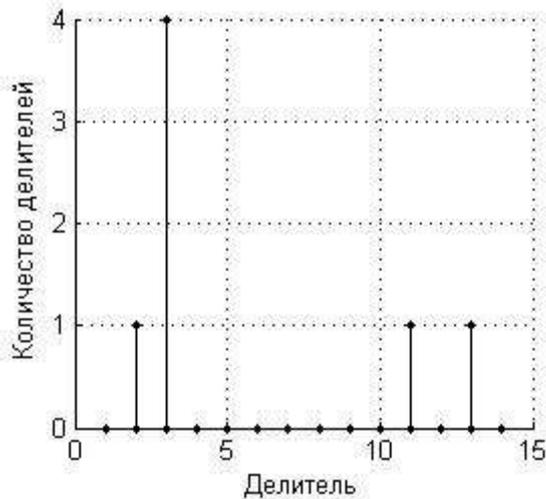


Рисунок 9.

Рисунок 8.

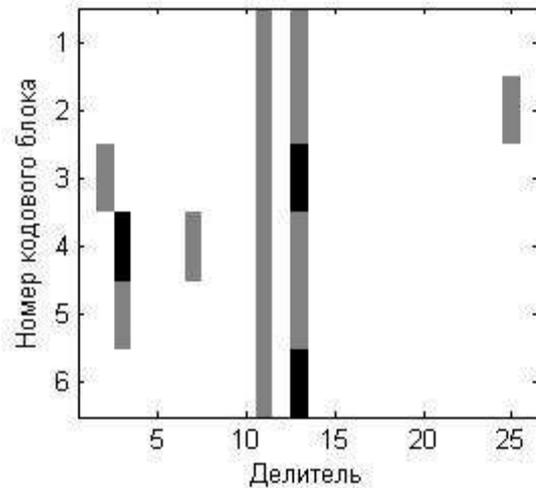


Рисунок 10.

Для диагностики более длинных блоков предложены и исследованы «быстрые» алгоритмы сокращенного перебора возможных видов простых полиномов и алгоритм ускоренного определения общих простых полиномов, основанный на поочередном двоичном делении пар сравниваемых кодовых блоков, схема которого приведена на рисунке 11. В ее результате определяется и запоминается вид полинома-множителя, общего для анализируемой пары блоков. После завершения анализа всех сочетаний кодовых блоков осуществляется выбор вида полиномов, запомненного максимальное число раз. Вероятность появления в каждом цикле анализа только порождающего полинома $g(X)$ гораздо выше, чем других, и именно он будет определен максимальное число раз, а все другие результаты, появляющиеся случайно, будут зафиксированы меньшее число раз. Поэтому данная операция определит именно полином $g(X)$, являющийся искомым результатом диагностики.

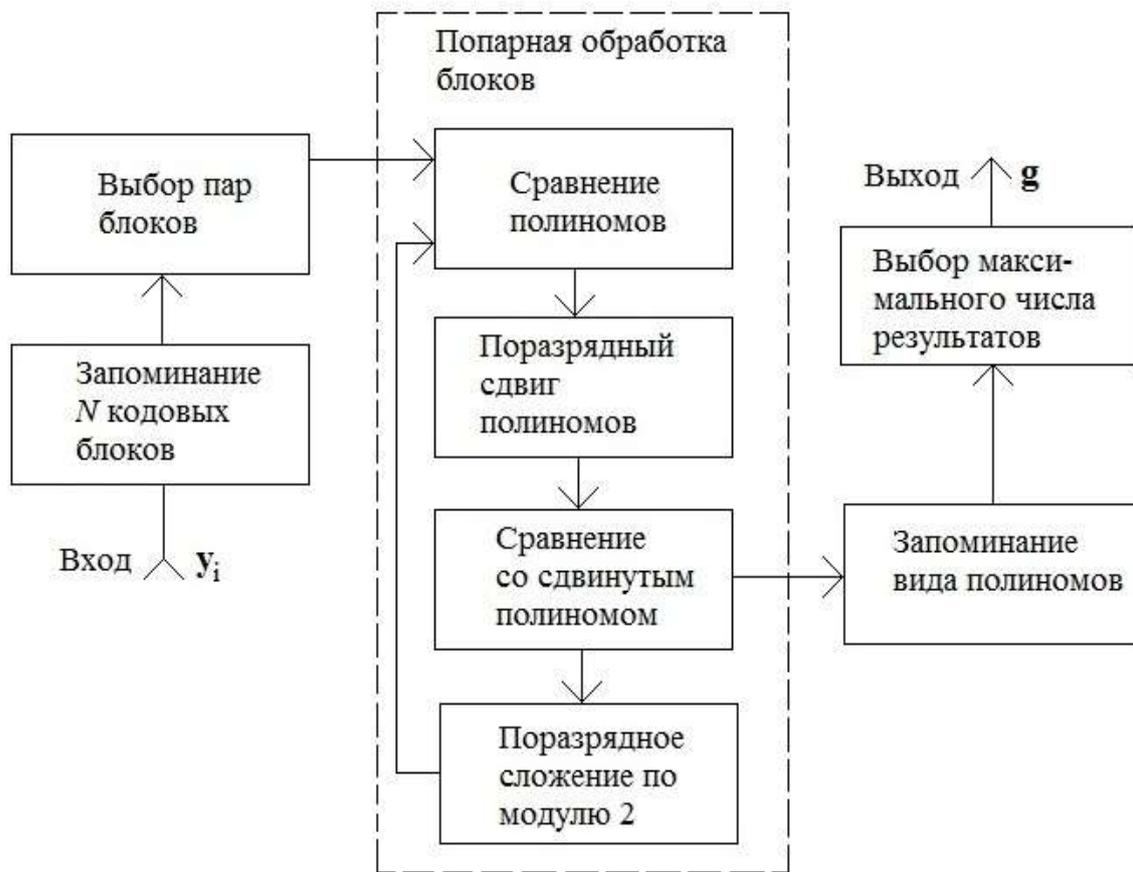


Рисунок 11.

Процедура заключается в последовательном удалении из общих простых полиномов из сравниваемых пар, в результате чего остаются только общие полиномы. В качестве примера на рисунках 12 и 13 приведены графики последовательного сокращения произведения простых полиномов в двух кодовых словах (обозначены цифрами 1 и 2), номера операций удаления различающихся полиномов отложены по оси абсцисс. Вероятность ошибки диагностики при этом равна $P_D = \sum_{k=1}^L [C_k^L p_i^k (1-p_i)^{L-k} \sum_{j=1}^k C_j^L p_0^j (1-p_0)^{L-j}]$, где

$$p_i = p_0 P_i^2 / (1 - P_i^2), \quad p_0 = \prod_{i=1}^L (1 - P_i^2), \quad P_i - \text{вероятность появления } i\text{-го простого}$$

полинома в разложении полинома – информационной части блока.

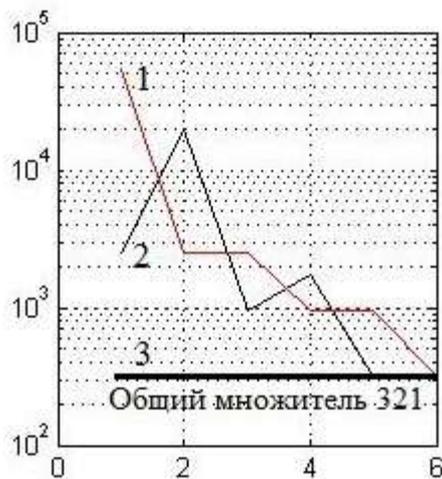


Рисунок 12.

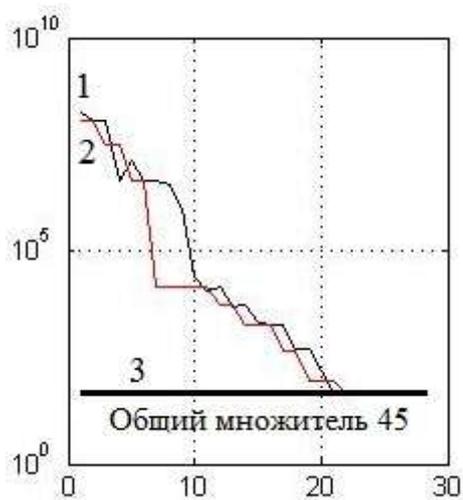


Рисунок 13.

По оси ординат отложены уменьшающиеся текущие значения кодовых слов (в десятичном представлении), которые постепенно достигают значения порождающего полинома (равного 321 на рисунке 12 и 45 на рисунке 13).

Для диагностики линейных блочных кодов, формируемых с помощью порождающей матрицы, предложен алгоритм, основанный на рассмотрении вырожденности формируемых матриц. Предполагается, что исходно используемая порождающая матрица состоит из матричных блоков \mathbf{E} и \mathbf{P} , $\mathbf{G} = \|\mathbf{E}:\mathbf{P}\|$, где \mathbf{E} — единичная матрица размера $k \times k$, у которой элементы главной диагонали равны единице, все остальные элементы равны нулю; \mathbf{P} — проверочная матрица размера $k \times b = k \times (n - k)$; (k, n) — параметры кодового блока. Задача диагностики состоит в определении элементов матрицы \mathbf{P} .

Операции алгоритма состоят в следующем. Первоначально из потока принимаемых кодовых блоков выбирается q кодовых блоков и из них составляется матрица \mathbf{Y} размером $q \times n$. Для дальнейшей обработки из нее выделяется квадратная матрица \mathbf{Q} размером $q \times q$, расположенная, как блок, либо в начале матрицы \mathbf{Y} (если информационные символы предшествуют проверочным символам), либо в ее конце (если информационные символы следуют за проверочными символами). В случае неполучения диагностического

решения перебираются варианты расположения столбцов матрицы Q внутри Y .

Если известно заранее, сколько символов находится в информационной части блока, то сразу устанавливается $q=k$. Если же это количество неизвестно, то производится его поиск и определение. Необходимо, чтобы матрица Q не была вырожденной. Однако матрица, сформированная из взятых наугад q кодовых блоков, вполне может оказаться вырожденной, поэтому алгоритмом также производится перебор вновь взятых блоков, пока не будет выполняться условие невырожденности матрицы Q . Если определитель не равен нулю, то производится вычисление обратной матрицы Q^{-1} . Далее вычисляется и запоминается оценка искомой порождающей матрицы $G=Q^{-1}Y$, полученная для данного значения q . После этого величина значения q увеличивается на единицу, и вновь повторяются все операции, начиная с выбора q кодовых блоков и составления матрицы Y с новым размером.

В четвертой главе предлагаются алгоритмы диагностики модифицированных кодов. Для расширенных и укороченных кодов могут быть использованы уже рассмотренные алгоритмы после их незначительной модификации. Для определения дополнительных параметров перфорированных кодов (периода перфорации, маски перфорации) предлагается использовать модифицированные алгоритмы диагностики сверточных кодов. Производится перебор возможных положений выкальваемых символов и строятся последовательные модифицированные наборы матриц, в которых при формировании адресов соответствующих рассматриваемых элементов, вместо выкальваемых символов адреса проставляются оба возможных двоичных значения.

Если вариант расположения был выбран неправильно, то матрицы при достаточно длинной анализируемой выборке достаточно равномерно заполняются полностью. Если был выбран правильный вариант, то часть элементов матрицы остается незаполненной при любой длительности выборки,

что используется для индикации правильности диагностических решений. Попутно определяется вид порождающих полиномов.

В заключении сформулированы научные и практические результаты диссертационной работы:

1. При эксплуатации систем передачи цифровых сигналов, использующих помехоустойчивое кодирование, могут возникать ситуации, когда информация о параметрах кодеров либо утрачена, либо неполная, либо отсутствует изначально. Однако при этом возможно восстановление данных о параметрах кодирования, так как при его осуществлении появляются определенные взаимосвязи между кодовыми символами. Их анализ позволяет произвести диагностику, на основе которой определить требуемые структуру и параметры кодеров.

2. Предложены алгоритмы для диагностики сверточных кодов, основанные на том, что различные последовательные кодовые символы принимаемой последовательности образованы из одной и той же исходной информационной последовательности, при этом в результате диагностики определяется величина кодового ограничения и структура используемого кодера.

3. Исследованы свойства алгоритмов диагностики для незначительного и для существенного уровня шумов, а также «быстрые» виды алгоритмов. При часто используемых параметрах кодирования и малых уровнях шума (отношении «сигнал/шум» более 15 дБ) для обеспечения вероятности неправильной диагностики ниже $2 \cdot 10^{-3}$ достаточно произвести около 25 циклов анализа, а для снижения этого уровня до $2 \cdot 10^{-5}$ достаточно 30 циклов анализа.

4. При большом уровне шумов (при вероятности битовой ошибки выше 10^{-3}) для сохранения таких же показателей качества диагностики количество циклов анализа необходимо увеличить в 2-4 раза. Использование «быстрых» алгоритмов анализа позволяет в целом сократить время диагностики в 5-10 раз.

5. Для диагностики циклических кодов предложены алгоритмы, основанные на различных вариантах сравнения наборов простых полиномиальных множителей, полученных путем разложения принимаемых кодовых блоков.

6. Для диагностики линейных блоковых кодов, полученных с помощью использования порождающей матрицы, предложены алгоритмы с использованием вспомогательных невырожденных матриц.

7. Эффективность использования диагностики может быть оценена сравнением показателей помехоустойчивости при передаче закодированного и незакодированного сигналов, при этом разница показателей определяется эффективностью исправляющей способности кода.

8. На основе модификации предложенных выше алгоритмов разработаны процедуры диагностики укороченных, расширенных и перфорированных кодов.

9. Разработаны специализированные программные комплексы, с помощью которых проведено исследование предложенных диагностических алгоритмов и показана высокая эффективность их использования.

10. Учитывая вышесказанное, можно заключить, что создана методика диагностирования наиболее распространенных и важных видов кодов, что позволяет восстановить утерянную или поврежденную информацию об используемом кодере и повысить помехоустойчивость передачи сигналов. На базе разработанных алгоритмов создан программный комплекс диагностики кодовых конструкций.

СПИСОК РАБОТ, ОПУБЛИКОВАННЫХ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Статьи в изданиях, рекомендуемых ВАК

1. Корнеева, Н.Н. Разработка алгоритмов диагностики сверточных кодов [Текст] / Н.Н. Корнеева, О.Р. Никитин, П.А.Полушин // Радиотехнические и телекоммуникационные системы. – 2016. – №1. – С. 31–36.

2. Корнеева, Н.Н. Диагностика циклических кодов с помощью «быстрого» алгоритма [Текст] / Н.Н. Корнеева, О.Р. Никитин, П.А. Полушин // Вестник НГИЭИ. – 2017. – № 2 (69). – С. 7–12.

3. Корнеева, Н.Н. Алгоритм диагностики циклических кодов на основе непосредственного вычисления простых полиномов [Текст] / Н.Н. Корнеева, О.Р. Никитин, П.А.Полушин // Радиотехнические и телекоммуникационные системы. – 2017. – №1. – С. 62–68.

4. Корнеева, Н.Н. Алгоритм диагностики линейных блоковых кодов, полученных с помощью порождающей матрицы [Текст] / Н.Н. Корнеева // Проектирование и технология электронных средств. – 2017. – №1. – С. 30–34.

Прочие научные публикации

5. Корнеева Н.Н., Полушин П.А., Никитин О.Р. Способ диагностики сверточных кодов // Патент №2616180, РФ, МПК H03M 1/00, H03M 13/23 – № 2015151382, Заявлено 30.11.2015. – Опубликовано:12.04.2017. Бюл. № 11

6. Корнеева Н.Н., Полушин П.А., Никитин О.Р. Программный комплекс для исследования матричного метода диагностики сверточных кодов. // Свидетельство РФ о государственной регистрации программы для ЭВМ №2016610459: рег.12.01.2016. – Заявлено 17.11.2015., №2015661085. – Оpubл. 20.02.2016.

7. Корнеева Н.Н., Полушин П.А., Никитин О.Р. Программный комплекс для исследования алгоритмов диагностики циклических блоковых кодов. // Свидетельство РФ о государственной регистрации программы для ЭВМ №2016614189, – рег. 18.04.2016. – Заявлено 29.02.2016., № 2016611632. – Оpubл. 20.05.2016.

8. Корнеева Н.Н., Полушин П.А., Никитин О.Р. Программный комплекс для исследования алгоритмов диагностики перфорированных сверточных кодов. // Свидетельство РФ о государственной регистрации программы для ЭВМ №2016618221, – рег. 25.07.2016. – Заявлено 06.06.2016., № 2016615858. – Оpubл. 20.08.2016.

9. Корнеева, Н.Н. Возможности диагностики параметров сверточных кодов [Текст] / Н.Н.Корнеева, О.Р.Никитин // 11-я МНТК «Перспективные технологии в средствах передачи информации – ПТСПИ-2015» – Владимир–ВлГУ – 2015. – С. 154–156.
10. Корнеева, Н.Н. Декодирование циклических кодов при неизвестной структуре кодера [Текст] / Н.Н.Корнеева, О.Р.Никитин // 11-я МНТК «Перспективные технологии в средствах передачи информации – ПТСПИ-2015» – Владимир – ВлГУ – 2015 – С. 156–158.
11. Корнеева, Н.Н. Разработка алгоритмов диагностики сверточных кодов [Текст]/ Н.Н. Корнеева, О.Р. Никитин // 12-я МНТК «Физика и радиоэлектроника в медицине и экологии (ФРЭМЭ 2016)». – Владимир-Суздаль, 5–7 июля 2016. – книга 1.– С. 354–356.
12. Корнеева, Н.Н. Диагностика циклических кодов [Текст] / Н.Н. Корнеева // 2-я МНТК «Наука и образование: проблемы и стратегии развития» – Уфа, 15-16 ноября 2016 г. – С. 181–184.
13. Korneeva, N.N. On choice of admissible number of the data transmission channels in dts with usage of a statisties of natural intervals of speech [Text] / Smorshevskiy V.S., Penzeev A.A., Korneeva N.N. // «Proceedings TEIC Actual problems of telecom Part2» – Antwerp – 1999. – P. 49–51.

Подписано в печать _____
Формат 60x84 1/16. Печ .л. 1,0. Тираж 100 экз.

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