

*В. С. Долдова^{1,2}, Е. П. Меркулова², С. М. Босяков³,
А. Э. Малевич³, М. И. Вашкевич⁴*

РАЗРАБОТКА НАЦИОНАЛЬНОЙ КОМПЬЮТЕРНОЙ ПРОГРАММЫ АКУСТИЧЕСКОГО АНАЛИЗА ГОЛОСА С БИОЛОГИЧЕСКОЙ ОБРАТНОЙ СВЯЗЬЮ ДЛЯ ДЕТЕЙ

*УЗ «11 городская клиническая больница», Минск, Республика Беларусь,¹
УО «Белорусский государственный медицинский университет»,
Минск, Республика Беларусь,²
УО «Белорусский государственный университет»,
Минск, Республика Беларусь,³
УО «Белорусский государственный университет информатики
и радиоэлектроники», Минск, Республика Беларусь⁴*

Для выявления ранних форм дисфоний требуется комплексный подход, с учетом анамнестических данных, имеющихся факторов риска возникновения голосовых нарушений, функционального и акустического исследования, а также оценки значимости влияния того или иного симптома или признака на состояние голосовой функции пациента. Несмотря на давнюю историю, акустический анализ голоса в настоящее время является сравнительно новой, но динамично развивающейся областью клинического исследования у пациентов с нарушениями голосовой функции. На данный момент нет никакой исследовательской базы и нормативных показателей акустического анализа голоса у детей белорусской популяции. Цель данного исследования разработать математическую модель голоса, которая будет положена в основу национальной программы для акустического анализа голоса детей. В ходе исследований была разработана национальная программа по акустическому анализу голоса с биологической обратной связью у детей.

Ключевые слова: математическая модель голоса, нарушение голоса, функциональные дисфонии, дети, биологически обратная связь, акустический анализ голоса.

*V. S. Daldova^{1,2}, A. P. Merkulava², S. M. Bosyakov³,
A. E. Malevich³, M. I. Vashkevich⁴*

DEVELOPMENT OF A NATIONAL COMPUTER PROGRAM FOR ACOUSTIC VOICE ANALYSIS WITH BIOFEEDBACK FOR CHILDREN

*11th City Clinical Hospital, Minsk, Republic of Belarus,¹
Belarusian State Medical University, Minsk, Republic of Belarus,²
Belarusian State University, Minsk, Republic of Belarus,³
Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics,
Minsk, Republic of Belarus⁴*

To identify early forms of dysphonia, an integrated approach is required, considering anamnestic data, existing risk factors for vocal disorders, functional and acoustic studies, as well as assessing the significance of the effect of a particular symptom or sign on the patient's vocal function. Despite its long history, acoustic voice analysis is currently a relatively new but dynamically developing area of clinical research in patients with impaired vocal function. Now, there is no research base and normative indicators of acoustic voice analysis in children of the Belarusian population. The purpose of this study is to develop a mathematical voice

model that will form the basis of a national program for acoustic analysis of children's voices. During the research, a national program on acoustic voice analysis with biofeedback in children was developed.

Key words: *mathematical model of voice, voice disorder, functional dysphonia, children, biofeedback, acoustic analysis of voice.*

На сегодняшний день, несмотря на достижения медицинской науки и техники, до настоящего времени заключение оториноларинголога о состоянии голосовой функции пациента, основывается на результатах не прямой или прямой ларингоскопии как наиболее доступного метода исследования гортани. Прямая ларингоскопия зачастую требует специального оборудования в виде эндоскопа (жесткого или гибкого). Выполнения ларингоскопии затруднительно у детей младшего возраста [1, 2]. Во-первых, анатомические особенности, такие как маленький размер дыхательных путей и высокая расположенность гортани, могут усложнять доступ. Во-вторых, нежелание ребенка сотрудничать, страх или беспокойство также могут сделать процедуру более сложной. В таких случаях важно использовать подходы, которые помогут успокоить ребенка и обеспечить безопасность во время процедуры. Еще один недостаток ларингоскопии, заключается в том, что данная методика не всегда информативна, поэтому начальные проявления нарушений голосовой функции и функциональные дисфонии часто остаются не диагностированными [3]. Для выявления ранних форм дисфоний требуется комплексный подход, с учетом анамнестических данных, имеющихся факторов риска возникновения голосовых нарушений, функционального исследования, а также оценки значимости влияния того или иного симптома или признака на состояние голосовой функции пациента.

Для диагностики нарушения голосовой функции сегодня есть субъективные и объективные методы исследования. К субъективным методам голоса относятся слуховая оценка качества голоса, существуют различные шкалы оценки голоса, такие как Janagihara или GRBAS [4]. Однако выполнение слуховой оценки голоса также может быть затруднительно из-за множества факторов, например опыт врача или интерпретации результатов [5].

Применение современных объективных методов исследования функционального состояния голосового аппарата, таких как акустический анализ голоса, дает возможность выявлять даже незначительные изменения голосового аппарата. Акустический анализ голоса с целью определения текущего состояния гортани и классификации норма/патология давно применяется в оториноларингологии и фонологии, в частности. Аку-

стический анализ голоса – мультипараметровое исследование физических характеристик голоса, осуществляемое при помощи специального программного обеспечения [6]. Это программное обеспечение позволяет анализировать различные характеристики голоса, такие как: частота основного тона, динамический диапазон (громкость), сила голоса, нестабильность голоса по частоте, время максимальной фонации и прочие акустические параметры голоса.

В настоящее время для записи и анализа акустических параметров голоса используются различные зарубежные компьютерные программы: MDVP (Multi-dimensional Voice Program) Япония [7], CSL (Computerized Speech Laboratory) Латвия, "Praat" (Голландия) [8], "CSpeech", "SoundScope", "Dr. Speech" (Германия), "The Ling WAVES" (Германия) и прочие [9]. Вычислительной мощности небольшого процессора мобильного телефона или компьютера достаточно, чтобы извлечь из речевого сигнала ряд акустических характеристик голоса в режиме реального времени. Для этого используется метод цифрового анализа сигналов, который был существенно адаптирован для исследований акустических характеристик голоса. Наиболее разработанное программное обеспечение, "Praat" (в переводе с голландского означает «говорить»), производится в Нидерландах и является бесплатным для скачивания продуктом с открытым доступом. Коммерческие альтернативы например (The Ling WAVES, Multi-dimensional Voice Program) стоят дорого, но имеют практические преимущества в клиническом применении благодаря упрощенному пользовательскому интерфейсу [10]. Еще один недостаток зарубежных программ для акустического анализа голоса в том, что у каждой программы свои нормативные показатели, например если взять немецкую программу "The Ling WAVES", то в основе лежат акустические характеристики немецкоговорящих лиц [11]. Интерпретация данных акустического исследования может быть неоднозначной. В данной программе нет норм для детского населения и норм акустических характеристик голоса для других национальностей.

Как видно из вышеперечисленного, акустическая оценка голоса является неотъемлемой частью обследования голоса у детей она позволяет объективно оценить дисфонию. Само собой разумеется, что получение достоверных данных

Оригинальные научные публикации

о детях может быть сложной задачей. Исследователь должен быть готов при необходимости отклоняться от стандартных протоколов и адаптировать задачи обследования к конкретному ребенку, принимая во внимание его возраст, когнитивный уровень и уровень взаимодействия. Чтобы эффективно оценить акустические характеристики голоса, врач должен иметь четкое представление о принципах и основах акустического анализа голоса в клиническом протоколе и о нормативных показателях для каждой возрастной группы [12]. Нормативные показатели голоса варьируют в широких пределах, это связано с использованием оборудования, способа записи голоса, индивидуальных особенностей исследуемого голоса, региона проживания и языковых особенностей. Региональные различия могут также влиять на интонацию, темп речи и использование специфических слов или выражений. Эти факторы влияют на восприятие голоса и могут быть важны при проведении акустического анализа [13].

Несмотря на давнюю историю, акустический анализ голоса в настоящее время является сравнительно новой, но динамично развивающейся областью клинического исследования у пациентов с нарушениями голосовой функции. Однако следует отметить, что данные о возрастных, половых и региональных различиях акустических параметров голоса у детей противоречивы. На данный момент нет никакой исследовательской базы и нормативных показателей акустического анализа голоса у детей белорусской популяции.

Цель исследования: разработать математическую модель голоса, которая будет положена в основу национальной программы для акустического анализа голоса детей.

Материалы исследования: для создания математической модели голоса детей ($N = 285$) нами использованы данные объективных характеристик голоса детей белорусской популяции, оформленные и сохраненные в виде электронной базы. Электронная база включала в себя данные 255 фонетогрмм детей без нарушения голоса в возрасте 4–12 лет, проживающих на территории Республики Беларусь, а также детей 130 с тугоухостью 4–12 лет (100 пациентов с двусторонней хронической нейросенсорной тугоухостью и 30 детей с двусторонней кондуктивной тугоухостью на фоне острого среднего отита). Критериями исключения пациентов из исследования явились: тяжелая сопутствующая патология со стороны других органов и систем, острые респираторные заболевания; органические заболевания голосового аппарата (новообразования голосовых складок, узелки голосовых складок); врожденные пороки развития гортани. Все дети были распределены согласно

Таблица 1. Распределение обследованных детей без нарушений голоса и слуха белорусской популяции в зависимости от пола и возраста

Возрастной диапазон, лет	Число детей в группах	Средний возраст, лет	Распределение детей по полу	
			мальчики	девочки
4–6 лет	66	5,15	29	37
7–12 лет	189	8,65	80	109

биологическому возрасту на две группы [14]: дошкольный возраст 4–6 лет и допубертатный от 7 до 12 лет. Распределение детей в зависимости от возраста и пола представлены в таблице 1.

В настоящем исследовании акустический анализ голоса проводили с использованием программы lingWAVES с записью фонетогрмм. Голос записывали при помощи прилагаемого к анализатору измерителя шума Sound Level Meter (“ATMOS”, Германия).

Результаты исследования

В ходе построения математической модели характеристик голоса у детей в норме и при нарушении органа слуха было установлено, что по результатам построенных эконометрических моделей часть показателей оказалась статистически незначимыми. Поэтому в итоговой модели независимыми переменными являются следующие показатели акустического анализа голоса: Shimmer, Jitter, Irregularity, SP_F0 и пол ребенка соответственно.

В ходе исследования было установлено, что характеристики голоса достоверно не зависят от пола детей, особенно это касается младшей возрастной группы. Установлено, что вид тугоухости статистически достоверно не влияет на характеристики голоса у детей, особенно при двустороннем снижении остроты слуха. То есть двусторонняя кондуктивная и нейросенсорная тугоухость одинаково изменяют характеристики голоса ребенка. Так же нами было установлено, что математическая модель характеристик голоса у детей без нарушения слуха и голоса и у детей с нарушением органа слуха не имеет принципиального отличия и может применяться как для здоровых детей, так и для детей с нарушением слуха.

$$F0 = 307.655 + 2.136 * \text{Shimmer} - 7.359 * \text{Jitter} - 64.803 * \text{Irregularity} + 9.877 * \log(\text{SP_F0}) + 12.447 * \text{Gender}$$

Основные характеристики математической модели голоса в норме и при нарушении органа слуха: коэффициент детерминации $R^2 = 0,243$, $P(F) = 0,000$, все коэффициенты являются значимыми. Наблюдается нормальное распределение остатков ($P(JB) = 0,437$). Модель гомоскедастич-

на (тест Уайта – $P(\text{Chi-Square}) = 0,359$). Мультиколлинеарность переменных отсутствует.

На основании разработанной модели характеристик голоса нами был разработан алгоритм математического анализа на персональном компьютере. С помощью алгоритма математического анализа, в основе которого лежит математическая модель характеристик голоса, мы провели проверку записанных нами ранее аудиофайлов голосов 47 детей без нарушений голоса и слуха. При проверке частоты основного тона путем расчета интервала квазистационарности речевого сигнала, установлено, что частота основного тона находилась у всех детей в пределах возрастной нормы. На рисунке 1 представлен фрагмент расчетов у детей без нарушений голоса и слуха, путем сравнения трех различных аудиозаписей.

Параметры f_1 (Гц) и f_2 (Гц) отличаются тем, как вычислялась средняя частота основного тона.

При проверке показателя пертурбации частоты, было рассчитано среднее возмущение (Relative Average Perturbation) и коэффициент возмущения периода (the five-point Period Perturbation Quotient). Пороговое значение для обнаружения патологий составляет также 0,68 %. На рисунке 2 представлены четыре вычисленных параметра трех различных аудиозаписей.

Исходя из данных акустического анализа голоса, можно сделать вывод, что у двух детей без нарушений голоса и слуха параметры находятся в пре-

делах нормы (аудиозапись № 2 и №3). Однако в аудиозаписи № 1 параметр (Jitta) превышает норму, это может указывать как на патологии голоса, так и на некачественную аппаратуру, на которую выполнена аудиозапись.

При проверке показателя Shimmer путем расчета трехточечного коэффициента амплитудного возмущения/изменения и пятиточечного коэффициента амплитудного возмущения были вычислены 4 показателя Shimmer, фрагмент сравнения представлен на рисунке 3.

Исходя из полученных данных, можно сделать вывод, что у одного ребенка без нарушений слуха и голоса параметры находятся в пределах нормы (аудиозапись № 2). Если рассматривать аудиозаписи № 1 и № 3 более подробно и сравнивать их с нормой, то видно, что данные превышают норму незначительно, что может указывать, как на патологию голоса, так и на некачественную аппаратуру, на которую выполнена аудиозапись.

Нами изучено качество записи аудиодорожек голосов детей без нарушений голоса и слуха. Данные представлены на рисунке 4.

Как можно заметить, благодаря качеству микрофона и звука, пики на аудиодорожке выделяются четко, именно из-за этого все остальные параметры тоже вычисляются хорошо.

Далее мы провели проверку характеристик голоса на основе математической модели голоса с помощью двух программ: Python и Mathematica (рисунки 5, 6).

Как мы видим акустические показатели голоса как по программе Python, так и по программе Mathematica имели практически одинаковые значения, статистические различия не наблюдались ($p = 0,51$), статистические различия наблюдались только расчёте F4(форматы 4) ($p = 0,001$).

По результатам проведенного исследования голосовых характеристик детей без нарушений слуха и голоса, и детей с тугоухостью нами была создана программа акустический анализ голоса (рисунок 7).

f_1	f_2	Аудиозапись – 1
160.24	158.769	
f_1	f_2	Аудиозапись – 2
149.023	148.253	
f_1	f_2	Аудиозапись – 3
266.497	266.388	

Рисунок 1. Сравнение трех аудиозаписей голосов детей без нарушений голоса и слуха при проверке частоты основного тона

Jitta	Jitt	Rap	pp5q	Аудиозапись № 1
201.565	3.20841	1.87695	1.85596	
Jitta	Jitt	Rap	pp5q	Аудиозапись № 2
73.5289	1.07464	0.568803	0.523164	
Jitta	Jitt	Rap	pp5q	Аудиозапись № 3
67.3317	1.79668	1.08267	1.17837	

Рисунок 2. Сравнение трех различных аудиозаписей голосов детей без нарушений голоса и слуха при проверке пертурбации частоты основного тона

Оригинальные научные публикации

Shimm	ShdB	apq3	apq5
5.17058	0.464156	2.65422	3.12743

Аудиозапись № 1

Shimm	ShdB	apq3	apq5
2.54101	0.222305	1.35795	1.58743

Аудиозапись № 2

Shimm	ShdB	apq3	apq5
4.71354	0.427406	2.41841	2.7652

Аудиозапись № 3

Рисунок 3. сравнение аудиозаписей голосовой детей без нарушений слуха и голоса при проверке показателя Shimmer

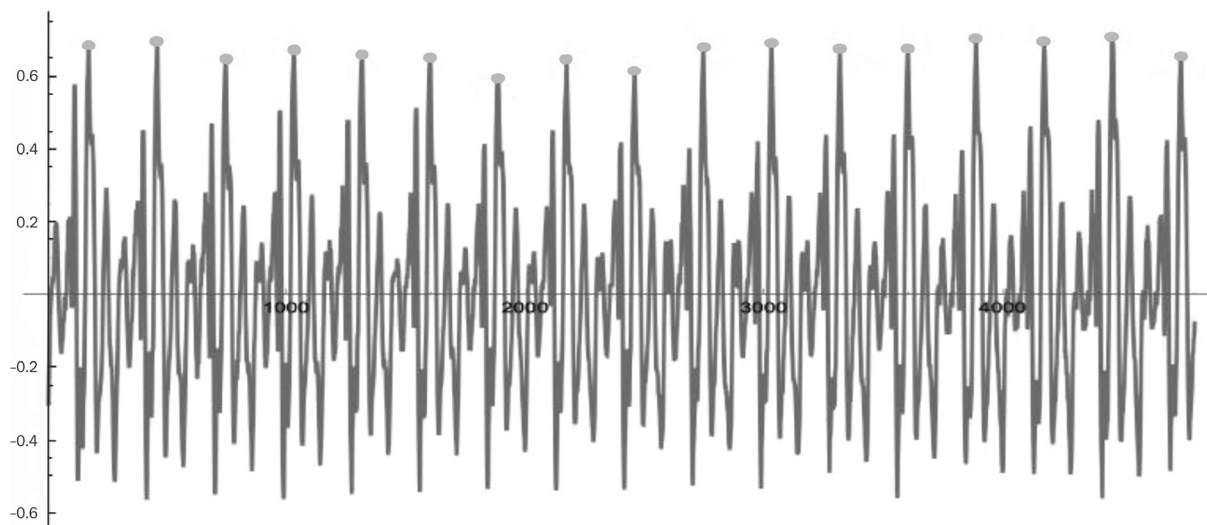


Рисунок 4. Аудиодорожка 8-летней девочки без нарушений слуха и голоса

F0, Гц	F1, Гц	F2, Гц	F3, Гц	F4, Гц	F5, Гц	StD, Гц	J, %	S	MPT, с	L, дБ
304.138	617.136	912.877	1224.18	1532.03	1774.73	24.9929	0.987238	7.11064	3.46925	-8.72755

Рисунок 5. Метрики аудиосигнала девочки 9 лет с хронической двусторонней нейросенсорной тугоухостью 4 степени, с помощью программы Mathematica

Форматы						Другие метрики				
F0, Гц	F1, Гц	F2, Гц	F3, Гц	F4, Гц	F5, Гц	StD, Гц	J, %	S	MPT, с	L, дБ
306.25	607.119	909.101	1219.4	0	1825.66	13.4756	1.01629	6.97927	3.47215	-8.72755

Рисунок 6. Метрики аудиосигнала девочки 9-ти лет с хронической двусторонней нейросенсорной тугоухостью 4 степени, определенные с помощью программы Python

Данная программа анализирует акустические характеристики голоса детей, а также сравнивает их в динамики и с нормативными характеристиками голоса, которые были ранее нами определены (рисунок 8). Преимущество данной программы, в том, что в программе присутствует биологическая обратная связь (БОС), сущность которого заключается в обучении пациента управлению физиологическими функциями собственного организма с помощью специального приборного и программного обеспечения [15]. Метод БОС – это современный метод реабилитации, направленный на активизацию внутренних резервов организма с целью восстановления или совершенствования физиологических навыков,

и представляет собой комплекс процедур, при проведении которых человеку посредством специальных технических устройств (цепи внешней обратной связи) передается информация о состоянии той или иной функции его собственного организма [16, 17]. Сущность биологической обратной связи в визуализации положительного или отрицательного результата, чем лучше ребенок будет видеть результат, тем лучше он будет стараться все выполнить правильно.

Программа для акустического анализа голоса проста и удобна для использования как для врачей-оториноларингологов в качестве метода диагностики нарушений голоса; педиатров для скрининга дисфоний; так и для учителей

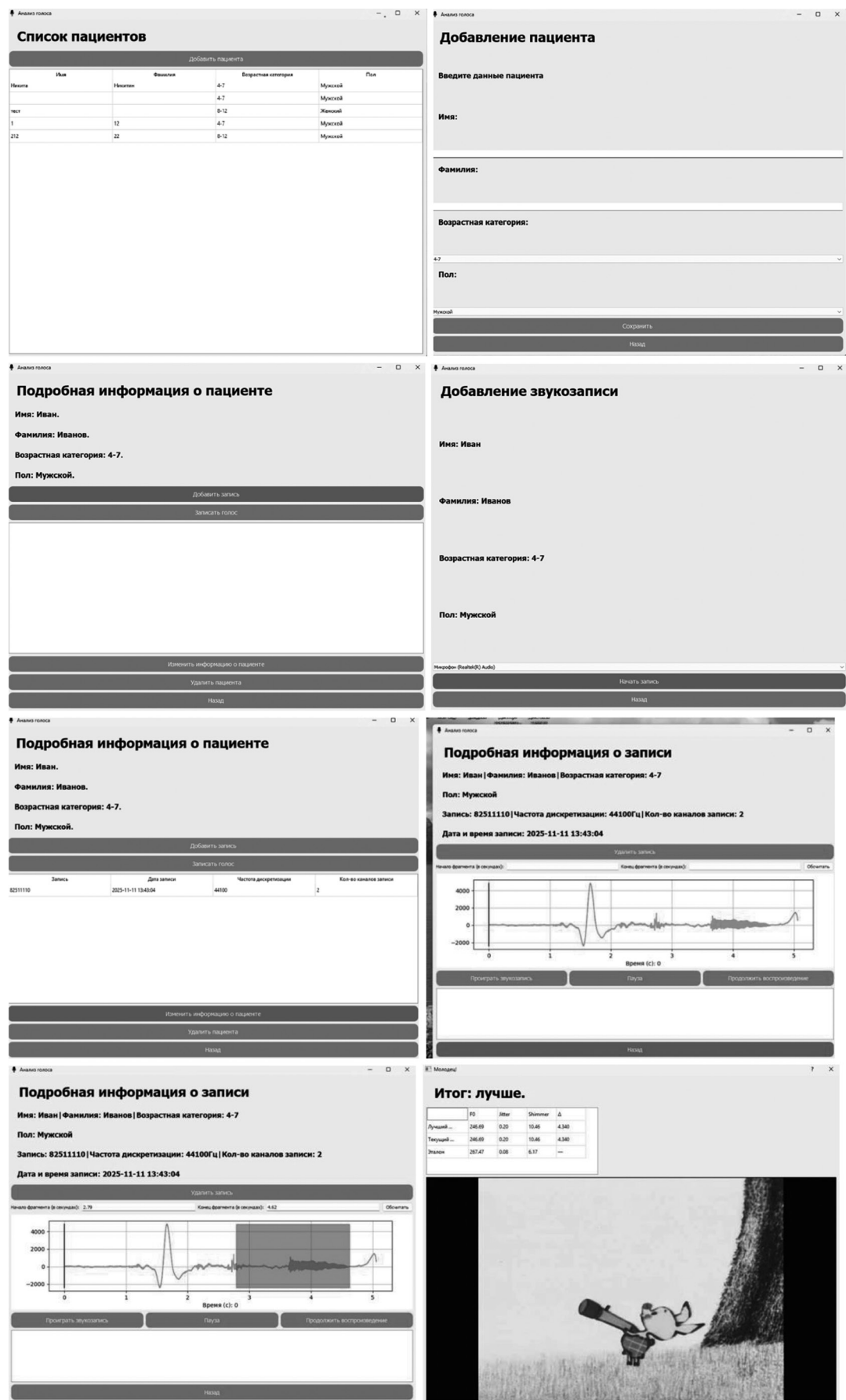


Рисунок 7. Интерфейс программного обеспечения при проведении акустического анализа голоса

	F0	Jitter	Shimmer	Δ
Текущий...	246.69	0.20	10.46	4.340
Лучший...	246.69	0.20	10.46	4.340
Эталон	267.47	0.08	6.17	—

Рисунок 8. Демонстрация характеристик голоса пациентов

дефектологов (сурдопедагогов), которые могут использовать данную программу для контроля эффективности сурдопедагогическими занятиями.

Выводы:

1. Для построения модели «голоса» был использован эконометрический подход, который позволяет получить прогностическую оценку на основании наиболее значимых факторов.

2. В ходе создания математической модели голоса в качестве зависимой переменной выбран показатель тональности голоса SPF0, в качестве независимых переменных использованы акустические показатели голоса GNE, Jitter, Noise, Overall Severity, Shimmer, SPF0, возраст и пол ребенка.

3. На основании математической модели голоса была разработана компьютерная программа для объективной оценки акустических характеристик голоса.

4. Разработанная компьютерная программа включает в себя нормативные показатели акустических характеристик голоса детей белорусской популяции, имеет удобный интерфейс и элементы обратной биологической связи.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Литературы

1. Богомилский, М. Р. К вопросу ранней диагностики нарушений голоса у детей / М. Р. Богомилский, Е. Ю. Радциг, Я. Е. Булышко, О. С. Орлова // Российская оториноларингология. – 2022. – Т. 21, № 3. – С. 25–31.
2. Шиленкова, В. В. Дисфонии и голос / В. В. Шиленкова. – Ярославль: Аверс Плюс, 2018. – 67 с.
3. Mc Murray. Multidisciplinary Management of Pediatric Voice and Swallowing / Mc Murray // Springer Nature Switzerland. – 2020. – P. 119–130.
4. Fujiki, R. Examining Relationships Between GRBAS Ratings and Acoustic, Aerodynamic and Patient-Reported Voice Measures in Adults With Voice Disorders / Robert Brinton Fujiki, Susan L. Thibeault // J Voice. – 2023. – Vol. 37, № 3. – P. 390–397.
5. Eddins, D. Developing Clinically Relevant Scales of Breathiness and Rough Voice Quality / D. A. Eddins, S. Anand, A. Lang, R. Shrivastav // J Voice. – 2021. – Vol. 35, № 4. – P. 659–663.
6. Siwei, L. Current methods of acoustic analysis of voice: a review / Siwei Liu, Jun Shao // J Lin Chuang Er Bi Yan Hou Tou Jing Wai Ke Za Zhi // Journal of clinical otorhinolaryngology head and neck surgery. – 2022. – Vol. 36, № 12. – P. 966–970.

7. Ambreen, S. Acoustic analysis of normal voice patterns in pakistani adults / S. Ambreen, N. Bashir, S. A. Tarar // J Voice. – 2017. – Vol. 33, № 1. – P. 1–28.

8. Boersma, P., Weenink D. (2023) Praat: doing phonetics by computer (Version 6.5.56.) [Computer program], Retrieved from <http://www.praat.org/>.

9. Гаранин, А. А. Возможности акустического анализа голоса в диагностике хронических неинфекционных заболеваний: систематический обзор и метаанализ. / А. А. Гаранин, О. Ю. Айдумова, А. О. Рубаненко // Кардиоваскулярная терапия и профилактика. – 2025. – № 24(7). – С. 102–110.

10. Zehnhoff-Dinnesen, A., Wiskirka-Woźnica B., Neumann K. Phoniatrics I Fundamentals – Voice Disorders – Disorders of Language and Hearing Development. – Springer, 2020. – 200 p.

11. Boogers, L. S. Mobile Phone Applications Voice Tools and Voice Pitch Analyzer Validated With LingWAVES to Measure Voice Frequency / L. S. Boogers // J Voice. – 2025. – Vol. 39, № 3. – P. 529–559.

12. Mc Murray. Multidisciplinary Management of Pediatric Voice and Swallowing. /Mc Murray // Springer Nature Switzerland, 2020. – 83 p.

13. Mizuta, M. Validation of Cepstral Acoustic Analysis for Normal and Pathological Voice in the Japanese Language / M. Mizuta // J Voice. – 2022. – Vol 36, № 6 – P. 770–776.

14. Покровский, В. И. Возраст / В. И. Покровский // Малая медицинская энциклопедия. – 1991. – Т. 1. – С. 358–359.

15. Хлудеев, И. И. Системы с биологической обратной связью: пособие / И. И. Хлудеев. – Минск: БГУИР, 2023. – С. 37–47.

16. Сметанкин, А. А. Принципы использования метода биологической обратной связи в системе медицинской реабилитации / А. А. Сметанкин, Ю. В. Ивановский. – СПб., 2003.

17. Medved, D. M. S. Systematic Review of Auditory Perceptual and Acoustic Characteristics of the Voice of Cochlear Implant Adult Users / D. M. S. Medved, L. D. R. Cavalheri, A. C. Coelho // J Voice. – 2021. – Vol. 35, № 6. – P. 927–934.

References

1. Bogomil'skij, M. R. K voprosu rannej diagnostiki narushenij golosa u detej [On the issue of early diagnosis of voice disorders in children] / M. R. Bogomil'skij, E. Yu. Radcig, Ya. E. Bulynko, O. S. Orlova // Rossijskaya otorinolaringologiya. – 2022. – Vol. 21, № 3. – S. 25–31 [In Russian].
2. Shilenkova, V. V. Disfonii i golos [Dysphonia and voice] / V. V. Shilenkova. – Yaroslavl: Avers Plyus, 2018. – 67 s. [In Russian].
3. Mc Murray. Multidisciplinary Management of Pediatric Voice and Swallowing / Mc Murray // Springer Nature Switzerland, 2020. – 119–130 r.
4. Fujiki, R. Examining Relationships Between GRBAS Ratings and Acoustic, Aerodynamic and Patient-Reported Voice Measures in Adults With Voice Disorders / Robert Brinton Fujiki, Susan L. Thibeault // J Voice. – 2023. – Vol. 37, № 3. – P. 390–397.
5. Eddins, D. Developing Clinically Relevant Scales of Breathiness and Rough Voice Quality / D. A. Eddins, S. Anand, A. Lang, R. Shrivastav // J Voice. – 2021. – Vol. 35, № 4. – P. 659–663.
6. Siwei, L. Current methods of acoustic analysis of voice: a review / Siwei Liu, Jun Shao / J Lin Chuang Er Bi Yan Hou Tou Jing Wai Ke Za Zhi // Journal of clinical otorhinolaryngology head and neck surgery. – 2022. – Vol. 36, № 12. – P. 966–970.
7. Ambreen, S. Acoustic analysis of normal voice patterns in pakistani adults / S. Ambreen, N. Bashir, S. A. Tarar // J Voice. – 2017. – Vol. 33, № 1. – P. 1–28.

8. Boersma, P., Weenink D. (2023) Praat: doing phonetics by computer (Version 6.5.56.) [Computer program], Retrieved from <http://www.praat.org/>.

9. Garanin, A. A. Vozmozhnosti akusticheskogo analiza golosa v diagnostike hronicheskikh neinfekcionnyh zabolevanij: sistematičeskij obzor i metaanaliz. [The potential of acoustic voice analysis in the diagnosis of chronic noncommunicable diseases: a systematic review and meta-analysis] / A. A. Garanin, O. Yu. Ajdumova, A. O. Rubanenko // *Kardiovaskulyarnaya terapiya i profilaktika*. – 2025. – № 24(7). – S. 102–110 [In Russian].

10. Zehnhoff-Dinnesen, A., Wiskiriska-Woźnica B., Neumann K. Phoniatrics I Fundamentals – Voice Disorders – Disorders of Language and Hearing Development. – Springer, 2020 – 200 r.

11. Boogers, L. S. Mobile Phone Applications Voice Tools and Voice Pitch Analyzer Validated With LingWAVES to Measure Voice Frequency / L. S. Boogers // *J Voice*. – 2025. – Vol. 39, № 3. – P. 529–559.

12. Mc Murray. Multidisciplinary Management of Pediatric Voice and Swallowing / Mc Murray // *Springer Nature*. – Switzerland, 2020. – 83 r.

13. Mizuta, M. Validation of Cepstral Acoustic Analysis for Normal and Pathological Voice in the Japanese Language / M. Mizuta // *J Voice*. – 2022. – Vol. 36, № 6. – P. 770–776.

14. Pokrovskij, V. I. Vozrast / V. I. Pokrovskij // *Malaya medicinskaya enciklopediya*. [Small Medical Encyclopedia]. – 1991. – Vol. 1. – S. 358–359 [In Russian].

15. Hludeev, I. I. Sistemy s biologicheskoy obratnoj svyaz'yu: posobie [Biofeedback systems: a manual] / I. I. Hludeev. – Minsk: BGUIR, 2023. – P. 37–47 [In Russian].

16. Smetankin, A. A. Principy ispol'zovaniya metoda biologicheskoy obratnoj svyazi v sisteme medicinskoj reabilitacii [Principles of Using the Biofeedback Method in the Medical Rehabilitation System] / A. A. Smetankin, Yu. V. Ivanovskij. – Sankt-Peterburg, 2003 [In Russian].

17. Medved, D. M. S. Systematic Review of Auditory Perceptual and Acoustic Characteristics of the Voice of Cochlear Implant Adult Users / D. M. S. Medved, L. D. R. Cavalheri, A. C. Coelho // *J Voice*. – 2021. – Vol. 35, № 6. – P. 927–934.

Поступила 06.01.2026 г.