

На правах рукописи



Новохрестова Дарья Игоревна

**МЕТОДИКИ И АЛГОРИТМ АНАЛИЗА ДАННЫХ ПРИ ОЦЕНКЕ
КАЧЕСТВА ПРОИЗНОШЕНИЯ СЛОГОВ В ПРОЦЕССЕ РЕЧЕВОЙ
РЕАБИЛИТАЦИИ**

05.13.17 – Теоретические основы информатики

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Томск 2022

Работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники»

Научный руководитель – **Ходашинский Илья Александрович**,
доктор технических наук, профессор

Официальные оппоненты: **Карпов Алексей Анатольевич**,
доктор технических наук, доцент, заведующий лабораторией речевых и многомодальных интерфейсов Санкт-Петербургского института информатики и автоматизации Российской академии наук (СПИИРАН)

Фадеев Александр Сергеевич,
кандидат технических наук, проректор по цифровизации, доцент отделения информационных технологий Томского политехнического университета

Ведущая организация – Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский государственный университет»

Защита состоится «08» сентября 2022 г. в 14:00 часов на заседании диссертационного совета Д 212.268.05 при Томском государственном университете систем управления и радиоэлектроники (ТУСУР) по адресу: 634050, г. Томск, пр. Ленина 40, ауд. 201.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ТУСУР по адресу: 634045, г. Томск, ул. Красноармейская 146, а также на сайте ТУСУР: <https://postgraduate.tusur.ru/urls/x2ddb8na>

Автореферат разослан «___» _____ 2022 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета

Костюченко Евгений Юрьевич

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Оценка качества речи и речевого сигнала применяется во многих областях науки и техники. Оценка речи используется при разработке и сравнении методов и алгоритмов передачи сигналов по каналам связи, в практических задачах идентификации и аутентификации по голосу в сфере защиты информации, при распознавании речевого сигнала в процессе речевой и голосовой реабилитации после заболеваний органов речеобразующего тракта. Одной из групп таких заболеваний является онкология. За 2020 год зарегистрировано более 20 000 новых случаев онкологии органов полости рта и ротоглотки, среднегодовой темп прироста 2,5%. Проводится комбинированное лечение, включающее химиолучевую терапию и оперативное вмешательство в различной последовательности, где ведущим компонентом остается хирургический этап. Согласно концепции развития здравоохранения России рак полости рта и ротоглотки относится к группе наиболее социально значимых болезней, так как нарушение звучной речи в постоперационный период приводит к инвалидизации, снижая трудовой потенциал и качество жизни пациентов. Таким образом, после проведения хирургического лечения обязательным этапом является речевая реабилитация. Речевая реабилитация – комплекс медицинских и организационных мероприятий для восстановления разборчивой речи пациента. Согласно национальному проекту «Здравоохранение» одним из приоритетных направлений является развитие персонализированной медицины. Поэтому оценка произношения в рамках речевой реабилитации должна производиться с учетом особенностей речи пациента, который ее проходит.

Особенности решения задачи оценки речи зависят от сферы применения. Так в одних задачах целью является получение объективных количественных значений. Речь анализируется с точки зрения вычисления параметров сигнала и их изменении после проведенных манипуляций (передача по каналам связи, сжатие сигнала, оценка защищенности и др.). В таких случаях работа идет или с параметрами самого аудиосигнала (частота, меры зашумленности, энергия и др.) с учетом влияния измерительных приборов, или с параметрами голоса диктора (частота основного тона, длительность фонации и т.д.). Над решением подобных и смежных с ними задач работали такие ученые как Р.В. Шафер, Л. Рабинер, А. Асеро, В.П. Бондаренко, А.В. Аргановский, Р.К. Потапова, А.А. Карпов, А.Л. Ронжин, Л.А. Чистович, Т.К. Винцюк, Л.В. Бондарко, Л.В. Златоустова, В.Н. Трунин-Донской, Т.В. Шарий, А.С. Фадеев, Р.В. Мещеряков, Е.Ю. Костюченко, В.П. Коцубинский, С.Ю. Корнилов, И.А. Рахманенко, С.С. Харченко и многие другие. Другим актуальным направлением является решение задачи распознавания речи. Другим актуальным направлением является решение задачи распознавания речи. Для ее решения применяются методы, основанные на искусственных нейронных сетях, скрытых марковских моделях, динамическом программировании, дискриминантном анализе и

других подходах. Существенный вклад в развитие этих методов внесли Л.Е. Баум, Дж.К. Бейкер, Б.Т. Лоуэрр, Л.Р. Липорак, Б. Жуань, С.Е. Левинсон и др.

Однако применение методов, направленных на решение вышеописанных задач, для оценки речи в речевой реабилитации не является возможным из-за принципиальных отличий в сути проводимого сравнения и применяемых подходов. Например, в методах при передаче по каналам связи оцениваются два разных представления (до и после передачи) одной и той же реализации, а в методы распознавания речи эффективны на более крупных фонетических единицах (от слова и больше). Большинство применяемых методов анализа качества речи в медицине основаны на экспертной оценке или сопоставлении с эталоном. Чем больше сходства с эталоном, тем лучше считается произношение и речь. В этом направлении публиковали свои работы такие ученые, как Д. Росситр, Д. Кьюли, Е.Е. Ляксо, Л.Н. Балацкая и др. Однако недостаток применяемых методов состоит в субъективности получаемых оценок, а применение эталона не учитывает важные особенности речи оцениваемого диктора. Поэтому построение методов и алгоритмов, позволяющих объективно оценивать речь диктора и в то же время учитывать его индивидуальность, является актуальной задачей.

Целью исследования является повышение эффективности процесса речевой реабилитации за счет автоматизации и сокращения времени оценки качества речи.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие **задачи**:

1) выполнить анализ текущего состояния исследований в изучаемой предметной области: алгоритмы оценки качества и разборчивости речи, методики оценки речи в процессе речевой и голосовой реабилитации, алгоритмы анализа речевых сигналов;

2) разработать алгоритм количественной оценки схожести двух речевых сигналов, результаты работы которого согласуются с оценками, получаемыми по старой методике;

3) разработать методику оценки схожести речевых сигналов, учитывающую особенности речи дикторов (пациентов);

4) адаптировать методику голосовой реабилитации для речевой реабилитации с использованием биологической обратной связи и оценки качества речи;

5) реализовать и апробировать алгоритм и методики на практике в процессе речевой реабилитации.

Объектом исследования данной работы является процесс речевой реабилитации пациентов после комбинированного лечения онкологических заболеваний органов полости рта и ротоглотки.

Предметом исследования является алгоритмы и методики оценки качества речи.

Основные **методы исследования**, примененные в диссертационной работе – это методы моделирования, системного анализа, цифровой обработки сигналов и математической статистики.

Научная новизна результатов работы и проведенных исследований заключается в следующем:

1) Предложен алгоритм нахождения количественной оценки схожести двух речевых сигналов, отличающийся гибридной мерой совпадения, основанной на комбинации метрик DTW-расстояния, коэффициента корреляции и расстояния Минковского.

2) Предложена методика оценки схожести речевых сигналов до и после оперативного вмешательства, отличающаяся применением нескольких опорных речевых сигналов, отражающих одну и ту же фонетическую единицу.

3) Для проведения речевой реабилитации адаптирована методика голосовой реабилитации с использованием бионического принципа биологической обратной связи, отличающаяся новой гибридной мерой для оценки схожести речевых сигналов.

Теоретическая значимость исследования заключается в развитии технологии анализа и оценки качества речи. Предложенная методика позволила проводить количественную оценку схожести речевых сигналов на основе сравнения с несколькими опорными сигналами в заранее известном интервале значений.

Практическая значимость работы подтверждается применением полученных в ней результатов для решения практической задачи оценки качества произношения слогов в процессе речевой реабилитации после хирургического лечения онкологических заболеваний органов полости рта и ротоглотки. Результаты работы внедрены в процесс лечения, проводимого на базе НИИ онкологии Томского НИМЦ. Методика речевой реабилитации может быть также применена в рамках лечения иных заболеваний со сходным характером вмешательства.

Положения, выносимые на защиту:

1. Предложенный алгоритм нахождения количественной оценки схожести двух речевых сигналов позволяет получить значение меры схожести двух различных по продолжительности аудиосигналов. Среднее количество совпадений оценок, получаемых по предложенному алгоритму, с оценками по разработанной ранее методике составляет 83%.

Соответствует пункту 5 паспорта специальности 05.13.17: Разработка и исследование моделей и алгоритмов анализа данных, обнаружения закономерностей в данных и их извлечения; разработка и исследование методов и алгоритмов анализа текста, устной речи и изображений.

2) Методика оценки схожести речевых сигналов до и после оперативного вмешательства, отличающаяся применением нескольких опорных речевых сигналов, позволяет учитывать вариативность произношения фонем и индивидуальные особенности речи пациента.

Соответствует пункту 5 паспорта специальности 05.13.17: Разработка и исследование моделей и алгоритмов анализа данных, обнаружения закономерностей в данных и их извлечения; разработка и исследование методов и алгоритмов анализа текста, устной речи и изображений.

3) Адаптированная методика голосовой реабилитации с использованием бионического принципа биологической обратной связи и методики оценки качества речи позволяет формировать подкрепляющий стимул на основе сравнения ретроспективных данных и сократить время оценки качества речи в речевой реабилитации более чем на 64 %.

Соответствует пункту 13 паспорта специальности 05.13.17: Применение бионических принципов, методов и моделей в информационных технологиях.

Обоснованность и достоверность результатов работы подтверждается их внутренней непротиворечивостью и положительным эффектом от внедрения научных исследований в работу действующего медицинского учреждения (ФГБНУ «Томский НИМЦ РАН» «Научно-исследовательский институт онкологии»), о чем свидетельствует соответствующий Акт о внедрении. Полученные результаты согласуются с оценками по ранее используемой методике на основе ГОСТ Р 50840–95 и результатами исследований других научных групп.

Внедрение результатов. Результаты диссертационной работы внедрены в процесс речевой реабилитации в рамках лечения онкологических заболеваний на базе НИИ Онкологии г. Томск, а также в учебный процесс Томского государственного университета систем управления и радиоэлектроники.

Личный вклад. Основные выносимые на защиту научные результаты получены лично автором. Часть опубликованных работ написана в соавторстве с сотрудниками научных групп и научным руководителем. Автором совместно с сотрудниками ФГБНУ «Томский НИМЦ РАН» «Научно-исследовательский институт онкологии» проведены внедрение и апробация результатов работы. Разработанные алгоритм и методики были реализованы в виде программного комплекса лично автором. Постановка изложенных в диссертации задач осуществлялась совместно научным руководителем д.т.н., профессором Ходашинским И.А. и консультантом к.т.н, доцентом Костюченко Е.Ю.

Апробация работы. Основные и промежуточные результаты исследования докладывались и обсуждались на следующих конференциях и семинарах:

—International Conference on Speech and Computer, SPECOM (2016, 2017, 2018, 2019, 2021);

—X Международной IEEE научно-технической конференции «Динамика систем, механизмов и машин» (Омск, Россия, 2016г.);

—II Конгресса «Здравоохранение России. Технологии опережающего развития» КОНГРЕСС ЗДРАВ 2016 (Томск, 2016г.);

—III Всероссийском конкурсе студенческих научных обществ и конструкторских бюро, секция «Биомедицина, медицинская физика», (Алтайский государственный университет, Барнаул, 2017);

—Всероссийской научно-технической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых «Научная сессия ТУСУР» (ТУСУР, Томск, 2019, 2021, 2022);

—Международной научно-практической конференции «Электронные средства и системы управления» (ТУСУР, Томск, 2016, 2017, 2018, 2019, 2021);

—на заседаниях кафедры Комплексной информационной безопасности электронно-вычислительных систем ТУСУР и IEEE семинарах «Интеллектуальные системы моделирования, проектирования и управления» в г. Томске.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (научный проект № 20–37–90082 «Модель и алгоритмы анализа данных при оценке качества произнесения слогов в процессе речевой реабилитации»), РНФ (научный проект № 16–15–00038 «Восстановление речевой функции с использованием технических методов и математического моделирования у больных раком полости рта и ротоглотки после хирургического лечения») и гранта для научных проектов, выполняемых молодежными коллективами научно-исследовательских лабораторий образовательных организаций высшего образования, подведомственных Министерству науки и высшего образования Российской Федерации (номер проекта FEWM-2020-0042, АААА-А20-12011190016-9). Часть исследований проводилась при поддержке стипендии для акустиков – студентов и аспирантов из России, полученной от Американского акустического общества.

Публикации по теме диссертации. По результатам исследований опубликовано 33 работы, из них 4 статьи в журналах, входящих в перечень рекомендованных ВАК журналов. 14 публикаций проиндексированы в международной базе SCOPUS, 24 публикаций в материалах международных и всероссийских научных конференций. Получены 5 свидетельств о государственной регистрации программ для ЭВМ и баз данных, 1 патент на изобретение.

Структура и объем работы. Диссертация содержит введение, 5 глав, заключение, 8 приложений и список источников из 211 наименований. Объем диссертационной работы: 171 страница, в том числе 23 таблицы и 50 рисунков.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность темы диссертационного исследования, сформулирована цель, определены задачи, научная новизна, практическая и теоретическая значимость полученных результатов, а также положения, выносимые на защиту.

В первой главе рассматриваются алгоритмы и методы оценки качества речи в рамках решения различных задач (передача по каналам связи,

идентификация и аутентификация по голосу, распознавание речевого сигнала, оценка качества речи в медицине). Рассмотрена методика экспертной оценки, основанная на ГОСТ Р 50840–95 (далее – старая методика), которая использовалась для оценки речи в речевой реабилитации, и выявлены ее недостатки.

В результате анализа алгоритмов и методов сделан вывод, что применение существующих объективных и автоматизированных способов из области связи для решения рассматриваемой задачи является невозможным, а субъективные (экспертные) способы имеют существенные недостатки. Исходя из этого были сформулированы требования к разрабатываемым алгоритму и методикам, а также программному комплексу на их основе:

- 1) необходимо проводить оценку речи в автоматизированном режиме;
- 2) необходимо учитывать индивидуальные особенности речи пациента;
- 3) необходимо рассчитывать такие оценки, чтобы была возможность отследить динамику восстановления речи;
- 4) оценку необходимо производить в режиме, близком к реальному времени, для реализации биологической обратной связи.

Во второй главе приведен анализ базы данных аудиозаписей пациентов, которые проходили лечение онкологических заболеваний органов рта и ротоглотки и речевой реабилитации после. Несмотря на небольшой объем выборки, полученные результаты согласуются с общероссийской научной и медицинской практикой. Были выделены основные проблемные фонемы, работе с которыми уделяется внимание в рамках речевой реабилитации, список проблемных фонем скорректирован с учетом поставленной практической задачи. Скорректированный список представляет собой 6 фонем: [к], [с], [т], [к′], [с′], [т′]. На основе выделенных проблемных фонем был сформирован список из 90 слогов для записи сеансов речевой реабилитации с различным положением проблемной фонемы внутри слога.

Был проведен визуальный анализ спектрограмм Фурье, КЛП и коррелограмм аудиозаписей слогов, содержащих проблемные фонемы, для выделения особенностей изменений, характерных для постоперационной речи пациентов. Схожесть изменений позволила для дальнейшей работы объединить проблемные фонемы в группы: [к] и [к′], [с] и [с′], [т] и [т′].

Третья глава описывает предложенные алгоритм нахождения количественной оценки схожести двух речевых сигналов и методику оценки схожести речевых сигналов до и после хирургического вмешательства.

Предложенный *алгоритм нахождения количественной оценки схожести двух речевых сигналов* основан на представлении речевых сигналов в виде последовательностей чисел, приведении их к единой длине и нахождении расстояния между приведенными последовательностями с использованием гибридной меры схожести.

В качестве алгоритма приведения к единой длине использован алгоритм динамической трансформации временной шкалы (dynamic time warping, DTW – алгоритм), его преимуществами является низкая сложность

(ввиду требования по скорости работы алгоритма оценки) и наличие готовой метрики расстояния – DTW-расстояние, оно же значение стоимости оптимального пути между последовательностями.

Для вычисления гибридной меры предложено использование следующих метрик:

– DTW – расстояние – значение последнего элемента матрицы преобразований, получаемой в результате работы DTW- алгоритма;

– коэффициент корреляции Пирсона (далее – коэффициент корреляции):

$$R_{t,q} = \frac{cov(t,q)}{\sqrt{s_t^2 s_q^2}}, \quad (1)$$

где $R_{t,q}$ – коэффициент корреляции между последовательностями t и q , $cov(t,q)$ – ковариация между t и q , s_t^2, s_q^2 – среднеквадратические отклонения.

– расстояние Минковского:

$$d_{Mink}(t, q) = \sqrt[p]{\sum_{i=1}^n (|t_i - q_i|)^p}, \quad (2)$$

где n – длина последовательность t и q , p - параметр расстояния, для данной задачи определено оптимальное значение параметра $p = 3$.

Для формирования итоговой количественной ошибки предложено использование нечеткого классификатора, алгоритмом оптимизации внутри которого является генетический алгоритм. На вход классификатору подается три значения: значение расстояния по метрике DTW-расстояния Y , значение коэффициента корреляции Z , значение расстояния по метрике Минковского W . На выходе получается значение оценки C , принадлежащее интервалу $[0;1]$. Интерпретация выходного значения сформулирована как «чем более схоже произношение с эталонными сигналами, тем больше оценка». Значение 1 соответствует оценке 1 по старой методике.

Обучение классификатора произведено на основе оценок по старой методике и оценок, получаемых по вышеописанным метрикам. Оценки были получены для набора аудиозаписей пациентов НИИ Онкологии, проходящих речевую реабилитацию. Были исследованы аудиозаписи 15 пациентов, суммарно 49 сеансов. Для каждого пациента первый сеанс был эталонным, соответственно, были получены оценки 34 сеансов. Оценка по старой методике представляет собой бинарное значение: 1 – слог произнесен полностью верно, 0 – иначе. Для каждой группы фонем был обучен отдельный классификатор. Точности классификации для тестовых и обучающих выборок для рассматриваемых групп фонем, а также их интервальная оценка приведены в таблице 1. Точности были получены на 10-кратной кросс-валидации.

Таблица 2 – Точности классификации для групп проблемных фонем.

	Точность на тестовой выборке	Точность на обучающей выборке
Группа [к] и [к']	0,87± 0,021	0,88
Группа [с] и [с']	0,84± 0,022	0,85
Группа [т] и [т']	0,79± 0,025	0,81

В случае работы с другими фонемами (не входящими в список проблемных), предложено использование рассчитанного значения DTW-расстояния в качестве итоговой оценки. Алгоритм нахождения количественной оценки схожести двух речевых сигналов в виде NS-диаграммы представлен на рисунке 1.

Получить числовую последовательность 1 – значения амплитуд сигнала 1			
Получить числовую последовательность 2 – значения амплитуд сигнала 2			
Применить DTW-алгоритм к числовым последовательностям 1 и 2			
Запомнить значение Y - DTW-расстояние (значение последнего элемента матрицы преобразований)			
Получить трансформированные числовые последовательности 1 и 2 согласно матрице преобразований и кратчайшему пути			
Вычислить значение Z – коэффициент корреляции Пирсона между трансформированными числовыми последовательностями 1 и 2			
Вычислить значение W – расстояние по метрике Минковского между трансформированными числовыми последовательностями 1 и 2			
Выбрать проблемную фонему			
[к] или [к']	[с] или [с']	[т] или [т']	Иначе
Получить C как выход нечеткого классификатора FC1 (вход – Y, Z, W)	Получить C как выход нечеткого классификатора FC2 (вход – Y, Z, W)	Получить C как выход нечеткого классификатора FC3 (вход – Y, Z, W)	$C = Y$
Вывести количественную оценку C			

Рисунок 1 – Алгоритм нахождения количественной оценки

Описанный алгоритм позволяет количественно оценить схожесть двух звуковых сигналов при их представлении в виде числовых последовательностей. Предлагаемая **методика оценки схожести звуковых сигналов** на основе алгоритма за счет применения нескольких опорных сигналов позволяет получить интерпретируемую оценку произношения, заключенную в известный интервал. Использование нескольких опорных сигналов позволяет учитывать вариативность речи, так как в речи нет фиксированных продолжительности или параметров произношения фонетических единиц. Подразумевается, что по предлагаемой методике можно оценить подобие звуковых сигналов, представляющих одинаковую по содержанию фонетическую единицу речи – слог. Приняты следующие обозначения:

- эталонный сеанс - сеанс записи речи пациента, проводимый до проведения хирургического лечения, речь близка к нормальной;
- эталонный набор записей/аудиосигналов – записанные в процессе эталонного сеанса оценки речи аудиосигналы;
- эталонная запись – одна запись из эталонного набора;
- оцениваемый сеанс – сеанс записи речи пациента на одном из этапов речевой реабилитации, речь пациента может быть как искажена, так и близка к нормальной (зависит от времени проведения сеанса и состояния речевого аппарата пациента);
- оцениваемый набор записей – записанные в процессе оцениваемого сеанса оценки речи аудиосигналы, оценка которого должна быть получена по предложенной методике;
- оцениваемая запись - одна запись из оцениваемого набора.

Опорными сигналами служат эталонные записи из нескольких эталонных сеансов. С точки зрения теоретического решения задачи количество опорных сигналов ограничено только вычислительными возможностями, большее количество опорных сигналов позволит учитывать большее количество вариантов нормального произношения одной и той же единицы речи. С точки зрения решения практической задачи (речевая реабилитация онкологических пациентов) рекомендуемое количество опорных сигналов, и, следовательно, эталонных сеансов, является два сигнала и два сеанса соответственно. Это количество позволяет учитывать вариативность речи, и в то же время запись такого количества сеансов возможна в процессе проведения предоперационной подготовки.

Методика заключается в выполнении следующей последовательности действий:

1. Выбор нескольких эталонных записей из нескольких эталонных сеансов и оцениваемой записи из оцениваемого сеанса. Все записи представляют собой реализацию одного и того же слога.
2. Нахождение количественных оценок между парами эталонных записей по описанному ранее алгоритму.
3. Нахождение среднего значения количественных оценок, полученных в пункте 2.
4. Нахождение количественных оценок между каждой из эталонных записей и оцениваемой записью по описанному ранее алгоритму.
5. Нахождение среднего значения количественных оценок, полученных в пункте 4.
6. Нахождение отношения среднего значения оценок между эталонными и оцениваемым сигналами к среднему значению оценок между эталонными сигналами – относительная оценка оцениваемого сигнала.
7. Вывод о схожести оцениваемого сигнала и эталонных по относительной оценке.

Относительная оценка заключена в интервал от 0 до 1 (включая обе границы) и чем качественнее (= более похоже на эталон) произнесен слог,

тем ближе результат к 1. Относительная оценка может быть равна 1 при условии полной идентичности сигналов, то есть на вход в качестве эталонных и оцениваемых подан один и тот же звуковой файл.

На примере наличия двух опорных сигналов проведение оценки сеанса записи с использованием описанной выше методики может быть представлено в виде следующего алгоритма.

1. Выбрать два эталонных сеанса ε_1 и ε_2 (опорные сеансы);

2. Выбрать сеанса для оценки (оцениваемого сеанса) o ;

Для первого слога:

3. Найти оценку слогу по алгоритму для пар: $o-\varepsilon_1$, $o-\varepsilon_2$, $\varepsilon_1-\varepsilon_2$:

$$C_{o,\varepsilon_1}, C_{o,\varepsilon_2}, C_{\varepsilon_1,\varepsilon_2};$$

4. Найти относительную оценку сигнала (слога) d :

$$4.1 C_{o,\varepsilon} = \frac{C_{o,\varepsilon_1} + C_{o,\varepsilon_2}}{2} - \text{среднее значение оценок в парах } o-\varepsilon_1 \text{ и } o-\varepsilon_2$$

$$4.2 \text{ относительная оценка } C_o = \frac{C_{o,\varepsilon}}{C_{\varepsilon_1,\varepsilon_2}}$$

Оценка C_o в интервале $[0;1]$. Чем ближе к 1, тем лучше.

5. Повторить шаги 3–4 для остальных слогов в сеансе;

6. Вычислить оценку сеанса как среднее арифметическое оценок слогов, входящих в оцениваемый сеанс.

Использование в качестве эталонных сигналов записей речи того же пациента, чью речь необходимо оценить, позволяет учитывать особенности речи пациента, в то время как использование в качестве эталона записей другого человека с идеальным произношением приведет к существенному занижению оценки качества речи. Это было выявлено в процессе исследования изменений в оценках сеанса в зависимости от набора эталонных сеансов. Были выбраны сеансы, в которых речь говорящего близка к идеальной, то есть оценка по старой методике большинства записей в сеансе была бы равна 1 (допускалось не более пяти возможных «нулей» в оценках). В таблице 3 приведен пример сравнения оценок. В сеансах S1 и S2 диктора D1 и сеансах S4 и S5 диктора D2 все слоги были произнесены правильно (оценки произношения равны 1), в сеансе S3 диктора D1 было допущено четыре ошибки (в слогах была неправильно произнесена проблемная фонема, остальные фонемы – правильно).

Таблица 3 – Сравнение оценок сеанса с использованием эталонных сеансов разных дикторов.

Оцениваемый сеанс	Эталонные сеансы			
	D1			D2
	S1 + S2	S1 + S3	S2 + S3	S4 + S5
S1	-	-	0,716	0,252
S2	-	0,982	-	0,296
S3	0,992	-	-	0,383

Из данных таблицы видно, что использование в качестве эталона сеансов другого диктора приводит к занижению оценок произношения слогов. Для установления и проверки направленности изменений получаемых оценок были получены оценки сеансов четырех пациентов, для

каждого из которых была проведена оценка на основе сравнения с сеансами этого же пациента и с сеансами других пациентов. Проверка производилась с использованием критерия Вилкоксона. Для подсчета значения критерия были получены разности значений оценок сеанса, а также проведена ранжировка полученных значений разности. Наблюдаемое значение критерия Вилкоксона представляет собой сумму рангов нетипичных сдвигов, все сдвиги (разности) значений оценок имеют одинаковую направленность (при использовании в качестве эталона сеансов этого же пациента значение оценки больше, чем в случае использования сеансов другого диктора). Поэтому наблюдаемое значение критерия Вилкоксона равно 0. Критическое значение для объема выборки $n = 36$ и уровня значимости 0,01 равно 185. На основе полученных значений была принята нулевая гипотеза о том, что оценки сеансов пациента, полученные с использованием эталонных сеансов этого же пациента, превосходят оценки, получаемые с использованием эталонных сеансов другого пациента. Поэтому использование в качестве эталона предоперационной речи пациента в предложенной методике позволяет учитывать индивидуальные особенности речи пациента.

Четвертая глава посвящена описанию адаптированной методики речевой реабилитации после хирургического лечения онкологических заболеваний. Ранее существовала методика голосовой реабилитации (формирование голоса пациента), в которой рассчитывались параметры голоса пациента: сила звука, длительность фонации, тембр голоса. Ее общая схема легла в основу адаптированной методики, которая предложена к применению в речевой реабилитации. Адаптация заключается в смене объекта оценки с голоса на речь, в применении индивидуально рассчитанных для пациента параметров формирования подкрепления в биологической обратной связи и изменении вида формируемых подкреплений. В рамках методики предложена оценка качества речи с возможностью формирования положительных подкрепляющих стимулов на основе подсчета количественных оценок качества произношения.

В данной работе рассматривается вопрос оценки качества речи и использования методики оценки в рамках реабилитации, медицинские аспекты реабилитации не включены (они описаны в нашем патенте на изобретение № 2694516 С1 РФ). Речевая реабилитация с применением оценки качества речи и реализацией принципа биологической обратной связи представляет собой выполнение следующих шагов.

1. Провести запись двух сеансов оценки произношения слогов (эталонных сеансов) до хирургического вмешательства согласно составленному списку слогов.

2. После проведенного хирургического вмешательства на первом приеме специалиста-логопеда провести запись сеанса оценки произношения слогов. Подсчитать оценки слогов и оценку сеанса на основе сравнения с эталонными сеансами. Если оценка сеанса равна 1, то с точки зрения количественной оценки качества речи можно говорить о том, что

необходимости в проведении речевой реабилитации нет, окончательное решение данного вопроса лежит на лечащем враче-логопед-онкологе. Если уровень ниже, то пациенту рекомендуется пройти речевую реабилитацию.

3. При стандартной продолжительности речевой реабилитации на каждом следующем приеме проводить запись сеанса оценки произношения слогов. В рамках каждого сеанса проводить сравнение с оценками предыдущего сеанса и формировать динамику восстановления речи на основе биологической обратной связи.

Реализация методов бионического принципа биологической обратной связи основана на измерении физиологических показателей пациента и демонстрации подкреплений, сформированных на основе полученных измерений. Методика оценки качества речи в речевой реабилитации предполагает формирование двух видов подкреплений: кратковременное и долговременное подкрепление.

Кратковременное подкрепление предлагается использовать в процессе проведения сеанса оценки произношения слогов для отражения результатов сравнения оценки записи слога в текущем сеансе и оценки записи этого же слога в одном из предыдущих сеансов. Подкреплением (подкрепляющим стимулом) является цветовая окраска оценки, отражаемая в режиме реального времени в процессе проведения сеанса записи слогов. При переходе на следующий слог стимул формируется заново. Такой вид стимулов позволяет удовлетворять потребность пациента в мгновенной положительной оценке в течение сеанса.

При отсутствии необходимости в реализации биологической обратной связи (БОС) оценка отображается на экране стандартным черным цветом (как и остальной текст на экране). В случае реализации БОС оценка может быть окрашена в два цвета:

— если оценка текущей записи слога меньше оценки этого же слога в выбранном для сравнения одном из предыдущих сеансов, то оценка отображается в стандартном черном цвете (нет явной реализации отрицательного подкрепляющего стимула).

— если оценка текущей записи больше или равна оценке этого же слога в выбранном для сравнения одном из предыдущих сеансов, то оценка отображается в зеленом цвете (сформированный положительный подкрепляющий стимул).

Пример отображения оценки представлен на рисунке 2.

Оценка: 0,7170

а – вид оценки при наличии положительного подкрепления

Оценка: 0,3420

б – вид оценки при отсутствии положительного подкрепления

Рисунок 2 – пример отображения оценки в случае реализации БОС

Долговременное подкрепление предлагается для отображения усредненных результатов по всем проведенным сеансам оценки произношения слогов в течение речевой реабилитации. В зависимости от особенностей речи пациента можно проводить усреднение как по отдельным проблемным фонемам, так и по группам проблемных фонем. Такой вид подкрепления направлен на оценку общего состояния речи пациента и позволяет повысить его мотивацию к дальнейшим тренировкам по восстановлению речи. На основе динамики логопед может корректировать программу тренировок в случае отсутствия положительной динамики по какой-либо фонеме.

Алгоритм построения долговременного подкрепления с точки зрения логопеда представляет собой следующую последовательность шагов.

1) Выбрать сеансы для формирования долговременного подкрепления. На усмотрение специалиста-логопеда возможно включение не всех имеющихся сеансов пациента, а выбранных по некоторым условиям.

2) Проверить выбранные сеансы на соблюдение описанных в методике оценки правил.

3) Выбрать порядок построения динамики оценок. На усмотрение специалиста-логопеда возможно построение динамики от времени начала реабилитации до даты окончания и наоборот.

4) Определить необходимость объединения проблемных фонем в группы.

5) Запустить процесс отображения динамики оценок.

6) Сохранить изображение динамики (при необходимости).

Алгоритм построения графика с динамикой оценок (долговременное подкрепление) с точки зрения вычислений представляет собой следующую последовательность шагов.

1) Выбрать сеанс из списка выделенных для построения динамики сеансов.

2) Из базы данных сохранить оценки записей сеанса, выбранного в п. 1.

3) В зависимости от необходимости объединения фонем в группы:

3.1) При необходимости объединения в группы – усреднить значения по группе фонем, т.е. найти средние значения для записей с 1 по 30, с 31 по 60, с 61 по 90 (группы фонем [к] и [к'], [с] и [с'], [т] и [т'] соответственно).

3.2) При работе с отдельными фонемами – усреднить значения группы записей, содержащих проблемную фонему, то есть найти средние значения для записей с 1 по 15 для фонемы [к], с 16 по 30 для фонемы [к'], с 31 по 45 для фонемы [с], с 46 по 60 для фонемы [с'], с 61 по 75 для фонемы [т], с 76 по 90 для фонемы [т'].

4) Добавить усреднённые значения с указанием даты проведения сеанса в массив данных для отображения.

5) Повторить пункты 1–4 для всех выделенных сеансов.

6) Отобразить массив данных на графике.

Вид долговременного подкрепления, построенного на синтетически сформированном наборе данных, представлен на рисунке 3.

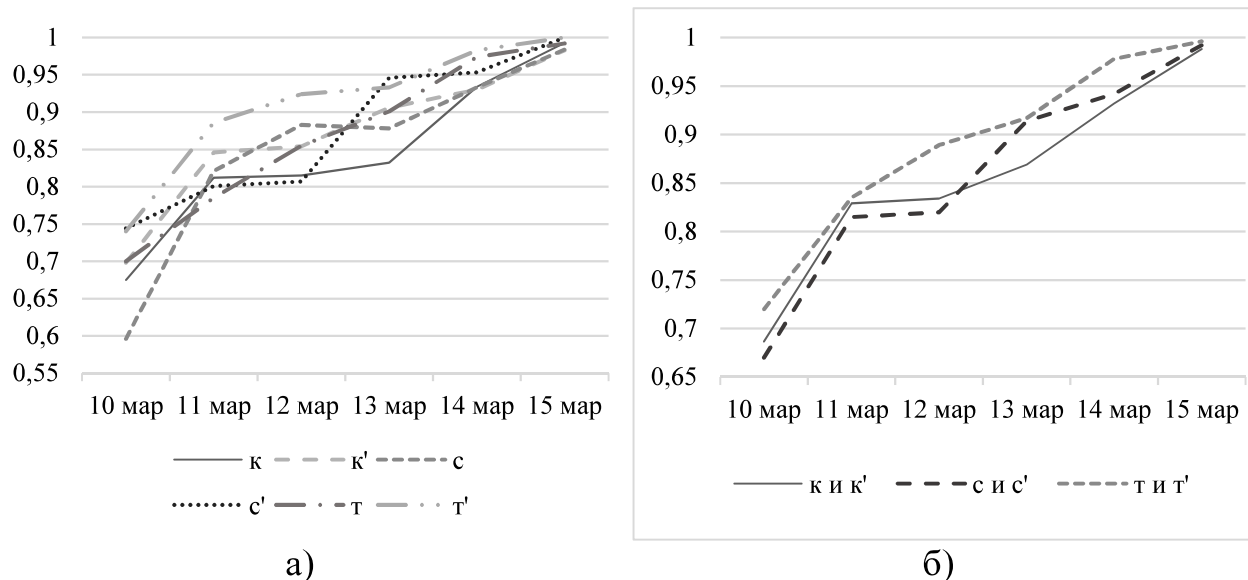


Рисунок 3 – Долгосрочное подкрепление –

а) динамика средних оценок по отдельным проблемным фонемам

б) динамика средних оценок по группам проблемных фонем

Методика оценки качества речи в процессе речевой реабилитации

закljučается в следующей последовательности шагов.

1. После проведения медицинских процедур и тренировок речи провести сеанс записи речи пациента для оценки качества речи.

2. В процессе записи сеанса провести оценку качества произношения слогов в режиме реального времени с формированием кратковременного подкрепления биологической обратной связи для отражения изменений в речи пациента и повышения его мотивированности в дальнейшей работе.

3. После окончания записи продемонстрировать пациенту динамику оценок его речи, тем самым реализовав долговременное подкрепление биологической обратной связи, дать пояснения и при необходимости скорректировать план самостоятельных тренировок.

В рамках такой реализации используются оба предложенные типа подкреплений – кратковременные подкрепляющие стимулы и долговременные подкрепляющие стимулы.

Было оценено время, затрачиваемое на оценку качества речи в процессе речевой реабилитации. Был проведен замер времени, которое требуется на оценку сеанса с использованием старой методики, а также времени проведения оценки с использованием предложенных алгоритма и методик. Было проведено 49 подсчетов для обоих способов оценки. При использовании методики оценки схожести расчеты производились при наличии двух эталонных сеансов.

На полученных двух выборках были подсчитаны средние значения и проверена гипотеза о равенстве средних значений по критерию Стьюдента. Средние значения приведены в таблице 4. Значение критерия Стьюдента для полученных выборок равно 26,77, критическое значение 1,98 (уровень

значимость 0,05), следовательно, гипотеза о равенстве средних отклоняется. Количество слогов в сеансе равно 90.

Таблица 4 – Средние значения затрачиваемого времени на оценку 1 сеанса.

	Старая методика	Методика оценки качества речи
Среднее значение времени оценки 1 сеанса (в секундах)	371,55	130,57

В результате применения методики оценки качества речи время, затрачиваемое на оценку уже записанного (и внесенного в базу данных) сеанса, сократилось на 64,86%.

Также было оценено время, затрачиваемое на весь комплекс проводимых мероприятий (запись сеанса, его обработка и оценка). При проведении сеансов слоговой разборчивости с использованием старой методики в присутствии пациента проводилась только запись слогов, сама оценка производилась в свободное от приема пациентов время. По предоставленным данным из НИИ онкологии Томского НИМЦ среднее время проведения полного комплекса мероприятий (запись, оценка, внесение данных в систему) составляет 15 минут. Время оценки таким способом существенно зависит от качества речи пациента, также сюда включается время внесения оценок в базу данных. При использовании программного комплекса время, затрачиваемое на оценку, практически не изменяется в зависимости от речи пациента. Время, затрачиваемое на запись и оценку, зависит от количества ошибок в течение процесса записи. При этом во время сеанса оценки произношения слогов производится реализация кратковременных подкреплений в рамках БОС. Среднее время проведения одного сеанса из 90 слогов при наличии двух эталонных сеансов составляет 6 минут 39 секунд. Таким образом, общее затрачиваемое время на запись и оценку сеанса сократилось на 55,7%.

В пятой главе описан программный комплекс, содержащий в себе реализацию предложенных алгоритма и методик. Программный комплекс представляет собой базу данных и программу, реализующую взаимодействие пользователя с базой данных, а также функции записи аудиосигналов и обработки информации. Описано внедрение программного комплекса в процесс речевой реабилитации пациентов после хирургического лечения онкологических заболеваний на базе НИИ онкологии Томского НИМЦ. За время внедрения 43 пациента прошло реабилитацию с использованием программного комплекса, было записано 148 сеансов и 12810 аудиозаписей слогов.

В заключении приведены основные результаты и выводы по проделанной работе.

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ РАБОТЫ

В результате работы было достигнуто повышение эффективности речевой реабилитации по восстановлению речи у пациентов после хирургического лечения онкологических заболеваний за счет внедрения алгоритма и методик анализа аудиосигналов и оценки качества

произношения слогов, а также использования визуальных подкреплений на основе метода бионического принципа биологической обратной связи. Время оценки речи в процессе речевой реабилитации сократилось на 64,86%. Основные результаты работы представлены ниже.

1. Проведен анализ методов, методик и алгоритмов анализа и оценки речи, который показал, что существующие методы в рамках решения поставленной задачи не могут быть применены или имеют ряд существенных недостатков.

2. Разработан алгоритм количественной оценки схожести двух речевых сигналов с применением временной нормализации и гибридной меры оценки схожести. Сформулирована гибридная мера оценки схожести, основанная на расчете DTW-расстояния, коэффициента корреляции и расстояния Минковского и применении нечеткого классификатора к рассчитанным значениям. На основе оценок аудиозаписей пациентов НИИ онкологии обучены классификаторы для каждой из групп проблемных фонем. Точности классификации для тестовых и обучающих выборок составили: 0,87 и 0,88 для группы фонем [к] и [к'], 0,84 и 0,85 для группы фонем [с] и [с'], 0,79 и 0,81 для группы фонем [т] и [т'].

3. Разработана методика оценки схожести речевых сигналов с применением нескольких опорных сигналов, учитывающая вариативность произношения слогов и особенности речи дикторов (пациентов). Получаемые по методике оценки записей слогов и средние оценки сеансов представляют собой интерпретируемые оценки в заранее известном интервале. Описано прикладное применение методики оценки схожести в процессе речевой реабилитации.

4. Адаптирована методика голосовой реабилитации для проведения речевой реабилитации с применением методов бионического принципа биологической обратной связи. Описан процесс оценки качества произношения слогов в рамках проведения сеансов речевой реабилитации. Описан процесс формирования кратковременных и долговременных подкрепляющих стимулов в рамках реализации биологической обратной связи. Время оценки качества произношения слогов сократилось на 64,86% в сравнении с ранее применяемой методикой, время записи сеанса с проведением оценки и реализацией биологической обратной связи сократилось на 55,7%.

5. Предложенные методики и алгоритмы реализованы в программном комплексе по оценке качества речи. Программный комплекс предназначен для хранения информации о пациентах и их сеансах оценки речи, проведения самих сеансов – запись произношения слогов и фраз, оценке качества записанных слогов, построения динамики восстановления речи пациентов. Оценка в программном комплексе производится в автоматизированном режиме и рассчитывается в режиме реального времени, также доступна возможность реализации метода бионического принципа биологической обратной связи.

6. Разработанный программный комплекс был протестирован и внедрен в процесс речевой реабилитации пациентов после комбинированного лечения онкологических заболеваний органов рта и ротоглотки. За время внедрения 43 пациента прошло реабилитацию с использованием программного комплекса, было записано 148 сеансов и 12810 аудиозаписей слогов.

Факт успешного внедрения результатов диссертационного исследования в процесс речевой реабилитации пациентов, проходящих лечение онкологических заболеваний на базе НИИ Онкологии Томского НИМЦ подтверждается актом внедрения. Кроме того, результаты диссертационного исследования используются в учебном процессе ФГБОУ ВО «Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники», что также подтверждается актом внедрения.

СПИСОК ОСНОВНЫХ ПУБЛИКАЦИЙ ПО ТЕМЕ РАБОТЫ

Статьи в ведущих рецензируемых журналах, рекомендованных Высшей аттестационной комиссией (ВАК) для публикации результатов кандидатских и докторских диссертационных работ:

1. Программный комплекс по оценке разборчивости речи / **Д. И. Новохрестова**, Е. Ю. Костюченко, Е. С. Катаева [и др.] // Доклады Томского государственного университета систем управления и радиоэлектроники. – 2019. – Т. 22. – № 3. – С. 43-48.

2. **Новохрестова, Д. И.** Временная нормализация слогов алгоритмом динамической трансформации временной шкалы при оценке качества произнесения слогов в процессе речевой реабилитации / Д. И. Новохрестова // Доклады Томского государственного университета систем управления и радиоэлектроники. – 2017. – Т. 20. – № 4. – С. 142-145.

3. Алгоритм выделения формант и поиска выровненных фрагментов при подготовке к проведению фоноскопической экспертизы / И. А. Гураков, Е. Ю. Костюченко, **Д. И. Новохрестова**, М. П. Силич // Доклады Томского государственного университета систем управления и радиоэлектроники. – 2018. – Т. 21. – № 2. – С. 48-53.

4. Восстановление речевой функции у больных раком полости рта и ротоглотки с использованием инновационных технологий / Л. Н. Балацкая, Е. Л. Чойнзонов, Е. А. Красавина, Е.Ю. Костюченко, **Д.И. Новохрестова** // Вопросы онкологии. – 2020. – Т. 66. – № 3. – С. 247-251 (Scopus).

В других изданиях, сборниках трудов и тезисов конференций:

5. **Новохрестова, Д. И.** Реализация биологической обратной связи в рамках оценки качества речи / Д. И. Новохрестова // Материалы XXVII Международной научно-технической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых «Научная сессия ТУСУР–2022». – Томск, 18-20 мая 2022 г. (в печати).

6. **Новохрестова, Д. И.** Гибридная мера для сравнения записей слогов / Д. И. Новохрестова // Материалы XXVII Международной научно-

технической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых «Научная сессия ТУСУР–2022». – Томск, 18-20 мая 2022 г. (в печати).

7. Experimental Analysis of Expert and Quantitative Estimates of Syllable Recordings in the Process of Speech Rehabilitation / **D. Novokhrestova**, E. Kostuchenko, I. Hodashinsky, L. Balatskaya // Lecture Notes in Computer Science. – 2021. – Vol. 12997 LNAI. – P. 483-491 (Scopus).

8. **Новохрестова, Д. И.** Комбинированная оценка качества произношения слогов / Д. И. Новохрестова // Электронные средства и системы управления. Материалы докладов Международной научно-практической конференции. – 2021. – № 1-2. – С. 299-301.

9. Kostyuchenko, E. Speech rehabilitation after combined treatment of cancer and the formation of a set of syllables for assessing speech quality / E. Kostyuchenko, **D. Novokhrestova** // CEUR Workshop Proceedings: Proceedings of the 3rd International Conference on R. Piotrowski's Readings in Language Engineering and Applied Linguistics, PRLEAL 2019, Saint Petersburg, 27 ноября 2019 года. – Saint Petersburg, 2020. – P. 73-84 (Scopus).

10. Методы и модель оценки качества произношения слогов при речевой реабилитации / **Д. И. Новохрестова**, Е. Ю. Костюченко, Л. Н. Балацкая, Е. Л. Чойнзонов. – Москва: ООО "Научный инновационный центр Международный институт стратегических исследований", 2019. – 69 с. – ISBN 978-5-903633-18-0.

11. The evaluation process automation of phrase and word intelligibility using speech recognition systems / E. Kostuchenko, **D. Novokhrestova**, M. Tirskaia [et al.] // Lecture Notes in Computer Science. – 2019. – Vol. 11658 LNAI. – P. 237-246 (Scopus).

12. Assessment of syllable intelligibility based on convolutional neural networks for speech rehabilitation after speech organs surgical interventions / E. Kostuchenko, **D. Novokhrestova**, S. Pekarskikh [et al.] // Lecture Notes in Computer Science. – 2019. – Vol. 11658 LNAI. – P. 359-369 (Scopus).

13. Correlation criterion in assessment of speech quality in process of oncological patients rehabilitation after surgical treatment of the speech-producing tract / E. Kostyuchenko, R. Meshcheryakov, **D. Ignatieva** [et al.] // Advances in Intelligent Systems and Computing. – 2019. – Vol. 759. – P. 209-216 (Scopus).

14. **Новохрестова, Д. И.** Алгоритм детектирования голосовой активности в программном комплексе по оценке разборчивости речи / Д. И. Новохрестова, Е. Ю. Костюченко // Электронные средства и системы управления. Материалы докладов Международной научно-практической конференции. – 2019. – № 1-2. – С. 138-140.

15. **Novokhrestova, D.** Automation of speech quality assessment in speech rehabilitation / D. Novokhrestova, E. Kostyuchenko, E. Kosenko // International Journal of Advanced Trends in Computer Science and Engineering. – 2019. – Vol. 8. – No 6. – P. 3026-3030 (Scopus).

16. Kostyuchenko, E. Evaluation of syllable intelligibility through recognition in speech rehabilitation of cancer patients / E. Kostyuchenko, **D.**

Novokhrestova, L. Balatskaya // Integrating Research Agendas and Devising Joint Challenges: International Multidisciplinary Symposium ICT Research in Russian Federation and Europe, Stavropol - Dombay, 15–20 окт. 2018. – Stavropol - Dombay: North-Caucasian Federal University, 2018. – P. 75-80 (Scopus).

17. **Novokhrestova, D.** Choice of Signal Short-Term Energy Parameter for Assessing Speech Intelligibility in the Process of Speech Rehabilitation / D. Novokhrestova, E. Kostyuchenko, R. Meshcheryakov // Lecture Notes in Computer Science. – 2018. – Vol. 11096 LNAI. – P. 461-469 (Scopus).

18. **Новохрестова, Д. И.** Оценка разборчивости произношения слогов: метод и алгоритмы / Д. И. Новохрестова, Е. Ю. Костюченко, А. В. Пятков // Автоматика и программная инженерия. – 2018. – № 3(25). – С. 30-34.

19. Харченко, С. С. Проблема сегментации на фонемы при оценке качества произнесения слогов в рамках речевой реабилитации / С. С. Харченко, **Д. И. Новохрестова**, Е. Ю. Костюченко // Электронные средства и системы управления. Материалы докладов Международной научно-практической конференции. – 2018. – № 1-1. – С. 223-226.

20. Software for an objective evaluation of the quality of syllables's pronunciation in speech rehabilitation / E. Y. Kostyuchenko, R. V. Mescheryakov, **D. I. Novokhrestova** [et al.] // Proceedings of 2017 IEEE 2nd International Conference on Control in Technical Systems, CTS 2017 : 2, St. Petersburg, 25–27 октября 2017 года. – St. Petersburg, 2017. – P. 267-270 (Scopus).

21. Correlation normalization of syllables and comparative evaluation of pronunciation quality in speech rehabilitation / E. Kostyuchenko, R. Meshcheryakov, **D. Ignatieva** [et al.] // Lecture Notes in Computer Science. – 2017. – Vol. 10458 LNAI. – P. 262-271 (Scopus).

22. Костюченко, Е. Ю. Формирование базы данных пациентов при речевой реабилитации после комбинированного лечения онкологических заболеваний органов речеобразующего тракта / Е. Ю. Костюченко, **Д. И. Новохрестова**, А. В. Пятков // Электронные средства и системы управления. Материалы докладов Международной научно-практической конференции. – 2017. – № 1-2. – С. 245-247.

23. Алгоритм детектирования голосовой активности / Е. Ю. Костюченко, Р. В. Мещеряков, **Д. И. Новохрестова** [и др.] // Электронные средства и системы управления. Материалы докладов Международной научно-практической конференции. – 2017. – № 1-2. – С. 250-252.

24. Программное обеспечение для объективной оценки качества произнесения слогов при речевой реабилитации / Е. Ю. Костюченко, Р. В. Мещеряков, **Д. И. Новохрестова** [и др.] // Международная научная конференция по проблемам управления в технических системах. – 2017. – Т. 1. – С. 277-280.

25. Speech quality measurement automation for patients with cancer of the oral cavity and oropharynx / R. V. Meschryakov, E. Y. Kostyuchenko, **D. I. Ignatieva** [et al.] // 2016 International Siberian Conference on Control and

Communications, SIBCON 2016 - Proceedings, Moscow, 12–14 мая 2016 года. – Moscow, 2016. – P. 5 (Scopus).

26. Model of system quality assessment pronouncing phonemes / E. Kostyuchenko, **D. Ignatieva**, R. Mescheryakov [et al.] // 2016 Dynamics of Systems, Mechanisms and Machines, Dynamics 2016, Omsk, 15–17 ноября 2016 года. – Omsk, 2016. – P. 7819016 (Scopus).

27. Evaluation of the speech quality during rehabilitation after surgical treatment of the cancer of oral cavity and oropharynx based on a comparison of the fourier spectra / E. Kostyuchenko, R. V. Mescheryakov, **D. Ignatieva** [et al.] // Lecture Notes in Computer Science. – 2016. – Vol. 9811. – P. 287-295 (Scopus).

28. **Игнатъева, Д. И.** Изменения в спектрограммах КЛП и на изображениях автокорреляции у фонем [т] и [т'] / Д. И. Игнатъева, А. В. Пятков, Е. Ю. Костюченко // Электронные средства и системы управления. Материалы докладов Международной научно-практической конференции. – 2016. – № 1-1. – С. 166-168.

29. Пятков, А. В. Изменения на спектрограммах Фурье при произнесении фонем [т] и [т'] при речевой реабилитации / А. В. Пятков, **Д. И. Игнатъева**, Е. Ю. Костюченко // Электронные средства и системы управления. Материалы докладов Международной научно-практической конференции. – 2016. – № 1-1. – С. 168-170.

30. Игнатъева, Д. И. Изменения при произнесении фонем [к] и [к'] на спектрограммах КЛП и изображениях автокорреляции / **Д. И. Игнатъева**, А. В. Пятков, Е. Ю. Костюченко // Электронные средства и системы управления. Материалы докладов Международной научно-практической конференции. – 2016. – № 1-1. – С. 173-175.

Свидетельства о государственной регистрации, патент:

31. Способ восстановления речевой функции у больных раком полости рта и ротоглотки после органосохраняющих операций: пат. 2694516 С1 Рос. Федерация: МПК7 А61Н 1/00 // Л. Н. Балацкая, Е. Л. Чойнзонов, Е. А. Красавина, С. Ю. Чижевская, **Д. И. Новохрестова**, Е. Ю. Костюченко;

32. Е. Ю. Костюченко, Р. В. Мещеряков, **Д. И. Новохрестова** [и др.] Звукозаписи пациентов с заболеваниями органов речеобразующего тракта OnkoSpeechDB // Свидетельство о государственной регистрации базы данных № 2018620852. Дата регистрации в реестре: 09.01.2018.

33. Е. Ю. Костюченко, Р. В. Мещеряков, **Д. И. Новохрестова** [и др.] Speech quality assessment // Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2018613005. Дата регистрации в реестре: 09.01.2018.

34. Е. Ю. Костюченко, Л. Н. Балацкая, **Д. И. Новохрестова** [и др.] OnkoSpeech v1.0 // Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2019610957. Дата регистрации в реестре: 29.12.2018.

35. **Д. И. Новохрестова**, Е. Ю. Костюченко, С. С. Харченко [и др.] Программное обеспечение для объективной оценки качества произнесения слогов при речевой реабилитации "OnkoSpeech v2.0" // Свидетельство о

государственной регистрации программы для ЭВМ № 2020610774. Дата регистрации в реестре: 25.12.2019.

36. Е. Ю. Костюченко, **Д. И. Новохрестова**, С. С. Харченко [и др.] OnkoSpeech v3.0 // Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2021611404. Дата регистрации в реестре: 19.01.2021.

Тираж 100 экз. Заказ ____.

Томский государственный университет
систем управления и радиоэлектроники

634050, г. Томск, пр. Ленина, 40.

Тел. (3822) 53-30-18.