

Визуализация эмоциональной напряженности человека по речевому сигналу

Ю.Г. Горшков¹

Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана,
Москва, Россия

¹ ORCID: 0000-0003-0483-4603, y.gorshkov@npo-echelon.ru

Аннотация

В статье представлены результаты исследований по оценке эмоциональной напряженности человека по речевому сигналу с использованием разработанной технологии многоуровневого вейвлет-анализа. Приводятся недостатки полиграфных систем при проведении психофизиологических проверок персонала. Полученные данные отечественных и зарубежных специалистов позволяют сделать уверенное заключение о том, что характеристики устной речи человека коррелируют с изменениями его состояния. Рассмотрены характеристики аппаратно-программного комплекса «Икар Лаб» (Россия) при оценке эмоционального состояния говорящего, а также компьютерного голосового анализатора стресса CVSA (США). Предлагается новая бесконтактная технология оценки уровня эмоциональной напряженности человека с использованием полученных, на тональных участках речи биомаркеров стресса. Разработана программа WaveView-VSA получения высокоточных частотно-временных характеристик речевого сигнала. Представлены возможности разработанной программы при визуализации уровня эмоциональной напряженности. Сформирована и обработана база данных аудиозаписей студентов 6 курса, находящихся в условиях с повышенной эмоциональной нагрузкой при сдаче экзамена и защите дипломного проекта. Проведенные исследования Научно-образовательным медико-технологическим центром МГТУ имени Н.Э. Баумана показали принципиальную возможность получения в реальном масштабе времени данных акустокардиографии и уровня эмоциональной напряженности у обследуемых студентов при проведении экспресс-кардиодиагностики. Разработанная технология обеспечивает получение биомаркеров стресса по речевому сигналу длительностью несколько секунд.

Ключевые слова: эмоциональная напряженность, речевой сигнал, многоуровневый вейвлет-анализ, биомаркеры стресса.

1. Введение

Оценка психофизиологического или эмоционального состояния человека осуществляется преимущественно с использованием полиграфов. При их использовании возникает ряд трудностей, вызванных как недостатками методик тестирования, так и низким качеством применяемой аппаратуры [1, 2]. Решение задачи получения более объективной оценки функционального состояния обследуемых в мировой практике осуществляется за счет совершенствования применяемых методик и аппаратно-программных средств.

Практически все известные современные полиграфные системы при проведении проверок не включают оценку состояния человека по характеристикам его речи. Если в полиграфах и предусмотрены тракты для записи речи, то при обработке аудиозаписей оценивается, как правило, энергия речевого сигнала или уровень громкости звука. В то же время, акустическими, лингвистическими и психофизиологическими

исследованиями установлено, что характеристики устной речи человека коррелируют с изменениями его состояния.

Существенные результаты по выявлению объективных признаков эмоций в акустическом сигнале на основе положений теории речеобразования получены В.И. Галуновым [3]. В то же время, в работе [4] отмечено, что за последние десятилетия принципиально новых практически значимых результатов не появилось. Публикации, посвященные анализу характеристик речевого сигнала при решении задачи анализа стресса по голосу, не всегда содержат количественные результаты исследований, позволяющие формализовать данную взаимосвязь. В большинстве работ не приводятся технические характеристики применяемых средств регистрации речи, а также условия записи, что затрудняет оценку и сопоставление полученных данных [5-7].

Целью данного исследования является разработка новых решений определения эмоциональной напряженности человека на основе многоуровневого вейвлет-анализа речевого сигнала. Первые результаты по вейвлет-анализу и визуализации эмоциональной речи опубликованы автором в журнале «Специальная Техника» в 2006 году [8].

2. Речевая модель

Известно, что речевая модель включает несколько уровней. Если проанализировать каждый из них с точки зрения самоконтроля речи, они во многом отличаются. Физиологический и эмоциональный уровни контролю не поддаются, идентификационный же контролируется частично. Поэтому считают, что вербальный и невербальный компоненты устной речи человека достаточно надежны для оценки достоверности получаемой информации (рис. 1) [9].

УРОВНИ		
КОНТРОЛИРУЕМЫЕ	С мысловой	<i>содержание речи</i>
	И нтонационный	<i>чувственный – способ передачи информации</i>
КОНТРОЛИРУЕМЫЙ ЧАСТИЧНО	И дентификационный	<i>отражает наличие устойчивых признаков отождествления</i>
НЕКОНТРОЛИРУЕМЫЕ	Ф изиологический	<i>отражает все спонтанные события, происходящие в ЦНС человека</i>
	Э моциональный	<i>обусловлен психо-эмоциональным состоянием человека</i>

Рис. 1. Структура речевой модели: основные уровни речи

Выявлению достоверности информации способствует то, что человек из-за специфики восприятия собственной речи ложные сведения старается замаскировать

попытками контроля собственного голоса, зачастую не очень удачными. К признакам неискренности при ответах на вопросы относят: изменение темпа и тембра голоса, интонации, волнение, появление дрожи, нехарактерных пауз, быстрые ответы на вопросы, подразумевающие мыслительную переработку, появление в речи нехарактерных оборотов и выражений или их внезапное исчезновение, акцентирование внимание на незначительных моментах, чтобы скрыть истинное отношение к ним [9].

3. Оценка динамики эмоционального состояния человека с использованием аппаратно-программного комплекса «Икар Лаб»

Методика выделения и анализа акустических характеристик речи для оценки измененного психофизиологического состояния говорящего разработана специалистами ООО «Центр речевых технологий» (Санкт-Петербург) в 2009 году. Предназначена для экспертов, использующих аппаратно-программный комплекс (АПК) «ИКАР Лаб» [10], который входит в состав системы диагностики, включающей в себя средства регистрации данных, а также контроля динамики психофизиологического состояния человека. Методика дополняет «Руководство пользователя программы SIS-6.X» АПК «ИКАР Лаб» для решения задач получения и анализа акустических характеристик речи с целью оценки динамики психофизиологического или эмоционального состояния человека.

Анализ речи для оценки состояния эмоциональной напряженности включает следующие этапы: составление протокола речевых сообщений; выделение психолингвистических признаков; измерение акустических и временных характеристик; анализ с определением признаков эмоциональной речи. Технология обработки, в целом, является достаточно трудоемкой и требует высокой квалификации эксперта. Временные затраты определяются из соотношения 1 к 10 (т.е. в 10 раз превышают длительность исследуемого фрагмента речи). В методике используется принцип психологического и психофизического шкалирования.

Как правило, эксперты, имеющие опыт работы с эмоциональной речью, при анализе достаточно точно определяют состояние эмоциональной напряженности и уровень ее выраженности. Для оценки степени выраженности состояния эмоциональной напряженности (таблица 1) используется пятибалльная шкала.

Таблица 1. Шкала оценок степени выраженности состояния эмоциональной напряженности

Количество баллов	Степень выраженности состояния эмоциональной напряженности
1	Отсутствует
2	Слабая
3	Средняя
4	Высокая
5	Максимальная

Эксперт также использует информацию, полученную в ходе инструментального анализа речи в виде динамики кепстрограммы (значений периода основного тона).

4. Система детекции лжи CVSA на основе анализа стресса по голосу

В 1971 г. Olof Lippold (Олоф Липпольд), ученый из University College London в статье «Physiological Tremor» («Физиология дрожи»), опубликованной в журнале «Scientific American» проанализировал результаты открытия, сделанного Martin Halliday и Joe

Redfearn на основе исследований, выполненных в Национальном госпитале Лондона. Ученые выявили, что при волнении человека произвольное сокращение мышц сопровождается дрожью в форме мелких колебаний. Кроме того, было установлено, что большая часть физиологического тремора (дрожь) состоит из колебаний особого рефлекторного механизма, который управляет длиной и напряжением мышц в частотном диапазоне от 8 до 12 герц [11].

В 1988 году National Institute for Truth Verification - NITV США (Национальный институт истины) представил разработку Computer Voice Stress Analyzer – CVSA (компьютерный голосовой анализатор стресса), - который нашел широкое применение в правоохранительных органах.

С 1991 года система CVSA, реализованная на основе мощного многофункционального ноутбука, поставляется государственным учреждениям и подразделениям ВС США. Последняя версия анализатора CVSA II (рис. 2) обрела репутацию наиболее эффективного следственного инструмента, который был введен в эксплуатацию правоохранительными органами США в течение последних трех десятилетий [11].



Рис. 2. Внешний вид анализатора CVSA II

5. Программа анализа стресса по голосу WaveView-VSA

В НПО «Эшелон» выполнена разработка алгоритмов и математического обеспечения получения сонограмм, на основе данных многоуровневого вейвлет-анализа, отображающих детальную частотно-временную структуры сигналов работы элементов голосового тракта, перестраиваемого за счет нейромускульных действий по приказам головного мозга. В разработанной исследовательской программе WaveView-VSA реализовано несколько алгоритмов обработки речевого сигнала, а также получения вейвлет-сонограмм и биомаркеров стресса [12, 13].

5.1. Примеры вейвлет-сонограмм

Ниже (рис. 3-9) приводятся примеры вейвлет-сонограмм речи дикторов при отсутствии эмоциональной нагрузки, а также при различных уровнях напряженности. На рис. 3 представлена сонограмма слов [Илья Олегович] - имени и отчества студента 6 курса, - зарегистрированной тестовой контрольной фразы.

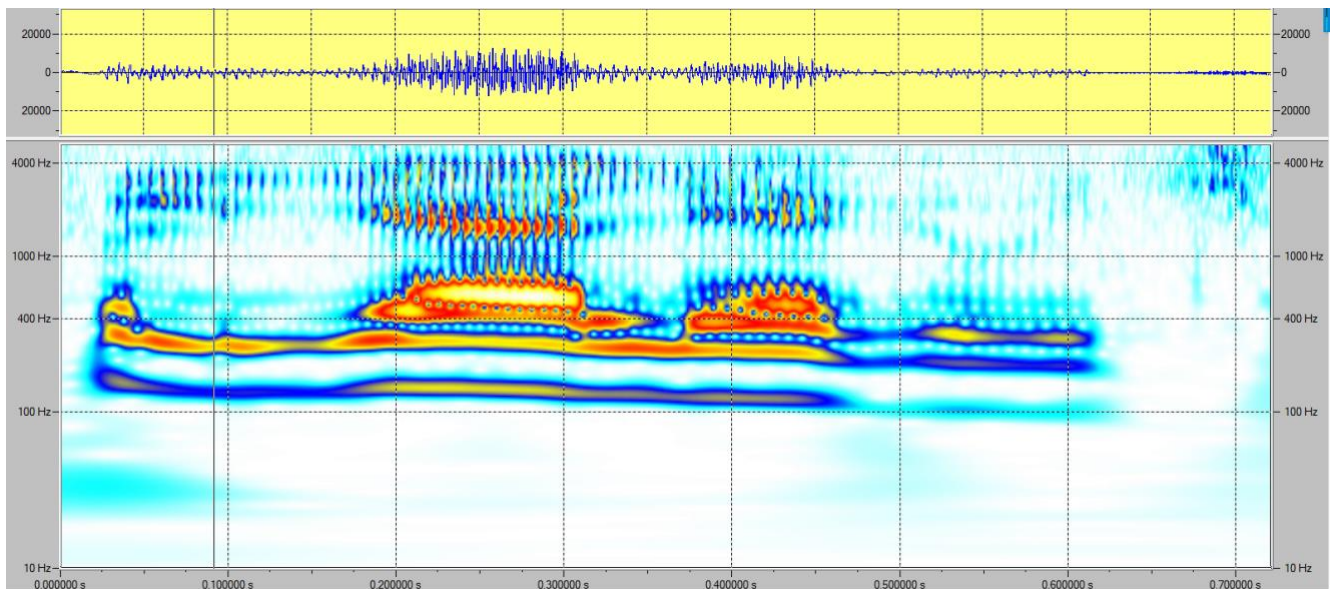


Рис. 3. Вейвлет-сонограмма слов [Илья Олегович], контрольной (эмоционально-нейтральной) фразы, произнесенной студентом 6 курса. На тональных участках гласных звуков видна последовательность пульсаций голосовых складок, характеризующих стабильность значения периода основного тона; в низкочастотной области отсутствуют биомаркеры «тремора» голоса, характеризующие эмоциональную напряженность

На рис. 4 представлена вейвлет-сонограмма слов [Виктория Игоревна] - имени и отчества студентки 6 курса, - зарегистрированной тестовой записи.

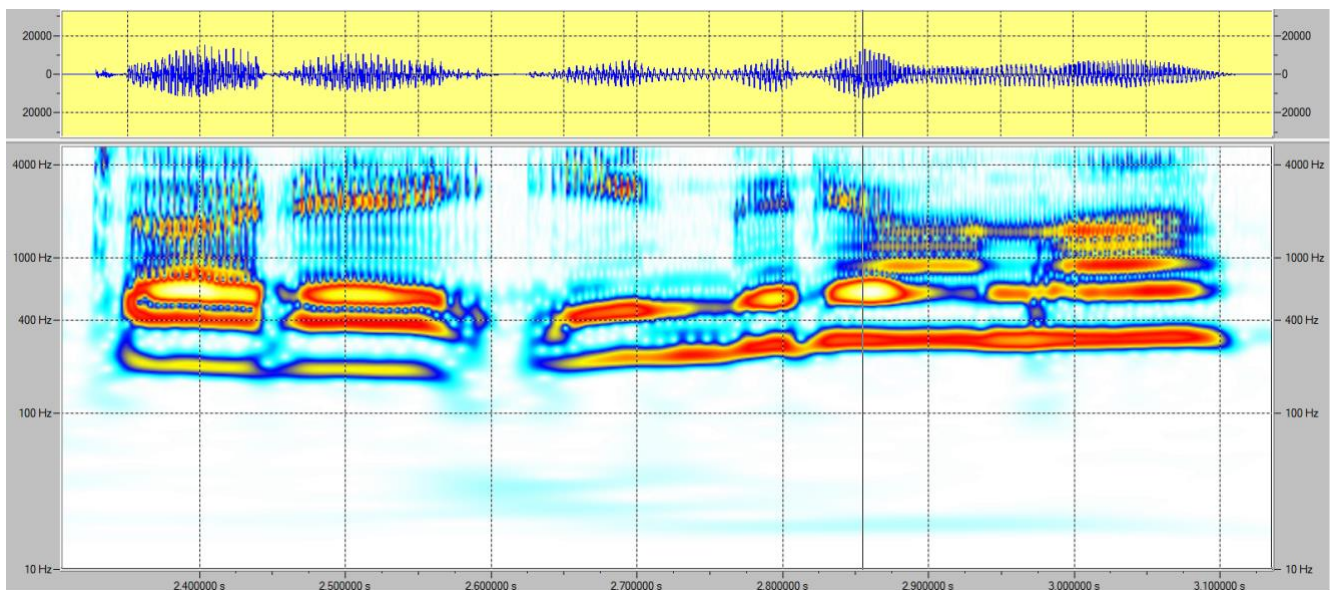


Рис. 4. Вейвлет-сонограмма слова [Виктория Игоревна], контрольной (эмоционально-нейтральной) фразы, произнесенной студенткой 6 курса, зарегистрированной тестовой записи при выполнении лабораторной работы. На тональных участках гласных звуков видна последовательность пульсаций голосовых складок, характеризующих стабильность значения периода основного тона; в низкочастотной области отсутствуют сигналы «тремора» голоса - биомаркеры, характеризующие эмоциональную напряженность

На рис. 5 представлена вейвлет-сонограмма речевого сигнала диктора, испытывающего стресс (ответ студента 6 курса на экзамене).

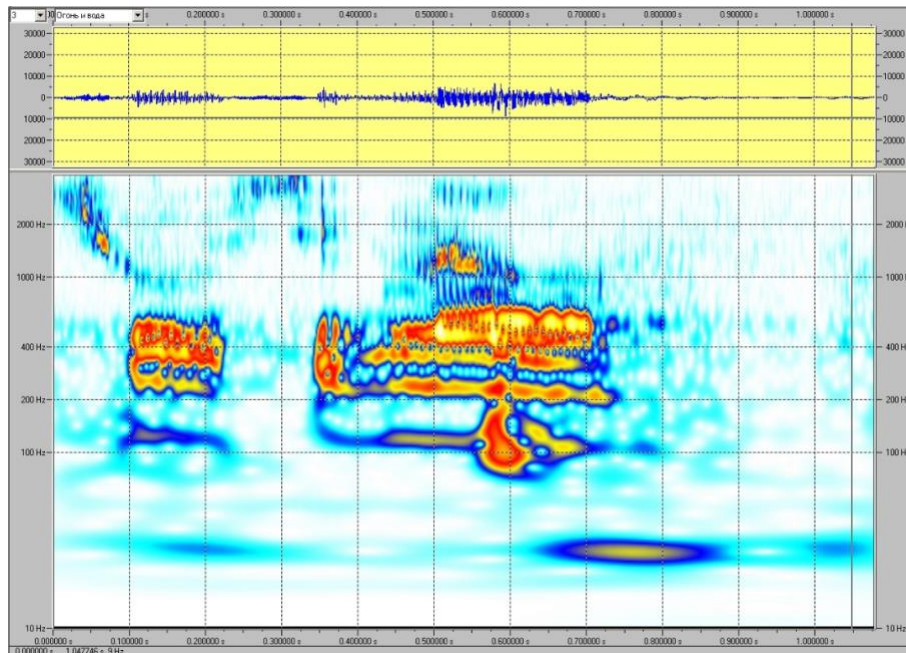


Рис. 5. Вейвлет-сонограмма речевого сигнала диктора, испытывающего стресс (ответ студента 6 курса на экзамене)

Признаками стресса по голосу (биомаркерами), проявившимися на сонограмме, являются: - «разрушение» спектрально-временной структуры гласных звуков; - «микросодрогание» голосовых складок диктора на тональных участках гласных звуков; - появление в низкочастотной части спектра колебаний с частотой 24-28 Гц.

На рис. 6 представлена вейвлет-сонограмма фрагмента речевого сигнала ответа студента 6 курса на экзамене также с высоким уровнем эмоциональной напряженности.

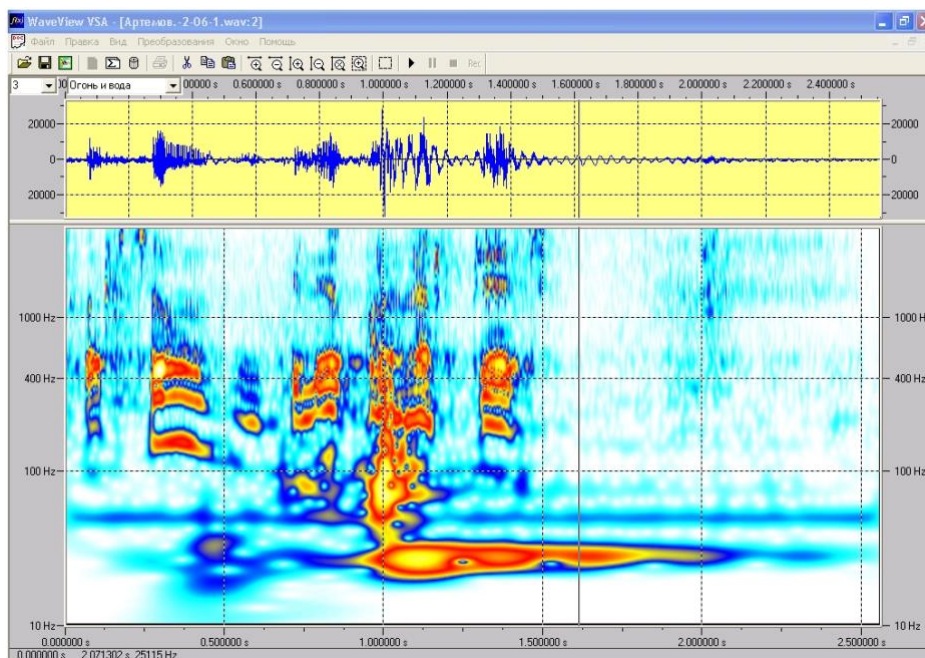


Рис. 6. Вейвлет-сонограмма фрагмента речевого сигнала ответа студента 6 курса на экзамене; низкочастотный сигнал 20-30 Гц характеризует значительный уровень стресса. На участке 1 сек. наблюдается «разрушение» спектрально-временной структуры гласного звука. На частоте 50 Гц заметен сигнал фона сети питания малого уровня

На рис. 7 представлена вейвлет-сонограмма речевого сигнала ответа на экзамене студентки 6 курса.

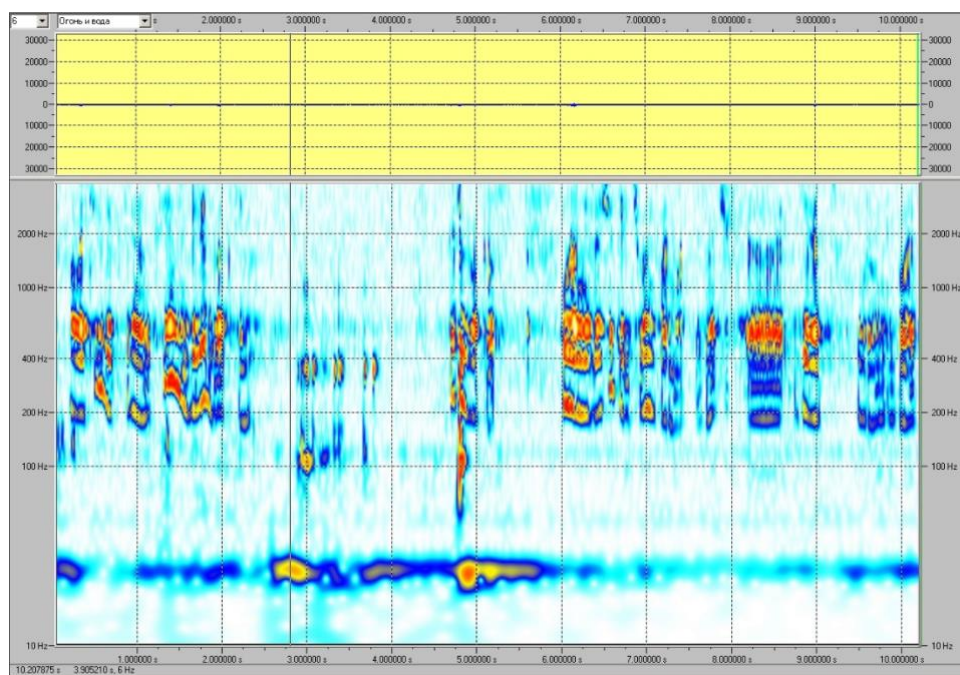


Рис. 7. Вейвлет-сонограмма речевого сигнала ответа на экзамене студентки 6 курса; биомаркер стресса - низкочастотный «тремор» речевого тракта с частотой 24-28 Гц наблюдается также в паузах речи

На рис. 8 и 9, соответственно, представлены вейвлет-сонограммы речевого сигнала студента «А» 6 курса при сдаче экзамена и защите дипломного проекта.

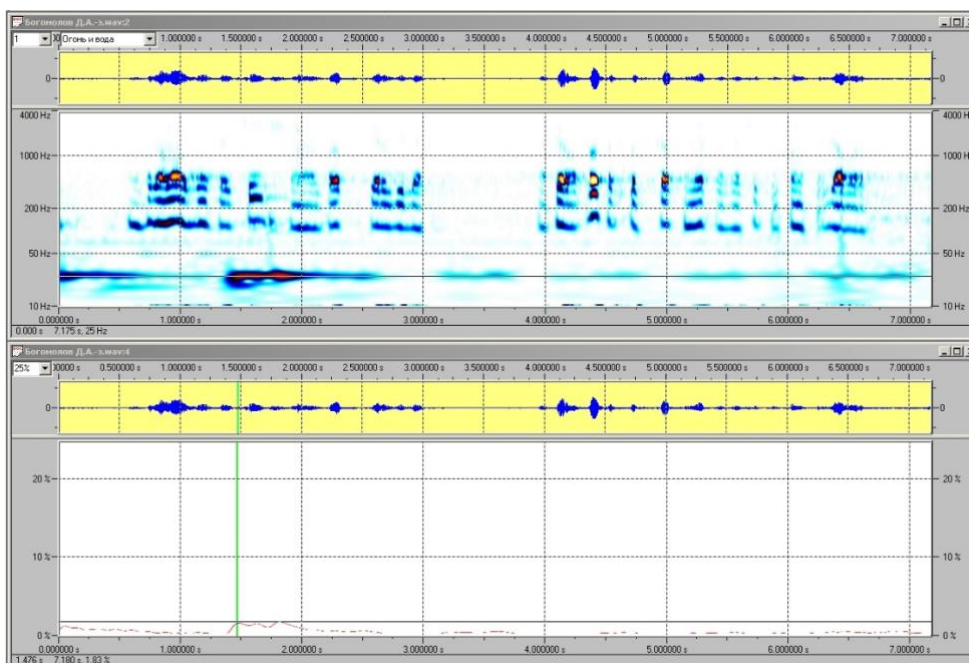


Рис. 8. Сдача экзамена студентом «А» 6 курса. В нижней части сонограммы представлен график VSA. Максимальное значение уровня стресса по голосу составляет 2 %. Степень выраженности состояния эмоциональной напряженности составляет 2 балла (слабая)

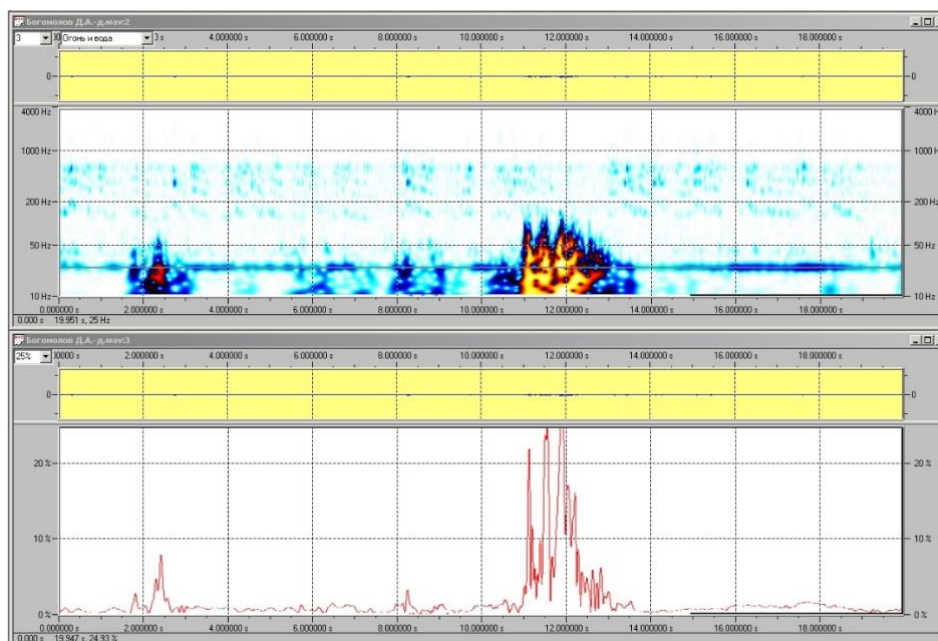


Рис. 9. Защита дипломного проекта студентом «А» 6 курса. В соответствии с графиком VSA уровень стресса по голосу достигает 25 %. Степень выраженности состояния эмоциональной напряженности составляет 3 балла (средняя)

Исследования по оценке эмоционального состояния диктора по голосу проводятся в МГТУ имени Н.Э. Баумана и НПО «Эшелон» начиная с 2002 года [14-19]. Сформирована и обработана база данных аудиозаписей 870 студентов 6 курса, находящихся в условиях с повышенной эмоциональной нагрузкой при сдаче экзамена и защите дипломного проекта. В качестве контрольных (эмоционально-нейтральных) записей использовались тестовые фразы речи студентов, зарегистрированные ими самостоятельно при выполнении лабораторной работы. Из общего числа студентов: мужчин - 703, женщин - 129; учащихся факультета «Головной учебно-исследовательский и методический центр профессиональной реабилитации лиц с ограниченными возможностями здоровья (инвалидов по слуху)»: мужчин - 27, женщин - 11.

6. Методика анализа стресса по голосу

Методика анализа стресса по голосу на основе многоуровневого вейвлет-преобразования включает в себя этап высокоточной регистрации речевого сигнала; выбор участков аудиозаписи для анализа; получение, с использованием программы WaveView-VSA вейвлет-сонограмм; выделение признаков, характеризующих эмоциональную напряженность – биомаркеров стресса.

Средства регистрации фонограмм должны обеспечивать запись как речевых, так и низкочастотных биомедицинских акустических сигналов в диапазоне 10 Гц - 100 Гц. Рекомендуемые аппаратно-программные средства регистрации аудиозаписей: цифровой микрофон Logitech USB Desktop Microphone; гарнитура Logitech USB Headset; специализированный диктофон «Защита» (Телесистемы, Россия), относится к новому классу цифровых диктофонов [20, 21]. К существенным достоинствам применения диктофона «Защита» следует отнести тот факт, что его записи могут быть использованы в суде в качестве доказательства.

7. Заключение

За десятилетний период сформирована и обработана экспериментальная база данных аудиозаписей студентов 6 курса факультета «Информатика и Управление» МГТУ имени Н.Э. Баумана, находящихся в условиях с повышенной эмоциональной

нагрузкой при сдаче экзамена и защите дипломного проекта. Разработанная автором технология многоуровневого вейвлет-анализа нестационарных сигналов позволила выделять на тональных участках речи биомаркеры стресса, характеризующие уровень эмоциональной напряженности. Ранее технология МВА показала высокую эффективность ее применения при визуализации звуков сердца, легких [22, 23], биомедицинских сигналов систем телемедицины [24], помех сети питания в системах мобильной электрокардиографии [25], а также решении задач криминалистического исследования фонограмм [26, 27].

Апробация разработанной технологии оценки уровня эмоциональной напряженности диктора по голосу проведена на материалах аудиозаписей 870 дикторов (720 мужчин и 150 женщин), общим объемом более 14 часов. Научно-образовательным медико-технологическим центром МГТУ имени Н.Э. Баумана реализован пилотный проект по экспресс-кардиодиагностике обследуемых студентов с оценкой текущего эмоционального состояния. Результаты проведенного исследования показали принципиальную возможность получения в реальном масштабе времени данных акустикокардиографии и биомаркеров стресса по голосу [28]. Кроме того, при выявлении неврологических заболеваний, а также их возможных причин, обработка потенциалов головного мозга, с использованием технологии многоуровневого вейвлет-анализа, позволит получить новую дополнительную диагностическую информацию.

Материалы статьи могут представлять интерес для разработчиков систем детекции лжи по голосу, а также новых перспективных решений домашней телемедицины.

Список литературы

1. Комиссарова Я.В., Мягих Н.И., Пеленицын А.Б. Полиграф в России и США: проблемы применения. «Юрлитинформ». М.: 2012. 224 с.
2. Пеленицын А.Б., Сошников А.П. Основные трудности и проблемы использования полиграфа в правоохранительной деятельности и кадровой работе и рекомендуемые пути их преодоления. Поликонииус. Современные технологии детекции лжи. https://www.polyconius.ru/company/library/article_8.php.
3. Галунов В.И. Некоторые проблемы акустической теории речеобразования // Акустический журнал. 2002. Т. 48. № 6. С. 845-848.
4. Галунов В.И. О возможности определения эмоционального состояния говорящего по речи // Речевые технологии. 2008. № 1. С. 60-66.
5. Горшков Ю.Г., Дорофеев А.В. Сравнительная характеристика систем детекции лжи на основе анализа речевого сигнала на выявление стресса (VSA) // Сб. трудов X Всерос. науч. конф. «Проблемы информационной безопасности в системе высшей школы». М.: 2003. С. 51.
6. Горшков Ю.Г., Дорофеев А.В. Речевые детекторы лжи коммерческого применения // ИНФОРМОСТ. М.: 2003. № 6. С. 13-15.
7. Горшков Ю.Г., Ефременков С.В., Баринов Е.В. Специализированные средства программно-технического комплекса регистрации речевого сигнала и криминалистического исследования фонограмм // Материалы XXVI Всероссийской научной конференции «Информатизация и информационная безопасность правоохранительных органов». М.: Академия управления МВД России. 2017. С. 218-222.
8. Горшков Ю.Г. Новые решения речевых технологий безопасности // Специальная техника. М.: 2006. № 4. С. 41-47.
9. Осьшина Д.П., Самохина М.А., Иванов Л.Н. К вопросу о «голосовом полиграфе». Часть 1, 2 // Лаборатория ММПЯиП СГУ им. Н.Г. Чернышевского. Саратов: 2011. С. 1-5.
10. Центр Речевых Технологий. ИКАР Лаб: Комплекс криминалистического исследования фонограмм речи. <http://www.speechpro.ru/product/analysis/criminalistic/ikarlab>.

11. National Institute for Truth Verification. The World Leader in Voice Stress Analysis. <http://www.cvsa1.com/History.htm>.
12. Горшков Ю.Г. Средства многоуровневого вейвлет-анализа стресса по голосу // Сб. трудов XXIV Всерос. науч. конф. «Информатизация и информационная безопасность правоохранительных органов». М.: Академия управления МВД России. 2015. С. 169-173.
13. Горшков Ю.Г., Каиндин А.М., Марков А.С., Цирлов В.Л. «WAVEVIEW VSA» Анализ стресса по голосу (программа для ЭВМ). Свидетельство о регистрации RU 2017662095, 27.10.2017. Заявка № 2017619125 от 08.09.2017.
14. Горшков Ю.Г. Аппаратно-программные средства оценки эмоционального состояния человека по акустическим сигналам // Инструментальная детекция лжи — 15 лет на страже закона: итоги пройденного и перспективы развития. Международная научно-практическая конференция специалистов-полиграфологов правоохранительных органов, 21 – 24 сентября 2009, Казань.
15. Горшков Ю.Г. Исследовательский комплекс частотно-временного анализа речевого сигнала с использованием вейвлет-технологии // Вестник Московского государственного технического университета им. Н.Э. Баумана. Сер. «Приборостроение». 2011. № 4. С. 78 - 87.
16. Горшков Ю.Г. Многоуровневый вейвлет-анализ акустических сигналов при решении задач фоноскопической экспертизы // Материалы XX Международной научной конференции «Информатизация и информационная безопасность правоохранительных органов». М.: Академия управления МВД России. 2011. С. 379-387.
17. Горшков Ю.Г. Оценка эмоционального состояния человека на основе многоуровневого вейвлет-анализа речи // Биомедицинская радиоэлектроника. М.: 2014. № 10. С. 64-70.
18. Горшков Ю.Г. Обработка речевых сигналов на основе вейвлетов // Т-Comm: Телекоммуникации и транспорт. М.: 2015. № 2, том 9. С. 46-53.
19. Горшков Ю.Г. Анализ стресса по голосу на основе многоуровневого вейвлет-преобразования // Специальная техника. М.: 2015. № 4. С. 32-41.
20. Горшков Ю.Г., Дорофеев А.В., Марков А.С., Цирлов В.Л. Устройство оценки эмоциональной напряженности человека по голосу. Патент на полезную модель RUS 165114 14.09.2015. Заявка № 2015138941/14. Бюл. № 28.
21. Телесистемы. Миниатюрные цифровые диктофоны. <http://www.telesys.ru/products/recorders>.
22. Горшков Ю.Г. Визуализация звуков сердца // Электронный журнал «Научная визуализация». Национальный Исследовательский Ядерный Университет «МИФИ» № 1, том 9, квартал 1, 2017. С. 97-111.
23. Y.G. Gorshkov. Visualization of Lung Sounds Based on Multilevel Wavelet Analysis. Scientific Visualization, 2022, volume 14, number 2, pages 18 – 26. (DOI: 10.26583/sv.14.2.02)
24. Горшков Ю.Г. Новые решения визуализации биомедицинских сигналов в системах телемедицины // Электронный журнал «Научная визуализация». Национальный Исследовательский Ядерный Университет «МИФИ» № 2, том 11, квартал 2, 2019. С. 56-72. (DOI: 10.26583/sv.11.2.05)
25. Горшков Ю.Г. Визуализация помех сети питания в телемедицинских системах мобильной электрокардиографии // Электронный журнал «Научная визуализация». Национальный Исследовательский Ядерный Университет «МИФИ» № 1, том 13, квартал 1, 2021. С. 44 – 53. (DOI: 10.26583/sv.13.1.04)
26. Горшков Ю.Г. Визуализация многоуровневого вейвлет-анализа фонограмм // Электронный журнал «Научная визуализация». Национальный Исследовательский Ядерный Университет «МИФИ» № 2, том 7, квартал 2, 2015. С. 96-111.

27. Горшков Ю.Г. Обработка речевых и акустических биомедицинских сигналов на основе вейвлетов / Научное издание. М.: Радиотехника. 2017. 240 с.

28. Gorshkov, Y.G., Volkov, A.K., Voinova, N.A. et al. Acoustocardiography with Assessment of Emotional Tension from the Voice. Biomed Eng 53, 383–387 (2020). (<https://doi.org/10.1007/s10527-020-09948-8>)

Visualization of a Person's Emotional Tension by a Speech Signal

Y.G. Gorshkov¹

Bauman Moscow State Technical University, Mocsow, Russian Federation

¹ ORCID: 0000-0003-0483-4603, y.gorshkov@npo-echelon.ru

Abstract

The article presents the results of research on the assessment of human emotional tension by a speech signal using the developed technology of multilevel wavelet analysis. The disadvantages of polygraph systems during psychophysiological inspections of personnel are given. The data obtained by domestic and foreign experts allow us to make a confident conclusion that the characteristics of a person's oral speech correlate with changes in their condition. The characteristics of the hardware and software complex «Icar Lab» (Russia) in assessing the emotional state of the speaker, as well as the computer voice stress analyzer CVSA (USA) are considered. A new contactless technology is proposed for assessing the level of emotional tension of a person using stress biomarkers obtained on the tonal parts of speech. The WaveView-VSA program for obtaining high-precision time-frequency characteristics of a speech signal has been developed. The possibilities of the developed program for visualizing the level of emotional tension are presented. A database of audio recordings of 6th-year students who are in conditions with increased emotional stress during the exam and the defense of the graduation project has been formed and processed. The research conducted by the Scientific and Educational Medical and Technological Center of the Bauman Moscow State Technical University showed the fundamental possibility of obtaining real-time acoustocardiography data and the level of emotional tension in the examined students during express cardiognostics. The developed technology provides biomarkers of stress based on a speech signal lasting several seconds.

Keywords: emotional tension, speech signal, multilevel wavelet analysis, biomarkers of stress.

References

1. Komissarova Y.V., Myagkih N.I., Pelenicyn A.B. Poligraf v Rossii i SSHA: problemy primeneniya. «YUrlitinform». M.: 2012. 224 p. [in Russian].
2. Pelenicyn A.B., Soshnikov A.P. Osnovnye trudnosti i problemy ispol'zovaniya poligrafa v pravoohranitel'noj deyatel'nosti i kadrovoj rabote i rekomenduemye puti ih preodoleniya. Polikonius. Sovremennye tekhnologii detekcii lzhi. https://www.polyconius.ru/company/library/article_8.php. [in Russian].
3. Galunov V.I. Issledovanie variativnosti rechevogo povedeniya cheloveka: Avtoref. diss. dokt. biol. nauk. L.: 1975. 38 p. [in Russian].
4. Galunov V.I. O vozmozhnosti opredeleniya emocional'nogo sostoyaniya govoryashchego po rechi // Rechevye tekhnologii. 2008. № 1. pp. 60-66. [in Russian].
5. Gorshkov Y.G., Dorofeev A.V. Sravnitel'naya harakteristika sistem detekcii lzhi na osnove analiza rechevogo signala na vyyavlenie stressa (VSA) // Sb. trudov X Vseros. nauch. konf. «Problemy informacionnoj bezopasnosti v sisteme vysshej shkoly». M.: 2003. p. 51. [in Russian].
6. Gorshkov Y.G., Dorofeev A.V. Rechevye detektory lzhi kommercheskogo primeneniya // INFORMOST. M.: 2003. № 6. pp. 13-15. [in Russian].

7. Gorshkov Y.G., Efremenkov S.V., Barinov E.V. Specializirovannye sredstva programmno-tekhnicheskogo kompleksa registracii rechevogo signala i kriminalisticheskogo issledovaniya fonogramm // Materialy XXVI Vserossijskoj nauchnoj konferencii «Informatizaciya i informacionnaya bezopasnost' pravoohranitel'nyh organov». M.: Akademiya upravleniya MVD Rossii. 2017. pp. 218-222. [in Russian].
8. Gorshkov Y.G. Novye resheniya rechevyh tekhnologij bezopasnosti // Special'naya tekhnika. M.: 2006. № 4. pp. 41-47. [in Russian].
9. Osyshnaya D.P., Samohina M.A., Ivanov L.N. K voprosu o «golosovom poligrafe». CHast' 1, 2 // Laboratoriya MMPYAiP SGU im. N.G. CHernyshevskogo. Saratov: 2011. pp. 1-5. [in Russian].
10. Centr Rechevyh Tekhnologij. IKAR Lab: Kompleks kriminalisticheskogo issledovaniya fonogramm rechi. [in Russian].
<http://www.speechpro.ru/product/analysis/criminalistic/ikarlab>.
11. National Institute for Truth Verification. The World Leader in Voice Stress Analysis.
<http://www.cvsa1.com/History.htm>.
12. Gorshkov Y.G. Sredstva mnogourovnevnogo vejjvlet-analiza stressa po golosu // Sb. trudov XXIV Vseros. nauch. konf. «Informatizaciya i informacionnaya bezopasnost' pravoohranitel'nyh organov». M.: Akademiya upravleniya MVD Rossii. 2015. pp. 169-173. [in Russian].
13. Gorshkov Y.G., Kaindin A.M., Markov A.S., Cirlov V.L. «WAVEVIEW VSA» Analiz stressa po golosu (programma dlya EVM). Svidetel'stvo o registracii RU 2017662095, 27.10.2017. Zayavka № 2017619125 ot 08.09.2017. [in Russian].
14. Gorshkov Y.G. Apparatno-programmnye sredstva ocenki emocional'nogo sostoyaniya cheloveka po akusticheskim signalam // Instrumental'naya detekciya lzhi — 15 let na strazhe zakona: itogi projdennogo i perspektivy razvitiya. Mezhdunarodnaya nauchno-prakticheskaya konferenciya specialistov-poligrafologov pravoohranitel'nyh organov, 21 – 24 sentyabrya 2009, Kazan'. [in Russian].
15. Gorshkov Y.G. Issledovatel'skij kompleks chastotno-vremennogo analiza rechevogo signala s ispol'zovaniem vejjvlet-tekhnologii // Vestnik Moskovskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta im. N.E. Bauman. Ser. «Priborostroenie». 2011. № 4. pp. 78 - 87. [in Russian].
16. Gorshkov Y.G. Mnogourovnevnyj vejjvlet-analiz akusticheskikh signalov pri reshenii zadach fonoskopicheskoy ekspertizy // Materialy XX Mezhdunarodnoj nauchnoj konferencii «Informatizaciya i informacionnaya bezopasnost' pravoohranitel'nyh organov». M.: Akademiya upravleniya MVD Rossii. 2011. pp. 379-387. [in Russian].
17. Gorshkov Y.G. Ocenka emocional'nogo sostoyaniya cheloveka na osnove mnogourovnevnogo vejjvlet-analiza rechi // Biomedicinskaya radioelektronika. M.: 2014. № 10. pp. 64-70. [in Russian].
18. Gorshkov Y.G. Obrabotka rechevyh signalov na osnove vejjvletov // T-Comm: Telekommunikacii i transport. M.: 2015. № 2, tom 9. pp. 46-53. [in Russian].
19. Gorshkov Y.G. Analiz stressa po golosu na osnove mnogourovnevnogo vejjvlet-preobrazovaniya // Special'naya tekhnika. M.: 2015. № 4. pp. 32-41. [in Russian].
20. Gorshkov Y.G., Dorofeev A.V., Markov A.S., Cirlov V.L. Ustrojstvo ocenki emocional'noj napryazhennosti cheloveka po golosu. Patent na poleznuyu model' RUS 165114 14.09.2015. Zayavka № 2015138941/14. Byul. № 28. [in Russian].
21. Telesistemy. Miniaturnye cifrovye diktofony. [in Russian].
<http://www.telesys.ru/products/recorders>.
22. Gorshkov Y.G. Vizualizaciya zvukov serdca // Elektronnyj zhurnal «Nauchnaya vizualizaciya». Nacional'nyj Issledovatel'skij YAdernyj Universitet «MIFI» № 1, tom 9, kvartal 1, 2017. pp. 97-111. [in Russian].
23. Y.G. Gorshkov. Visualization of Lung Sounds Based on Multilevel Wavelet Analysis. Scientific Visualization, 2022, volume 14, number 2, pp.18 – 26. (DOI: 10.26583/sv.14.2.02)
24. Gorshkov Y.G. Novye resheniya vizualizacii biomedicinskih

signalov v sistemah telemediciny // Elektronnyj zhurnal «Nauchnaya vizualizaciya». Nacional'nyj Issledovatel'skij YAdernyj Universitet «MIFI» № 2, tom 11, kvartal 2, 2019. pp. 56-72. (DOI: 10.26583/sv.11.2.05) [in Russian].

25. Gorshkov Y.G. Vizualizaciya pomexh seti pitaniya v telemedicinskih sistemah mobil'noj elektrokardiografii // Elektronnyj zhurnal «Nauchnaya vizualizaciya». Nacional'nyj Issledovatel'skij YAdernyj Universitet «MIFI» № 1, tom 13, kvartal 1, 2021. pp. 44 – 53. (DOI: 10.26583/sv.13.1.04) [in Russian].

26. Gorshkov Y.G. Vizualizaciya mnogourovnevnogo vejvlet-analiza fonogramm // Elektronnyj zhurnal «Nauchnaya vizualizaciya». Nacional'nyj Issledovatel'skij YAdernyj Universitet «MIFI» № 2, tom 7, kvartal 2, 2015. pp. 96-111. [in Russian].

27. Gorshkov Y.G. Obrabotka rechevyh i akusticheskikh biomedicinskih signalov na osnove vejvletov / Nauchnoe izdanie. M.: Radiotekhnika. 2017. 240 p. [in Russian].

28. Gorshkov Y.G., Volkov A.K., Voinova N.A. et al. Acoustocardiography with Assessment of Emotional Tension from the Voice. Biomed Eng 53, pp. 383–387 (2020). (<https://doi.org/10.1007/s10527-020-09948-8>)