

На правах рукописи

Альхрейсат Хабес Махмуд

**ИССЛЕДОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА ЦИФРОВЫХ МЕТОДОВ  
МИКШИРОВАНИЯ ИНФОРМАЦИИ В АУДИОСИГНАЛ  
(ФОРМАТ MP3)**

Специальность: 05.13.01 – Системный анализ, управление  
и обработка информации.

**АВТОРЕФЕРАТ**  
**диссертации на соискание ученой степени**  
**кандидата технических наук**

Санкт-Петербург  
2008

Работа выполнена в Санкт-Петербургском государственном электротехническом университете «ЛЭТИ» им. В. И. Ульянова (Ленина).

Научный руководитель –  
доктор технических наук,  
профессор

**Александров Виктор Васильевич**

Официальные оппоненты:  
доктор технических наук,  
профессор  
кандидат технических наук,  
доцент

**Рудницкий Сергей Борисович**

**Спиваковский Александр Михайлович**

Ведущая организация – **Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Санкт-Петербургский государственный политехнический университет (СПбГПУ)» 195251, г. Санкт-Петербург, Политехническая ул.,29**

Защита диссертации состоится «\_\_\_» декабря 2008 года в «\_\_» часов на заседании совета по защите докторских и кандидатских диссертаций. Д 212.238.07 Санкт-Петербургского государственного электротехнического университета «ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина) по адресу: 197376, Санкт-Петербург, ул. Проф. Попова, 5 .

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке университета.

Автореферат разослан «\_\_\_» ноября 2008 года.

Ученый секретарь совета  
по защите докторских и  
кандидатских диссертаций

**В. В. Цехановский**

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность темы.** В связи с развитием информационных технологий, мультимедиа и Интернет общения остро встал вопрос защиты авторских прав и интеллектуальной собственности, представленной в цифровом виде. Это тексты, фотографии, аудио и видеозаписи и др.. Преимущества, которые дают представление и передача сообщений в цифровом виде, могут оказаться перечеркнутыми легкостью, с которой возможно их воровство и компиляция. Поэтому разрабатываются различные методы аутентификации, идентификации (штрикодирование, РИН, ИНН, RFID и др.) информации для организационного и технического характера. Одно из наиболее эффективных технических средств защиты мультимедийной информации и заключается во встраивании в защищаемый объект невидимых меток - ЦВЗ. Разработки в этой области ведут крупнейшие фирмы во всем мире.

В растущем рынке развивающихся информационных, в том числе и Интернет технологий возникла и возможность, и потребность создания инфраструктуры, как распространения, так и контроля за авторскими правами, интеллектуальной собственности и юридическим сопровождением. Эта комплексная проблема последовательно привела к появлению IP – адресации, персональному идентификационному номеру PIN, штрикодированию, радиометкам (RFID) для транспортной логистики, защиты музейных коллекций, и к технологии микширования цифровых водяных знаков. Возникает задача формирования цифровой записи ЦВЗ и ее сокрытое внедрение в различные типы информационных носителей: книги, картины, аудио, видеосигналы и т.д.

В связи с этим в данной диссертационной работе поставлена и решается проблема разработки: цифрового метода, алгоритмов и программ формирования и адаптации ЦВЗ для микширования в аудиосигнал с целью хранения и распространения в мультимедийных технологиях в формате MP3 файла.

Заметим, что одновременно с задачей аутентификации (авторские права, PIN- код и др.) решается и задача идентификации, а также поиск звукового файла.

При использовании технологии цифровых водяных знаков файлы не шифруются и не защищаются от несанкционированного распространения. Однако она имеет юридическую силу и может применяться для определения имени владельца. Это позволяет проследить цепочку нелегальных распространителей песен до первоначального покупателя. Технология может использоваться и для прослеживания аудиофайлов с целью распределения авторских гонораров.

Трудность создания технологии цифровых водяных знаков для аудиофайлов заключается в том, что при их воспроизведении они не должны прослушиваться. Водяные знаки должны быть не только неслышными, но и пронизывающими весь звуковой файл таким образом, чтобы их нельзя было выявить и изменить, а также достаточно стойкими, чтобы выдерживать обычные изменения файла, такие как обработка алгоритмами компрессии.

Таким образом, актуальность исследования заключается в необходимости создания методов и программ, позволяющих создавать программы цифровых

построений ЦВЗ для защиты интеллектуальной собственности, дополнительных данных в массиве мультимедийных данных.

**Цель работы и задачи исследований.** Целью настоящей работы является исследование и анализ возможности микширования цифровых водяных знаков в мультимедийный файл без его существенного искажения и не прозрачности при восприятии человеком; исследование и разработка методов защиты авторских прав, интеллектуальной собственности информации; анализ существующих методических и теоретических аспектов цифровых водяных знаков, обеспечивающий анализ и обработку цифровой мультимедийной информации с целью микширования цифровых водяных знаков в звуковой файл, сохранность в формате MP3 и эффективная защита интеллектуальной собственности на объектах мультимедиа.

Для достижения поставленных целей необходимо решить следующие **задачи:**

1. Исследование и анализ акустической модели восприятия звука.
2. Разработка методов микширования разнотипных данных (текст, пектограмма, звук) в аудиосигнал.
3. Разработка алгоритмов и программ микширования ЦВЗ без искажения качества восприятия исходного сигнала.
4. Разработка алгоритма и программ обнаружения ЦВЗ (ключ – PIN) в формате MP3.
5. Составление программы экспериментальной оценки эффективности процедур микширования ЦВЗ в аудиосигнал.
6. Экспериментальная оценка разработанных алгоритмов и программ.

**Объект и методы исследований.** Объектом исследования является мультимедиа и цифровой аудиосигнал, акустическая модель слухового анализатора человека. Математические модели ЦВЗ. При решении задач, поставленных в диссертации, применялись разнообразные методы: аналого-цифровое преобразование, табличные формы вычислений, терминальные программы, акустическая модель слухового анализатора человека. Исследование отношения битовых программ ЦВЗ и аудиосигнала.

**Научная новизна работы** заключается в следующих основных результатах:

1. Построение ЦВЗ для различных типов информационных носителей.
2. Метод, алгоритм и программа построения ЦВЗ с адаптацией в MP3 файл.
3. Алгоритм и программа обнаружения ЦВЗ в файле MP3, без наличия оригинального аудиосигнала.

**Научные положения, выносимые на защиту:**

1. Метод, алгоритм и программа микширования различных типов ЦВЗ в звуковой файл «формат MP3».
2. Метод обработки и преобразования ЦВЗ.
3. Алгоритм и программа обнаружения ЦВЗ в исходном звуковом файле «формат MP3».

**Практическая значимость результатов работы** состоит в том, что разработанный алгоритмы и программы микширования различных видов ЦВЗ для защиты авторских прав, интеллектуальной собственности, дополнительных данных в массиве мультимедийных данных.

**Реализация и внедрение.** Результаты диссертационного исследования реализованы в виде ряда программных систем на MatLab. Данные программные системы используются для обеспечения уникальной идентификации (аутентификации) исходного сигнала с целью защиты интеллектуальной собственности.

**Апробация работы.** Основные теоретические и практические положения работы докладывались и обсуждались на:

- Международная конференция по компьютерной графике, машинному зрению, обработке изображений «International Conference on Graphics, Vision and Image Processing», Египет, 2005;
- X Санкт-Петербургская международная конференция «Региональная информатика-2006», Санкт-Петербург, Россия, 2006.
- Международная конференция по информационной системе и технологиям «International Conference on Web Information System and Technologies», Португалия, 2006;

**Публикации.** Основные теоретические и практические результаты диссертации опубликованы в 5 работах, среди которых публикации в ведущих рецензируемых изданиях, рекомендованных в действующем перечне ВАК 2 работы, а также материалы научно-технических и всероссийских конференций в количестве 3, перечисленных в конце автореферата.

**Структура и объем диссертационной работы.** Диссертация состоит из введения, 4 глав, заключения, излагается на 100 страницах, включая перечень используемой литературы из 66 наименований, 38 рисунков и 3 таблицы. Кроме того, в диссертации имеется приложение на 16 листах, содержащие в себе примеры работы разработанных программ, реализующих алгоритмы, описанные в диссертации.

## ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

**Во введении** обоснована актуальность темы диссертационного исследования, ее научное и практическое значение, определяется объект исследования, формулируются цели и задачи работы, обосновывается научная новизна и практическая значимость полученных результатов. Показано, что с развитием мультимедийных технологий возникли принципиально новые положения об организации нормативных актов, охране и управления интеллектуальной собственностью. Основой этих новых механизмов хранения информации, ее защиты и распространения служат цифровые идентифицирующие системы и цифровые коды. А в результате развития и совершенствования уже самих этих цифровых идентифицирующих систем создается глобальный мировой цифровой реестр интеллектуальной собственности. Отдельные задачи решаются использованием ЦВЗ и RFID.

**В первой главе** рассматриваются методы микширования как объект исследования: терминология, область применения ЦВЗ, методы встраивания и восстановления цифровых данных в массиве мультимедийных технологиях. Приводится классификация цифровых методов, а также математическая модель и приводятся некоторые практические способы микширования.

Одной из основных проблем в области цифровых информационных технологий является защиты интеллектуальной собственности, дополнительных данных в массиве мультимедийных данных и аутентификация (авторские права, PIN- код и др.).

Название этот метод получил от распространенного способа защиты ценных бумаг, в том числе и денег, от подделки. В отличие от обычных водяных знаков ЦВЗ могут быть не только видимыми, но и (как правило) невидимыми т.е. не прозрачны для восприятия человеком. Невидимые ЦВЗ анализируются специальной программой, которая выносит решение об их корректности. ЦВЗ могут включать аутентичные сведения, информацию о собственнике, либо иную информацию. Наиболее подходящими объектами защиты при помощи ЦВЗ являются неподвижные изображения, файлы аудио и видеоданных.

В настоящее время существуют многочисленные области применения цифровых методов ЦВЗ, четыре главных приложения: защита от копирования, доказательство аутентичности информации, а также возможность поиска по ключу (штрих кодирование). Большинство этих применений сосредотачивается на защите авторского права.

В данной работе на базе анализа открытых информационных источников рассматриваются возможности ЦВЗ применительно к проблеме защиты интеллектуальной собственности, аутентификации и доказательство аутентичности информации.

Теория шифрования и тайнопись лишь один из методов ЦВЗ как науки. ЦВЗ – быстро и динамично развивающаяся наука, использующая методы цифровой обработки сигналов, теории связи и информации. В настоящее время технология ЦВЗ находится в самой начальной стадии своего развития.

Так как ЦВЗ является молодой наукой, необходимо отметить, что в качестве данных, система ЦВЗ состоит из следующих основных элементов:

4. Контейнер – это любая информация, подлежащая передаче. В качестве сообщения может использоваться любой вид информации: текст, изображение, аудиосигналы.

5. ЦВЗ встроенные данные, которые микшируются в контейнер.

6. Канал передачи - транспортировка контейнера.

Для ЦВЗ можно дать следующую интерпретацию. Есть цифровые данные, которые необходимо микшировать в некоторый файл таким образом, чтобы после компьютерного восстановления исходного информационного содержания обеспечить недоступность восприятия ЦВЗ человеком.

Существует важнейшее требование микширования ЦВЗ в аудиосигнал: при микшировании ЦВЗ не должно вносить в сигнал искажения, воспринимаемые системой слуха человека; при этом, уничтожение ЦВЗ должно приводить к заметному повреждению контейнера. ЦВЗ не должна вносить заметных

изменений в статистику контейнера. При этом должна обеспечиваться устойчивость ЦВЗ к изменениям контейнера (сжатие, фильтрация, аналоговые и цифровые преобразования).

**Во второй главе** приводится обоснование проблемы исследования и формулировки цели и задач работы. Даются основные понятия микширования в массиве мультимедийных данных.

Основным требованием к методу микширования ЦВЗ была необходимость микшировать ЦВЗ в исходном файле таким образом, чтобы они являлись неотделимым от исходных данных, были при этом устойчивыми к операциям преобразования и атакам и не ухудшали исходный документ.

Как правило, системы ЦВЗ состоят, по крайней мере, из двух общих стандартных блоков:

1. система внедрения ЦВЗ (информация об авторском праве);
2. система восстановления ЦВЗ (идентификация владельца).

Микширование ЦВЗ требует трех функциональных компонентов: носителя информации для внедрения ЦВЗ, создания ЦВЗ, и технологии извлечения ЦВЗ.

Носитель информации - список элементов данных, отобранных из сигнала-контейнера, который модифицируется во время кодирования шумоподобной последовательности составляющей ЦВЗ. Шумоподобные сигналы генерируются псевдослучайно независимо от носителя. В идеальном случае, сигнал ЦВЗ должен иметь максимальную амплитуду, но которая все еще остается ниже уровня восприятия. Для того чтобы выполнить эти противоречивые условия сигнал ЦВЗ должен быть масштабирован и модулирован в зависимости от мощности носителя (контейнера)

На рисунке 1 показана основная схема микширования ЦВЗ, в которой водяной знак внедряется в звуковой файл. Из рисунка видно, что в общем случае системы ЦВЗ состоят, по крайней мере, из двух стандартных блоков:

1. система внедрения ЦВЗ (информация об авторском праве);
2. система обнаружения ЦВЗ (идентификация владельца).



Рис. 1. Система микширование ЦВЗ

Таким образом, система микширования ЦВЗ состоит из пяти элементов:  $\xi = \langle C, W, K, D_k, E_k \rangle$ , где  $C$  – множество возможных аудио контейнеров,  $W$  множе-

ство ЦВЗ с  $|C| \geq |W|$ ,  $K$  множество секретных ключей,  $E_k : C \times K \times W \rightarrow C$  функция встраивания и  $D_k : C \times K \rightarrow C$  функция восстановления, такая что  $D_k(E_k(c, k, w)k) = w$  при всех  $w \in W$ ,  $c \in C$  и  $k \in K$  называется моделью ЦВЗ.

**Третья глава** посвящена анализу прикладных возможностей данного метода. Приводится описание алгоритмов и программ, реализующих процесс микширования.

В предлагаемом методе используется акустическая модель восприятия звука в комбинации с прямой последовательностью и двоичной фазовой модуляции (BPSK). Этот метод ЦВЗ, обладает хорошей устойчивостью к атакам.

(текст, изображение,

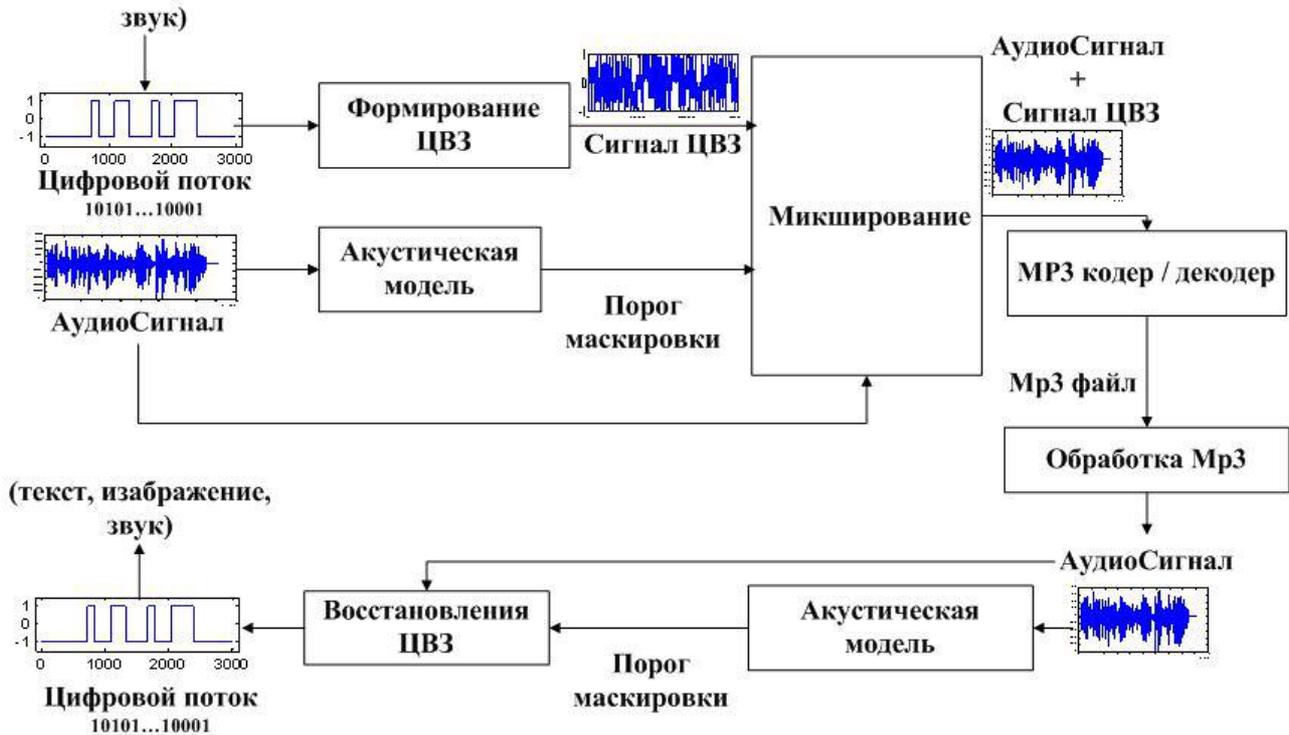


Рис. 2. Система микширования и восстановления ЦВЗ

Извлечение ЦВЗ происходит, так называемым, «слепым детектированием», т.е. не требуется наличие исходного MP3 файла. На рис. 2 показана схема системы внедрения ЦВЗ.

Так как в качестве контейнера ЦВЗ используется аудиосигнал и кодек формата MP3, то для разработки эффективной программы микширования ЦВЗ в контейнер, несущий контентекстную информацию (музыка, речь) следует учитывать специфическую особенность восприятия звука человеком. Алгоритм микширования водяных знаков в аудиосигнал, представленный в диссертации, соединяет акустическую модель и метод расширения спектра. Он состоит из двух основных этапов: первый - образование и микширование водяных знаков и второй - восстановление водяных знаков.

Акустика - наука о восприятии звука человеческим ухом - ключ к технологии MP3. Чем лучше алгоритм MP3-кодирования учитывает принципы психоакустики, тем точнее сжатый цифровой файл в формате MP3 отражает ори-

гигант (тем выше скорость потока данных и тем выше качество звука). Два важнейших акустических эффекта - это порог слышимости и маскировка.

Рис. 3 иллюстрирует порог слышимости. Области 1 и 2 не воспринимаются человеком, область 3, 4, 5 диапазон восприятия человека. Поэтому этот частотный диапазон (от 2 до 4 кГц) представляет наибольшие трудности, при кодировании в MP3 часто появляются нежелательные шумы (артефакты).

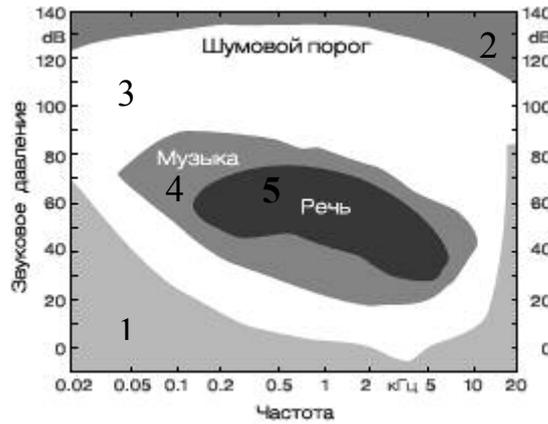


Рис. 3. Человеческое ухо не слышит звуков, соответствующих 1 и 2 областям.

Второй термин - маскировка - касается ситуации, когда тихий звук накладывается на громкий. Эта ситуация показана на рис. 4: короткий громкий звук треугольника на некоторое время заглушает (маскирует) более тихий и продолжительный звук струнных. С точки зрения слушателя это означает, что на короткий момент времени струнные не слышны за более громким звуком треугольника.

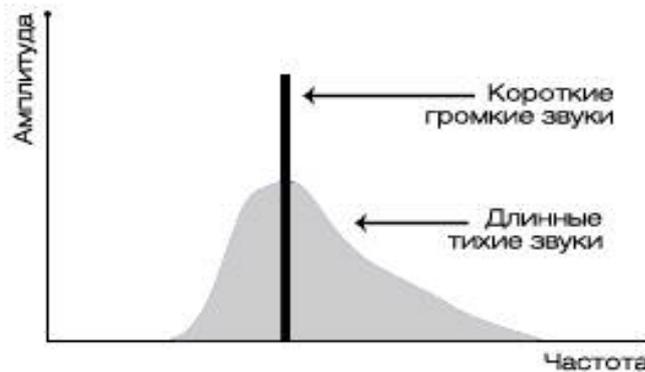


Рис. 4. Психоакустический эффект маскировки: короткий громкий звук заглушает (маскирует) тихие звуки и делает их учет ненужным.

Гармонические звуки связаны друг с другом арифметической зависимостью. Составляющие тона Шепарда связаны геометрической зависимостью.

Слуховой парадокс создаваемый тоном Шепарда, следует из функции Вейерштрасса, которая обладает свойством самоподобия. И ее корреляционная функция инвариантна к сдвигу. Функция Вейерштрасса имеет вид:

$$\omega(t) = \sum_{k=0}^{\infty} \alpha^k \cos(\beta^k t) \quad (1)$$

где  $\alpha$  – вещественное, а  $\beta$  – нечетное.

Водяные знаки представленные в диссертации – это аудио сигнал, полученный методом расширения спектра цифрового потока двоичных сигналов. Входящий аудио сигнал (т.е. музыка) анализируется с помощью акустической модели для того, что бы выявить окончательный порог маскирования. Затем эта информация используется для формирования и внедрения водяного знака в аудио сигнал, сохраняя качество восприятия. Предполагается, что все аудио сигналы должны быть представлены в одном цифровом формате (т.е. PCM).

При обработке ЦВЗ используется кодовая прямая последовательность и двоичная фазовая модуляция (BPSK). Таким образом, сигнал ЦВЗ будет устойчивым к удалением некоторых фрагментов. Алгоритм создания ЦВЗ представлен на рис. 4. Основная его задача состоит в преобразовании битового потока ЦВЗ в поток аудио данных  $x(t)$ .

(текст, изображение, звук)



Рис. 5. Алгоритм создания ЦВЗ

Обозначения:  $\{w\}$  – бит ЦВЗ;  $\{w_R\}$  – ЦВЗ после кодирования повторения;  $I, H$  – размерность матрицы смешивания;  $\{заголовок\}$  – заголовок последовательности;  $\{d\} = \{заголовок\} + \{w_1\}$  – последовательность бит для последующего расширения и передачи.

Для повышения устойчивости к воздействиям на ЦВЗ, могут применяться помехоустойчивые коды, например, коды повторения. Коды повторяют каждый бит  $a$  из сообщения  $d$   $m$  раз.

Например, пусть имеем код повторения (3,1), тогда, кодируя сигнал  $\{w\}$ , получим:

$$\{w\} = \{ 1 \quad 1 \quad -1 \quad 1 \quad -1 \quad -1 \quad 1 \quad -1 \mid 1 \quad 1 \quad -1 \quad 1 \quad 1 \quad 1 \quad -1 \quad -1 \}$$

$$\{w_R\} = \left\{ \begin{array}{cccc|cccc|cccc|cccc} 1 & 1 & 1 & & 1 & 1 & 1 & & -1 & -1 & -1 & & 1 & 1 & 1 & \\ -1 & -1 & -1 & & -1 & -1 & -1 & & 1 & 1 & 1 & & -1 & -1 & -1 & \\ & 1 & 1 & 1 & & 1 & 1 & 1 & & -1 & -1 & -1 & & 1 & 1 & 1 & \\ & 1 & 1 & 1 & & 1 & 1 & 1 & & -1 & -1 & -1 & & -1 & -1 & -1 & \end{array} \right\}$$

Уровень защиты от импульсных помех повышается при использовании побитового перемешивания, так как это позволяет обеспечить независимость от влияния серии ошибок попадающих на один и тот же блок. При этом все символы образуют матрицу, в которой информационные символы образует колонки, а передача идет по строкам матрицы. Если закодированный символ последовательности представить в виде  $\{w_c\} = x_1, x_2, x_3 \dots x_n$ , то эта же последовательность после перемешивания бит становится  $\{w_l\} = x_1, x_6, x_{11}, \dots$ , для  $I = 5$  и  $H = 15$ . Матрица перемешивания с глубиной  $I = 5$  и длиной  $H = 15$ , показана на рисунке 4.

|          |          |          |          |          |
|----------|----------|----------|----------|----------|
| $X_1$    | $X_{16}$ | $X_{31}$ | $X_{46}$ | $X_{61}$ |
| $X_2$    | $X_{17}$ | $X_{32}$ | $X_{47}$ | $X_{62}$ |
| $X_3$    | $X_{18}$ | $X_{33}$ | $X_{48}$ | $X_{63}$ |
| $X_4$    | $X_{19}$ | $X_{34}$ | $X_{49}$ | $X_{64}$ |
| $X_5$    | $X_{20}$ | $X_{35}$ | $X_{50}$ | $X_{65}$ |
| $X_6$    | $X_{21}$ | $X_{36}$ | $X_{51}$ | $X_{66}$ |
| $X_7$    | $X_{22}$ | $X_{37}$ | $X_{52}$ | $X_{67}$ |
| $X_8$    | $X_{23}$ | $X_{38}$ | $X_{53}$ | $X_{68}$ |
| $X_9$    | $X_{24}$ | $X_{39}$ | $X_{54}$ | $X_{69}$ |
| $X_{10}$ | $X_{25}$ | $X_{40}$ | $X_{55}$ | $X_{70}$ |
| $X_{11}$ | $X_{26}$ | $X_{41}$ | $X_{56}$ | $X_{71}$ |
| $X_{12}$ | $X_{27}$ | $X_{42}$ | $X_{57}$ | $X_{72}$ |
| $X_{13}$ | $X_{28}$ | $X_{43}$ | $X_{58}$ | $X_{73}$ |
| $X_{14}$ | $X_{29}$ | $X_{44}$ | $X_{59}$ | $X_{74}$ |
| $X_{15}$ | $X_{30}$ | $X_{45}$ | $X_{60}$ | $X_{75}$ |

|    |    |    |    |    |
|----|----|----|----|----|
| 1  | 1  | 1  | -1 | 1  |
| 1  | 1  | -1 | -1 | 1  |
| 1  | -1 | -1 | -1 | -1 |
| 1  | -1 | -1 | 1  | -1 |
| 1  | -1 | 1  | 1  | -1 |
| 1  | -1 | 1  | 1  | -1 |
| -1 | -1 | 1  | 1  | -1 |
| -1 | -1 | 1  | 1  | -1 |
| -1 | 1  | 1  | 1  | 1  |
| 1  | 1  | 1  | 1  | 1  |

Рис. 6. Матрица перемешивания

$$\{w_l\} = \left\{ \begin{array}{cccccccccccc} 1 & 1 & 1 & -1 & 1 & 1 & 1 & -1 & -1 & 1 & 1 & -1 \\ -1 & -1 & -1 & 1 & -1 & -1 & 1 & -1 & 1 & -1 & 1 & 1 \\ -1 & 1 & -1 & 1 & 1 & -1 & -1 & -1 & 1 & 1 & -1 & -1 \\ -1 & 1 & 1 & -1 & -1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ & 1 & 1 & & & & & & & & & \end{array} \right\}$$

Выделенный заголовок обычно является последовательностью единиц.  
 $\{\text{заголовок}\} = \{ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \}$

Конечная последовательность данных  $\{d\}$  получена, путем объединения  $\{\text{заголовок}\}$  и  $\{w_l\}$ :

$$\{d\} = \{\text{заголовок}\} + \{w_l\} \quad (2)$$

$$\{d\} = \left\{ \begin{array}{cccccccccccc} 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & -1 & 1 & 1 & 1 & -1 & -1 & 1 & 1 & -1 & -1 & -1 \\ -1 & 1 & -1 & -1 & 1 & -1 & 1 & -1 & 1 & 1 & -1 & 1 \\ -1 & 1 & 1 & -1 & -1 & -1 & 1 & 1 & -1 & -1 & -1 & 1 \\ 1 & -1 & -1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \end{array} \right\}$$

После чего проводится модуляция:

$$s(t) = d(t)\sqrt{2S} \cos(\omega t) \quad (3)$$

Расширенный спектр получается в результате смешивания информационного потока с PN (псевдошумовым). В результате этого смешивания получается PN-сигнал.

$$x(t) = c(t)s(t) \quad (4)$$

$$\{c\} = \{ 1 \ -1 \ 1 \ 1 \ -1 \ -1 \ 1 \ -1 \ 1 \ 1 \ -1 \ 1 \ \dots \}$$

На Рис. 5 представлен сигнал после прохождения определенных этапов алгоритма.

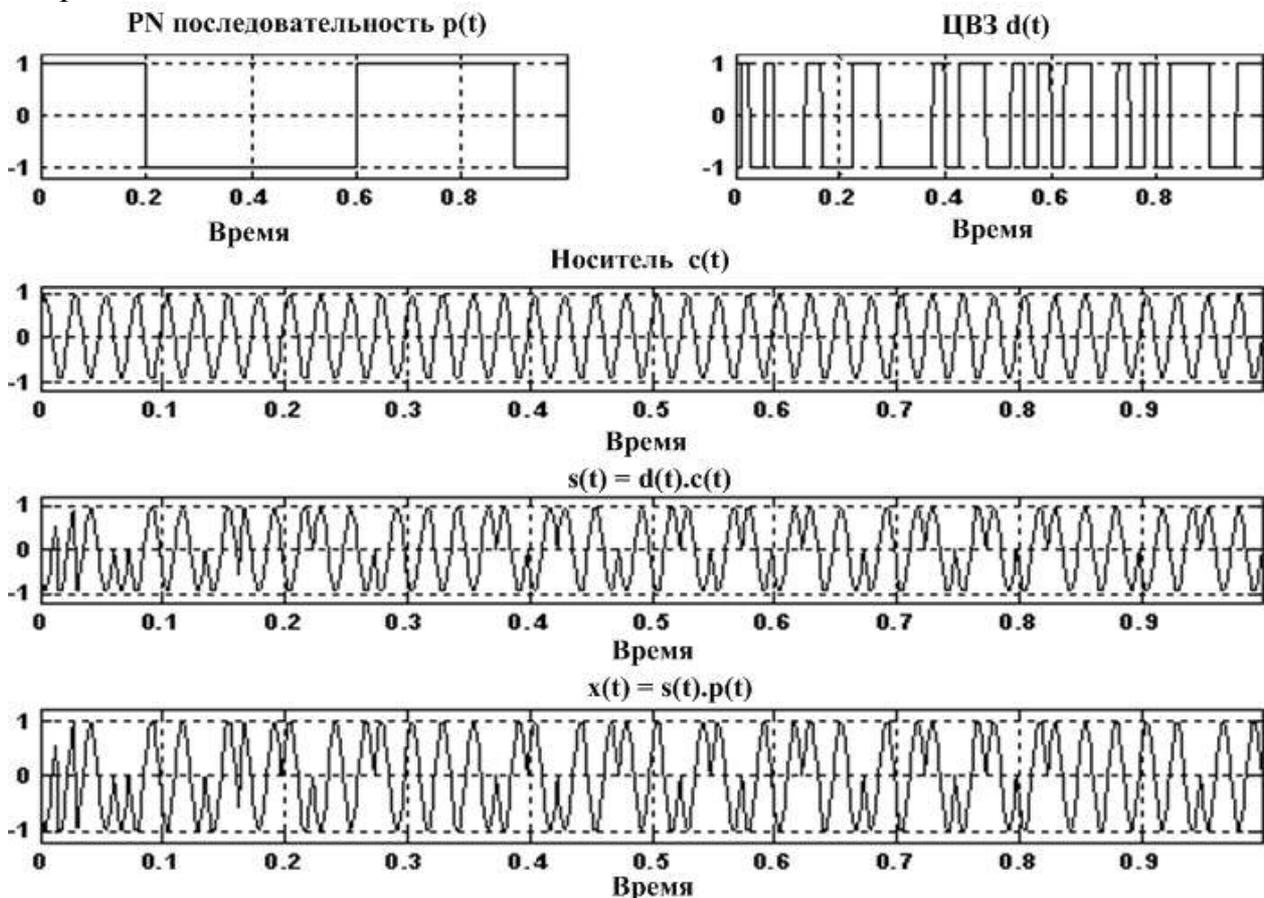


Рис. 7. Этапы создания сигнала ЦВЗ.

Суть преобразования аналогового сигнала в цифровой поток MP3 состоит в отфильтровывании ненужной информации. Звуки, которые человеческое ухо не слышит или почти не слышит, отбрасываются.

Акустическая модель слуха представленная на рис. 6, позволяет с высоким качеством производить компрессию сигнала с потерей информации за счет

того, что позволяет определить, что можно безопасно удалить из исходного звукового сигнала и при этом значительно не ухудшить его качество.

Порог слышимости и маскировка. Порог слышимости  $T(Z)$  используется для определения мест встраивания ЦВЗ в «свободные участки» частотного спектра исходного сигнала. Звуки, которые человеческое ухо не слышит или почти не слышит.



Рис. 8. Акустическая модель слуха представленная.

Для этого  $T(z)$  сравнивается со значениями спектра мощности сигнала  $S_p(j\omega)$ . Компоненты с уровнем ниже порога  $T(z)$  считаются маскированными для человеческого слуха и удаляются из частотного спектра исходного сигнала  $Sw(j\omega)$ . Тогда ненужные компоненты ЦВЗ  $Xw(j\omega)$  могут быть удалены. Эти компоненты соответствуют оставшимся компонентам в  $Sw(j\omega)$ . Тогда  $Sw(j\omega)$ ,  $Xw(j\omega)$  модифицируется следующим образом:

$$Sw_{new_i}(j\omega) = \begin{cases} Sw_i(j\omega) & Sp_i(j\omega) \geq T(z) \\ 0 & Sp_i(j\omega) < T(z) \end{cases} \quad (5)$$

$$X_{wnew}_i(j\omega) = \begin{cases} 0 & Sp_i(j\omega) \geq T(z) \\ X_{w_i}(j\omega) & Sp_i(j\omega) < T(z) \end{cases} \quad (6)$$

где  $i = 1, 2, \dots$  номер компоненты спектра,  $z, \omega$  — значения соответствующие  $i$ -й компоненте.

Компоненты  $X_{wnew}(j\omega)$  сформированы так, чтобы остаться ниже заключительного маскирующего порога. Значение фактора  $F_z$  вычисляется по формуле:

$$F_z = \frac{\sqrt{T(z)}}{\max(|X_{wnew}(j\omega)|)} \quad (7)$$

Для формирования ЦВЗ  $X_{final}(j\omega)$ , вычисленное новое значение  $F_z$  умножается на соответствующий компонент  $X_{wnew}(j\omega)$ . Выходной сигнал  $output(j\omega)$  получается суммированием  $S_{wnew}(j\omega)$  и  $X_{final}$ .

Для восстановления ЦВЗ разработанным методом не требуется наличие исходного MP3 файла. Рис. 7 демонстрирует основные шаги алгоритма восстановления.

При восстановлении ЦВЗ используется психоакустическая модель восприятия звука человеком, но в этом случае цель состоит в том, чтобы удалить все звуковые компоненты, которые имеют меньше вероятности принадлежать к сигналу ЦВЗ. Это означает, что сначала вычисляется значение порога маскирования  $T(z)$ , которое сравнивается со значениями спектра мощности входного сигнала. Все компоненты спектра частот с уровнем выше порога  $T(z)$ , удаляются. Оставшиеся компоненты преобразуются обратно во временную область  $r(t)$ . Полученные значения анализируются на предмет наличия в них ЦВЗ.

По имеющемуся заголовку битовой последовательности, получатель находит начало сигнала ЦВЗ. Далее, методом DS / BFSK генерируется сигнал  $header(t)$ , используемый для определения точных позиции сигналов ЦВЗ в сигнале  $r(t)$ . Для обнаружения  $header(t)$  в потоке данных  $r(t)$  используются адаптивные фильтры высокого разрешения.

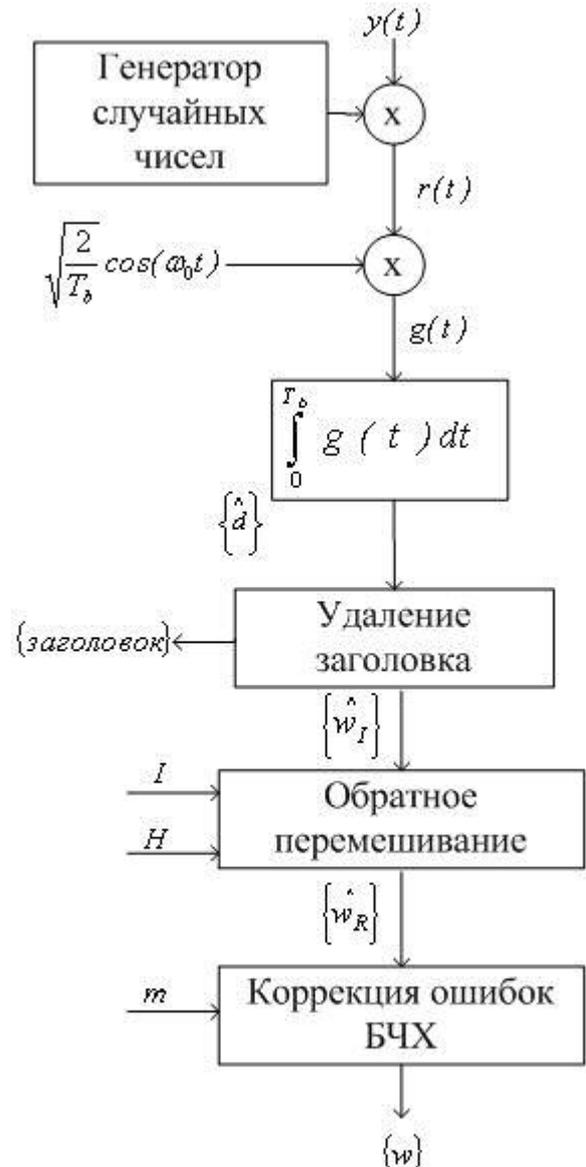


Рис. 8. Алгоритм восстановления ЦВЗ

После того, как заголовок последовательности обнаружен, производится синхронизация и извлечение ЦВЗ.

Синхронизация и извлечение ЦВЗ происходит следующим образом. Демодуляция  $r(t)$  по формуле:

$$g(t) = r(t) \sqrt{\frac{2}{T_b}} \cos(2\pi f_0 t) \quad (8)$$

Оценка двоичных данных представлена в виде:

$$r_i = \int_{(i-1)T_s}^{iT_s} g(t) dt \quad (9)$$

Где  $i = 1, 2, \dots, N$ ,  $N$  :

Отображение  $r_1, \dots, r_n \rightarrow \{-1, 1\}$  определяется следующим образом:

$$\hat{d} = \begin{cases} 1 & ,if \quad r_i > 0 \\ -1 & ,if \quad r_i \leq 0 \end{cases} \quad (10)$$

Затем {заголовок} удаляется из  $\{\hat{d}\}$ , в результате чего получается поток двоичных сигналов  $\{\hat{w}_l\}$ , который снова перемешивается в обратном порядке с использованием матрицы в генерации.

В конце проводится расшифровка кода повторения  $m$ .

$$\hat{w}_R = \begin{cases} 1 & \sum_{i=1}^m \hat{w}_{Ri} > 0 \\ 0 & \sum_{i=1}^m \hat{w}_{Ri} \leq 0 \end{cases} \quad (11)$$

Полученная в конечном результате последовательность  $\hat{w}_R$  является восстановленными водяными знаками.

**Четвертая глава** посвящена разработке и экспериментальному исследованию микширования ЦВЗ без искажения качества восприятия исходного сигнала. Также в данной главе представлены результаты экспериментальных исследований разработанных в диссертационной работе метода и программ микширования ЦВЗ на аудиосигнале.

Также в данной главе представлены результаты экспериментальных исследований разработанных в диссертационной работе метод и алгоритмов микширования различных видов ЦВЗ в звуковой файл.

При испытании, предложенный метод встраивания и извлечения ЦВЗ в звуковые файлы формата MP3, показал высокую точность обнаружения ЦВЗ даже после кодирования в формат MP3 с различной степенью качества (-2 dB, -4 dB, -6 dB и -8 dB) и применения основных способов искажения сигнала (Таблица 1). Пояснения к таблице:

- %бит – процент битов используемых при восстановлении ЦВЗ;
- об.- объем ЦВЗ в байтах;

– объем исходного сигнала 2мб.

Таким образом, предложенный метод ЦВЗ может быть использован для защиты авторских прав, интеллектуальной собственности информации.

В приложении приведены фрагменты программ на пакете MatLab, реализующие предлагаемой системы.

Таблица 1.

Эффективность системы, 1 – 10 текст ЦВЗ, 11 – 20 пиктограмма ЦВЗ, 21 – 35 звук ЦВЗ.

| ЦВЗ № | степень сжатия |        |        |        |        |        |        |        |
|-------|----------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
|       | -2 db          |        | -4 db  |        | -6 db  |        | -8 db  |        |
|       | об.            | %бит   | об.    | %бит   | об.    | %бит   | об.    | %бит   |
| 1     | 4306           | 100.00 | 4306   | 98.21  | 4306   | 100.00 | 4306   | 98.21  |
| 2     | 43218          | 100.00 | 43218  | 100.00 | 16478  | 60.71  | 16478  | 64.29  |
| 3     | 82130          | 100.00 | 82130  | 98.21  | 43218  | 100.00 | 43218  | 98.21  |
| 4     | 121040         | 100.00 | 121040 | 100.00 | 82130  | 100.00 | 82130  | 100.00 |
| 5     | 142210         | 58.93  | 142210 | 53.57  | 121040 | 100.00 | 121040 | 100.00 |
| 6     | 159950         | 100.00 | 159950 | 100.00 | 142210 | 53.57  | 142210 | 51.79  |
| 7     | 188970         | 50.00  | 188970 | 51.79  | 159950 | 100.00 | 159950 | 100.00 |
| 8     | 198870         | 100.00 | 198870 | 100.00 | 188970 | 64.29  | 188970 | 57.14  |
| 9     | 220030         | 46.43  | 220030 | 44.64  | 198870 | 98.21  | 198870 | 100.00 |
| 10    | 237780         | 92.86  | 237780 | 89.29  | 220030 | 44.64  | 220030 | 50.00  |
| 11    | 255120         | 51.79  | 258500 | 58.93  | 237780 | 91.07  | 237780 | 85.71  |
| 12    | 276690         | 100.00 | 276690 | 100.00 | 258500 | 64.29  | 258500 | 62.50  |
| 13    | 287270         | 46.43  | 287270 | 58.93  | 276690 | 100.00 | 276690 | 94.64  |
| 14    | 315600         | 91.07  | 315600 | 91.07  | 287270 | 42.86  | 299100 | 44.64  |
| 15    | 339490         | 55.36  | 339490 | 51.79  | 315600 | 87.50  | 315600 | 83.93  |
| 16    | 354510         | 100.00 | 354510 | 98.21  | 339490 | 50.00  | 339490 | 55.36  |
| 17    | 380360         | 51.79  | 380360 | 39.29  | 354510 | 96.43  | 354510 | 94.64  |
| 18    | 393430         | 100.00 | 393430 | 98.21  | 378980 | 60.71  | 379920 | 44.64  |
| 19    | 412830         | 51.79  | 412830 | 57.14  | 393430 | 98.21  | 393430 | 96.43  |
| 20    | 432340         | 100.00 | 432340 | 67.86  | 412830 | 46.43  | 412390 | 55.36  |
| 21    | 447770         | 55.36  | 447770 | 51.79  | 432340 | 96.43  | 412830 | 46.43  |
| 22    | 471250         | 96.43  | 471250 | 96.43  | 447770 | 55.36  | 432330 | 51.79  |
| 23    | 510160         | 87.50  | 510160 | 82.14  | 471250 | 94.64  | 448270 | 50.00  |
| 24    | 549070         | 100.00 | 549070 | 98.21  | 510160 | 83.93  | 471250 | 89.29  |
| 25    | 570240         | 51.79  | 570240 | 48.21  | 535240 | 50.00  | 510160 | 78.57  |
| 26    | 587990         | 92.86  | 587990 | 91.07  | 549070 | 98.21  | 549070 | 91.07  |
| 27    | 610400         | 44.64  | 610400 | 42.86  | 570240 | 53.57  | 570240 | 48.21  |
| 28    | 626900         | 98.21  | 626900 | 98.21  | 587990 | 87.50  | 587990 | 83.93  |
| 29    | 637480         | 60.71  | 637480 | 62.50  | 610400 | 44.64  | 610400 | 46.43  |
| 30    | 665810         | 94.64  | 665810 | 92.86  | 626900 | 98.21  | 626900 | 96.43  |
| 31    | 704720         | 100.00 | 704720 | 98.21  | 637480 | 48.21  | 637020 | 53.57  |
| 32    | 730120         | 62.50  | 730120 | 55.36  | 665810 | 92.86  | 665810 | 89.29  |
| 33    | 743630         | 98.21  | 743630 | 96.43  | 704720 | 96.43  | 704720 | 94.64  |
| 34    | 771540         | 48.21  | 771540 | 51.79  | 730120 | 50.00  | 714440 | 58.93  |
| 35    | 782550         | 92.86  | 782550 | 91.07  | 743630 | 91.07  | 743630 | 94.64  |

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

**Основные результаты диссертационной работы** сводятся к следующему:

- 1- Разработаны: метод, алгоритм и программы микширования ЦВЗ в аудиосигнал без его существенного искажения и не прозрачности при восприятии человеком для защиты авторских прав, интеллектуальной собственности;
- 2- Предложен метод и алгоритм создания различных типов ЦВЗ.
- 3- Предложен метод и алгоритм извлечения ЦВЗ.
- 4- Разработана программа встраивания ЦВЗ.
- 5- Разработано программное обеспечение оценки качества ЦВЗ.
- 6- Проведена экспериментальная апробация микширования ЦВЗ.

**Основные результаты диссертации** опубликованы в следующих работах:

Публикации в изданиях, рекомендованных ВАК России:

- 1- Альхрейсат Хабес. Соккрытие Информации внутри WAV-Файлов: Применение, Анализ, и Оценка// Известия СПбГЭТУ «ЛЭТИ» (Известия Санкт-Петербургского Государственного электротехнического университета), серия «Информатика, управление и компьютерные технологии», – 2006. – Вып. 3. – С.48-56.
- 2- Альхрейсат, Х. Метод встраивания цифровых водяных знаков в звуковые файлы формата MP3 / Х. Альхрейсат, П. П. Кокорин // Изв. Вузов. Приборостроение. 2007. – Т.50, №10. – С.13-16.

В других изданиях:

- 3- Alkhraisat, Habes. Information Hiding in BMP image Implementation, Analysis and Evaluation (Микширования информации в BMP-Файлов: Применение, Анализ, и Оценка) // Информационные процессы. – 2006, – М. –ISSN: 1819-5822. –Т. 6, № 1. – С. 1-10.
- 4- Alkhraisat, Habes. Hiding Information in Wav-File - Implementation, Analysis and Evaluation (Микширование информации в звуковые файлы используют акустическую модель и метод расширения спектра) // 2nd International Conference on Web Information System and Technologies (WEBIST). Portugal. April 2006, pp. 274 – 281. – ISBN 978-972-8865-46-7.
- 5- Alkhraisat M. M Habes. 4 least Significant Bits Information Hiding Implementation and Analysis (Применение, Анализ, и Оценка методов микширования информации) // ICGST International Conference on Graphics, Vision and Image Processing. Cairo, Egypt, 2005, P.89-94. – ISSN: 1687-398X