

ПРИБОРОСТРОЕНИЕ,
МЕТРОЛОГИЯ
И ИНФОРМАЦИОННО-
ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ
ПРИБОРЫ И СИСТЕМЫ

INSTRUMENT MAKING,
METROLOGY AND
INFORMATION
MEASUREMENT DEVICES
AND SYSTEMS

УДК 004.021

DOI: 10.17212/2782-2001-2021-2-135-145

Разработка аппаратно-программного комплекса анализа и коррекции речи^{*}

Д.В. БОРОВИКОВА^а, О.В. ГРИШИН^б, А.В. НЕНЬКО^с,
А.В. ЮПАШЕВСКИЙ^д, А.С. КАЗЬМИНА^е, А.В. МАРКОВ^ф, К.А. МЕЦЛЕР^г

630073, РФ, г. Новосибирск, пр. Карла Маркса, 20, Новосибирский государственный технический университет

^а borovikova@corp.nstu.ru ^б 8asteroid@gmail.com

^с nenkoanastasia507@gmail.com ^д up1997ant@gmail.com

^е kazmina.anny@gmail.com ^ф avm@332lab.ru ^г kostya.metsler@gmail.com

В последние годы наблюдается резкое увеличение числа лиц, страдающих функциональными нарушениями голосовой функции, как правило, обусловленными психоэмоциональным стрессом. Подобные расстройства приносят в жизнь человека существенный дискомфорт: они снижают способность к коммуникации и социальной адаптации, что, в свою очередь, усиливает психоэмоциональную нагрузку. В результате функциональные нарушения закрепляются по механизму порочного круга и могут трансформироваться в патологию речевого аппарата. Основным способом диагностики остается экспертная оценка, которая напрямую зависит от профессиональных навыков специалиста по работе с голосом. В связи с этим актуальным представляется вопрос разработки таких систем диагностики голосоречевых нарушений, которые позволили бы провести объективную оценку на основе обработки голосоречевых характеристик, а также вовремя выявить нарушение и предотвратить развитие патологии. Такие методы и системы могут быть полезны как для диагностики, так и для контроля эффективности голосовой терапии. Существующие методики аппаратной диагностики до сих пор не нашли своего применения на практике из-за несоответствия результатам экспертной оценки. В настоящей работе предлагается новая концепция аппаратно-программного комплекса анализа голоса на основе акустических характеристик по совокупности гармоник голосового сигнала. Разработан комплекс VASA (Voice and Speech Analysing system), обеспечивающий автоматический анализ значений амплитуд первых 16 гармоник. Выполненные на трех добровольцах испытания показали высокий уровень воспроизводимости и повторяемости (в пределах 10 % < R < 30 %), достаточный для проведения сравнительных исследований у здоровых людей и лиц с функциональными нарушениями речевого аппарата.

Ключевые слова: фониатрия, дисфония, джиттер, шиммер, цифровая обработка сигнала, акустический анализ, объективный анализ, R&R анализ, автоматизированный комплекс

^{*} Статья получена 14 января 2021 г.

ВВЕДЕНИЕ

Функциональные расстройства речи или голоса – это группа нарушений центрального и периферического характера, обусловленных изменением функции без органических повреждений голосового аппарата. Значительную роль в функциональных расстройствах играют анатомические резонаторы, участвующие в формировании голосовых звуков [1]. Резонаторы формируют специфический тембральный оттенок голоса – обертона или «призвуки», которые образуются за счет перераспределения целого ряда гармоник и являются добавочными к основному тону звука [2].

В настоящее время оценка функционального состояния голосового аппарата в России и за рубежом до сих пор основывается на экспертной оценке специалистов по работе с голосом – фонопедов [3]. Фонопед субъективно на слух определяет степень «включения» того или иного резонатора в процессе фонации и отражает это в виде стандартизированной шкалы [4, 5]. На этом основании делается заключение о наличии в голосе того или иного типа функционального расстройства. Такая экспертная диагностика полностью зависит от профессионализма специалистов.

Вместе с этим существует несколько подходов объективной диагностики функциональных расстройств. В основе большинства из них лежит акустический анализ голоса с последующей оценкой шумовой составляющей, изменения частоты основного тона (ЧОТ) и определения общих спектральных характеристик звукового сигнала (формантный и гармонический состав) [6, 7].

Одним из наиболее распространенных методов комплексной оценки качества голосового сигнала является расчет коэффициента степени выраженности дисфонии (DSI – dysphonia severity index) [8]. Расчет DSI проводится по четырем параметрам, оценивающим разные характеристики голосового сигнала: максимальное время фонации (MPT , с) [9], наивысшая частота (F_{high} , Гц), наименьшая интенсивность (I_{low} , дБ (А)), джиттер (абсолютный) (jitter, %), который рассчитывается как среднее значение разницы ЧОТ между двумя соседними периодами акустической волны, выраженное в процентах [10, 11]. Эмпирическим путем была рассчитана формула для вычисления DSI:

$$DSI = 0.13MPT + 0.0053F_{0\ high} - 0.26I_{low} - 1.18Jitter + 12.4. \quad (1)$$

Однако предлагаемые границы голосовой дисфункции (DSI от –5 до +5), по мнению ряда исследователей и фониаторов, не имеют диагностического значения [12, 13]. Возможно, причина заключается в том, что методика расчета DSI рассматривает изменение только одной гармоники – частоты основного тона. Как было отмечено, функциональные нарушения характеризуются изменениями в голосе, отражающимися в виде обертонов, интенсивность которых увеличивается либо уменьшается в зависимости от типа нарушения. В связи с этим цель настоящей работы – разработать аппаратно-программный комплекс для анализа совокупности гармоник голосового сигнала.

1. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

Предлагаемый аппаратно-программный комплекс анализа голоса и речи состоит из нескольких модулей VASA (Voice and Speech Analysing system). Блок-схема разрабатываемого устройства приведена на рис. 1.



Рис. 1. Блок-схема программно-аппаратного комплекса анализа голоса

Fig. 1. Block diagram of the software and hardware complex for voice analysis

Комплекс состоит из нескольких модулей. Модуль акустического анализа голоса представляет собой систему, показанную на рис. 2. Микрофон помещается на расстоянии 15 см от ротовой полости обследуемого. Такое расстояние остается неизменным на протяжении всей диагностической процедуры. Тестирование заключается в произнесении определенных звуков и фраз. Сигнал с микрофона поступает на специализированную аудиокарту и подается на вход концентратора.

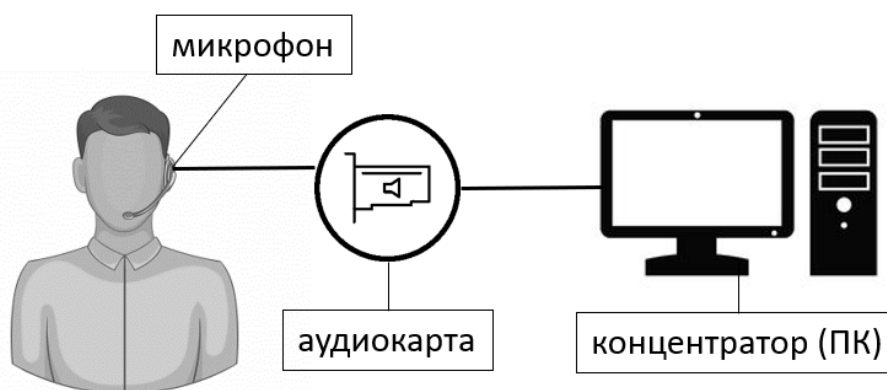


Рис. 2. Модуль акустического анализа голоса

Fig. 2. An acoustic voice analysis module

В этой версии аппаратно-программного комплекса использовались микрофон Shure WH30XLR и профессиональная аудиокарта фирмы M-Audio Fast Track Ultra, которая позволяет получить высококачественную оцифровку

звукового сигнала (разрядность ЦАП/АЦП: 24 бит/24 бит; максимальная частота ЦАП/АЦП: 96 кГц/96 кГц). Выбранная модель микрофона обеспечивает высокий уровень изоляции от посторонних источников звука, имеет плавную частотную характеристику, изолирующий демпфер для снижения механических шумов (кардиоидный; диапазон частот 40...20 000 Гц; выходное сопротивление 150 Ом). В качестве концентратора в предлагаемой системе используется персональный компьютер, однако в последующих версиях может быть использован мобильный телефон или планшет.

Специально разработанное программное обеспечение, установленное на концентраторе, путем цифровой обработки сигнала рассчитывает ряд акустических параметров голосового сигнала, коррелирующих с различными типами нарушений голоса. С помощью разработанного ПО рассчитываются и анализируются следующие диагностические параметры.

- Джиттер (*Jitter*) – среднее значение разницы ЧОТ между двумя соседними периодами [11]:

$$Jitter(absolute) = \frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^{N-1} |T_i - T_{i+1}|, \quad (2)$$

где T – длина периода; N – число таких периодов. Значение джиттера в голосе без нарушений не должно превышать 0,5 %.

- Шиммер – количественная оценка изменения амплитуд двух соседних периодов (дБ) [11]:

$$Shimmer(dB) = \frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^{N-1} \left| 20 \log \left(\frac{A_{i+1}}{A_i} \right) \right|, \quad (3)$$

где A – амплитуда в выбранном периоде; N – число таких периодов.

- Отношение гармоника–шум – доля гармонической составляющей сигнала (фонационной) по отношению к шумовой составляющей:

$$HNR = 10 \log_{10} \left(\frac{I_1}{I_2} \right), \quad (4)$$

где I_1 – интенсивность гармонической составляющей; I_2 – интенсивность шумовой составляющей [14].

- Коэффициент степени выраженности дисфонии – комплексный параметр оценки качества голоса [8]:

$$DSI = 0.13MPT + 0.0053F_{0\ high} - 0.26I_{low} - 1.18Jitter + 12.4, \quad (5)$$

где MPT – максимальное время фонации (с); F_{high} – наивысшая частота (Гц); I_{low} – наименьшая интенсивность (дБ(А)); $jitter$ – джиттер абсолютный (%).

- Коэффициент звонкости голоса – отношение интенсивности сигнала в области высокой певческой форманты (ВПФ) к общей интенсивности сигнала [15]:

$$K_{зв} = \frac{I_1}{I_2} 100 \%, \quad (6)$$

где I_1 – интенсивность сигнала в области ВПФ; I_2 – общая интенсивность гласного.

Графическое отображение звукового профиля; а также значения всех рассчитываемых акустических параметров выводятся на монитор концентратора в удобном для пользователя виде. Пример окна акустического анализа голоса показан на рис. 3.

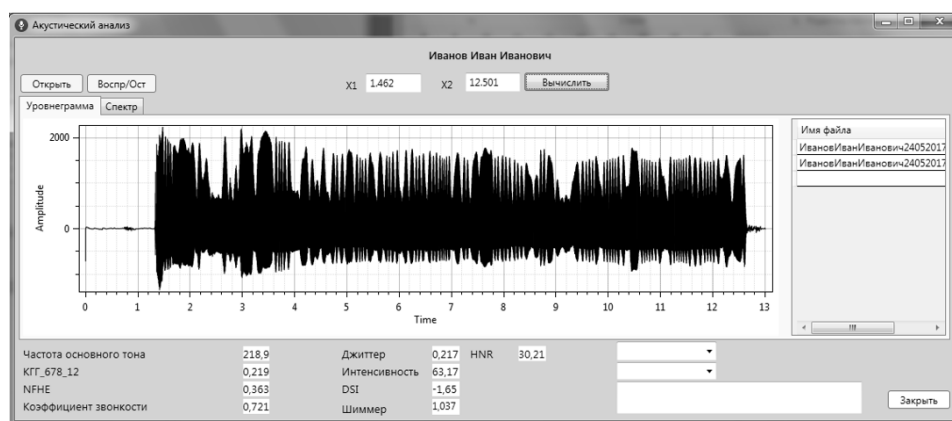


Рис. 3. Пример окна акустического анализа голоса

Fig. 3. Example of an acoustic voice analysis window

Разработанный аппаратно-программный комплекс предоставляет пользователю возможность выбора определенного фрагмента для анализа, а также автоматически производит расчет значений амплитуд первых 16 гармоник, что позволяет исследовать различные их комбинации в зависимости от типа анализируемого нарушения фонации так же, как это делает эксперт на слух, оценивая степень выраженности обертонов.

Данные с модулей агрегируются на концентраторе (персональном компьютере). Специально разработанное нами программное обеспечение обрабатывает полученные данные и выводит их в удобном для пользователя виде.

Отличительной особенностью комплекса являются разработанные алгоритмы, которые на основе первичных данных позволяют получить информацию о наличии в голосе того или иного типа нарушения и степени его выраженности при помощи комплексного акустического анализа сигнала.

В результате комплексного акустического анализа специалист получает информацию о наличии у говорящего того или иного типа нарушения фонации и степени ее выраженности с учетом индивидуальных особенностей пациента, а также результатов аудитивной и психологической оценки.

2. РЕЗУЛЬТАТЫ ОБСУЖДЕНИЙ

В рамках проверки комплекса на n (кол-во) добровольцах была проведена оценка воспроизводимости и повторяемости результатов при помощи R&R анализа (Repeatability & Reproducibility). На начальном этапе произво-

дилась проверка работы модуля акустического анализа голосового сигнала. Было проведено трехкратное измерение стандартных параметров акустического анализа *Jitter*, *Shimmer*, *HNR*, $K_{зв}$ и у всех обследуемых лиц двумя независимыми операторами. Исследование проводилось в шумоизолированном помещении. На момент обследования добровольцы не жаловались на наличие каких-либо заболеваний, влияющих на качество фонации, и не страдали нарушениями голосового аппарата. Расчет параметров производился для длительного гласного звука [a].

Анализ воспроизводимости и повторяемости проводился методом R&R при помощи STATISTICA v10. Графики анализа повторяемости и воспроизводимости для пяти акустических параметров представлены на рис. 4.

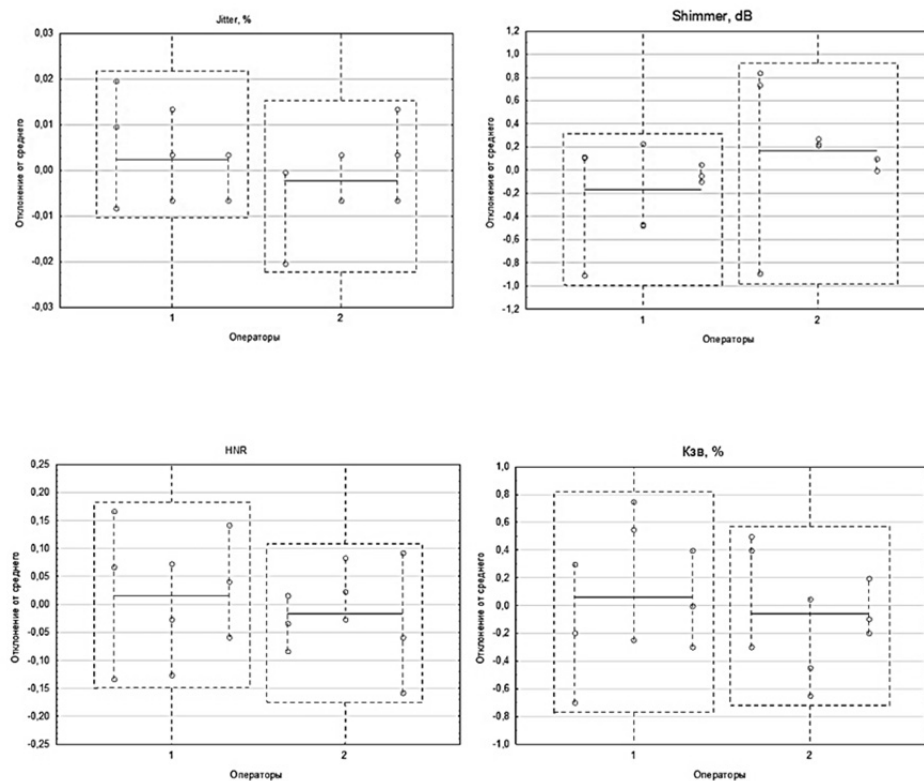


Рис. 4. Графики анализа воспроизводимости и повторяемости результатов

Fig. 4. Graphics for analyzing the reproducibility and repeatability of results

Результаты оценки дисперсии методом размахов представлены в таблице. Согласно полученным данным разрабатываемая система обладает высокими показателями воспроизводимости и повторяемости результатов. Однако следует учитывать, что различия в полученных данных могут обосновываться индивидуальными характеристиками голоса исследуемых.

**Оценка дисперсии методом размахов.
Оценка повторяемости и воспроизводимости**

**Estimation of variance by the sweep method.
Assessment of repeatability & reproducibility**

Параметр	Оценен. сигма	Оценен. дисперсии	% от R & R	% от общей
<i>Повторяемость</i>				
<i>Jitter</i>	0,01	0,0001	100,00	25,85
<i>Shimmer</i>	0,36	0,13	76,34	40,93
<i>HNR</i>	0,02	0,000237	2,29	1,034
<i>K_{зв}, %</i>	0,44	0,20	100,009	2,96
КГГ	0,13	0,016	52,78	23,77
<i>Воспроизводимость</i>				
<i>Jitter</i>	0,00	0,00	0,00	0,00
<i>Shimmer</i>	0,20	0,04	23,66	12,69
<i>HNR</i>	0,10	0,01	97,72	44,21
<i>K_{зв}, %</i>	0,00	0,00	0,00	0,00
КГГ	0,12	0,01	47,22	21,26

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В настоящей работе на основе акустических характеристик по совокупности гармоник голосового сигнала разработан новый аппаратно-программный комплекс VASA для объективной диагностики функциональных нарушений голосовой функции и контроля эффективности терапевтической коррекции. Комплекс позволяет проводить автоматический расчет значений амплитуд первых 16 гармоник, что обеспечивает поиск объективных критериев для выявления различных типов нарушения фонации. Выполненные испытания на трех добровольцах показали высокий уровень воспроизводимости и повторяемости (в пределах $10\% < \%R\&R < 30\%$ для трех показателей (см. таблицу)), достаточный для проведения сравнительных исследований в группе здоровых и лиц с функциональными нарушениями речевого аппарата.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Василенко Ю.С. Голос. Фонологические аспекты. – М.: Дипак, 2013. – 396 с.
2. Музыкальная энциклопедия. В 6 т. Т. 3 / гл. ред. Ю.В. Келдыш. – М.: Советская энциклопедия, 1976. – 1104 с.

3. Fujiki R.B., Thibeault S.L. Examining relationships between GRBAS ratings and acoustic, aerodynamic and patient-reported voice measures in adults with voice disorders // *Journal of Voice*. – 2021. – DOI: 10.1016/j.jvoice.2021.02.007.
4. Acoustic characteristics of the voice for Brazilian Portuguese speakers across the life span / E.A. Spazzapan, E.M. Gradim Fabron, L.C. Berti, E.F.B. Chagas, V.C. de Castro Marino // *Journal of Voice*. – 2020. – DOI: 10.1016/j.jvoice.2020.09.019.
5. Changes in acoustic aspects of vocal function in children after adenotonsillectomy / F.F. Brkic, D.T. Liu, N.J. Campion, M. Leonhard, S. Altumbabic, M. Korlatovic, A. Kaider, J. Kabil-Hamidovic, F. Brkic, E. Vyskocil // *Journal of Voice*. – 2020. – DOI: 10.1016/j.jvoice.2020.06.022.
6. Acoustic analysis of normal voice patterns in Italian adults by using praat / C. Gorris, A. Ricci Maccarini, F. Vanoni, M. Poggioli, R. Vaschetto, M. Garzaro, P. Aluffi Valletti // *Journal of Voice*. – 2020. – Vol. 34 (6). – P. 961.e9–961.e18. – DOI: 10.1016/j.jvoice.2019.04.016.
7. Soumya M., Narasimhan S.V. Correlation between subjective and objective parameters of voice in elderly male speakers / M. Soumya, S.V. Narasimhan // *Journal of Voice*. – 2020. – DOI: 10.1016/j.jvoice.2020.10.006.
8. Relation between dysphonia severity index (DSI) and consensus auditory-perceptual evaluation of voice (CAPE-V) / E. Ataee, H. Khoramshahi, E. Naderifar, E.M. Dastoorpour // *Journal of Voice*. – 2020. – DOI: 10.1016/j.jvoice.2020.06.030.
9. Sobol M., Sielska-Badurek E.M. The dysphonia severity index (DSI)-normative values. Systematic review and meta-analysis // *Journal of Voice*. – 2020. – Vol. 63. – P. 951–956.
10. Brockmann-Bauser M., Bohlender J.E., Mehta D.D. Acoustic perturbation measures improve with increasing vocal intensity in individuals with and without voice disorders // *Journal of Voice*. – 2018. – Vol. 32. – P. 162–168.
11. Cataldo E., Soize C. Voice signals produced with jitter through a stochastic one-mass mechanical model // *Journal of Voice*. – 2017. – Vol. 31. – P. 111.e9–111.e18.
12. The Influence of gender and age on the acoustic voice quality index and dysphonia severity index: a normative study / B. Barsties V. Latoszek, N. Ulozaitė-Stanienė, Y. Maryn, T. Petrauskas, V. Uloza // *Journal of Voice*. – 2019. – Vol. 33 (3). – P. 340–345.
13. Validation of the dysphonia severity index in the Dr. speech program / H. Kim, S. Gao, B. Yi, R. Shi, Q. Wan, Z. Huang // *Journal of Voice*. – 2019. – Vol. 33 (6). – P. 948.e23–948.e29. – DOI: 10.1016/j.jvoice.2019.08.011.
14. Yanagihara N. Significance of harmonic changes and noise components in hoarseness // *Journal of Speech and Hearing Research*. – 1967. – Vol. 10. – P. 531–541.
15. Морозов В.П. Биофизические основы вокальной речи. – Л.: Наука, 1977. – 232 с.

Боровикова Дарья Владимировна, ассистент кафедры электронных приборов Новосибирского государственного технического университета. Основное направление научных исследований – определение методики объективизации параметров голосоречевого сигнала. Является автором более 15 научных статей. E-mail: borovikova@corp.nstu.ru

Гришин Олег Витальевич, доктор медицинских наук, главный научный сотрудник НИИ физиологии и фундаментальной медицины, доцент кафедры внутренних болезней медицинского факультета Новосибирского государственного университета, профессор кафедры электронных приборов Новосибирского государственного технического университета, руководитель департамента перспективных исследований ЗАО СЦФБ. Автор более 120 научных статей. Основное направление научных исследований – медицинская электроника. E-mail: 8asteroid@gmail.com

Ненько Анастасия Викторовна, студентка 4-го курса кафедры электронных приборов Новосибирского государственного технического университета. Основное направление научных исследований – детектирование психоэмоциональных нарушений по акустическому анализу голосоречевого сигнала. E-mail: nenkoanastasia507@gmail.com

Юпашевский Антон Витальевич, аспирант Новосибирского государственного технического университета по профилю «Фотоника, приборостроение, оптические и биотехнические системы и технологии». Основное направление научных исследований – разработка оборудования для биомониторинговых систем и оборудования для образовательных целей. E-mail: up1997ant@gmail.com

Казьмина Анна Сергеевна, аспирант Новосибирского государственного технического университета по профилю «Фотоника, приборостроение, оптические и биотехни-

ческие системы и технологии». Автор 10 научных статей. Основное направление научных исследований – разработка оборудования для биомониторинговых систем, разработка систем на программируемых логических интегральных схемах. E-mail: kazmina.anny@gmail.com

Марков Артём Владимирович, старший преподаватель кафедры электронных приборов Новосибирского государственного технического университета. Основное направление научных исследований – разработка оборудования для биомониторинговых систем и оборудования для образовательных целей. Является автором более 20 научных статей. E-mail: avm@332lab.ru

Мецлер Константин Александрович, аспирант Новосибирского государственного технического университета по профилю «Фотоника, приборостроение, оптические и биотехнические системы и технологии». E-mail: kostya.metsler@gmail.com

Borovikova Daria V., a graduate from the Department of Electronic Devices in the Novosibirsk State Technical University, assistant lecturer at the Department of Electronic Devices in the Novosibirsk State Technical University. The main field of her scientific research is determining objectification technique parameters of the voice signal. She is the author of more than 15 scientific articles. E-mail: borovikova@corp.nstu.ru

Grishin Oleg V., Doctor of Medical Sciences, Chief Researcher of the Research Institute of Physiology and Fundamental Medicine, associate professor at the Department of Internal Diseases of the Medical Faculty in Novosibirsk State University; professor at the Department of Electronic Devices in the Novosibirsk State Technical University, Head of the Department of Advanced Research of JSC SCFB. He is the author of more than 120 research papers. The main area of his scientific research is medical electronics. E-mail: 8asteroid@gmail.com

Nenko Anastasia V., a 4th year student at the Department of Electronic Devices in the Novosibirsk State Technical University. The main field of her scientific research is the detection of psychoemotional state by an acoustic analysis of the voice-speech signal. E-mail: nenkoanastasia507@gmail.com

Yupashevsky Anton V., a graduate from the Department of Electronic Devices in the Novosibirsk State Technical University, a post-graduate student at the Novosibirsk State Technical University in the profile "Photonics, instrumentation, optical and biotechnical systems and technologies". The main field of his scientific research is the development of equipment for biomonitoring systems and equipment for educational purposes. E-mail: up1997ant@gmail.com

Kazmina Anna S., a graduate from the Department of Electronic Devices in the Novosibirsk State Technical University, a post-graduate student at the Novosibirsk State Technical University in the profile "Photonics, instrumentation, optical and biotechnical systems and technologies". She is the author of 10 scientific articles. The main field of her scientific research is the development of equipment for biomonitoring systems and the development of systems based on programmable logic integrated circuits. E-mail: kazmina.anny@gmail.com

Markov Artem V., a graduate from the Department of Electronic Devices in the Novosibirsk State Technical University, senior lecturer at the Department of Electronic Devices in the Novosibirsk State Technical University. The main field of his scientific research is the development of equipment for biomonitoring systems and equipment for educational purposes. He is the author of more than 20 research paper. E-mail: avm@332lab.ru

Metsler Konstantin A., a graduate from the Department of Electronic Devices in the Novosibirsk State Technical University, a post-graduate student at the Novosibirsk State Technical University in the field of photonics, instrument making, optical and biotechnical systems and technologies. E-mail: kostya.metsler@gmail.com

DOI: 10.17212/2782-2001-2021-2-135-145

Development of a hardware and software complex for speech analysis and correction*

D.V. BOROVIKOVA^a, O.V. GRISHIN^b, A.V. NENKO^c, A.V. YUPASHEVSKY^d,
A.S. KAZMINA^e, A.V. MARKOV^f, K.A. METSLER^g

Novosibirsk State Technical University, 20 K. Marx Prospekt, Novosibirsk, 630073, Russian Federation

^a borovikova@corp.nstu.ru ^b 8asteroid@gmail.com

^c nenkoanastasia507@gmail.com ^d up1997ant@gmail.com

^e kazmina.anny@gmail.com ^f avm@332lab.ru ^g kostya.metsler@gmail.com

Abstract

In recent years, there has been a dramatic increase in the number of people suffering from functional disorders of voice, usually caused by a psychoemotional stress. Such disorders bring significant discomfort to a person's life as they reduce their communication and social adaptation capacity, which in turn increases the psychoemotional load. As a result, functional disorders are fixed by the vicious circle mechanism and can be transformed into the pathology of the speech apparatus. The main method of diagnosis remains expert assessment, which directly depends on the professional skills of a specialist in working with voice. In this connection, the issue of developing such systems for diagnosing voice-speech disorders that would allow for an objective assessment based on the processing of voice-speech characteristics, as well as to identify the violation in time and prevent the development of pathology, is relevant. Such methods and systems can be useful both for diagnostics and for monitoring the effectiveness of voice therapy. The existing methods of hardware diagnostics have not yet found their application in practice due to their inconsistency with the results of expert evaluation. In this paper, we propose a new concept of hardware and software complex for the analysis of voice based on acoustic characteristics of a set of harmonics of the voice signal. A VASA (Voice and Speech Analyzing system) complex has been developed that provides an automatic analysis of the amplitudes of the first 16 harmonics. The tests performed on three volunteers showed a high level of reproducibility and repeatability (within 10 % < %R&R < 30 %), sufficient for conducting comparative studies on healthy people and people with functional speech disorders.

Keywords: phoniatrics, dysphonia, jitter, shimmer, digital signal processing, acoustic analysis, objective analysis, R&R analysis, automated complex

REFERENCES

1. Vasilenko Yu.S. *Golos. Foniatricheskie aspekty* [The voice. Phoniatic aspects]. Moscow, Dipak Publ., 2013. 396 p.
2. Keldysh Yu.V., ed. *Muzykal'naya entsiklopediya*. V 6 t. T. 3 [The musical encyclopedia. In 6 vol. Vol. 3]. Moscow, Sovetskaya entsiklopediya Publ., 1976. 1104 p.
3. Fujiki R.B., Thibeault S.L. Examining Relationships Between GRBAS Ratings and Acoustic, Aerodynamic and Patient-Reported Voice Measures in Adults With Voice Disorders. *Journal of Voice*, 2021. DOI: 10.1016/j.jvoice.2021.02.007.
4. Spazzapan E.A., Gradim Fabron E.M., Berti L.C., Chagas E.F.B., Castro Marino V.C. de. Acoustic characteristics of the voice for Brazilian Portuguese speakers across the life span. *Journal of Voice*, 2020. DOI: 10.1016/j.jvoice.2020.09.019.
5. Brkic F.F., Liu D.T., Campion N.J., Leonhard M., Altumbabic S., Korlatovic M., Kaider A., Kabil-Hamidovic J., Brkic F., Vyskocil E. Changes in acoustic aspects of vocal function in children after adenotonsillectomy. *Journal of Voice*, 2020. DOI: 10.1016/j.jvoice.2020.06.022.
6. Gorris C., Ricci Maccarini A., Vanoni F., Poggioli M., Vaschetto R., Garzaro M., Aluffi Valletti P. Acoustic analysis of normal voice patterns in Italian adults by using praat. *Journal of Voice*, 2020, vol. 34 (6), pp. 961.e9–961.e18. DOI: 10.1016/j.jvoice.2019.04.016.

* Received 14 January 2021.

7. Soumya M., Narasimhan S.V. Correlation between subjective and objective parameters of voice in elderly male speakers. *Journal of Voice*, 2020. DOI: 10.1016/j.jvoice.2020.10.006.
8. Ataee E., Khoramshahi H., Naderifar E., Dastoorpour E.M. Relation between dysphonia severity index (DSI) and consensus auditory-perceptual evaluation of voice (CAPE-V). *Journal of Voice*, 2020. DOI: 10.1016/j.jvoice.2020.06.030.
9. Sobol M., Sielska-Badurek E.M. The dysphonia severity index (DSI)-normative values. Systematic review and meta-analysis. *Journal of Voice*, 2020, vol. 63, pp. 951–956.
10. Brockmann-Bauser M., Bohlender J.E., Mehta D.D. Acoustic perturbation measures improve with increasing vocal intensity in individuals with and without voice disorders. *Journal of Voice*, 2018, vol. 32, pp. 162–168.
11. Cataldo E., Soize C. Voice signals produced with jitter through a stochastic one-mass mechanical model. *Journal of Voice*, 2017, vol. 31, pp. 111.e9–111.e18.
12. Barsties V., Latoszek B., Ulozaitė-Stanienė N., Maryn Y., Petrauskas T., Uloza V. The influence of gender and age on the acoustic voice quality index and dysphonia severity index: a normative study. *Journal of Voice*, 2019, vol. 33 (3), pp. 340–345.
13. Kim H., Gao S., Yi B., Shi R., Wan Q., Huang Z. Validation of the dysphonia severity index in the Dr. speech program. *Journal of Voice*, 2019, vol. 33 (6), pp. 948.e23–948.e29. DOI: 10.1016/j.jvoice.2019.08.011.
14. Yanagihara N. Significance of harmonic changes and noise components in hoarseness. *Journal of Speech and Hearing Research*, 1967, vol. 10, pp. 531–541.
15. Morozov V.P. *Biofizicheskie osnovy vokal'noi rechi* [Biophysical foundations of vocal speech]. Leningrad, Nauka Publ., 1977. 232 p.

Для цитирования:

Разработка аппаратно-программного комплекса анализа и коррекции речи / Д.В. Боровикова, О.В. Гришин, А.В. Ненько, А.В. Юпашевский, А.С. Казьмина, А.В. Марков, К.А. Метцлер // Системы анализа и обработки данных. – 2021. – № 2 (82). – С. 135–145. – DOI: 10.17212/2782-2001-2021-2-135-145.

For citation:

Borovikova D.V., Grishin O.V., Nenko A.V., Yupashevsky A., Kazmina A.S., Markov A.V., Metsler K.A. Razrabotka apparatno-programmnogo kompleksa analiza i korrektsii rechi [Development of a hardware and software complex for speech analysis and correction]. *Sistemy analiza i obrabotki dannykh = Analysis and Data Processing Systems*, 2021, no. 2 (82), pp. 135–145. DOI: 10.17212/2782-2001-2021-2-135-145.