

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
**«БЕЛГОРОДСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ
ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**
(Н И У « Б е л Г У »)

ИНСТИТУТ ИНЖЕНЕРНЫХ И ЦИФРОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ
КАФЕДРА ИНФОРМАЦИОННО-ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННЫХ
СИСТЕМ И ТЕХНОЛОГИЙ

**ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ЭМОЦИОНАЛЬНОГО
СОСТОЯНИЯ ЧЕЛОВЕКА НА ХАРАКТЕРИСТИКИ РЕЧЕВОГО
СИГНАЛА**

Выпускная квалификационная работа
обучающейся по направлению подготовки 11.03.02
Инфокоммуникационные технологии и системы связи
очной формы обучения, группы 12001511
Соколовой Валерии Сергеевны

Научный руководитель
доцент, канд. техн. наук, доцент
кафедры
Информационно-
телекоммуникационных
систем и технологий,
НИУ «БелГУ» Прохоренко Е.И.

Рецензент
Ведущий инженер электросвязи
участка систем коммутации №1
Белгородского филиала
ПАО «Ростелеком» Уманец С.В.

БЕЛГОРОД 2019

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	3
1 ХАРАКТЕРИСТИКИ РЕЧЕВОГО СИГНАЛА, ВЛИЯЮЩИЕ НА ЭМОЦИОНАЛЬНОЕ СОСТОЯНИЕ ЧЕЛОВЕКА	4
1.1 Эмоциональные состояния человека.....	4
1.2 Свойства речевого сигнала.....	5
1.3 Признаки эмоционально окрашенной речи	9
1.4 Влияния ЭОР в различных сферах деятельности	10
2 РАЗРАБОТКА МЕТОДА И АЛГОРИТМА АНАЛИЗА ЧАСТОТНО-ВРЕМЕННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК РЕЧЕВОГО СИГНАЛА	14
2.1 Математическая модель.....	14
2.2 Программная реализация.....	21
3 РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ.....	30
3.1 Подготовка речевых данных	30
3.2 Исследование спектрального состава речевого сигнала	32
3.3 Сравнение концентрации энергии	33
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	38
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ.....	40
ПРИЛОЖЕНИЕ А	43

					11120005.11.03.02.769.ПЗВКР			
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	Исследование влияния эмоционального состояния человека на характеристики речевого сигнала	Лит.	Лист	Листов
Разраб.		Соколова В.С.					2	42
Провер.		Прохоренко Е.И				<i>НИУ«БелГУ»</i> гр.12001511		
Рецензент		Уманец С.В.						
Н.Контроль		Прохоренко Е.И						
Утвердил		Жиляков Е.Г.						

ВВЕДЕНИЕ

Восприятие окружающего мира и принятие решений человеком отчасти зависит от его эмоционального состояния. Наряду с невербальными признаками для оценки эмоционального состояния используют устную речь. Это особенно актуально при обмене информацией в виртуальных телекоммуникациях.

Для верного восприятия смысла сообщения и оценки предполагаемой реакции человек анализирует не только смысловые единицы – звуки, но и неречевую информацию, извлекаемую из устной речи. Изучение различных видов неречевой информации, в частности, её акустических характеристик, идентифицирующих эмоциональное содержание, часто используется для автоматического осознания смысла производимых фраз и принятия решений.

Взаимосвязь акустических характеристик с эмоциональным содержанием речи интересна и в теоретическом плане, и для решения различных прикладных задач. Задачей может быть определение объективного состояния человека по звучанию его голоса. Это имеет применение в различных сферах деятельности, например, в психологии, в маркетинговом бизнесе, в криминалистике, в медицине [10].

Целью работы является исследование частотно-временных характеристик, определяющих эмоциональное состояние диктора.

Задачи исследования:

1. Проанализировать характеристики и признаки речевого сигнала.
2. Изучить характеристики речи, характеризующие эмоциональное состояние.
3. Разработать на основе полученных исследований программное решение, позволяющее определять эмоциональное состояние.

									Лист
									3
Изм.	Лист	№ докум	Подпись	Дата	11120005.11.03.02.769.ПЗВКР				

1 ХАРАКТЕРИСТИКИ РЕЧЕВОГО СИГНАЛА, ВЛИЯЮЩИЕ НА ЭМОЦИОНАЛЬНОЕ СОСТОЯНИЕ ЧЕЛОВЕКА

1.1 Эмоциональные состояния человека

Эмоций существует множество, но для более узконаправленных исследований есть термин «базовая эмоция». Математической составляющей базовой эмоции является нахождение базиса векторного пространства.

Если раньше количество базовых эмоций составляло меньше 10, их число увеличивалось с каждым годом и в современных исследованиях их число насчитывает примерно 20 [3]. Для примера можно привести десять базовых эмоций, таких как: радость, удивление, интерес, печаль, гнев, отвращение, презрение, стыд, вина, страх. У базовых эмоций есть критерии, которые приведены ниже:

- Базовая эмоция определяется мимикой лица;
- Базовая эмоция осознается человеком;
- Базовые эмоции появились в результате эволюции и течения биологических процессов;
- Базовая эмоция служит для адаптации человека.



Рисунок 1.1 – Эмоции человека

Исследования в области эмоциональной речи направлены на то, что основные эмоции являются частью базовых.

Для того, чтобы охарактеризовать эмоциональное состояние, есть важная задача – идентификация. Составляющей этой задачи является речь. Речь богата множеством акустических характеристик, которые содержат основную информацию, относящуюся к эмоциональному состоянию. В речи также есть параметры, которые важны для определения эмоциональной окраски, но они до сих пор тщательно не изучены. Это происходит в связи со сложностями в технической части, а не теоретической.

1.2 Свойства речевого сигнала

Речевой сигнал имеет различные определения, но в телекоммуникационных системах это процесс, который служит средством передачи речевого сообщения. Процессы передачи могут быть различными, как, например, акустические, механические, электрические и другие. Рассмотрим процесс формирования речевых сигналов. В первую очередь, в мозге человека создаётся речевое сообщение, которое превращается в сигналы нервной системы. Далее эти сигналы управляют движением органов речи человека, которые формируют речевые сигналы в речеобразующем тракте, (рисунок 1.2) состоящем из различных частей, которые изменяются с течением времени.

						Лист
					11120005.11.03.02.769.ПЗВКР	5
Изм.	Лист	№ докум	Подпись	Дата		

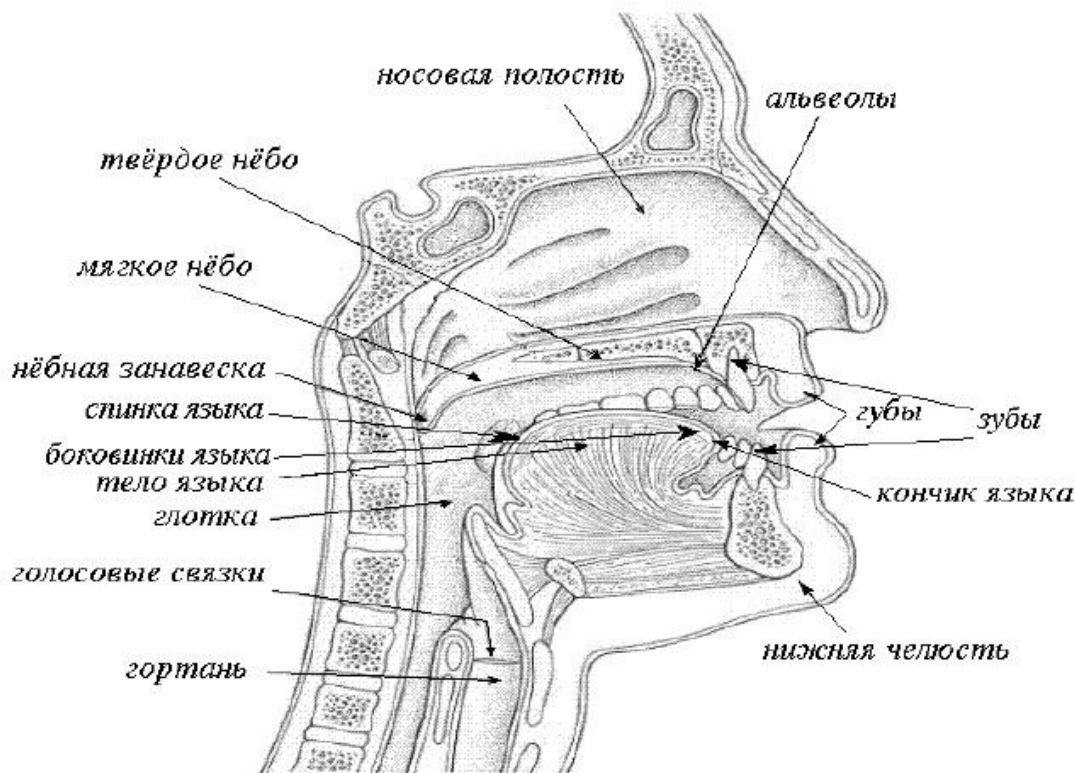


Рисунок 1.2 – Речеобразующий тракт

Колебания этих частей порождают акустическую волну. Впоследствии сигналы, которые получены в результате вышеперечисленных взаимодействий, передаются в окружающую среду, проходя сквозь речевой тракт и на выходе получается акустический сигнал. Так как рассматривается телекоммуникационная система, то возможно преобразовать эти акустические сигналы в электрические. С электрическим сигналом можно проводить уже другие преобразования, к примеру, усиление. Для обработки сигнала при усилении используется электроакустический преобразователь. Чтобы изменить форму сигнала, существуют различные преобразования:

- Модуляция
- Демодуляция
- Квантование
- Кодирование
- Компандирование.

Изм.	Лист	№ докум	Подпись	Дата

После этих преобразований сигнал всё ещё акустический, но может оставаться цифровым для, например, распознавания речи. Когда акустический сигнал воздействует на барабанную перепонку, он превращается в механический сигнал, а уже во внутреннем ухе преобразовывается в сигнал нервной системы. Далее сигнал распознаётся в центральной нервной системе и в итоге воспроизводится изначальное сообщение. Это сообщение может различаться с исходным сообщением из-за искажений в системах связи [8].

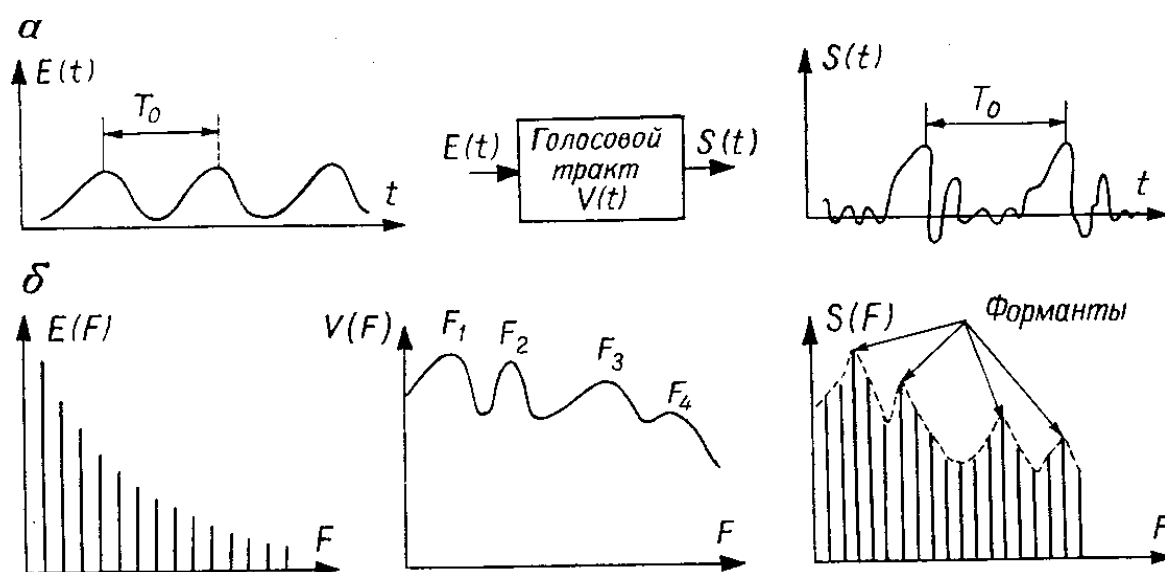


Рисунок 1.3 – Речевой сигнал в а) временной и б) спектральной областях

У звуковой волны может быть различная частота, но человеком воспринимаются частоты от 16 до 20000 Герц при передаче звуковых колебаний по воздуху и до 22000 Герц при передаче звука по костям черепа. Эти колебания имеют важное биологическое значение. Звуковые волны в диапазоне 300—4000 Гц соответствуют человеческому голосу. Звуки больше 20 кГц незначительны, так как быстро тормозятся. Также колебания ниже 60 Герц воспринимаются благодаря вибрационному чувству. Высокие частоты называются ультразвуком, а низкие — инфразвуком [9].

В телекоммуникационных системах передача речевых сообщений реализуется посредством представления сигнала в цифровом виде, последующей обработки и передачи по каналу связи полученного

электрического колебания из речевого сигнала. Речевой сигнал представлен в виде колебаний сложной формы, зависящих от слов, тембра, интонации, пола, настроения, возраста диктора. Кроме звукового диапазона, есть частотный диапазон – полоса частот, которую занимает речевой сигнал. Его величина от 100 до 8 кГц, но в соответствии с рекомендациями Международного консультационного комитета по телефонии и телеграфии (МККТТ) при преобразовании и обработке сигнала ограничиваются полосой от 0,3 до 3,4 кГц.

На рисунке 1.3 приведены области слухового восприятия, в том числе соответствующие речи и музыке:

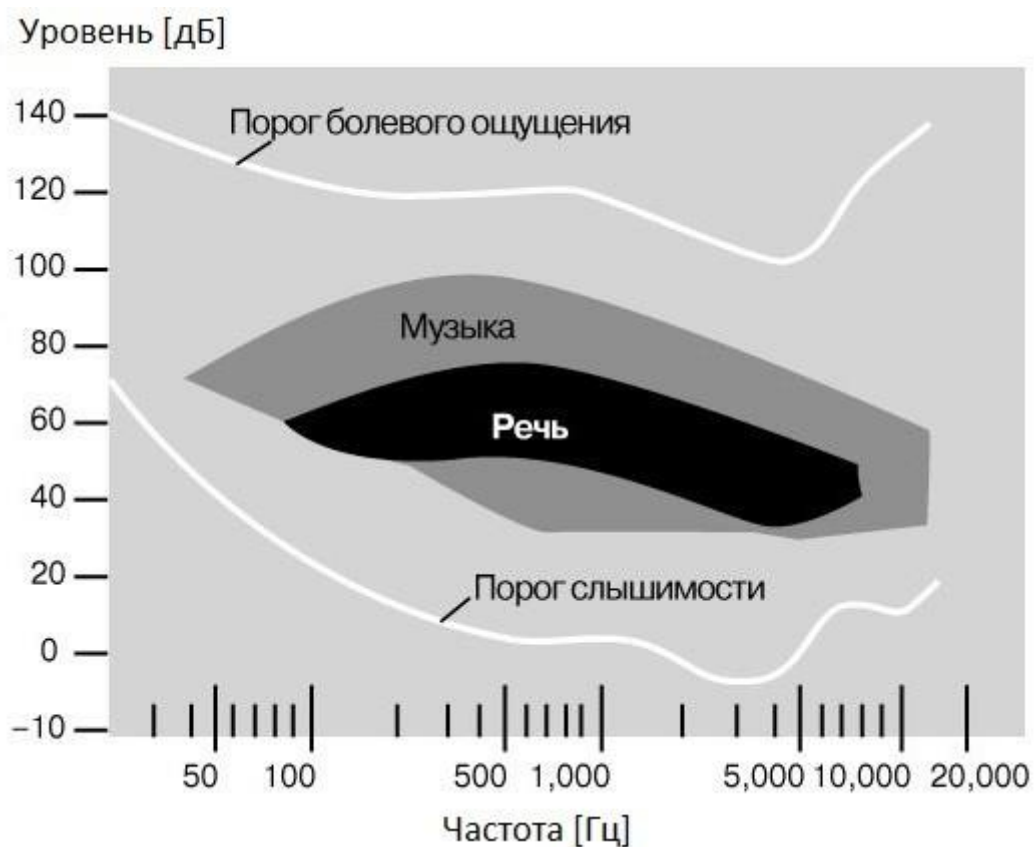


Рисунок 1.4 - Области слухового восприятия

Изм.	Лист	№ докум	Подпись	Дата

1.3 Признаки эмоционально окрашенной речи

Задача получения признаков ЭОР это преобразование звуковых волн в признаковое пространство, у которого объекты одного класса будут в одной группе, а объекты похожих классов отделены.

Всего существует 4 группы признаков, определяющих голосовые сигналы: спектральные, кепстральные, амплитудно-частотные и признаки нелинейной динамики.

Спектральные характеристики:

- Среднее значение спектра анализируемого голосового сигнала;
- Нормализованные средние значения спектра;
- Относительное время пребывания сигнала в диапазонах спектра;
- Нормализованное время задержки сигнала в диапазонах спектра;
- Медианное значение речевого спектра;
- Относительная мощность речевого спектра в полосах;

Временные характеристики:

- Продолжительность;
- Высота;
- Пик-фактор.

Спектрально-временные признаки характеризуют речевой сигнал в его физико-математической сущности на основе наличия компонентов трех видов:

1. Периодические (тональные) участки звуковой волны;
2. Непериодические области звуковой волны;
3. Участки, которые не содержат пауз речи.

Спектрально-временные признаки позволяют отражать своеобразие формы временного ряда и спектра речевых импульсов у разных людей и характеристики фильтрующих функций их речевых трактов. Характеристики речевого потока, связанные с динамикой адаптации артикуляционных органов речи говорящего являются неотъемлемыми свойствами речевого сигнала,

						Лист
					11120005.11.03.02.769.ПЗВКР	9
Изм.	Лист	№ докум	Подпись	Дата		

которые отражают своеобразие отношения или синхронность движения артикуляционных органов говорящего [9].

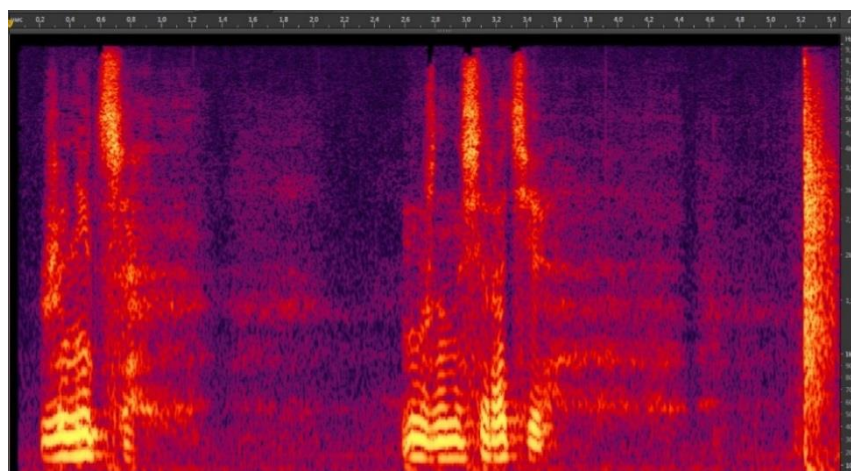


Рисунок 1.5 - Спектр речевого сигнала

1.4 Влияния ЭОР в различных сферах деятельности

В работе исследуется русская речь, ведь в ней эмоции выражаются очень ярко. Влияние эмоционального состояния человека на его работу исследовалось различными компаниями. В результате социологических исследований было установлено, что эмоциональное состояние существенно влияет на прибыль организации. Следовательно, его автоматическое определение позволит оптимизировать работу и повысить прибыль. Например, исследования группы компаний Центр Речевых Технологий показали, что использование ПАО Ростелекомом технологии определения эмоционального состояния на основе нейронных сетей привело к росту продаж в телемаркетинге на 22%, также подобная технология увеличила эффективность продаж в контактном центре ВТБ24 на 29% [7].

					11120005.11.03.02.769.ПЗВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум	Подпись	Дата		10

Примеры эффективности использования



Рисунок 1.6 – Исследования группы компаний ЦРТ

Задачу классификации эмоционального состояния также исследовало большое количество учёных: И. Алдошина, В.П. Морозов и другие [1-4]. На данный момент задача определения эмоций полностью не решена. Алгоритмы, полученные Microsoft, позволяют автоматически распознавать речь и допускать 6% ошибок, но при этом нет осознания речи. Существующие голосовые помощники не в состоянии понять значение просьбы или поддержать разговор и их необходимо сделать «человечнее». В работах Горошевского показано, что нейросеть может определить смех с точностью 91%. На основе кепстральных характеристик точность распознавания эмоций составляет 62%.

Большинство разработанных методов, приведенных выше, используют набор словарей и предполагают накопление базы звукозаписей с набором признаков.

Заметим, что большинство исследователей отмечает, что большинство приведенных выше методов хорошо работают на обучающей выборке, а в реальных условиях показывают худшие результаты.

Исходя из вышеприведенного возникает вопрос, может ли человек определить лучше эмоцию по сравнению с ЭВМ и сколько ему нужно услышать предложений или достаточно одного слова?

Чтобы оценить вероятность ошибки распознавания эмоций человеком, был проведён опрос в социальной сети ВКонтакте. В опросе предлагалось

оценить эмоциональное состояние человека по произнесённому слову «Звёзды», выделенному из фразы: «На ночном небе сияли звёзды».

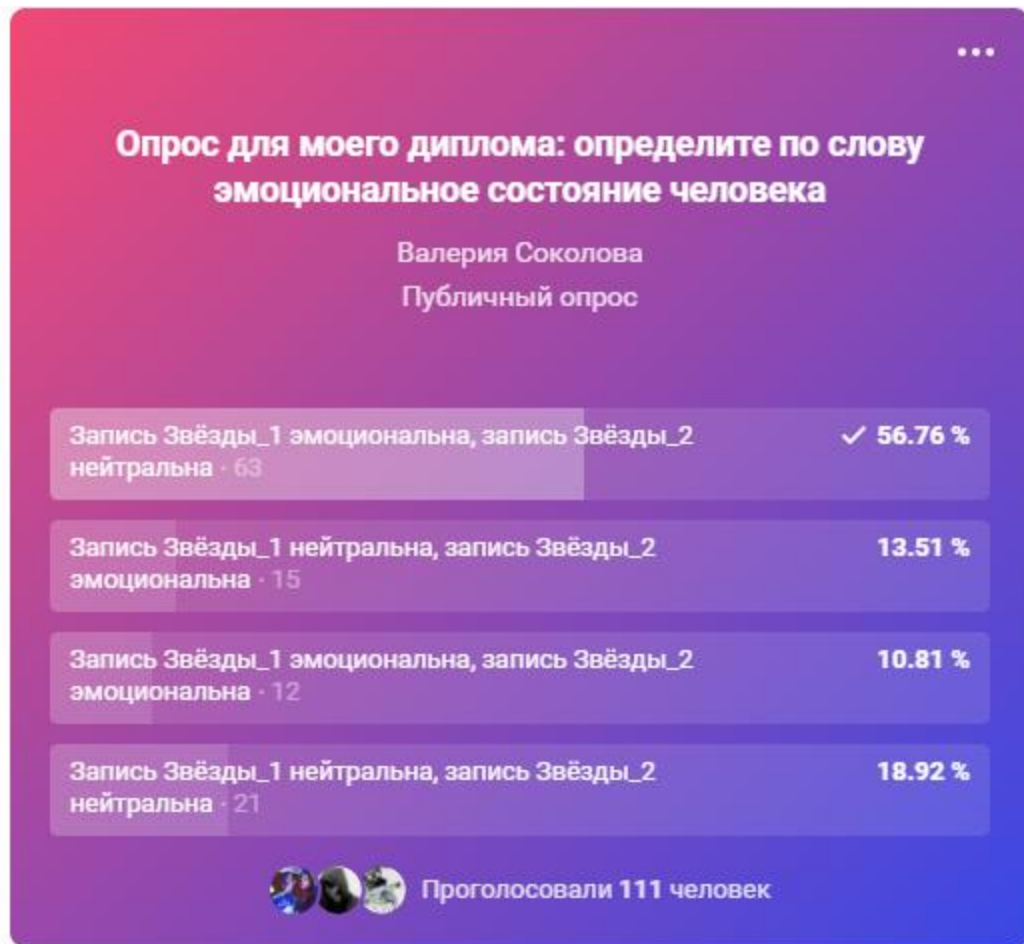


Рисунок 1.7 – Результаты опроса

В результате прослушивания менее 57% опрошиваемых верно определили оба эмоциональных состояния, при этом многие из опрошенных были знакомы с человеком, произносившим фразу. Стоит отметить, что незнакомые с произносившим ошиблись полностью и их более 13%. Более 10% приняли нейтральное состояние за эмоциональное, около 19% приняли положительную эмоцию за нейтральную.

Исходя из этого, можно сделать вывод, что человеку недостаточно прослушивания только одного слова для получения информации об эмоциональном состоянии, следовательно, в случае, когда доступна только

звукозапись одного слова для определения эмоционального состояния,
необходимо использовать автоматизированную систему.

					11120005.11.03.02.769.ПЗВКР	<i>Лист</i>
						13
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		

2 РАЗРАБОТКА МЕТОДА И АЛГОРИТМА АНАЛИЗА ЧАСТОТНО-ВРЕМЕННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК РЕЧЕВОГО СИГНАЛА

2.1 Математическая модель

В работе используется метод субполосного кодирования. В нём при обработке сигнала поддиапазоном кодирования является любая форма преобразования кодирования, который разбивает сигнал на различные частотные диапазоны, как правило, с помощью быстрого преобразования Фурье, и кодирует их независимо друг от друга. Эта декомпозиция часто является первым шагом в сжатии данных для аудио-и видеосигналов.

Субполосное кодирование является основным методом, используемым во многих популярных алгоритмах сжатия аудио с потерями, включая MP3.

Кодирование звуковых сигналов

«Самый простой способ цифрового кодирования аудиосигналов - это импульсно-кодовая модуляция, которая используется на аудио компакт-дисках, записях DAT и т. д. Оцифровка преобразует непрерывные сигналы в дискретные путем дискретизации амплитуды сигнала с равномерными интервалами и округления до ближайшего значения, представимого доступным количеством битов. Этот процесс принципиально неточен и включает в себя две ошибки: ошибку дискретизации от выборки через интервалы и ошибку квантования от округления.

Чем больше битов используется для представления каждого образца, тем мельче степень детализации в цифровом представлении и, следовательно, тем меньше ошибка квантования. Такие ошибки квантования можно рассматривать как тип шума, поскольку они фактически являются разницей между исходным источником и его двоичным представлением. Звуковые эффекты ошибок могут быть смягчены с помощью достаточного количества битов, чтобы гарантировать, что шум достаточно низок, чтобы быть замаскированным либо самим сигналом, либо другими источниками шума.

									Лист
									14
Изм.	Лист	№ докум	Подпись	Дата	11120005.11.03.02.769.ПЗВКР				

Сигнал высокого качества возможен, но за счет высокого битрейта (например, более 700 Кбит/с для одного канала CD audio). Фактически, многие биты тратятся впустую при кодировании замаскированных частей сигнала, потому что ИКМ не делает никаких предположений о том, как слышит человеческое ухо.»

Основные принципы

Полезность субполосного кодирования, пожалуй, лучше всего иллюстрируется конкретным примером. Человеческие уши обычно чувствительны к широкому диапазону частот, но когда достаточно громкий сигнал присутствует на одной частоте, ухо не услышит более слабые сигналы на соседних частотах. Более громкий сигнал маскирует более мягкие.

Основная идея субполосного кодирования состоит в том, чтобы включить сокращение данных, отбрасывая информацию о частотах, которые замаскированы. Результат отличается от исходного сигнала, но если отброшенная информация выбрана тщательно, разница не будет заметной или, что более важно, нежелательной.

Во-первых, банк цифровых фильтров делит спектр входного сигнала на некоторое число (например, 32) поддиапазонов.

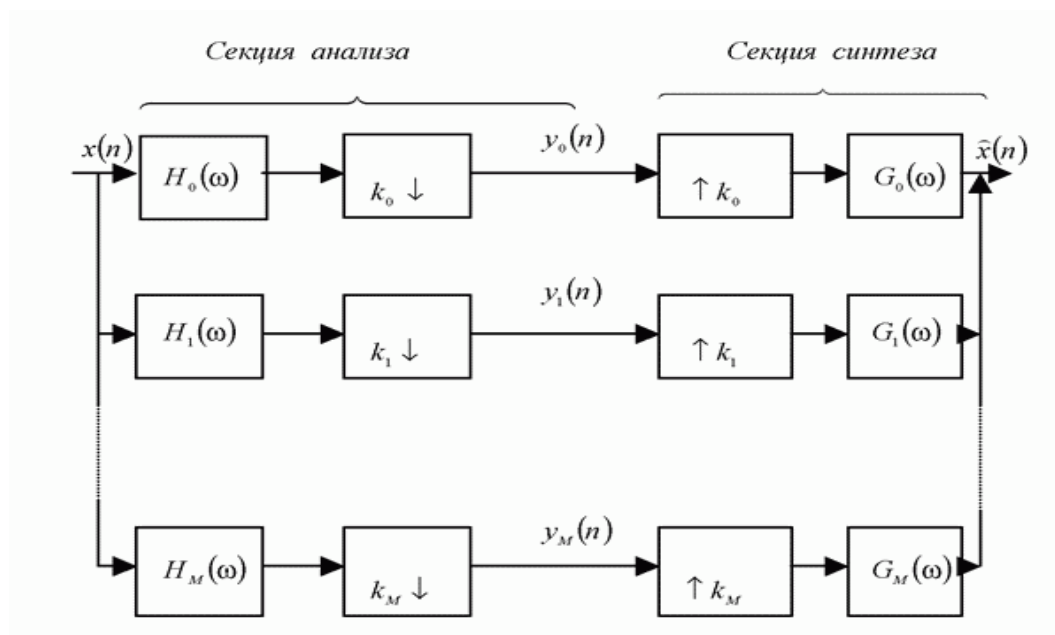


Рисунок 2.2 –Банк фильтров анализа-синтеза

Психоакустическая модель рассматривает энергию в каждом из этих поддиапазонов, а также в исходном сигнале и вычисляет пороги маскировки, используя психоакустическую информацию. Каждый из образцов поддиапазона квантуется и кодируется таким образом, чтобы шум квантования оставался ниже динамически вычисляемого порога маскирования. Последним шагом является форматирование всех этих квантованных выборок в группы данных, называемых кадрами, для облегчения последующего воспроизведения декодером.

Декодирование намного проще, чем кодирование. Кадры распаковываются, образцы поддиапазонов декодируются, и частотно-временное отображение восстанавливает выходной аудиосигнал.»

В данной работе предлагается новый метод автоматического отнесения звукозаписи к одному из двух эмоциональных состояний. Основой метода является извлечение и взвешивание признаков на основе частотной концентрации, полученных с использованием математического аппарата субполосных матриц [5].

Основная суть метода заключается в следующем.

Пусть компоненты вектора представляют собой значения некоторого сигнала (функции времени)

$$\vec{x} = (x_1, \dots, x_N)^T. \quad (1)$$

Трансформанта Фурье отрезка отсчетов сигнала (вектора), в качестве области определения которой естественно рассматривать (нормированная частота) $-\pi \leq \nu \leq \pi$

$$X(\nu) = \sum_{k=1}^N x_k e^{-j(k-1)\nu}, \quad (2)$$

Из равенства Парсеваля нетрудно получить долю энергии отрезка сигнала, соответствующую частотному интервалу $V = [-\nu_2, -\nu_1) \cup [\nu_1, \nu_2)$

$$P_V(\vec{x}) = \frac{1}{2\pi} \int_{\nu \in V} |X(\nu)|^2 d\nu \quad (3)$$

						Лист
					11120005.11.03.02.769.ПЗВКР	16
Изм.	Лист	№ докум	Подпись	Дата		

Если в правую часть соотношения (3) подставить определение (2), то в результате преобразований получится:

$$P_V(\bar{x}) = \bar{x}^T A_V \bar{x}, \quad (4)$$

где $A_V = \{a_{ik}\}$ – симметричная матрица, элементы которой определяются

$$a_{ik} = \begin{cases} \frac{\sin[\nu_2(i-k)] - \sin[\nu_1(i-k)]}{\pi(i-k)}, & i \neq k \\ \frac{\nu_2 - \nu_1}{\pi}, & i = k \end{cases} \quad (5)$$

Таким образом, долю энергий отрезка сигнала в любом частотном интервале можно вычислить на основе представления (4), не вычисляя при этом соответствующую трансформанту Фурье. Матрицу вида $A_V = \{a_{ik}\}$ естественно называть субполосной матрицей.

Вычисления для полного набора частотных интервалов

Полным набором называется совокупность частотных интервалов,

$$V_r = [-\nu_r, -\nu_{r-1}) \cup [\nu_{r-1}, \nu_r), \quad (6)$$

$$\nu_{r-1} < \nu_r \leq \pi; \quad \nu_0 = 0; \quad \nu_r = \pi; \quad r = 1, \dots, R,$$

которые полностью покрывают всю частотную ось.

Если при вычислениях долей энергии отрезка речевого сигнала вида (1) во всех частотных интервалах, например в случае вычислений спектрограмм, основываться непосредственно на квадратичных формах вида (4), то объем реализуемых вычислений будет пропорционален величине $W = RN^2$, то есть слишком большим.

При многократной реализации вычислений с одним и тем же набором частотных интервалов и длительностей обрабатываемых отрезком данных целесообразно использовать следующий подход.

Для всех $r = 1, \dots, R$ введём обозначения

$$P_r = \int_{\nu \in V_r} |X(\nu)|^2 d\nu,$$

причём справедливы аналоги представления (4)

						Лист
					11120005.11.03.02.769.ПЗВКР	17
Изм.	Лист	№ докум	Подпись	Дата		

$$P_r = \bar{x}^T A_r \bar{x}, \quad (7)$$

где $A_r = \{a_{ik}^r\}$, $i, k = 1, \dots, N$;

$$a_{ik}^r = \begin{cases} \frac{\sin[\nu_r(i-k)] - \sin[\nu_{r-1}(i-k)]}{\pi(i-k)}, & i \neq k \\ \frac{\nu_r - \nu_{r-1}}{\pi}, & i = k \end{cases}, \quad (8)$$

где $i, k = 1, \dots, N$

Пусть далее Q_r – матрица собственных векторов матрицы A_r

$$Q_r = \{\bar{q}_1^r, \bar{q}_2^r, \dots, \bar{q}_N^r\}, \quad (9)$$

такая, что выполняются соотношение

$$A_r Q_r = Q_r L_r$$

где

$$L_r = \text{diag}(\lambda_{1r}, \dots, \lambda_{Nr}),$$

причём предполагается упорядочение собственных чисел по убыванию

$$\lambda_{1r} > \lambda_{2r} \geq \dots \geq \lambda_{Nr} \geq 0.$$

Положим

$$\bar{y}_r = \sqrt{L_r} Q_r^T \bar{x} = (y_{1r}, \dots, y_{Nr})^T.$$

Тогда представление (7) можно преобразовать к виду

$$P_r \approx P_{1r} = \sum_{k=1}^{J_r} y_{kr}^2. \quad (10)$$

Вычисления показывают, что выбор количества слагаемых в (10) на основе соотношения

$$J_r = 2[N(\nu_r - \nu_{r-1})/2\pi] + d, \quad (11)$$

при выполнении условия

$$d \geq 4$$

позволяет на основе соотношения (10) оценивать доли энергии отрезков сигналов с погрешностями, не превышающими нескольких сотых долей процента.

При равноразнесенных интервалах анализа выражение (11) имеет вид

$$J = 2[N/(R2)] + 4$$

Тогда вычисление всей совокупности долей энергии отрезка сигнала потребует порядка $W = N^2 + 4R$ вычислительных операций типа «умножение», что может быть существенно меньше чем правая часть (4).

Для вычислений можно составить блочную матрицу вида

$$AA = \begin{bmatrix} \sqrt{L_{11}} Q_{11}^T \\ \dots \\ \sqrt{L_{1R}} Q_{1R}^T \end{bmatrix}, \quad (12)$$

где $Q_{1r} = \{\vec{q}_1^r, \vec{q}_2^r, \dots, \vec{q}_J^r\}$, $L_{1r} = \text{diag}(\lambda_1, \dots, \lambda_J)$.

Далее следует вычислить вектор

$$y\vec{y} = (\vec{y}_1^T, \dots, \vec{y}_R^T)^T = AA\vec{x}. \quad (13)$$

Тогда с заданной точностью выполняется равенство

$$P_r \approx P_{1k} = \|\vec{y}_{1r}\|^2 = \sum_{k=1}^J y_{kr}^2. \quad (14)$$

Таким образом, основой вычислений полного набора долей энергии отрезка сигнала могут служить соотношения (13) и (14)

В рамках данной работы используется полученное в монографии [5] соотношение:

Частотными интервалами \mathbf{R}_1 , определяющими частотную концентрацию называются такие, которые удовлетворяют неравенству:

$$h_r(\vec{x}) \leq P_r(\vec{x}), \quad \forall r \in \mathbf{R}_1. \quad (15)$$

При этом в качестве адаптивных порогов используется величина

$$h_r(\vec{x}) = \|\vec{x}\| \cdot \Delta_r / \pi, \quad r = 0, 1, \dots, R. \quad (16)$$

Для определения частотной концентрации предлагается использовать метод получения спектрограмм, приведенный в работе Жиликова Евгения Георгиевича., в которой рассматривается способ получения части энергии в частотном интервале с границами ν . Использование этого метода вызвано

						Лист
					11120005.11.03.02.769.ПЗВКР	19
Изм.	Лист	№ докум	Подпись	Дата		

необходимостью увеличения скорости по сравнению с обычным Фурье преобразованием, при этом увеличивается скорость получения энергии, к примеру, для фрагмента звукозаписи (отрезка x) длительностью 16 мкс при частоте дискретизации 8 кГц, в один частотный интервал приходится 4 точки Фурье, а при использовании метода Жилякова 128 точек Фурье. Скорость достигается за счет того, что все преобразования происходят во временной области путем перемножения отрезка сигнала в виде вектора x на квадратную матрицу вида A_g формулы 4 с элементами субполосного ядра вида 5. В качестве адаптивного порога, определяющего концентрацию энергии, то есть принадлежность к подобласти r_1 формулы 15 предлагается использовать адаптивный порог формулы 16.

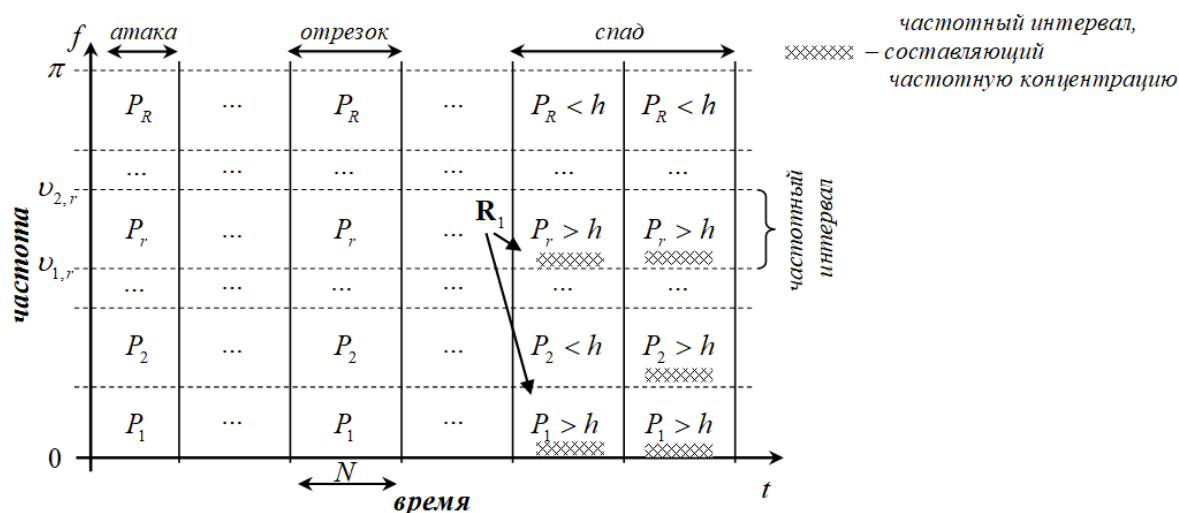


Рисунок 2.2 – Концентрация в частотных интервалах

Предложим вербальную модель классификации звукозаписей на основе энергетических субполосных признаков.

- 1) большинство отрезков имеют частотную концентрацию ниже средней относительно порога – «отсутствие эмоции»;
- 2) большинство отрезков имеют частотную концентрацию выше средней относительно порога – «наличие эмоции».

Для программно-алгоритмической реализации модели классификации, фразу разделим на отрезки, рисунок 5, взятые без перекрытия, длительностью N отсчетов и для каждого отрезка определим частотную концентрацию.

2.2 Программная реализация

Для программно-алгоритмической реализации был построен алгоритм для вычисления частотной концентрации в отрезках, который приведён на рисунках 2.3-2.5.

Описание алгоритма:

1. Начало.
2. Ввод X_n (вектор речевого сигнала), F_s (частота дискретизации), N (размерности отрезка анализа), LX (размерности файла речевого сигнала).
3. Расчёт количества всех частотных интервалов.
4. Вычисление половины ширины частотной полосы.
5. Расчёт ядра субполосной матрицы:
Ввод счётчиков в частотной и временной областях
Если $i=k$, то первым элементом будет ширина частотной полосы, делённая на π .
Если нет, сдвиг по синусу.
6. Вычисление середины частотного интервала.
7. Цикл: Сдвиг субполосной матрицы на косинус.
8. Ввод счётчика отрезков.
9. Цикл: деление на отрезки и нахождение части энергии в частотном интервале.
10. Если длина больше конца отрезка, то речевой сигнал делится на отрезки.
11. Вычисление начала отрезка.
12. Вычисление конца отрезка.
13. Вычисление квадрата евклидовой нормы сигнала.
14. Вычисление распределения энергии по частотным интервалам.

					11120005.11.03.02.769.ПЗВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум	Подпись	Дата		21

15. Умножение элементов: транспонированного речевого сигнала, речевого сигнала и субполосной матрицы.
16. Вычисление средней энергии частотного интервала.
17. Если средняя энергия частотного интервала больше энергии в частотном интервале, то прибавить концентрацию ширины полосы.
18. Вычисление порога, равного средней частотной концентрации.
19. Расчёт того, насколько частотная концентрация превышает среднее значение.
20. Расчёт от 1 до количества отрезков.
21. Вычисление градиентного спуска.
22. Конец.

					11120005.11.03.02.769.ПЗВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум	Подпись	Дата		22

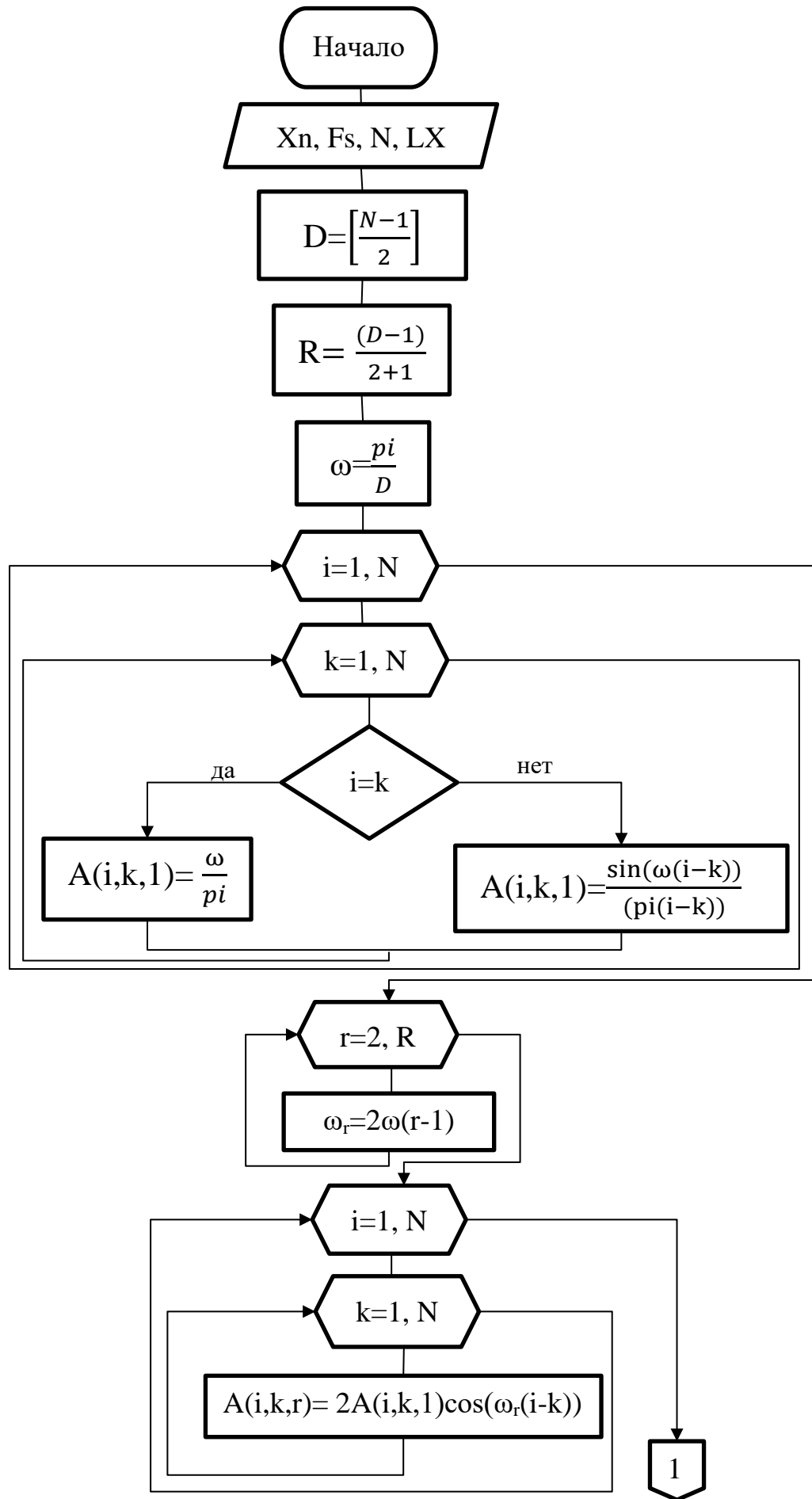


Рисунок 2.3 – Алгоритмическая реализация метода

Изм.	Лист	№ докум	Подпись	Дата

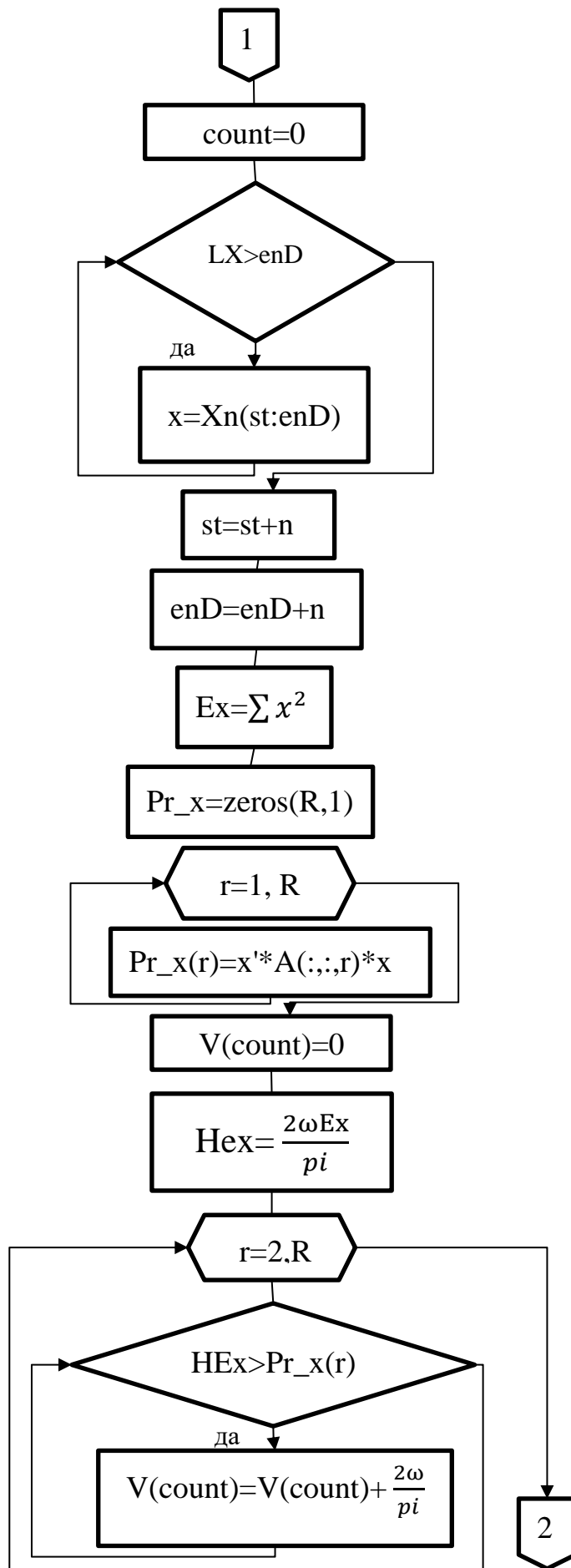


Рисунок 2.4 – Алгоритмическая реализация метода

Изм.	Лист	№ докум	Подпись	Дата

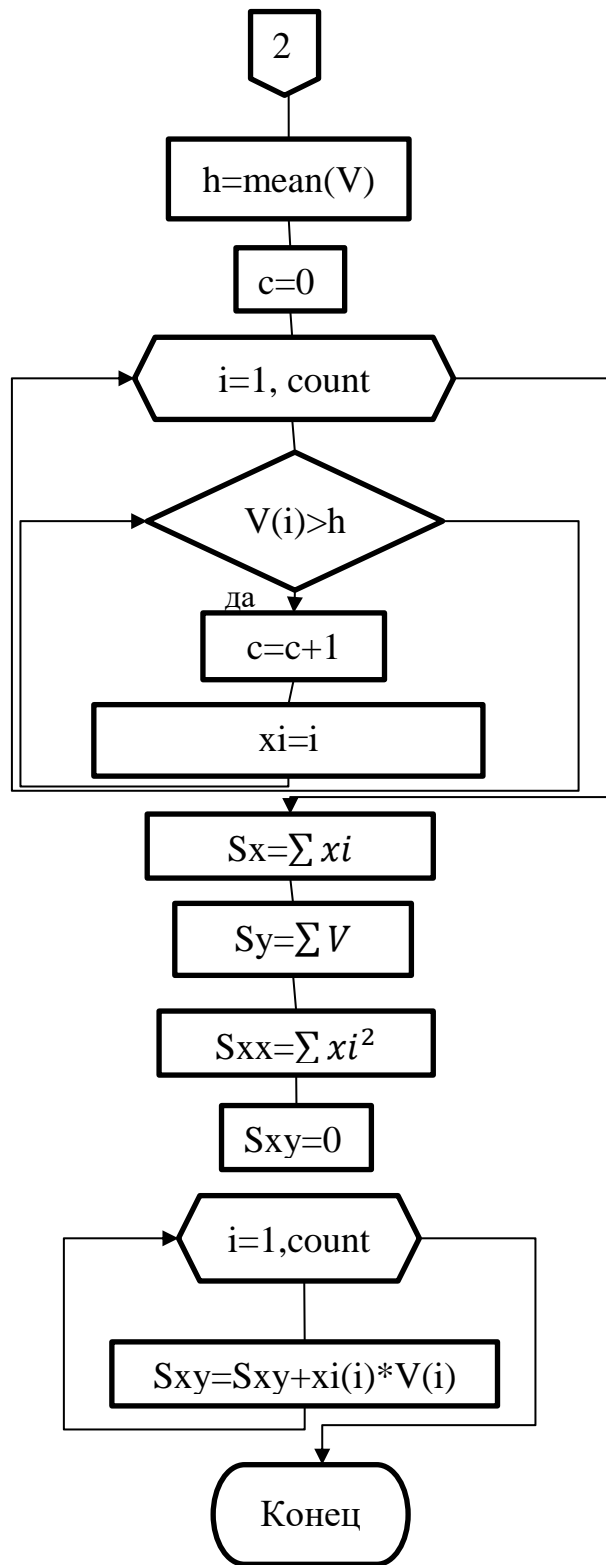


Рисунок 2.5 – Алгоритмическая реализация метода

Изм.	Лист	№ докум	Подпись	Дата

Таблица 2.1 – Описание переменных

№	Обозначение	Название	Статус	Размерность	Диапазон применения
1	2	3	4	5	6
1	Xn	Речевой сигнал	входной	-	-
2	Fs	Частота дискретизации	входной	Герц	8...48
3	N	Размерность отрезка анализа	входной	-	2 ^x
4	LX	Размерность файла речевого сигнала	входной	-	-
5	D	Количество интервалов	промежуточный	-	2...512
6	w	Половина ширина частотной полосы	промежуточный	-	-
7	pi	Машинное представление числа Пи в MATLAB	промежуточный	-	3,14
8	i	Счётчик во временной области	промежуточный	-	-
9	k	Счётчик в частотной области	промежуточный	-	-
10	A	Набор субполосных матриц	Промежуточный	-	-
11	r	Счётчик частотных интервалов	промежуточный	-	2 ^x
12	R	Количество всех частотных интервалов	промежуточный	-	16...512
13	wr	Середина частотного интервала	промежуточный	-	-
14	count	Счётчик отрезков	промежуточный	-	-
15	enD	Конец отрезка	промежуточный	-	-

Окончание таблицы 2.1

1	2	3	4	5	6
16	st	Начало отрезка	промежуточный	-	-
17	n	Шаг приращения во временной области	промежуточный	-	-
18	x	Отрезок речевого сигнала	промежуточный	-	-
19	E_x	квадрат евклидовой нормы отрезка	промежуточный	-	
20	Pr_x	распределение энергии по частотным интервалам	промежуточный	-	
21	V	частотная концентрация	промежуточный	-	
22	H_{ex}	средняя энергия частотного интервала	промежуточный	-	
23	h	Порог, равный средней частотной концентрации	промежуточный	-	
24	c	Доля отрезков, частотная концентрация которых превышает заданный порог (h)	промежуточный	-	
25	x_i	Вспомогательный ряд с шагом 1 размерностью количества отрезков	промежуточный	-	
26	S_x	Вспомогательные переменные для вычисления градиентного спуска	промежуточный	-	
27	S_y		промежуточный	-	
28	S_{xx}		промежуточный	-	
29	S_{xy}		промежуточный	-	

Реализация алгоритма была выполнена в программе MATLAB (сокращение от MATrix LABoratory, "лаборатория матриц") - это цифровая вычислительная система, которая предлагает интегрированную среду разработки с собственным языком программирования (M). Он доступен для различных платформ, таких как Unix, Windows, Mac OS X и GNU/Linux.

Основные функции:

- обработка массивов,
- представление данных и функций,
- реализация алгоритмов,
- создание пользовательских интерфейсов (GUI),
- связь с программами на других языках и с другими аппаратными устройствами.

Это программное обеспечение широко используется в университетах и научно-исследовательских и опытно-конструкторских центрах. В последние годы число функций только увеличивается.

В MATLAB работает более миллиона человек в академических и деловых кругах. Он широко используется в таких областях, как обработка сигналов и связь, поэтому для моей работы он удобен в использовании.

Подробнее о системе MATLAB можно прочесть в ссылке [11, 12].

Листинг программы приведён в приложении А.

В данном листинге использовались следующие специальные функции:

clear – Очистка рабочей зоны

clc – Очистка окна команд

length – Определение длины массива

linspace (x1, n, x2) – Формирование линейного массива от x1 до x2 с шагом n

sum – Вычисление суммы элементов массива

mean – Вычисление среднего значения вектора

audioread – Чтение аудиофайла

					11120005.11.03.02.769.ПЗВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум	Подпись	Дата		28

`fix` – Округление значения с отбрасыванием дробной части числа

`floor` – Округление до ближайшего целого

`zeros` – Создание массива с нулями

Результаты работы алгоритма представлены в разделе 3.

						<i>Лист</i>
					11120005.11.03.02.769.ПЗВКР	29
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		

3 РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

В данной работе проводились исследования зависимости характеристик речи от эмоциональной окраски голоса. Будет использоваться речевая база, состоящая из различных звуковых файлов с положительной и нейтральной эмоцией. Исследования проводились в несколько этапов. Начальным этапом является подготовка речевых данных с помощью программного пакета Adobe Audition. Последующими этапами являются анализ характеристик, их исследование и определение эмоционального состояния.

3.1 Подготовка речевых данных

Подготовка речевых данных заключается в записи голосов с разными эмоциональными окрасками голоса диктора. Для этого использовался программный пакет Adobe Audition. Adobe Audition – редактор аудиофайлов, входящий в семейство программ Adobe. Приложение ориентировано на профессиональную обработку звука, поэтому широко используется в звукозаписи и радиовещании.

В качестве примера признакового пространства эмоционально окрашенной речи используется звукозапись с фразой «На ночном небе сияли звёзды», сформированная с помощью рекомендаций и артикуляционных таблиц из ГОСТ 16600-72 Передача речи по трактам радиотелефонной связи. Требования к разборчивости речи и методы артикуляционных измерений [6].

Для анализа использовались 2 звуковых файла - 1 с положительной эмоциональной окраской и 1 с нейтральной.

Данные для сигналов с положительной и нейтральной эмоциональной окраской представлены в таблице 3.1:

									Лист
									30
Изм.	Лист	№ докум	Подпись	Дата	11120005.11.03.02.769.ПЗВКР				

Таблица 3.1 - Звуковые файлы и их параметры

Звуковой файл	Длительность, с	Разрядность, бит	Частота дискретизации, Гц
1	2,315	16	48000
2	2,205	16	48000

Звукозаписи с фразами на слух были разбиты на отрезки, соответствующие звукам речи.

Звукозапись (рисунок 3, а) проведена во время эмоционального подъёма, вторая запись (рисунок 3, б) соответствует нейтральной эмоции.

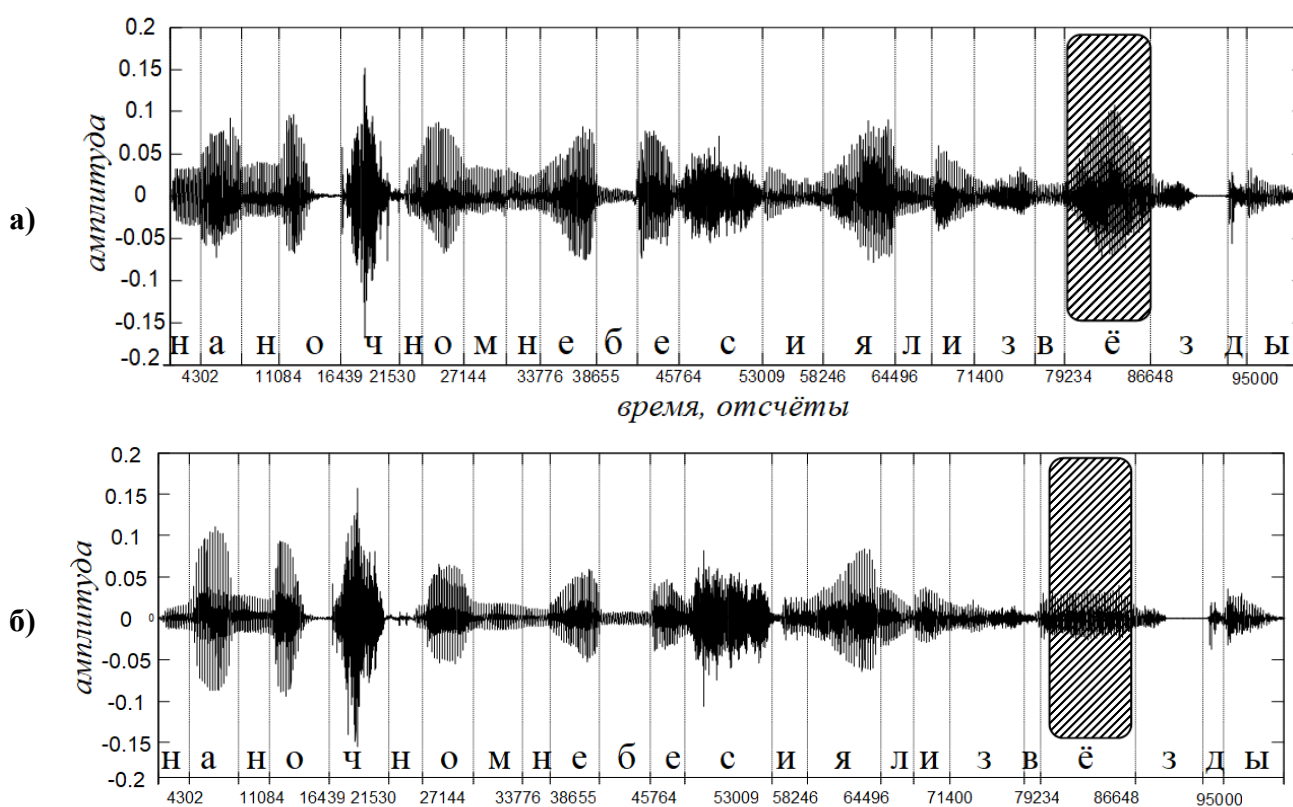


Рисунок 3.1 - Речевой сигнал: а) с положительной эмоцией; б) с нейтральной эмоцией

На рисунке 3.1 можно заметить, что звукозаписи во временной области отличаются друг от друга, особенно это проявляется в слове «звёзды». Частотно-временные признаки эмоционального состояния ярко выражены в

ударном гласном звуке «ё» ([ó] в транскрипции, выделено штриховкой на рисунке 3.1). Также отметим, что амплитуда сигнала в звукозаписи рисунок 3.1, а, содержащей положительную эмоцию – значительно выше.

3.2 Исследование спектрального состава речевого сигнала

Спектр речевого сигнала выражает его частотный состав, поэтому главными характеристиками речевого сигнала являются значения частот его гармонических составляющих. В результате наложения таких частот и их восприятия органами слуха мы получаем слышим богато украшенный звук (речевой сигнал), несущий, кроме того, смысловую составляющую. Для разложения речевого сигнала в спектр в основном используется преобразование Фурье. На приведённых ниже рисунках (рисунок 3.2, 3.3) можно увидеть спектр анализируемого отрезка речевого сигнала на примере слова «звёзды». Так как эмоция сильнее всего повлияла на звук «ё», яркость на отрезке, соответствующем этому звуку, существенно ярче в спектре с позитивной эмоцией, чем в спектре с нейтральной эмоцией, т.е. концентрация энергии выше.

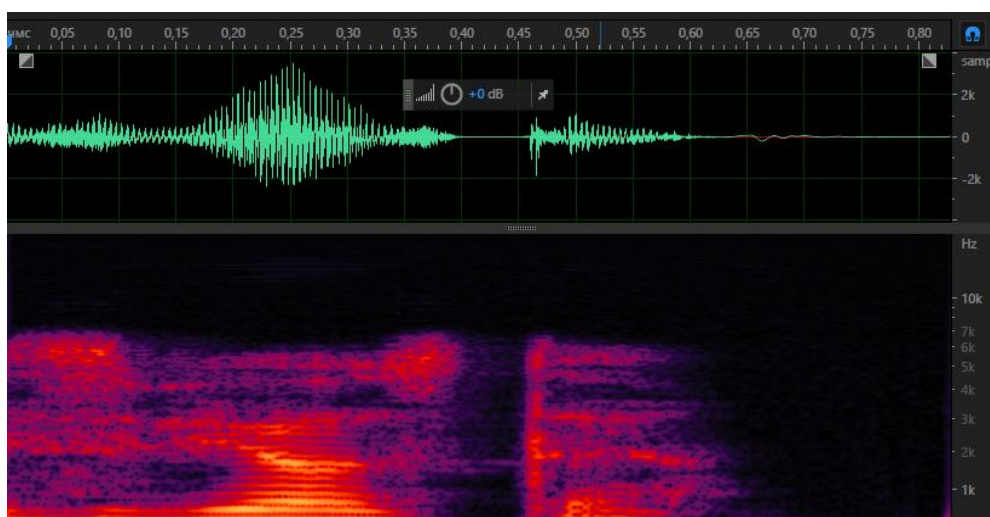


Рисунок 3.2 – Фрагмент речевого сигнала с положительной эмоцией и соответствующий ему спектр

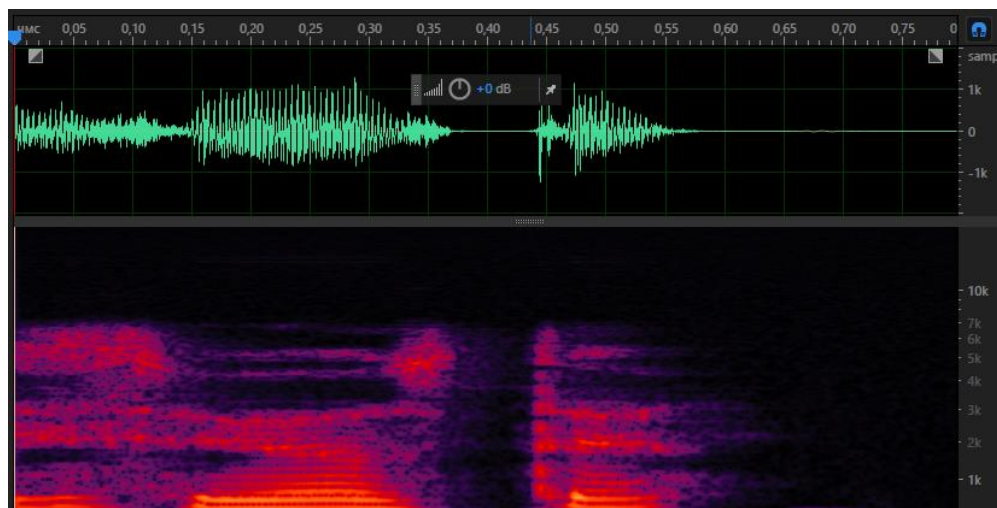


Рисунок 3.3 - Фрагмент речевого сигнала с нейтральной эмоцией и соответствующий ему спектр

Таким образом, было выяснено, что влияние положительных эмоций сильнее всего проявляется на гласных ударных звуках, таких как «А», «О», «У», «И», «Э».

3.3 Сравнение концентрации энергии

Для того, чтобы анализ прошёл точно, в листинге MATLAB использовались размерности, которые приведены в таблице 3.2.

Таблица 3.2 – Размерности переменных

№	Обозначение	Название	Размер
1	Xn	Речевой сигнал	32000x1
2	Fs	Частота дискретизации	48000
3	N	Размерность отрезка анализа	256
4	D	Количество интервалов	120
5	A	Набор субполосных матриц	256x256x64

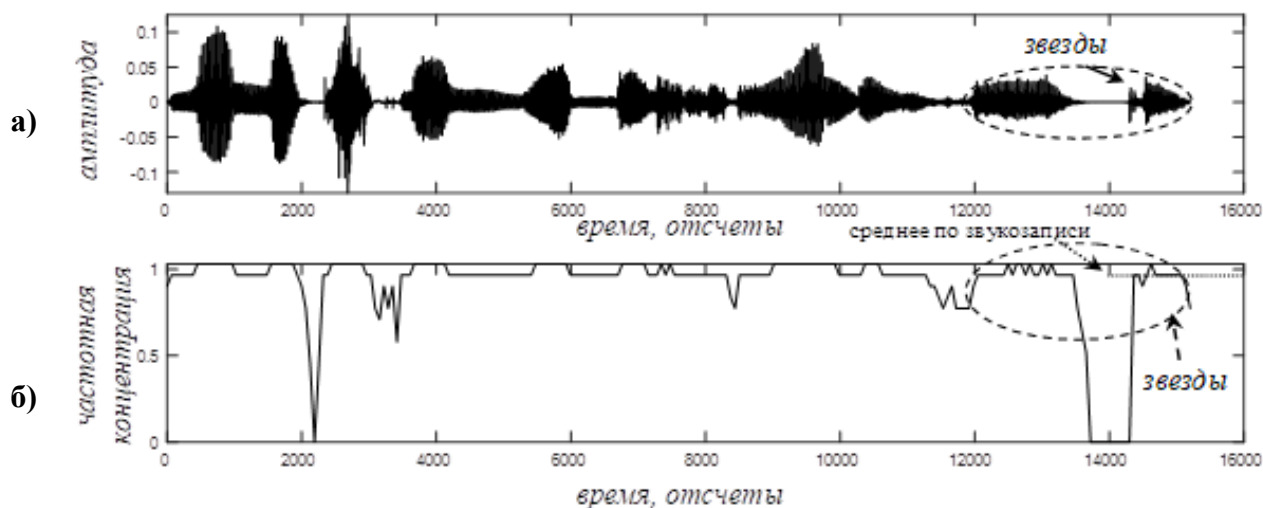


Рисунок 3.4 – Звукозапись с нейтральной эмоцией

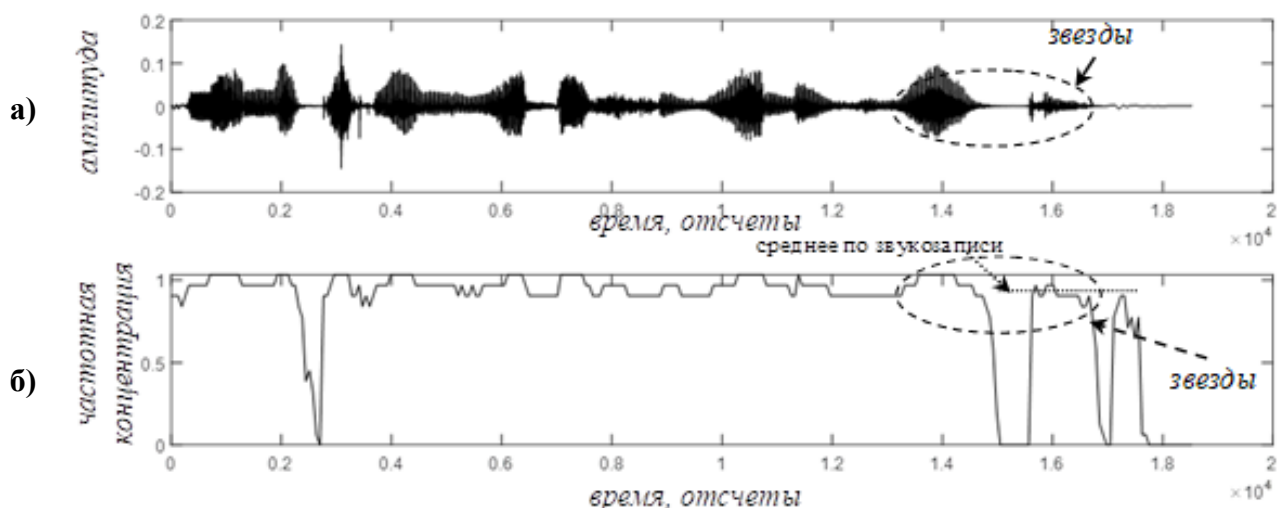


Рисунок 3.5 - Звукозапись с положительной эмоцией

На рисунках 3.4 и 3.5 приведены осциллограммы фразы «На ночном небе сияли звёзды», разбитые на отрезки длительностью 16 мкс. Так как было принято обратить внимание на слово звёзды, для наглядности на полученной осциллограмме и функциональной зависимости оно обведено штриховкой (рисунки 3.4 и 3.5). Для анализа используется 120 интервалов и с использованием решающих правил получена функциональная зависимость изменения частотной концентрации от времени (часть б). Эту функциональную зависимость предлагается использовать в задаче

классификации. Анализируя полученные результаты, при рассмотрении рисунков части Б можно заметить: звуки отличаются по длительности, естественно предположить, что при проявлении эмоций увеличивается темп, так же при проявлении эмоции на рисунке 3.4 части б) видно, что концентрация энергии больше и функциональная зависимость чаще пересекает значение порога, по сравнению со звукозаписью с нейтральной эмоцией, на которой функциональная зависимость чаще падает к уровню порога и из всего вышеописанного можно сделать вывод, что метод работоспособен и с помощью него возможно классифицировать звукозаписи на положительную и нейтральную эмоцию.

Для минимизации ошибки первого рода были приняты следующие гипотезы: эмоции лучше проявляются в начале слова и в конце слова и в ударных гласных звуках (а, о, у, и, э).

Данные выводы не противоречат теории, изложенной Алдошиной. Работоспособность метода проверялась на ограниченной выборке фраз, в связи со сложностью формирования структурированной базы.

После анализа звукозаписей было произведено сравнение вероятностей ошибки, допущенной человеком и при использовании субполосного метода, данные сведены в таблицу на рисунке 3.6.

№		Допущенная человеком	Субполосный метод
1.	Звукозапись осуществлена во время положительной эмоции	не менее 32%	не менее 27%
2.	Классифицировать эмоцию положительную при звукозаписи невозможно	не менее 24%	не менее 30%

Рисунок 3.6 – Сравнение вероятностей ошибок

Результаты исследований главы опубликованы в работах:

1. Соколова В.С., Щекочихина Л.О., Колесников В.А. Анализ временных признаков эмоционально окрашенной речи в речевом сигнале // Современные информационные технологии в образовании и научных исследованиях: Инфотех-2018. Уфа: БашГУ, 2018.

2. Соколова В.С., Колесников В.А. О выделении признаков эмоционально окрашенной речи в звукозаписи // VI Всероссийская молодёжная научно-практическая конференция «Студенчество России: век XXI». Орёл: ФГБОУ ВО Орловский ГАУ, 2018.

3. Sokolova V.S., Shchekochihina L.O., Mbodje F.E., Analysis of temporal features of emotionally colored speech in a speech signal // Всероссийская научно-практическая конференция студентов бакалавриата, магистрантов и аспирантов "Science. Research. Practice". Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2019

4. Соколова В.С., Щекочихина Л.О., Колесников В.А. Субполосные признаки эмоционально окрашенной речи // Ежегодная межвузовская научно-техническая конференция студентов, аспирантов и молодых специалистов имени Е.В. Арменского. М.: Московский институт электроники и математики им. А.Н. Тихонова, 2019.

5. Соколова В.С., Щекочихина Л.О., Колесников В.А. О частотно-временных признаках эмоционально окрашенной речи // VIII Конгресс молодых ученых. СПб.: Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики, 2019.

6. Соколова В.С., Щекочихина Л.О. Частотно-временные признаки эмоционально окрашенной речи // Сборник работ VIII Конгресс молодых ученых. СПб.: Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики, 2019.

									Лист
									36
Изм.	Лист	№ докум	Подпись	Дата	11120005.11.03.02.769.ПЗВКР				

7. Соколова В.С. Информационная технология определения эмоциональной окраски речи // Вестник СНО: сб. студ. науч. работ / НИУ «БелГУ», 2019.

									<i>Лист</i>
									37
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>	11120005.11.03.02.769.ПЗВКР				

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Выпускная квалификационная работа выполнена в полном объёме, все задачи исследования были выполнены:

1. Анализ характеристик и признаков речевого сигнала показал, что эмоциональное состояние человека отражает параметр концентрации энергии в частотных интервалах. Признаками положительного эмоционального состояния является то, что при построении функциональной зависимости концентрации энергии от времени, она чаще пересекает значение порога и больше по сравнению со звукозаписью с нейтральной эмоцией, на которой функциональная зависимость чаще падает к уровню порога.

2. Было проведено социологическое исследование в виде опроса в социальной сети ВКонтакте, которое показало, что в результате прослушивания менее 57% опрошенных верно определили оба эмоциональных состояния, незнакомые с произносившим ошиблись полностью и их более 13%. Более 10% опрошенных приняли нейтральное состояние за эмоциональное, около 19% приняли положительную эмоцию за нейтральную.

3. Разработана блок-схема алгоритма для решения задачи классификации эмоционального состояния. Этот алгоритм реализован в программе MATLAB в виде программного решения, позволяющего определять эмоциональное состояние.

Результаты расчёта вероятности ошибки показали, что человек, классифицируя положительную эмоцию, допускает не менее 32% ошибок, а вероятность ошибки субполосного метода не менее 27%.

Разрабатываемая информационная технология позволяет определить эмоциональное состояние человека по его речи. Работа ведется с неструктурированной речевой информацией.

Отличительные особенности перед существующими системами:

						Лист
					11120005.11.03.02.769.ПЗВКР	38
Изм.	Лист	№ докум	Подпись	Дата		

Нет необходимости настройки (обучения нейросети, как отмечают исследователи, нейросеть - хорошо работает на обучающей выборке, а в реальных условиях показывает худшие результаты).

Существует проблема в выборе математического аппарата, который адекватно описывал бы свойства речи для получения частотно-временных закономерностей.

Для получения частотно-временных закономерностей (далее субполосных признаков), предлагается использовать математический аппарат субполосных матриц, разработка которого продолжается до сих пор. Предложенная модель позволяет осуществлять классификацию эмоционального состояния на основе прецедента, а не на основе обучающей выборки.

						Лист
					11120005.11.03.02.769.ПЗВКР	39
Изм.	Лист	№ докум	Подпись	Дата		

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Алдошина И.А. Связь акустических параметров с эмоциональной выразительностью речи и пения // Звукорежиссер. – 2003. – № 2.

2. Морозов В. П., Морозов П. В. Искренность–неискренность говорящего и «психологический детектор лжи // Психол. журн. Т. 31. – 2010. – №5. – С. 54–67.

3. Хроматиди, А.Ф. Исследование психофизиологического состояния человека на основе эмоциональных признаков речи: дис. ...канд. тех. наук / А.Ф. Хроматиди. Таганрог, 2005.

4. Лебедева, Н.Н. Каримова Е. Д. Акустические характеристики речевого сигнала как показатель функционального состояния человека [Текст] / Н. Н. Лебедева, Е. Д. Каримова // Успехи физиологических наук. – 2014. – Т. 45. – №. 1. – С. 57-95.

5. Жилияков, Е.Г. Об одном алгоритме определения информационных частотных интервалов [Текст] / Е.Г. Жилияков, С.П. Белов, А.А. Медведева, А.В. Курлов, П.Г. Лихолоб // Наука. Инновации. Технологии. – 2016. – № 3. – С. 23-30.

6. ГОСТ 16600-72. Межгосударственный стандарт передача речи по трактам радиотелефонной связи. Требования к разборчивости речи и методы артикуляционных измерений: нац. Стандарт Российской Федерации / – Официальное издание. – Введ. 1974-01-01. – Москва : изд-во стандартов, 1974. – 76 с.

7. SPEECH ANALYTICS LAB. Решение для интеллектуального анализа обращений клиентов [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.speechpro.ru/upload/productspecificationdocument/file/Speech_Analytics_Lab_STC-S772_leaflet_rus.pd (Дата обращения 10.04.2019)

8. Способы оценки субъективного качества речи // Habrahbr. URL: <https://habr.com/ru/post/177099/> (дата обращения: 15.05.2019).

									Лист
									40
Изм.	Лист	№ докум	Подпись	Дата	11120005.11.03.02.769.ПЗВКР				

9. Распознавание речи // Википедия - свободная энциклопедия. URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/Распознавание_речи (дата обращения: 9.03.2019).

10. Романенко Вероника Олеговна Эмоциональные характеристики речи и их связь с акустическими параметрами // Общество. Среда. Развитие (Terra Humana). 2010. №4. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/emotsionalnye-harakteristiki-rechi-i-ih-svyaz-s-akusticheskimi-parametrami> (дата обращения: 11.06.2019).

11. MATLAB [Электронный ресурс] // ru.wikipedia.org: Википедия – свободная энциклопедия. URL: <https://ru.wikipedia.org/wiki/MATLAB> (Дата обращения: 10.05.2019)

12. В.Г.Потемкин "Справочник по MATLAB" [Электронный ресурс] // matlab.exponenta.ru: Материалы по продуктам MATLAB & Toolboxes. URL: <http://matlab.exponenta.ru/ml/book2/index.php> (Дата обращения: 10.05.2019)

13. Fairbanks G., Hoaglin L. An experimental study of the durational characteristics of the voice during the expression of emotion // Speech Monograph, v. 8, 1941

14. Cowie R., Cornelius R. Describing the emotional states expressed in speech // Speech Communication, v 40, № 1-2, 2003

15. Леонтьев В.О. Классификация эмоций // Одесса, 2001

16. Plutchik R. The psychology and biology of emotion // N.: Haryer.Collins, 1994

17. Ekman P. Facial expression and emotion // American Psychologist, v. 48, №. 4, 1993

18. Rosenfield E., Massaro D., Bernstein J. Automatic Analysis of Vocal of Apparent Mood or Affect // USA Department of Psycholody, University of California at Santa Cruz, 2003

19. Zhou G., Hansen H., Kaiser J. Nonlinear Feature Based Classification of Speech under Stress // IEEE Transactions on Speech & Audio Processing, v. 9, № 2, pp. 201-216, 2001

									Лист
									41
Изм.	Лист	№ докум	Подпись	Дата	11120005.11.03.02.769.ПЗВКР				

20. Андреева И. Эмоциональный интеллект: исследование феномена // Вопросы психологии, №3, 2006

21. Stibbard R. Vocal expression of emotions in non-laboratory speech: An investigation of the Reading/Leeds Emotion in Speech Project annotation data // PhD thesis, of Reading, UK, 2001

22. Jovicic S., Rajkovic M., Dordevic M., Kasic Z. Perceptual and statistical analysis of emotional speech in man-computer communication // SPECOM'2006, Saint-Petersburg

23. Fernandez R. A computation model for the automatic recognition of affect in speech // Ph.D. Thesis, MIT Media Arts and Science, Massachusetts Institute of Technology, 2004

24. Wilting J. Krahmer E. Swerts M. Real vs. acted emotional speech // Communication and Cognition, Tilburg University, The Netherlands, 2006

25. Витт Н.В. Личностно-ситуационная опосредованность выражения и распознавания эмоции в речи // URL: <http://www.voppsy.ru/issues/1991/911/911095.htm> (Дата обращения 12.05.2019)

									Лист
									42
Изм.	Лист	№ докум	Подпись	Дата	11120005.11.03.02.769.ПЗВКР				

ПРИЛОЖЕНИЕ А

Листинг программы MATLAB

```
clear
clc
file='К:\123\4 курс 1 семестр\Голосовые
записи\ннсэ1.wav';
file='К:\123\4 курс 1 семестр\Голосовые
записи\ннсэ2.wav'
[Xn,Fs]=audioread(file);
N=256;
Fs=8000;

%
=====
===
D=fix((N-1)/2);
R=(D-1)/2+1;
omega=pi/D;
%   disp('*** calculation A ***')
A=zeros(N,N,R);
for i=1:N
    for k=1:N
        if i==k
            A(i,k,1)=(omega)/pi;
        else
            A(i,k,1)=sin((omega)*(i-k))/(pi*(i-k));
        end;
    end;
end;
```

									Лист
									43
Изм.	Лист	№ докум	Подпись	Дата	11120005.11.03.02.769.ПЗВКР				

```

for r=2:R
    omega_r=2*omega*(r-1);
    for i=1:N
        for k=1:N
            A(i,k,r)=2*A(i,k,1)*cos(omega_r*(i-k));
        end;
    end;
end;% for r=2:R
clear i k r D omega_r
%
=====
===
LX=length(Xn);
st=1;
enD=N;
n=floor(N);
count=0;
while LX>enD
    count=count+1;
    x=Xn(st:enD);
    st=st+n;
    enD=enD+n;
    Ex=sum(x.^2);           % - энергия всего отрезка
    Pr_x=zeros(R,1);
    for r=1:R
        Pr_x(r)=x'*A(:, :, r)*x;
    end;%for r=1:R
    clear r
%-----
---
```

					11120005.11.03.02.769.ПЗВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум	Подпись	Дата		44

```

%
V(count)=0;
HEX=( (2*omega*Ex) /pi);
for r=2:R
    if HEX<Pr_x(r)
        V(count)=V(count)+2*omega/pi;
    end;
end;
clear r Pr_sort N_sort max_Pr HEX
end;
h=mean(V);
c=0;
for i=1:count
    if V(i)>h
        c=c+1;
    end;

end;
xi = linspace(1,1,count);

Sx=sum(xi);
Sy=sum(V);
Sxx=sum(xi.^2);
Sxy=0;
for i=1:count
    Sxy = Sxy+xi(i)*V(i);
end;

```

					11120005.11.03.02.769.ПЗВКР	Лист
						45
Изм.	Лист	№ докум	Подпись	Дата		