

ОБНАРУЖЕНИЕ НОВЫХ АКУСТИЧЕСКИХ СИГНАЛОВ ОТ ГОЛОВЫ ЧЕЛОВЕКА

© 2014 г. В. И. Миргородский, В. В. Герасимов, С. В. Пешин

Фрязинский филиал Института радиотехники и электроники им. В.А. Котельникова РАН

E-mail: vim288@ms.ire.rssi.ru

Поступила в редакцию 22.10.2013 г.

С помощью пьезопреобразователей продольных акустических колебаний обнаружены новые акустические сигналы, генерируемые головой человека, которые хорошо проявляются при их съеме с височных областей, несколько хуже – при съеме со лба. Они имеют вид импульсов длительностью около 4 мс, следующих с изменяющимся периодом от 60 до 120 мс. Уровень сигналов примерно на два порядка превышает уровень тепловых акустических флуктуаций. Сигналы возникают при релаксации испытуемого, когда он находится в покое с закрытыми глазами и мотивирован на засыпание. Они имеют частоты следования, близкие к частотам альфа-ритма, однако точного согласования с сигналами альфа-ритма на длительных (порядка минуты) интервалах не наблюдается. Сигналы, снимаемые с разных висков, как правило, не имеют строгой синхронизации. Подобие некоторых параметров этих сигналов параметрам сигналов ЭЭГ позволяет назвать их акустоэнцефалографическими сигналами.

Ключевые слова: акустическая эмиссия, электроэнцефалография, акустоэнцефалографические сигналы, альфа-ритм.

DOI: 10.7868/S0320791914040108

1. ВВЕДЕНИЕ

Использование метода пассивного акустического анализа (прослушивания) является одним из распространенных и традиционных методов медицинской диагностики. Основное внимание в медицинской диагностике уделяется рассмотрению акустических сигналов пациента, связанных с сердечной деятельностью, течением крови [1–5], шумов Короткова при измерениях давления [6], сигналов, вызванных дыханием [2, 3], и отоакустических сигналов [7]. В последнее время получили развитие методы, основанные на анализе акустических сигналов, снимаемых с головы испытуемых, которые обусловлены протеканием крови по сосудам головы, для диагностики различных патологий, в частности, вызванных ранениями [8, 9]. Созданы приборы для такого рода анализа, называемые “brain monitor” [8, 9]. Отметим, что в этих работах анализируются сигналы с периодом равным периоду биения сердца (0.5–1 с), которые, подобно электрокардиографическим сигналам, могут иметь импульсный характер [8]. Заметим также, что в работе [8] используется “активный” способ получения информации, в то время как в работе [9] – “пассивный”. Прием таких акустических сигналов позволяет диагностировать немало патологий, что и определяет широкое распространение этих методов на практике. Это обстоятельство стимулировало развитие технологий со-

здания приборов для приема акустических сигналов из тела испытуемого – электронных стетоскопов [8–14].

Настоящая работа посвящена обнаружению новой разновидности акустических сигналов (эмиссии), принимаемых при расположении акустических приемников на висках и на лбу испытуемых, а также методам приема этих сигналов и используемым акустическим приемникам.

2. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ УСТАНОВКА

В работе, как и в [12, 13], используются твердотельные акустические датчики на основе пьезоматериалов. В качестве приемных элементов использовались диски из пьезокерамики диаметром 1.3 см и толщиной 0.65 см, смонтированные в герметичном корпусе из нержавеющей стали. Резонансная частота этих дисков составляла около 190 кГц. Для обеспечения работы таких пьезопреобразователей в широкой полосе частот (на частотах ниже резонансной) съём сигналов с пластин осуществлялся с помощью маломощного усилителя, имеющего высокое входное сопротивление. В результате оказался возможным высокочувствительный прием акустических колебаний в полосе частот от 5 Гц до 100 кГц. Оценка интенсивности флуктуаций, выполненная на основе ее экс-

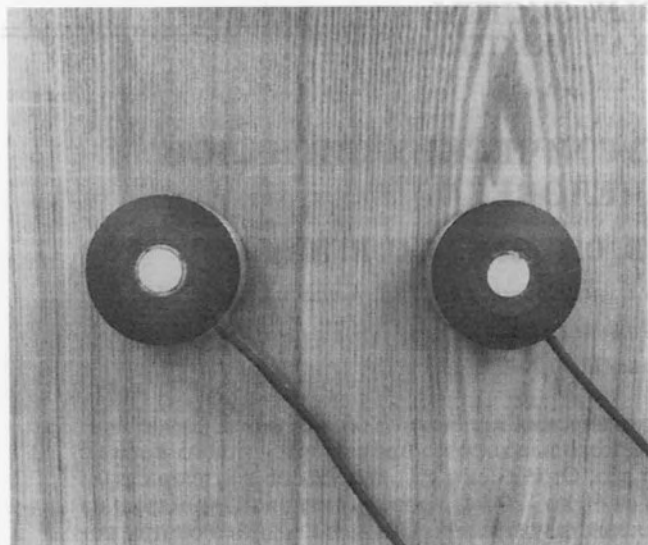


Рис. 1. Внешний вид приемников звука.

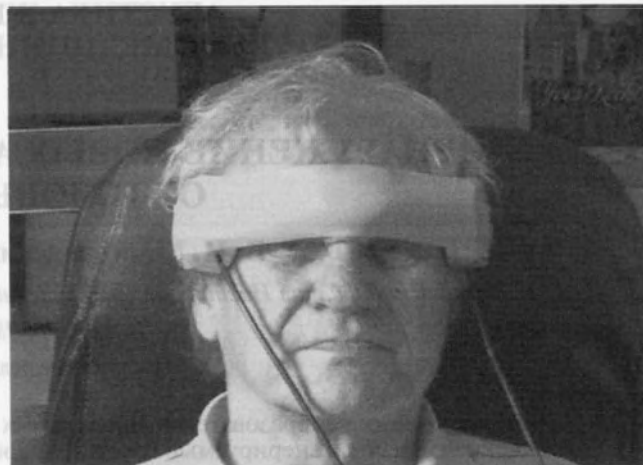


Рис. 2. Расположение приемников звука на голове испытуемого.

траполяции из высокочастотной области (на частоте 100 кГц), показала, что в среде с акустическим импедансом воды она по порядку величины составляет 2×10^{-10} атм./Гц^{1/2}, или в энергетическом выражении 10^{-20} Вт/Гц, что примерно в 10 раз превышает спектральную плотность мощности тепловых колебаний при комнатной температуре.

Вид приемных модулей представлен на рис. 1. В процессе выполнения экспериментов осуществлялась регистрация сигналов по двум независимым каналам с использованием двух одинаковых пьезопреобразователей с размещенными около них усилителями. Оцифровка сигналов проводилась с использованием двухканального 11-разрядного АЦП с частотой 500 Гц. Сигналы сохранялись на жестком диске компьютера.

3. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ МЕТОДИКА

Приемники устанавливались на поверхность измеряемого объекта с применением иммерсии для улучшения качества акустического согласования. В качестве иммерсии использовался гель для ультразвуковых исследований. Вид головы испытуемого с установленными на ней в височных областях приемниками, которые закреплялись с помощью резиновой ленты [9], представлен на рис. 2. В измерениях участвовало трое испытуемых, которые располагались в горизонтальном положении на кушетке. При этом испытуемым ставилось условие возможно более полной неподвижности.

В основной серии экспериментов регистрация сигналов проходила обычно в двух режимах: сначала испытуемому в течение 15 мин предлагалось “думать” (например, в уме перемножать числа) с закрытыми глазами, а затем испытуемому предлагалось попытаться уснуть в течение также 15 мин

(иными словами, его мотивировали на сон). Всего было выполнено 80 подобных экспериментов. При этом были проведены и вспомогательные эксперименты.

В первой вспомогательной серии экспериментов одновременно с регистрацией акустического сигнала осуществлялась регистрация электроэнцефалографических (ЭЭГ) сигналов с одного из отделений, которые проводились по разным каналам АЦП. ЭЭГ-отведение имело один электрод на голове испытуемого, а другой (земляной) — на мочке уха. Приемник акустической эмиссии и электроды ЭЭГ располагались на одной стороне головы (как правило, слева).

Во второй серии вспомогательных экспериментов осуществлялась одновременная регистрация акустического сигнала от височного датчика по одному каналу АЦП и регистрация звукового сигнала с помощью микрофона, размещенного вблизи рта испытуемого по другому каналу. При этом порядок проведения экспериментов оставался прежним.

Для обеспечения наилучшей помехозащищенности эксперименты проводились в помещении, где в это время не было ни других, кроме испытуемого, людей, ни работающих электронных приборов, кроме АЦП. При этом АЦП находился в обеспечивающем акустическую и электрическую экранировку контейнере, расположенном на расстоянии около 10 м от испытуемого.

4. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ

4.1. Измерения сигналов с двух висков

Основными были эксперименты, когда акустические приемники располагались на висках испытуемых. В результате получались записи сигналов с левого и правого висков, которые далее подвергались анализу. На рис. 3 представлен ти-

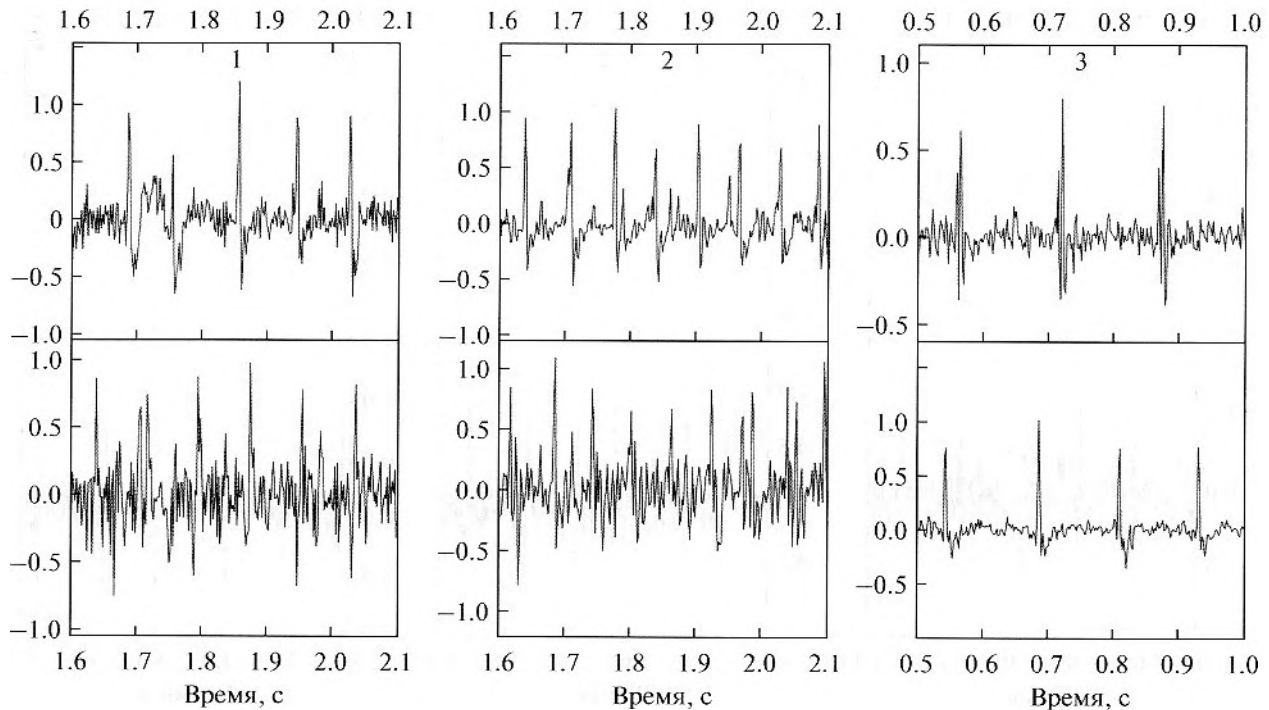


Рис. 3. Типичный вид регистрируемых с висков сигналов. Слева направо сигналы, полученные от первого, второго и третьего испытуемого. Нижние зависимости – сигналы, полученные от левых висков, верхние зависимости – от правых.

Типичный вид получаемых сигналов, в которых испытуемые были мотивированы на засыпание. Для улучшения отношения сигнал/шум представленные сигналы были подвергнуты усреднению по 1000 точкам.

Как видно, у разных испытуемых наблюдаются сигналы, похожие по временным зависимостям. Сигналы имеют импульсный вид, при этом длительность импульсов составляет около 4 мс. Период повторения сигналов различен: от 60 мс, как в эксперименте со вторым испытуемым, до 120 мс для третьего испытуемого. Периоды повторения сигналов, представленных на графиках, даже в течение пяти секунд не строго постоянны, они несколько изменяются во времени. При этом периоды сигналов, снимаемых с разных висков, как правило, несколько различаются. Нередко сигналы наблюдались с одного из висков, а с другого не наблюдались.

Следует отметить, что приведенные на графиках сигналы выбирались на интервалах длительностью 0.5 с, расположенных между обычно наблюдаемыми [8, 9] сигналами, соответствующими биению сердца испытуемых. Как уже отмечалось, эксперименты проводились в два этапа: на первом испытуемому предлагалось “думать”, а на втором, результаты которого и приведены на рис. 3, – засыпать. В то же время ни в одном из экспериментов, когда испытуемый “думал”, такие сигналы практически не наблюдались. Исключение со-

ставляет один эксперимент, когда сигналы были видны, однако испытуемый после эксперимента сообщил, что в процессе его он невольно засыпал.

4.2. Измерения сигналов с виска и электродов ЭЭГ

Поскольку наблюдаемые с височных отведений акустические сигналы имеют ряд свойств, обычно наблюдаемых у ЭЭГ-сигналов, в частности, у сигналов альфа-ритма (они появляются при засыпании испытуемых, периоды повторения 60–120 мс и т.д. [15, 16]), то были проведены одновременные измерения сигналов с левого виска и ЭЭГ с электродов расположенных на левой стороне головы испытуемого отведений P3 и F7 [17].

На рис. 4 представлены типичные временные зависимости сигналов. Сигналы, как и ранее, получены при мотивации испытуемых на засыпание. Как видно, на верхних графиках наблюдаются квазипериодические сигналы, характерные по параметрам для сигналов ЭЭГ и имеющие вид сигналов альфа-ритма [15, 16]. Сравнение частот повторения сигналов ЭЭГ на верхних графиках с частотами повторения сигналов акустической эмиссии показывает, что они близки, однако точной синхронизации, как правило, не наблюдается. Сигналы ЭЭГ и акустической эмиссии для второго и третьего испытуемых заметно различаются по периоду повторения, в то время как для первого испытуемого они практически синхрон-

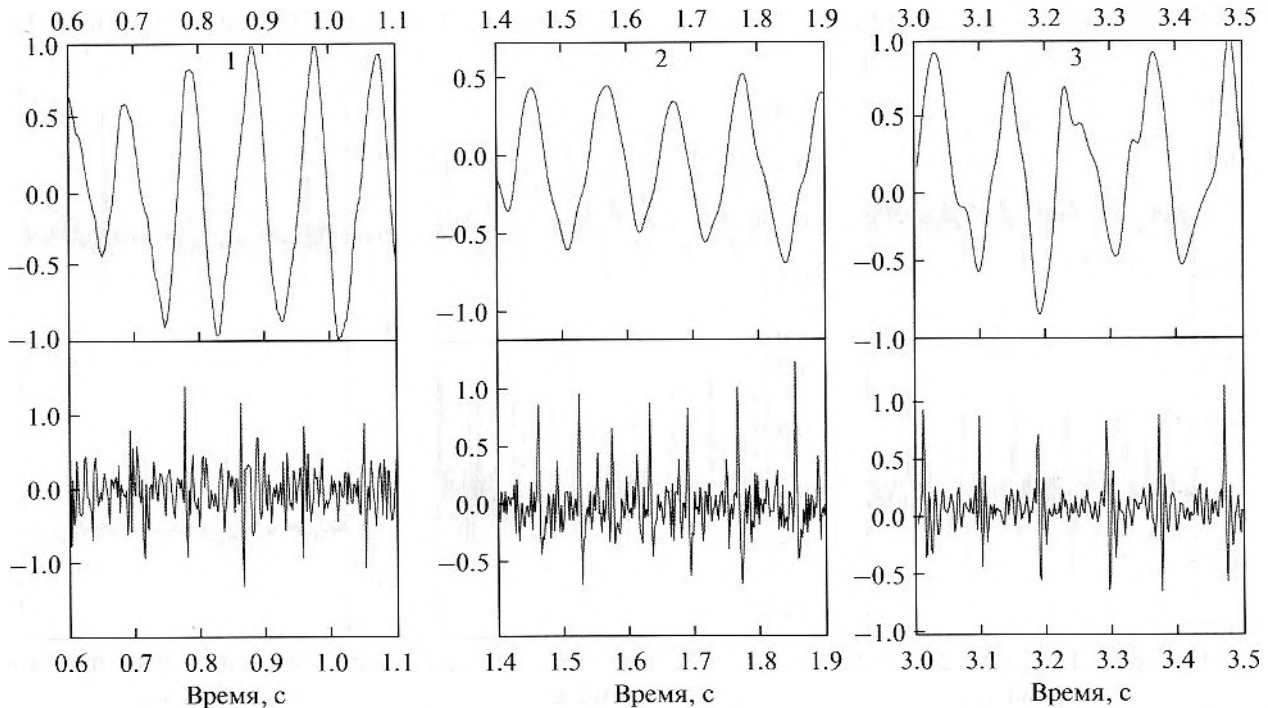


Рис. 4. Результат одновременной регистрации акустических сигналов с левого виска (нижние графики) с сигналами альфа-ритма (верхние зависимости), полученными от отведений Р3, 1-я и 2-я зависимости (левая сторона скальпа над ухом, ближе к затылку) и F7, 3-я зависимость (левая сторона скальпа, над виском) [17]. Слева направо сигналы, полученные от первого, второго и третьего испытуемых. Вверху показаны типы отведений сигналов ЭЭГ.

ны. Синхронность сигналов акустической эмиссии и ЭЭГ наблюдалась в редких случаях, как правило, асинхронность сигналов была заметна на глаз на интервалах уже около 1 с.

4.3. Измерения акустической эмиссии от висков и звуковых сигналов вблизи рта испытуемых

Для проверки гипотезы реализации обнаруженных сигналов акустической эмиссии как следствия прерывистого дыхания во время сна (храпа) была выполнена серия экспериментов. В этих экспериментах одновременно регистрировались акустическая эмиссия из области левого виска и акустический сигнал, регистрируемый микрофоном, расположенным в непосредственной близости ото рта испытуемого. Таким образом, микрофон надежно мог бы регистрировать сигналы храпа, если бы они были. Для измерений использовался микрофон типа МК102 фирмы RFT.

На рис. 5 представлены сигналы, зарегистрированные во время этой серии экспериментов. Как видно, во время реализации относительно больших сигналов акустической эмиссии звуковых сигналов с похожими параметрами не было. Отметим, что во время этих измерений чувствительность микрофонного тракта была близкой к максимальной, а звуки прерывистого дыхания во

время сна, если они были, как правило, слышны хорошо.

5. ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

5.1. Сигналы, подобные альфа-ритму

Таким образом, на основе использования разработанных приемников звука удалось обнаружить сигналы импульсного типа, возникающие в процессе релаксации испытуемых, про которые ранее не сообщалось в литературе. Эти сигналы наблюдались на всех испытуемых при мотивации их к засыпанию, при этом в других экспериментах, когда испытуемые должны были интенсивно думать (перемножать в уме числа), такие сигналы не наблюдались. Частота следования обнаруженных сигналов составляла от 7 до 15 Гц, при этом она могла быстро изменяться от импульса к импульсу.

Сравнение сигналов, одновременно полученных на левом и правом висках, показало их приблизительное согласование на некоторых временных интервалах и отсутствие такового на других. Подобное же согласование оказалось и у акустического сигнала с одного из висков и сигнала ЭЭГ (альфа-ритма) — на некоторых временных участках эксперимента наблюдается их согласование, в то время как на других участках согласование было менее выражено.

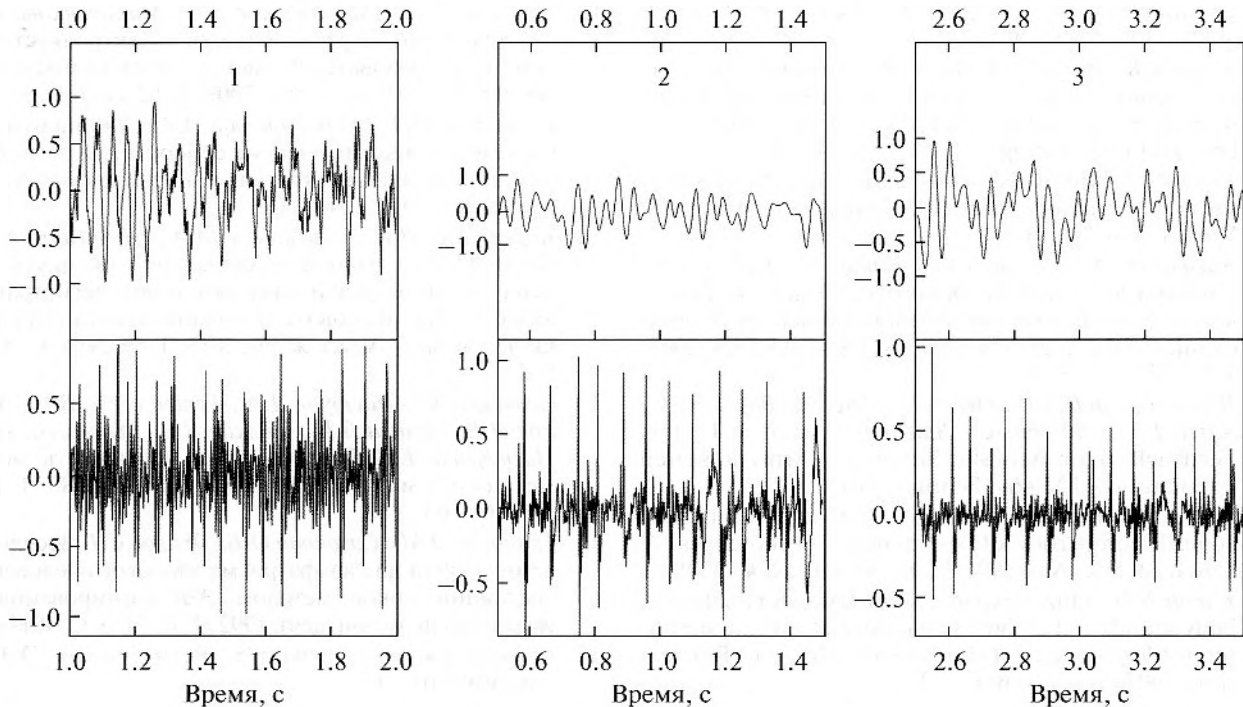


Рис. 5. Результат одновременной регистрации акустических сигналов с левого виска (нижние зависимости) вместе со звуковыми сигналами, полученными с помощью микрофона (верхние зависимости). Слева направо сигналы, полученные от первого, второго и третьего испытуемых.

Одним из возможных механизмов возникновения подобных сигналов могло быть прерывистое дыхание испытуемого во время сна, однако выполненная экспериментальная проверка не подтвердила этого предположения. Во время реализации из области виска относительно больших сигналов обнаруженной акустической эмиссии никаких звуковых сигналов, регистрируемых микрофоном из области рта испытуемого, не наблюдалось.

Таким образом, обнаружена акустическая эмиссия в виде импульсных акустических сигналов, имеющая некоторые особенности, характерные для сигналов ЭЭГ альфа-ритма [15, 16], а именно:

- они возникают в условиях релаксации испытуемых и не возникают в условиях умственной деятельности;
- частоты повторения обнаруженных акустических сигналов находятся вблизи частот повторения ЭЭГ-сигналов альфа-ритма;
- степень согласования обнаруженных от разных отведений акустических сигналов является неполной, что, как известно, характерно и для сигналов ЭЭГ альфа-ритма, получаемых от разных отведений.

Приведенные сходные свойства ЭЭГ-сигналов альфа-ритма и обнаруженных акустических сигналов позволяют, по нашему мнению, называть эти сигналы акустоэнцефалографическими сигналами.

6. ВЫВОДЫ

1. При регистрации акустических сигналов с висков испытуемого в условиях релаксации испытуемого впервые обнаружены сигналы импульсного типа с длительностью около 4 мс и периодом повторения около 100 мс, близким к периодам повторения ЭЭГ-сигналов альфа-ритма.

2. Качество регистрации обнаруженных сигналов достаточно высокое – отношение сигнал/шум в некоторых случаях превышало значение 20, что может, по нашему мнению, представлять практический интерес.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Shervegar M., Vishwanath, Bhat Ganesh. V., Shetty Raghavendra M.K.* Phonocardiography – the future of cardiac Auscultation // *J. Scientific & Engineering Research*. 2011. V. 2. № 10. P. 1–12.
2. *Гринченко В.Т., Макаренко А.П., Рудницкий А.Г.* Использование активно-пассивного метода аускультации для диагностики пылевых бронхитов // *Акуст. журн.* 1996. Т. 42. С. 773–776.
3. *Вовк И.В., Гринченко В.Т., Макаренко А.П.* Акустика дыхания и сердечной деятельности // *Акуст. вестн.* 2011. Т. 14. № 1. С. 3–19.
4. *Tavel M.E.* Cardiac Auscultation: A Glorious Past – and It Does Have a Future! // *Circulation*. 2006. V. 113. P. 1255–1259.
5. *Zimmermann H., Schmidt S.E., Hansen J., Hammershøi D., Møller H.* Acoustic Coupler for Acquisition of

- Coronary Artery Murmurs // *Computing in Cardiology*. 2011. V. 38. P. 209–212.
6. *Naqvi K.R., Parigi L., Vellani C.W., Kumar S.* Noninvasive method for determining blood pressure and contours of arterial and volume pulses // *J. Biomedical Science and Engineering*. 2008. V. 1. P. 79–84.
 7. *Kemp D.T.* Stimulated acoustic emissions from within the human auditory system // *J. Acoust. Soc. Am.* 1978. V. 64. P. 1386–1391.
 8. *Ragauskas A., Daubaris G., Petkus V., Raisutis R., Chomskis R., Šlitteris R., Deksnys V., Guzaitis J., Lengvinas G.* Non-invasive assessment of intracranial biomechanics of the human brain // *ULTRAGARSAS*. 2008. V. 63. № 1. P. 38–46.
 9. *Rice V.J., Lindsay G., Overby C., Jeter A., Boykin G.L., Alfred P.E., DeVilbiss C., Bateman R.* Human Factors Feedback: Brain Acoustic Monitor // *Army Research Laboratory – TN-469*. February 2012.
 10. *Abella M., Formolo J., Penney D.G.* Comparison of the acoustic properties of six popular stethoscopes // *J. Acoust. Soc. Am.* 1992. V. 91. № 4. P. 2224–2228.
 11. *Kumar B.H.* A fuzzy expert system design for analysis of body sounds and design of an unique electronic stethoscope (development of HILSA kit) // *Biosens. Bioelectron.* 2007. V. 22. № 6. P. 1121–1125.
 12. *Артемов А.М., Макаренко А.П., Макаренко А.А.* Исследование эффективности электроакустических преобразователей электронных стетофонендоскопов // *Акуст. вестн.* 2009. Т. 12. № 1. С. 3–10.
 13. *Гринченко Н.Т., Макаренко А.А.* Специализированные пьезокерамические сенсоры для регистрации звуков жизнедеятельности человека // *Акуст. вестн.* 2010. Т. 13. № 1. С. 11–16.
 14. *Коренбаум В.И., Тагильцев А.А., Дьяченко А.И., Костив А.Е.* Сравнение характеристик акустических датчиков различных типов при регистрации дыхательных звуков на поверхности грудной клетки человека // *Акуст. журн.* 2013. Т. 59. № 4. С. 530–538.
 15. *Осовец С.М., Гинзбург Д.А., Гурфинкель В.С., Зенков Л.Р., Латаш Л.П., Малкин В.Б., Мельничук П.В., Пастернак Е.Б.* Электрическая активность мозга: механизмы и интерпретация // *УФН*. 1983. Т. 141. № 1. С. 103–150.
 16. *Гриндель О.М., Сазонова О.Б., Жиров С.Б.* Исследование структуры альфа-ритма здорового человека в состоянии покоя методом ЭЭГ-картирования // *Журн. высш. нервн. деят.* 1992. Т. 42. № 3. С. 491–499.
 17. ru.psyphy.wikia.com/wiki/5._Регистрация_ЭЭГ_Система_10-20.