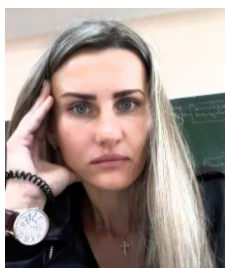


УДК 004.42+612.789

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДОВ ЦИФРОВОЙ ОБРАБОТКИ СИГНАЛОВ В ОЦЕНКЕ РЕЧЕВЫХ НАРУШЕНИЙ У ДЕТЕЙ ДОШКОЛЬНОГО ВОЗРАСТА



Т.П. Куль
Старший преподаватель, аспирант кафедры инженерной психологии и эргономики БГУИР, магистр технических наук



М.М. Меженная
Доцент кафедры инженерной психологии и эргономики БГУИР, кандидат технических наук



Г.А. Розум
Старший преподаватель кафедры инженерной психологии и эргономики БГУИР, соискатель, магистр техники и технологии



А.Н. Осипов
Проректор по научной работе БГУИР, кандидат технических наук, доцент



О.Л. Горячко
Учитель-дефектолог ГУО «Ясли-сад №4 г. Белоозерск»



Н.М. Трутько
Учитель-дефектолог ГУО «Ясли-сад №4 г. Белоозерск»



С.Д. Левик
Заведующий ГУО «Ясли-сад №4 г. Белоозерск»



К.В. Каминский
Системный инженер ИООО "Эпам Системз"

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники.
Государственное учреждение образования «Ясли-сад №4 г. Белоозёрск», Брестская область, Республика Беларусь.

Иностранное общество с ограниченной ответственностью «ЭПАМ Системз».
E-mail: mezhennaya@bsuir.by.

Т. П. Куль

Окончила Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники. Аспирант кафедры инженерной психологии и эргономики БГУИР. Работает в должности старшего преподавателя. Проводит научные исследования в области биомедицинских речевых сигналов.

М. М. Меженная

Доцент кафедры инженерной психологии и эргономики БГУИР. Сфера исследований: анализ биомедицинских сигналов и изображений, UX/UI дизайн, функциональное тестирование программного обеспечения, project & product management, мобильные приложения.

Г. А. Розум

Работает в должности старшего преподавателя. Соискатель БГУИР по специальности

«Психология труда, инженерная психология, эргономика (технические науки)» Сфера исследований: нейронные сети и машинное обучение.

А. Н. Осипов

Проректор по научной работе БГУИР, доцент кафедры электронной техники и технологии. Область научных исследований: биомедицинский инжинеринг; разработка методов и инструментов электростимуляции системы со сложной биотехнической обратной связью для лечения нарушения моторной функции скелетных мышц.

О. А. Горячко

Учитель-дефектолог, I квалификационная категория, ГУО «Ясли-сад №4 г. Белоозерск». Проводит коррекционную работу в специальной группе для детей с тяжелыми нарушениями речи. Сфера исследований: коррекционно-развивающая среда для детей с особенностями психофизического развития.

Н. М. Трутенько

Учитель-дефектолог, I квалификационная категория, ГУО «Ясли-сад №4» г. Белоозерск». Проводит коррекционную работу в специальной группе для детей с нарушениями зрения. Сфера исследований: современные технологии в специальном образовании.

С. Д. Левик

Занимает должность заведующего ГУО «Ясли-сад №4 г. Белоозерск». Область профессиональных интересов: адаптивная образовательная и коррекционно-развивающая среда в специальных группах, группах интегрированного обучения и воспитания детей с особенностями психофизического развития.

К. В. Каминский

Работает в должности системного инженера ИООО «Эпам Системз». Область профессиональных интересов: DevOps практики и инструменты, непрерывная интеграция и развёртывание, облачные технологии, цифровая обработка данных.

Аннотация. Для регистрации речевых сигналов в детской дефектологии предложена методика на основе последовательного видеоряда изображений, предназначенных для демонстрации детям дошкольного возраста (5-7 лет) посредством мобильного устройства. Подобранные специальным образом речевые сигналы записываются и подвергаются цифровой обработке. Диагностическая оценка показывает различия в количественных показателях коэффициента вариации основного тона, коэффициента эксцесса гистограммы в норме и при речевых патологиях, а также качественные различия в характере кепстрограммы и спектрограммы. Предлагаемое программное обеспечение может использоваться как опытными педагогами-дефектологами, воспитателями, так и непрофессиональными пользователями с целью выявления и коррекции речевых нарушений. Цифровая реализация диагностического инструмента позволяет регистрировать, наблюдать и оценивать динамику речевого развития, хранить записанные сигналы, проводить мониторинг точных показателей речевой оценки. Предложенный инструмент экспресс-диагностики позволит своевременно оказать помощь ребенку с речевыми отклонениями и выявить их особенности.

Ключевые слова: речевой сигнал, регистрация и обработка биомедицинских сигналов, стертая дизартрия, речевые детские неврологические патологии, дислалия, ринофония.

Введение.

Стертая дизартрия – речевая патология, проявляющаяся в расстройствах фонетического и просодического компонентов речевой функциональной системы и возникающая вследствие невыраженного микроорганического поражения головного мозга (Л. В. Лопатина) [1-5]. Стертая дизартрия (легкая степень дизартрии, МДР – минимальные дизартрические расстройства) в логопедической практике – одно из самых распространенных и трудно поддающихся коррекции нарушений произносительной стороны речи. Г. Гутцман впервые выделяет среди детей с полиморфным нарушением звукопроизношения категорию детей, у которых выявляется стертость артикуляции и у которых процесс коррекции звукопроизношения крайне затруднен. Стертая дизартрия встречается очень часто в логопедической практике. Характерными особенностями стертой дизартрии являются: невнятная невыразительная речь, плохая дикция, искажение и замена звуков в сложных по слоговой структуре словах и др. Обследование детей в детских садах показало, что в старших и подготовительных к школе группах от 40 до 60 % детей имеют

отклонения в речевом развитии. Среди наиболее распространенных нарушений: дислалия, ринофония, фонетико-фонематическое недоразвитие, стертая дизартрия. В группах для детей с общим недоразвитием речи до 50 % детей, а в группах с фонетико-фонематическим недоразвитием – до 35 % детей имеют стертую дизартрию. Дети, имеющие стертую дизартрию, нуждаются в длительной, систематической индивидуальной логопедической помощи [6-7].

В настоящее время сохраняется потребность в портативном инструменте экспресс-диагностики речевых патологий у детей дошкольного возраста (5-7 лет), который позволил бы родителям, а также воспитателям дошкольных учреждений своевременно выявить отклонения от нормы и впоследствии обратиться к дефектологу для профессиональной коррекции. Такой инструмент должен включать достаточный набор тестов, покрывающий типичные возрастные отклонения в речевом развитии у детей указанного возраста. Кроме прочего, данный инструмент целесообразно использовать экспертами в дефектологии для оценки динамики коррекции.

С целью проведения быстрой и объективной диагностики нарушений речи у детей, авторами разработано программное обеспечение для регистрации и цифровой обработки речевых сигналов.

Материалы и методы.

Выполнена регистрация речи у здоровых детей и в группе детей с речевыми отклонениями.

Посредством специально созданного видеоряда для мобильного устройства детям транслировались изображения объектов, которые необходимо было назвать. На рисунке 1 показан фрагмент разработанного видеоряда в виде последовательности картинок. Полный видеоряд состоит из 45 картинок, длительность его демонстрации по времени составляет 1 минуту 30 секунд. Транслируется как с помощью персонального компьютера, так и с помощью мобильных устройств.

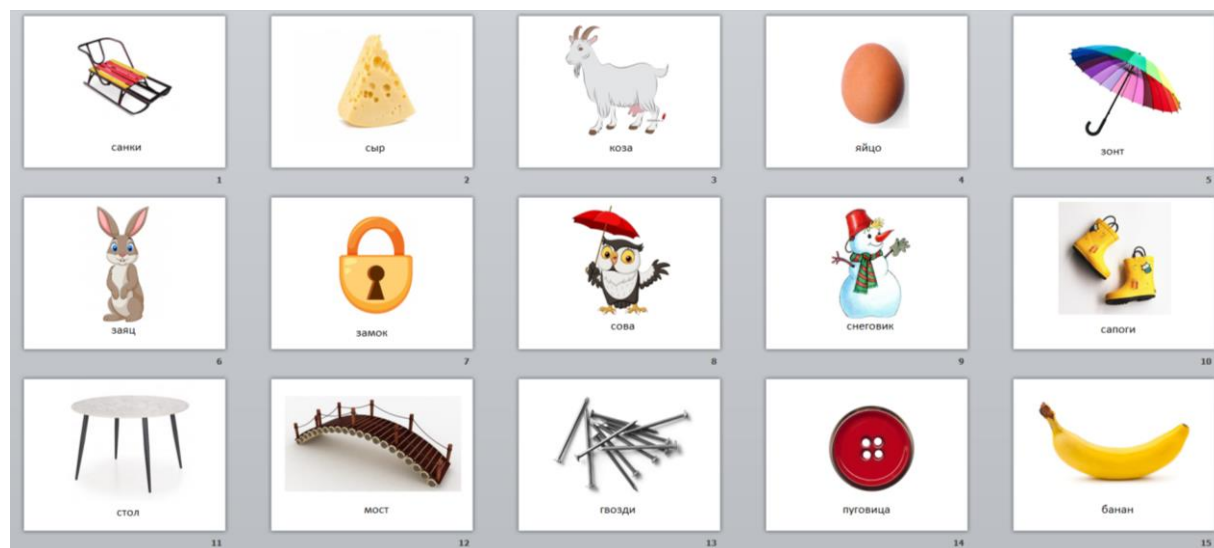


Рисунок 1. Фрагмент видеоряда для диагностики речевых детских патологий

При формировании видеоряда учитывались качества произносительной стороны речи: состояние звукопроизносительной, просодической стороны речи, а также уровень сформированности языковых средств: лексики, грамматического строя, фонематического слуха. Так, часто встречающимся у детей дошкольного возраста отклонением является стойкое нарушение звукопроизношения: искажение, замена, смешение, трудности автоматизации поставленных звуков. При нарушениях просодики наблюдаются слабость голоса и речевого выдоха, бедность интонаций, монотонность речи. Кроме того в методике

тестирования учитывались возможности изолированного произнесения звука; возможность произнесения звука в слогах разной конструкции; возможность произнесения звука в словах в разных позициях по отношению к началу, концу, середине слова; возможность произнесения звука в словах разной слоговой структуры.

Обработка зарегистрированных речевых сигналов произведена в среде MatLab с помощью специально разработанного авторами программного обеспечения. Приложение автоматически выделяет речевые фрагменты из общей записи с последующей их обработкой [8-10].

Графические результаты обработки включают: изменение амплитуды речевого сигнала во времени с отображением распознанных речевых фрагментов, изменение амплитудно-частотных характеристик сигнала во времени (спектрограмма), частота основного тона для распознанных речевых фрагментов, гистограмма речи, кепстрограммы для распознанных речевых фрагментов.

Количественные результаты обработки включают: число распознанных речевых фрагментов, общее время речевых фрагментов, средняя амплитуда речи, коэффициент вариации основного тона, коэффициент асимметрии гистограммы, коэффициент эксцесса гистограммы.

Исходный зарегистрированный сигнал характеризовался частотой дискретизации 44,1 кГц, разрядностью 16 бит. Предварительно производилось усреднение зарегистрированного сигнала в окне без перекрытия для снижения исходной частоты дискретизации. В результате усреднения частота дискретизации была понижена до 8,82 кГц. Это позволило впоследствии увеличить скорость обработки данных без потери полезной информации в сигнале. Для решения задачи разделения речевого сигнала на голосовые и неголосовые участки исходный сигнал разделялся на фрагменты длиной 45,4 мс. При превышении энергией фрагмента порогового значения принималось решение о принадлежности данного фрагмента к речи. Подобным образом выполнялось выделение слов и/или отдельных фонем в сигнале.

При построении спектрограммы использовались следующие параметры обработки: окно Хэмминга, размер окна 512 отсчетов, частота дискретизации 8,82 кГц, перекрытие окон 50 %. Указанные характеристики обеспечивают высокое разрешение по частоте (17,2 Гц) и по времени (29,0 мс). На спектрограмме амплитуда сигнала показана цветом: по мере увеличения сигнала цвет изменяется от темно-синего (-80 dB) до красного (20 dB) ; в черно-белом варианте – от светло-серого до черного соответственно.

Результаты.

Исследования на основе предложенной методики и программного обеспечения проводились в специализированной группе детей с нарушением речевого развития и в группе здоровых детей. В исследовании приняли участие 8 человек в возрасте от 5 до 7 лет.

Примеры обработанного речевого сигнала, зарегистрированного у ребенка без отклонений речевого развития, приведены на рисунках 2, 3. Примеры обработанного речевого сигнала, зарегистрированного у ребенка 6 и 7 лет с отклонениями речевого развития, приведены на рисунках 4, 5, 6.

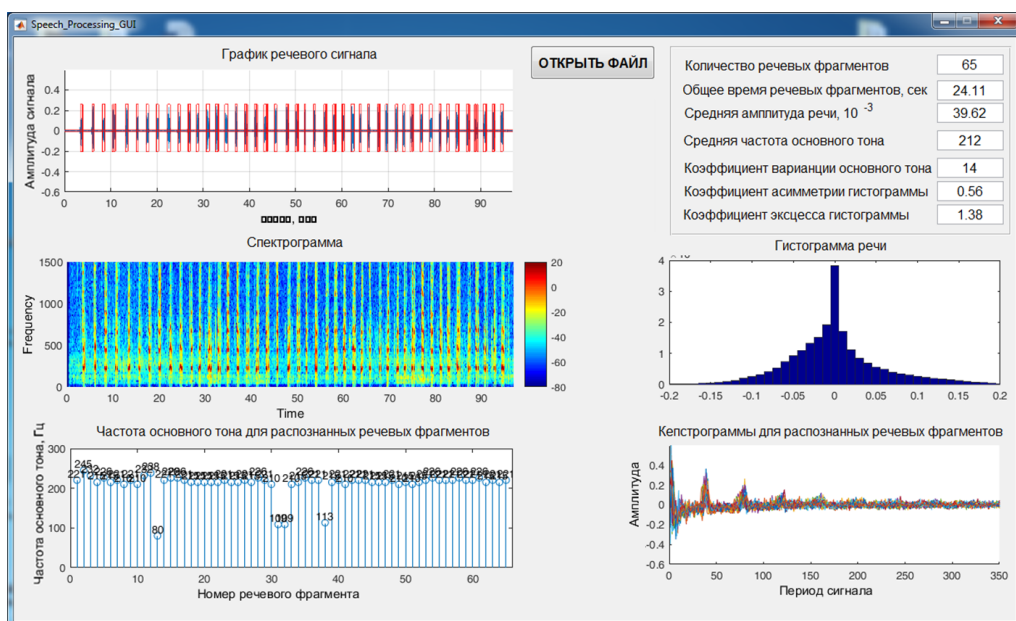


Рисунок 2. Результаты цифровой обработки речевого сигнала, зарегистрированного у ребенка 7 лет без отклонений речевого развития

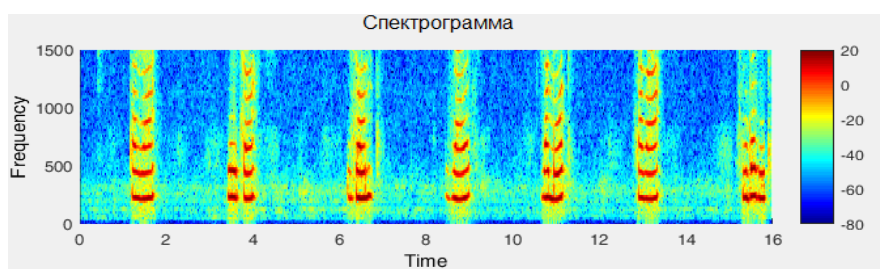


Рисунок 3. Фрагмент спектрограммы речевого сигнала, приведенного на рисунке 2

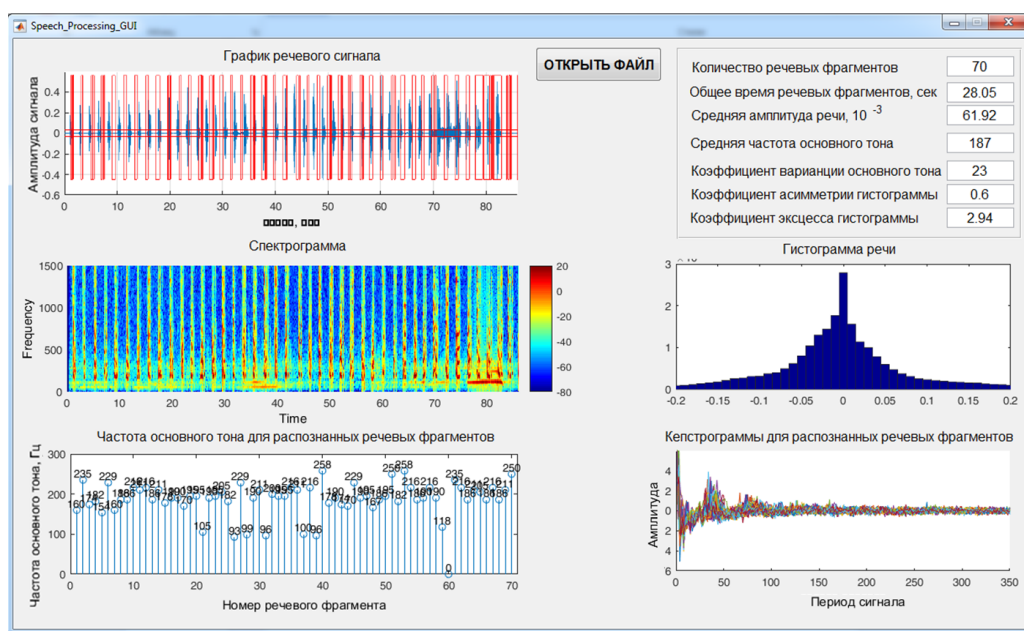


Рисунок 4. Результаты цифровой обработки речевого сигнала, зарегистрированного у ребенка 6 лет с отклонениями речевого развития

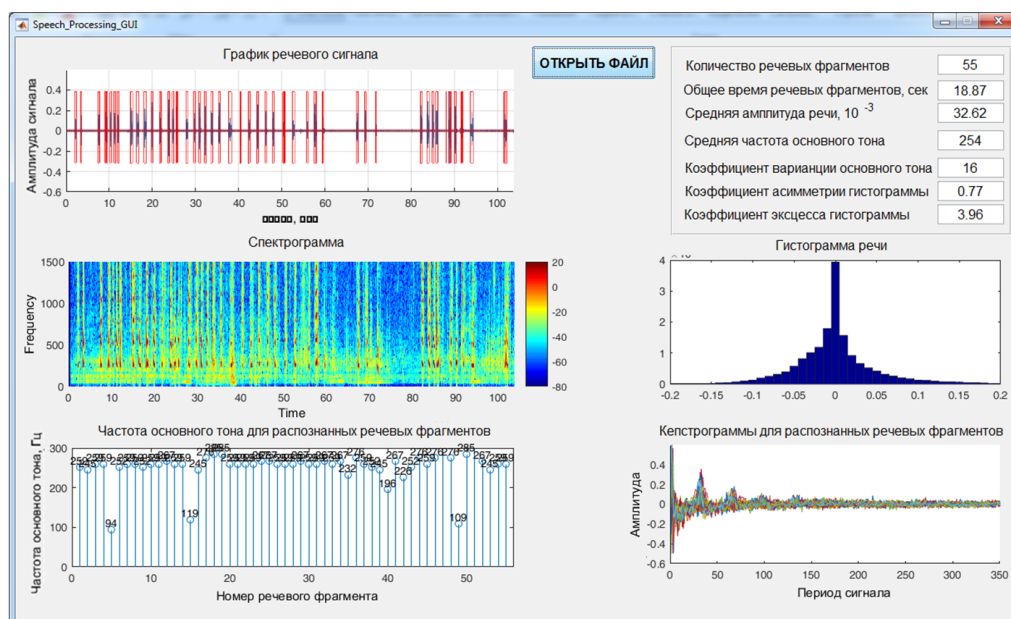


Рисунок 5. Результаты цифровой обработки речевого сигнала, зарегистрированного у ребенка 7 лет с отклонениями речевого развития

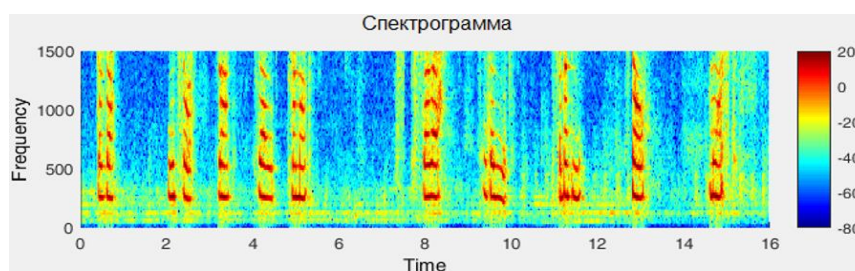


Рисунок 6. Фрагмент спектрограммы речевого сигнала, приведенного на рисунке 5

Спектрограмма показывает изменение амплитудно-частотных характеристик сигнала во времени. В норме (рисунок 2,3) речевые фонемы четко различимы, имеют характерную тонику и кратные основному тону частотные составляющие. При патологии речевые фонемы на спектрограмме более смазаны, имеют более широкий частотный диапазон (рисунок 4,5,6).

Частота основного тона определяется как частота вибрации голосовых связок и определяет высоту голоса. Для определения частоты основного тона сигнала использовался метод определения кепстра, заключающийся в применении к модулю спектральной плотности исследуемого сигнала обратного преобразования Фурье. При этом в кепстрограмме вокализованного отрезка звука появляется пик на расстоянии основного тона сигнала, что и является основополагающим для последующего вычисления частоты основного тона. При патологии в процессе произнесения звука частота основного тона меняется, имеет скачкообразный характер, что подтверждается более высоким коэффициентом вариации частоты основного тона при патологии (значение 23 на рисунке 4) по сравнению с нормой (значение 14 на рисунке 2).

Для визуализации данных на этапе статистической обработки выполнялось построение гистограммы для массива всех речевых фрагментов. Гистограмма речи оценивает функцию плотности вероятности отсчетов речевого сигнала, наглядно показывает различия и симметричность распределения исследуемых значений. Коэффициент асимметрии гистограммы в норме соответствует значению 0.56; коэффициент эксцесса гистограммы 1.38 (рисунок 2). При патологии (рисунок 4) коэффициент асимметрии гистограммы соответствует значению 0,6; а коэффициент

эксцесса гистограммы показывает характерные различия – 2,94.

Кепстрограммы для распознавания речевых фрагментов отражают зависимость спектральной плотности мощности сигнала от времени. Принципиально отличается характер кепстрограммы в норме и при патологии: пиковые значения в норме сконцентрированы в более длительном периоде сигнала (рисунок 2), при наличии речевых отклонений – преимущественно в начальном периоде сигнала (рисунок 4,5).

Заключение.

Авторами предложена методика регистрации речевых сигналов в детской дефектологии. Методика включает видеоряд из последовательности изображений, предназначенных для демонстрации детям дошкольного возраста (5-7 лет) посредством мобильного устройства. Произносимые детьми названия предлагаемых к просмотру объектов записываются и подвергаются цифровой обработке.

Объекты видеоряда подобраны специальным образом, а именно, на основании традиционно используемых в дефектологии подходов для идентификации всех типичных возрастных отклонений в речевом развитии у детей дошкольного возраста (5-7 лет).

Апробация разработанного программного обеспечения для цифровой обработки зарегистрированных сигналов продемонстрировала различия в количественных показателях коэффициента вариации основного тона, коэффициента эксцесса гистограммы в норме и при речевых патологиях, а также качественные различия в характере кепстрограммы и спектрограммы.

Предлагаемый инструмент диагностики в виде методики и программного обеспечения может использоваться как опытными педагогами–дефектологами, воспитателями, так и непрофессиональными пользователями, родителями, для выявления речевых отклонений от нормы у детей-дошкольников с целью последующей своевременной коррекции речевых нарушений при необходимости. Цифровая реализация диагностического инструмента позволяет регистрировать, наблюдать и оценивать динамику речевого развития, хранить записанные сигналы, проводить мониторинг точных показателей речевой оценки.

Данный инструмент экспресс-диагностики, реализованный в перспективе посредством мобильного приложения, позволит своевременно оказать помощь ребенку с речевыми отклонениями и выявить их особенности.

Список литературы

- [1] Лопатина Л.В. Изучение и коррекция нарушений психомоторики у детей с минимальными дизартрическими расстройствами поверхностей / Л.В.Лопатина // Дефектология. - 2003. - №4.
- [2] Лопатина Л.В. Нарушения мимической мускулатуры и артикуляционной моторики у детей со стертой формой дизартрии / Л.В.Лопатина // Речевые и нервно-психические нарушения у детей и взрослых. - Л., 1987.
- [3] Лопатина Л.В. Приемы обследования со стертой формой дизартрии и дифференциация их обучения / Л.В.Лопатина // Дефектология. - 1986. - №2.
- [4] Лопатина Л.В., Серебрякова Н. В. Логопедическая работа в группах дошкольников со стертой формой дизартрии / Л.В.Лопатина. - СПб., 1994.
- [5] Лопатина Л.В., Серебрякова Н. В. Преодоление речевых нарушений у дошкольников. (Коррекция стертой дизартрии) / Л.В.Лопатина. - СПб., 2001.
- [6] Архипова, Е.Ф. Коррекционно-логопедическая работа по преодолению стертой дизартрии у детей / Е.Ф. Архипова. - М.: АСТ: Астрель, 2008. - 254, [2] с.: ил. - (Высшая школа).
- [7] Архипова Е.Ф. Стертая дизартрия у детей / Е.Ф. Архипова. - М.: АСТ: Астрель, 2007. -331 с.: ил. - (Высшая школа).
- [8] Куль Т.П., Рушкевич Ю.Н, Лихачев С.А. Адаптация методов цифровой обработки сигналов к задаче анализа речи при неврологических патологиях. / Т.П. Куль, Ю.Н. Рушкевич, С.А. Лихачев // Научный журнал «Доклады БГУИР» / редкол.: В.А.Богущ [и др.]. Мн.: БГУИР, №7 (117), 2018. Стр.128-132.

[9] Куль Т.П., Меженная М.М., Рушкевич Ю.Н., Осипов А.Н., Лихачев С.А., Рушкевич И.В. Метод регистрации и цифровой обработки речевых сигналов для диагностики неврологических нарушений. / Т.П.Куль, М.М.Меженная, Ю.Н.Рушкевич, А.Н.Осипов, С.А.Лихачев, И.В. Рушкевич // Сборник научных трудов «Актуальные проблемы неврологии и нейрохирургии» / редкол.: Р.Р. Сидорович [и др.]. Мн.: В.21, 2018. Стр. 123-136.

[10] Методическое и аппаратно-программное обеспечение для регистрации и обработки речевых сигналов с целью диагностики неврологических заболеваний / Т. П. Куль, М. М. Меженная, Ю. Н. Рушкевич, А. Н. Осипов, С. А. Лихачев, И. В. Рушкевич // Информатика. – 2019. – Т. 16, № 2. – С. 27–39.

APPLICATION OF DIGITAL SIGNAL PROCESSING METHODS IN THE ASSESSMENT OF SPEECH DISORDERS IN PRESCHOOL CHILDREN

T. P. Kul
Senior Lecturer, Post-graduate student of the Department of Engineering Psychology and Ergonomics of BSUIR, Master of Technical Sciences

M. M. Mezhennaya
Associate Professor of the Department of Engineering Psychology and Ergonomics of BSUIR, Candidate of Technical Sciences

G. A. Rozum
Senior Lecturer of the Department of Engineering Psychology and Ergonomics of BSUIR, candidate, Master of Engineering and Technology

A. N. Osipov
Vice-Rector for Research of BSUIR, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor

O. L. Goryachko
Teacher-defectologist of the State Educational inst. "Nursery-garden No. 4, Beloozersk»

N. M. Trutko
Teacher-defectologist of the State Educational inst. "Nursery-garden No. 4, Beloozersk»

S. D. Levik
Head of the State educational inst. "Nursery-garden No. 4 Beloozersk»

K. V. Kaminsky
Systems Engineer at "Epm Systems"

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics
State Educational Inst. "Nursery-garden No. 4 Beloozersk", Brest region, Republic of Belarus
Foreign Limited Liability Company "EPAM Systems"
E-mail: mezhennaya@bsuir.by

Abstract.

To conduct timely and objective diagnostics of children's speech pathologies accompanied by speech function disorders, it is necessary to use methodological support and software for recording, digital processing and analysis of speech signals. This article describes the approach to the registration of speech signals developed by the authors. Developed software with the functions of video playback with speech tests and simultaneous recording of data from the microphone of the recording device. The use of the mentioned software makes it possible to unify the diagnostic conditions for both healthy children and children with speech disorders, which in turn ensures comparability and objectivity of the results of subsequent processing of speech signals. A method for recording speech signals for their subsequent digital processing and diagnostic evaluation is proposed. The proposed method of differential diagnosis will allow timely assistance to a child with speech disorders and identify their features.

Keywords: speech signal, registration and processing of biomedical signals, erased dysarthria, speech children's neurological pathologies, dyslalia, rhinophonia.