

СИСТЕМА МАССОВОЙ ДИСТАНЦИОННОЙ ДИАГНОСТИКИ КОРОНАВИРУСА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СМАРТФОН АППЛИКАЦИИ

CORONAVIRUS MASS REMOTE DIAGNOSTIC SYSTEM USING THE APPLICATION SMARTPHONE

Козлов Михаил

Ph.D. Директор Института интеграции и профессиональной адаптации, Нетания, Израиль.

Email: 19mike19k@gmail.com tel.: +(972)527052460

Файнберг Владимир

Ph.D. Иерусалим, Израиль.

E-mail: faynbergv@yahoo.com tel.: +(972)72543027456

Kozlov Michail

Ph.D. Director of the Institute of integration and professional adaptation, Netanya, Israel.

E-mail: 19mike19k@gmail.com tel.: +(972)527052460

Faynberg Vladimir

Ph.D. Jerusalem, Israel.

E-mail: faynbergv@yahoo.com tel.: +(972)72543027456

Аннотация.

Предлагается подход и простая аппликация для смартфонов для раннего выявления легочных осложнений при коронавирусе и других вирусных заболеваниях. Аппликация может быть выпущена в короткий срок и является органичной частью дистанционной системы цифровой медицинской диагностики. Предложенная система диагностики позволит существенно снизить нагрузку на врачей и больницы и снизит риск заболевания медицинского персонала за счет значительного уменьшения необходимости контакта с обследуемым пациентом. Предложенный подход основан на том, что в медицинской базе данных хранятся звуковые спектральные паттерны на каждого человека. Эти реперные паттерны. Они формируются на основе записанных через смартфон определенных фонем и покашливания. Все последующие записи сравниваются с реперными для выявления сухих хрипов и других отклонений. При выявлении отклонений системой Data Mining подозрительные случаи автоматически выделяются и пересылаются экспертам для более детального анализа и выдачи рекомендаций.

Ключевые слова: ранняя диагностика, коронавирус, легкие, хрипы, голосовая система, фонема, спектральный паттерн.

Abstract.

An approach and a simple smartphone application for the early detection of pulmonary complications of coronavirus and other viral diseases are proposed. The application can be developed in a pretty short time and is an integral part of the remote digital medical diagnostic system. The proposed diagnostic system will significantly reduce the burden on doctors and hospitals and also decrease the risk of contamination for medical personnel by significantly reducing the needs for direct contacts with the patients. The proposed approach is based on the storing of the acoustic spectral patterns for each probable patient. Each pattern consists of a smartphone recording of certain phonemes and coughing. This way the reference patterns' medical database is formed. All subsequent records are compared with

the reference one to detect dry wheezing and other undesired deviations. When deviations are detected by the Data Mining system, suspicious cases are automatically identified and sent to experts for more detailed analysis and following recommendations.

Key words: early diagnosis, coronavirus, lungs, wheezing, voice system, phoneme, spectral pattern.

ВВЕДЕНИЕ

Текущая ситуация, связанная с ураганным распространением коронавируса COVID19 и его высокой летальностью, требует беспрецедентно быстрой реакции. Одновременно предлагаемые подходы и решения должны быть основаны на глубоких и тщательных научных исследованиях, которые, как правило, требуют значительного времени и средств. Кроме того, эти решения должны органично вписываться в общие тенденции современной медицины и быть полезными не только для текущей острой ситуации, но и для будущей широкой медицинской практики.

Предлагаемый подход полностью удовлетворяет указанным критериям. Его разработке помог многолетний опыт одного из авторов по созданию анализаторов спектра низких частот и их применению для диагностики заболеваний дыхательных путей. Этот подход органично вписывается в бурно развиваемую область дистанционной цифровой медицинской диагностики.

Коронавирус COVID19 в самом начале заражает клетки, выстилающие горло, дыхательные пути и легкие. В его легкой форме основными симптомами являются лихорадка и кашель. Более тяжелая форма приводит к сильному воспалению легких [1].

На рис.1 приведены результаты компьютерной томографии грудной клетки [2], использовавшейся для оценки тяжести поражения легких в течение болезни коронавирусом COVID-19, для типичного случая эволюции поражения легких у пациентов.

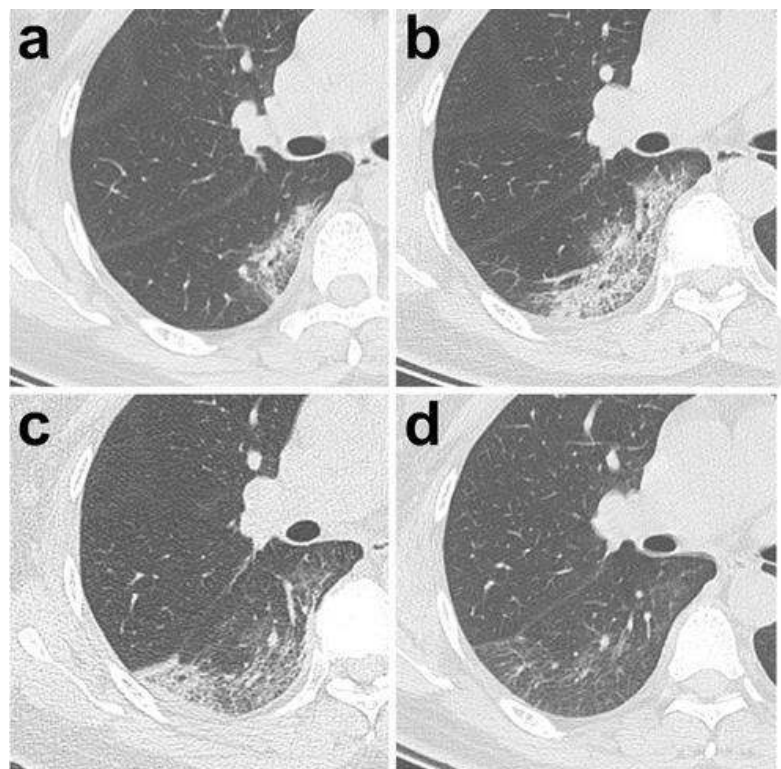


Рис.1. Типичная эволюция поражения легких у пациентов с коронавирусом [2].

На рис.1a показан пример ранней стадии поражения легких (0-4 дня после появления начального симптома), на рис.1b - прогрессирующая стадия (через 5-8 дней после появления начального симптома), на рис.1c - пиковая стадия (через 9-13 дней после появления начального симптома) и на рис.1d показана стадия абсорбции (≥ 14 дней после появления начального симптома). На этой стадии происходило выздоровление.

Таким образом при диагностике коронавируса и развития болезни важно учитывать состояние горла, дыхательных путей и легких. И здесь могут помочь наработки в диагностике голосовой системы человека.

Процесс голосообразования у человека базируется на тонком механизме корреляционного взаимодействия всех органов голосовой системы, функциональное состояние которых контролируется и управляется двигательными, эмоциональными и ментальными центрами центральной нервной системы [3, 4].

Голосовая система состоит из: первичного генератора звука (гортань); энергетического отдела (легкие); резонаторов (полости носа и носоглотки, околоносовые пазухи, глотка, трахея, бронхи) и артикуляционного отдела (мышцы шеи, язык, мягкое небо, зубы, нижняя челюсть) [3]. Нарушение нормальной морфо-функциональной структуры каждого из этих органов может быть выявлено с помощью объективного измерения функциональных и органических дисфоний [5].

Информативным методом определения состояния легких и всей дыхательной системы является спектральный анализ гласных, позволяющий наряду с характеристиками основного тона оценить обертоновый и формантный состав звука [6,7]. К этому следует добавить и анализ импульсных звуков (таких как покашливание) на основе вэйвлет-преобразования [8].

Распространенными методами получения спектральной характеристики голоса являются непараметрические методы спектрального анализа, как правило строящиеся на основе дискретного преобразования Фурье, и различные виды параметрических методов [9,10]. Используются и другие подходы для получения спектральной информации, например, с помощью цифровых полосовых фильтров с постоянной относительной шириной полосы пропускания [11]. Перспективным является применение в медицине обработки сигналов на основе стандартного вэйвлет-преобразования и различных его модификаций [8, 12].

ИЗЛОЖЕНИЕ ОСНОВНОГО МАТЕРИАЛА

Предложенный подход основан на том, что в централизованную медицинскую систему сбора и обработки данных через смартфон или другой гаджет по запросу системы, периодически, например, один раз в полгода записываются специально подобранные фонемы, а также импульсные звуки, такие как покашливание. Длительность записи одного фонема составляет порядка 10 секунд. В системе эти записи преобразуются в спектральные паттерны. Сформированные в нормальном для данного человека состоянии эти паттерны являются реперными. Все последующие полученные спектральные паттерны в автоматическом режиме сравниваются с предыдущими и на этой основе выявляют отклонения в работе органов дыхания и особенно появление сухих хрипов. При выявлении отклонений подозрительные случаи автоматически выделяются системой Data Mining и пересылаются экспертам, которые, вместе с температурой и другими запрашиваемыми данными, проводят более детальный анализ и дают свои рекомендации.

Учитывая периодичность, массовость распространения и опасность вирусных заболеваний, разработка и внедрение рассматриваемой автоматизированной диагностической системы является актуальной. В перспективе такая централизованная диагностическая медицинская система может стать составной частью персонализированной системы цифрового

здравоохранения (digital health) [13], активно формируемой на основе технологий обработки больших массивов данных Big Data, интеллектуальной обработки информации Data Mining, Data Science, методов машинного обучения предиктивной аналитики, а также других разрабатываемых методов интеллектуальных информационных технологий. Это дает возможность создания интеллектуальной системы массового охвата населения дистанционным контролем жизненных показателей, сбора и анализа данных о состоянии организма каждого человека в реальном масштабе времени [14]. И позволит наладить персонализированную, так называемую прецизионной, медицину [15], уйдя, таким образом, от шаблонной, жестко алгоритмизированной системы лечения, к субъектно-ориентированным медицинским подходам.

В качестве дистанционного массового инструментального контроля состояния вегетативной нервной системы человека можно использовать весьма эффективный метод на основе измерения параметров variability сердечного ритма (VSR) [16]. При этом контроль может выполняться с помощью бесконтактного метода измерения с использованием видеокамеры смартфона, снабженного функцией измерения VSR [17].

Рассмотрим используемые подходы к диагностике дыхательной системы человека.

С 1982 года для диагностики и лечения голосовых расстройств у человека в Институте отоларингологии АМН Украины, г. Киев, использовался разработанный одним из авторов третьоктавный анализатор спектра Ф4325 [18]. Спектры фонем, произносимых пациентами в процессе лечения, многократно записывались для их сравнения. И это являлось эффективной процедурой документального подтверждения динамики болезни и ее лечения.

В 2004г. для диагностики и лечения голосовых расстройств с помощью автора был разработан на основе персонального ЭВМ аппаратно-программный комплекс (АПК) для анализа акустических параметров голоса. АПК предназначен для ввода измерительных сигналов с первичных акустических преобразователей, преобразования и хранения данных, определения и визуализации основных параметров акустических колебаний (голоса). В состав АПК входят микрофон, вибродатчик, измерительный модуль и персональная ЭВМ.

У пациентов записывается несколько звуковых выборок (для каждой из фонем “И”, “Е”, “А”, “О”, “У”), и для каждой из записанных выборок рассчитывается спектр, включая “водопад” и определяются основные формантные частоты и соотношения их амплитуд.

С целью повышения качества диагностики голосо-образующей и дыхательной системы автором в дальнейшем была разработана более совершенная информационно-измерительная система (ИИС). Аппаратная часть ИИС состоит из микрофона и персонального компьютера или ноутбука со звуковой картой. Измерение производится в акустическом диапазоне частот с динамическим диапазоном 70 дБ. Для оптимальной адаптации к уровню входного сигнала в ИИС программно изменяется коэффициент усиления измерительного тракта.

Программная часть комплекса функционально состоит из двух подсистем:

- подсистема анализа и обработки акустических сигналов;
- подсистема поддержки базы данных (БД) пациентов.

Подсистема анализа и обработки акустических сигналов позволяет:

записывать у пациентов фонемы “И”, “Е”, “А”, “О”, “У” в течение 3 сек, 10 сек и 30 сек. и отображать:

зависимость интенсивности звука голоса от времени при произношении фонем;

текущий спектр фонем;

основные формантные частоты и соотношения их амплитуд;

восстановленный спектр фонема выбранной записи, по хранящимся в памяти предыдущим записям звуковых паттернов голоса;

одновременно до шести ранее полученных спектров, для сравнения;

скользящий спектр фонемы в виде “водопада”.

Структура базы программного обеспечения легко расширяема и, по желанию, можно добавить необходимые поля с учетом специфики конкретного медицинского применения. Также имеется возможность импорта/экспорта записей акустических паттернов пациентов из/в базу.

На рис.2 представлена выводимая на экран ИИС огибающая интенсивности звука голоса при произношении фонема “А”.

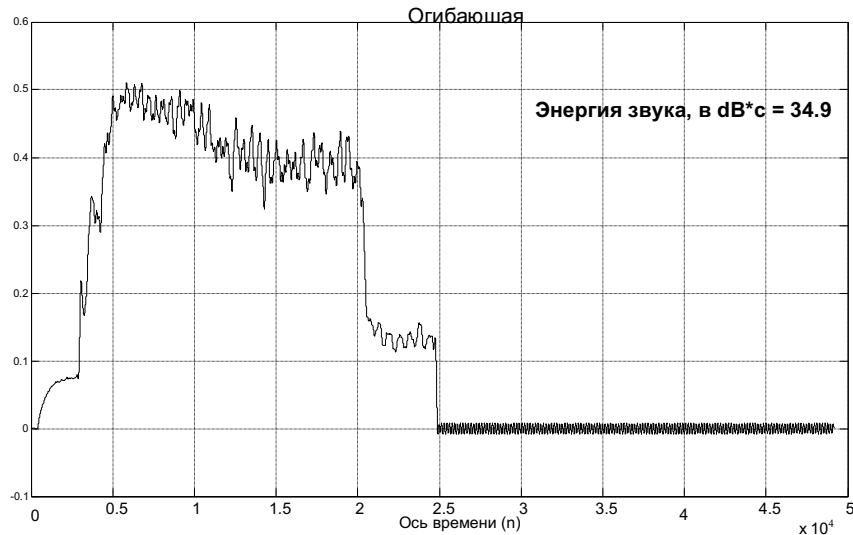


Рис.2. Огибающая интенсивности звука голоса при произношении фонема “А”.

На рис.3 – рис.5 приведены полученные с помощью ИИС спектральные характеристики голоса человека при произношении им фонем “А”, “И” и “У” с выделением частотных областей формант и отображением частот основных 4-х формант и соотношения их амплитуд.

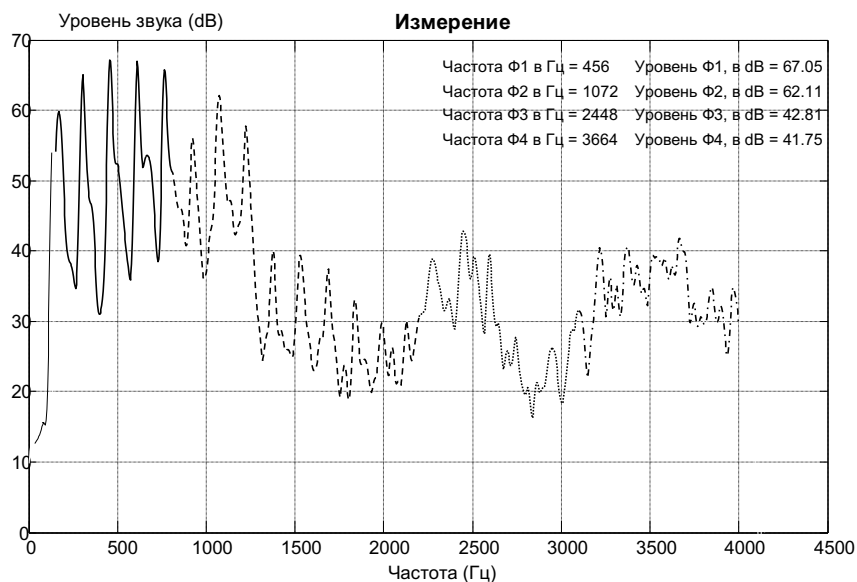


Рис.3. Спектральная характеристика фонемы “А”.

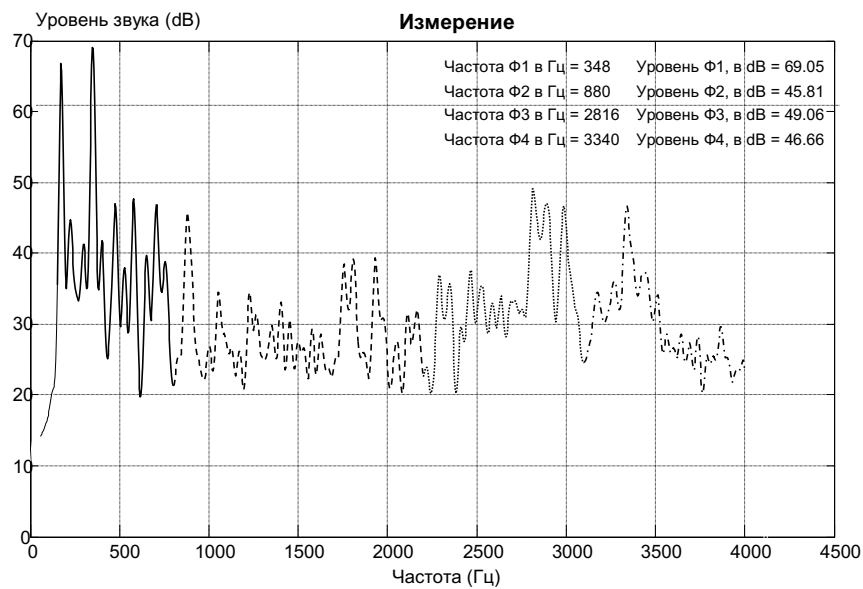


Рис.4. Спектральная характеристика фонемы «И».

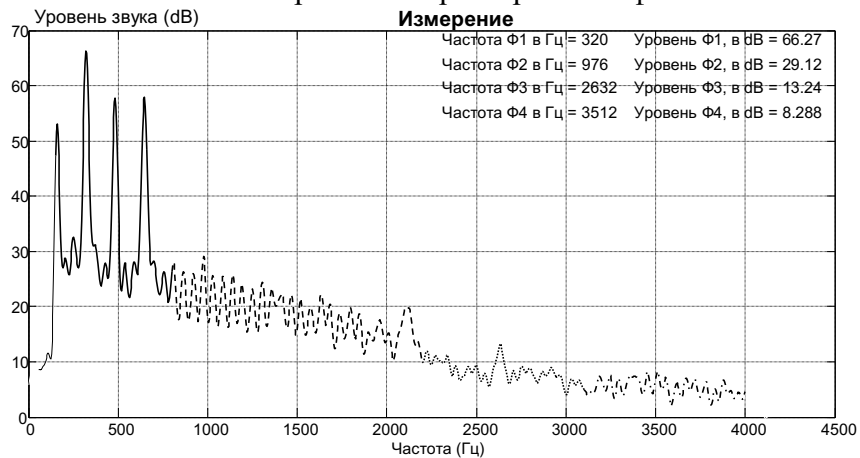


Рис.5. Спектральная характеристика фонемы «У».

На рис.6 приведено сравнение реперных спектров фонем «И» для трех здоровых людей. Из рисунка видно, как некоторое сходство спектральных характеристик фонем «И» у разных людей, так и их характерные индивидуальные особенности по основным формантным частотам и соотношениям их амплитуд.

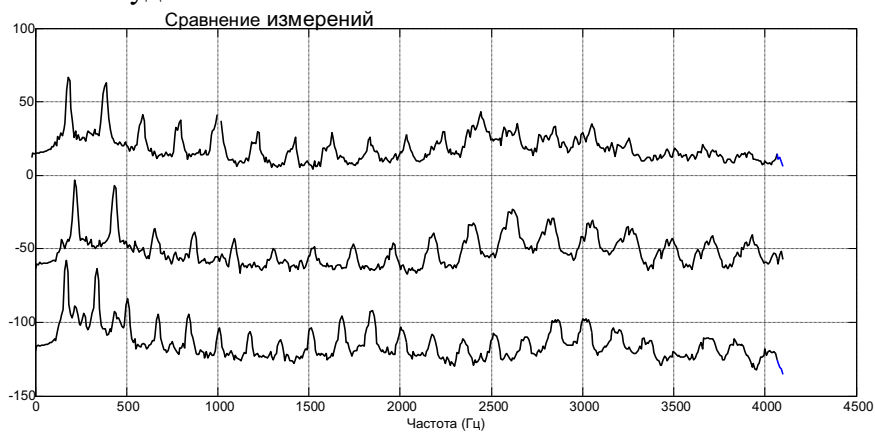


Рис.6. Сравнение спектров фонем «И», произнесенных разными людьми.

Аналогично приведенному на рис. 6 сравнению спектров произнесенных фонем для здоровых людей производится сравнение спектральных характеристик фонем для одного человека, записанных в разное время. Для повышения достоверности оценок сравнительного анализа спектров, полученных по разным временным выборкам, их автоматический анализ производится отдельно в частотных областях основных 4-х формант. Важным показателем может также служить изменение во времени, представленное на рис.5, огибающей интенсивности звука голоса при произношении фонемы, так как эта огибающая коррелирована с работой легких и как видно из рис.1, в зависимости от тяжести болезни, это изменение может быть наглядным. Выявленные при автоматическом сравнении запредельные отклонения должны поступать на дальнейший экспертный анализ, который может проводиться как специалистом, так и в перспективе специализированной экспертной системой с искусственным интеллектом наподобие суперкомпьютера Watson [19].

Современное состояние компьютерной технологии позволяет достаточно легко реализовать все необходимые функции в виде приложения смартфона. Не рассмотренный выше, но необходимый при выявлении коронавируса анализ таких импульсных звуков, как покашливание может быть также легко выполнен на основе алгоритмов вейвлет-преобразования.

ВЫВОДЫ

1. Предлагаемый подход может быть очень эффективно и быстро реализован в виде приложения для смартфонов. Он позволит улучшить объективность, оперативность и качество диагностики и лечения заболеваний легких и всего дыхательного тракта.

2. Применение системы цифровой диагностики позволит врачу повысить объективность оценки состояния легких и всего дыхательного тракта, делая ее количественной, документировать динамику лечения, расширить возможности по раннему выявлению опасных нарушений, производить массовое диагностирование пациентов и, как результат, обеспечить своевременное и эффективное их лечение.

3. В процессе накопления опыта эксплуатации предлагаемой системы дистанционной автоматизированной медицинской диагностики будет повышаться достоверность результатов.

4. Предложенные подход и аппликация органично вписываются в бурно развиваемую дистанционную цифровую медицинскую диагностику и могут найти широкое в персонализированном цифровом здравоохранении. В частности, при определенных аппаратных и программных доработках, спектральная обработка сигналов, может быть использована в таких медицинских исследованиях как электромиография [20] и анализе variability сердечного ритма [16,21].

5. Внедрение рассматриваемой системы дистанционной автоматизированной медицинской диагностики позволит существенно снизить риск заболевания медицинского персонала, а также уменьшить расходы средств, направляемых на борьбу с массовыми вирусными заболеваниями.

БИБЛИОГРАФИЯ

1. James Gallagher. Coronavirus: What it does to the body - BBC News. 14 March 2020.
2. Feng Pan, Tianhe Ye, Peng Sun, et al. Time Course of Lung Changes On Chest CT During Recovery From 2019 Novel Coronavirus (COVID-19) Pneumonia. Feb 13 2020. <https://doi.org/10.1148/radiol.2020200370>
3. Ермолаев В.Г., Лебедева Н.Ф., Морозов В.П. Руководство по фониатрии. – Л, 1970.
4. Василенко Ю.С., Токарев А.П., Агапова Т.Н. Виброметрия голосового аппарата здоровых лиц и при заболеваниях полости носа и околоносовых пазух // Вестник оториноларингологии. –

1997.- № 6.- С.26-29.

5. Шидловська Т.А. Діагностика, лікування та профілактика хронічних функціональних порушень голосу (клініко-електрофізіологічне дослідження) // Автореф. дис. докт. мед. наук.- К., 1998.

6. Осипенко Е.В. Опыт использования компьютерного спектрального анализа в обследовании лиц с нарушениями голоса // Новости оториноларингологии и логопатологии. – № 3. – 2002 – С. 42-44.

7. Козлов М.В., Справа М.О. Использование спектральной диагностики для выявления патологий голосового аппарата человека // Тезисы XXXVI научно-практической межвузовской конференции, посвященной Дню науки. – Житомир, ЖДТУ, 12-13 мая 2011. – С.54-55.

8. R.J.E Merry. Wavelet Theory and Applications. 2005.

9. Рабинер Л.Р., Шафер Р.В. Цифровая обработка речевых сигналов. - М. Радио и связь, 1981.

10. Марпл.-мл. С.Л. Цифровой спектральный анализ и его приложения. – М.: Мир, 1990.

11. Гнилицкий В.В., Козлов М.В., Красевич А.А. Многоканальный виброанализатор //Тез. Докл. III МНТК. Методы управления системной эффективностью функционирования электрофицированных и пилотажно-авиационных комплексов. «Авионика-95».- 1995.- С.89.

12. Яковлев А.Н. Основы вейвлет-преобразования сигналов. – М. Физматлит, 2003.

13. Is Digital Health The Future Of Healthcare? - Forbes. Apr 4, 2018.

14. Козлов М. Заманчивые профили будущего. LAP LAMBERT Academic Publishing. 2018.

15. Точная (прецизионная) медицина – что это значит для фармацевтической промышленности? July 4, 2017; maxjackson.ru/?p=46

16. Клецкин С. Ритм сердца как индикатор состояния организма. Проблемы клинической диагностики и практического применения. Изд-во «Достояние». Иерусалим. 2017.

17. V. Danylov V., Kletskin S., Kozlov M. Negative manifestation the defolt mode of brain function. The Buleten of Academy. Israeli Independent Academy of Development of Science. Haifa, Israel, 2016. Vol.8, №1- Pp.3-12.

18. Ф4325. Анализаторы спектра третьоктавные // Каталог средств измерений: ООО «ИТЦ ПромКомплектИнжиниринг».

19. IBM Watson supercomputer. 96.20.2018. searchenterpriseai.techtarget.com > definition

19. Райгайян Р.М. Анализ биомедицинских сигналов. Практический подход – М.:ФИЗМАТЛИТ, 2007.

20. Heart rate variability. Standatds of Measurement, Physiological interpretation and clinical use // European Heart Journal (1996) 17, P.354—381.

21. IBM Watson supercomputer. 96.20.2018. searchenterpriseai.techtarget.com > definition