

## РЕГИСТРАЦИЯ СИГНАЛОВ ДЫХАНИЯ ЧЕЛОВЕКА С ВИСОЧНЫХ ОБЛАСТЕЙ ГОЛОВЫ

© 2021 г. В. И. Миргородский<sup>а, \*</sup>, В. В. Герасимов<sup>а</sup>, А. В. Герус<sup>а</sup>, С. В. Пешин<sup>а</sup>, С. М. Жучкова<sup>а</sup>

<sup>а</sup>Фрязинский филиал Федерального государственного бюджетного учреждения науки  
Института радиотехники и электроники им. В.А. Котельникова Российской академии наук,  
пр. Введенского 1, Фрязино, Московская обл., 141190 Россия

\*e-mail: vim288@ms.ire.rssi.ru

Поступила в редакцию 19.12.2019 г.

После доработки 12.04.2021 г.

Принята к публикации 23.04.2021 г.

На основе использования широкополосных пьезоэлектрических датчиков, находящихся в контакте с висками испытуемых, обнаружены акустические сигналы, вызываемые дыханием человека. Данные сигналы обладают высокой интенсивностью и более широким спектром частот, чем обычно регистрируемые дыхательные шумы на грудной клетке человека. Это обеспечивает условия для относительно технически несложной методики регистрации шумов дыхания, что может представлять ценность для целей медицинской диагностики и контроля состояния операторов ответственных производственных процессов.

*Ключевые слова:* дыхательные шумы, височная область, дыхательный ритм

DOI: 10.31857/S0320791921040109

### ВВЕДЕНИЕ

Акустический канал получения информации о физиологическом состоянии человека является, как хорошо известно, одним из наиболее доступных для оценки состояния его здоровья, поскольку для его осуществления путем прослушивания нередко достаточно обычных стетоскопов. Это определило большое разнообразие типов акустических методов регистрации и анализа дыхательных звуков [1–8] и их распространенность для диагностических целей.

Обычно, и это наиболее естественно, для прослушивания параметров дыхания используется расположение акустических датчиков на грудной клетке человека [3]. Наиболее полный обзор используемых при этом методов в русскоязычной литературе содержится в работе [3], а в англоязычной литературе в работах [9–12]. В частности, в работе [9] исследовалась возможность контроля кардиосигналов и сигналов дыхания путем регистрации звука из канала уха человека при расположении там микрофона.

В процессе наших исследований обнаружилось, что акустические сигналы, связанные с дыханием, могут наблюдаться и на голове человека, в частности, из височных областей. Исследование этих сигналов и посвящена данная статья.

### ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ МЕТОДИКА

Эксперименты проводились в лабораторных условиях с клинически здоровыми испытуемыми, располагавшимися лежа на кушетке с закрытыми глазами. При этом дыхание осуществлялось через нос. Испытуемые с признаками респираторных заболеваний, препятствующих дыханию через нос, в экспериментах не участвовали.

На висках испытуемых с помощью эластичного бинта закреплялись акустические датчики, а над носом на расстоянии около 1 см располагался, без контакта с телом испытуемого, измерительный микрофон типа МК 102 RFT (рис. 1).

Электрические сигналы с выходов акустических приемников и микрофона регистрировались в памяти компьютера. В качестве чувствительных элементов акустических приемников использовались пластины из пьезокерамики толщиной 0.6 см и диаметром 1 см с первой резонансной частотой около 160 кГц. Диапазон рабочих частот акустических приемников простирался от 10 Гц до 110 кГц, при этом достигалась высокая чувствительность, примерно на 10 дБ меньшая предельно достижимой [13].

Регистрация сигналов осуществлялась с помощью АЦП типа Е14-140, темп сбора данных составлял 50 кГц. Эксперименты, как и в работе [14], длились обычно 30 мин, первые 15 мин ис-



Рис. 1. Испытуемый с акустическими приемниками и микрофоном.

пытуемые мотивировались на умственную работу — произнесение про себя таблицы умножения, а вторые 15 мин испытуемые мотивировались на релаксацию вплоть до засыпания. Более подробное описание экспериментальной методики приведено в работе [14].

Перед началом экспериментов испытуемые были осведомлены о предмете и процедуре исследования и подтверждали свое добровольное участие подписанием Информированного согласия. Протоколы экспериментов одобрены этической комиссией Института Высшей Нервной Деятельности и Нейрофизиологии РАН.

### ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ

Было выполнено более 90 экспериментов. Типичный вид сигналов, получаемых при этом, представлен на рис. 2 и 3.

На рис. 2 наблюдаются синхронные области увеличения шума, следующие с периодом около 3–4 с, который характерен для дыхания человека. Визуальный анализ показал, что первая область повышенного шума соответствует вдоху, а вторая — выдоху. Видно, что зависимости, полученные от акустического приемника и микрофона, имеют подобный вид: на обеих зависимостях видны сигналы, соответствующие вдохам и выдохам испытуемого. Заметим, что на 29-й с амплитуда сигнала вдоха с акустического приемника была больше сигнала выдоха, в то время как вблизи 38-й с сигнал выдоха был либо равен, либо больше сигнала вдоха.

На рис. 3 представлены графики сигналов, полученных от акустических приемников, расположенных на висках испытуемого. Как видно, в этом случае наблюдаются сигналы, вид которых подобен представленному на рис. 2. Видны также и сигналы, связанные с пульсовой волной.

На графике рис. 4 содержится частотный спектр сигнала с левого виска, полученный в диапазоне 30 Гц–10 кГц. Поскольку сигналы справа

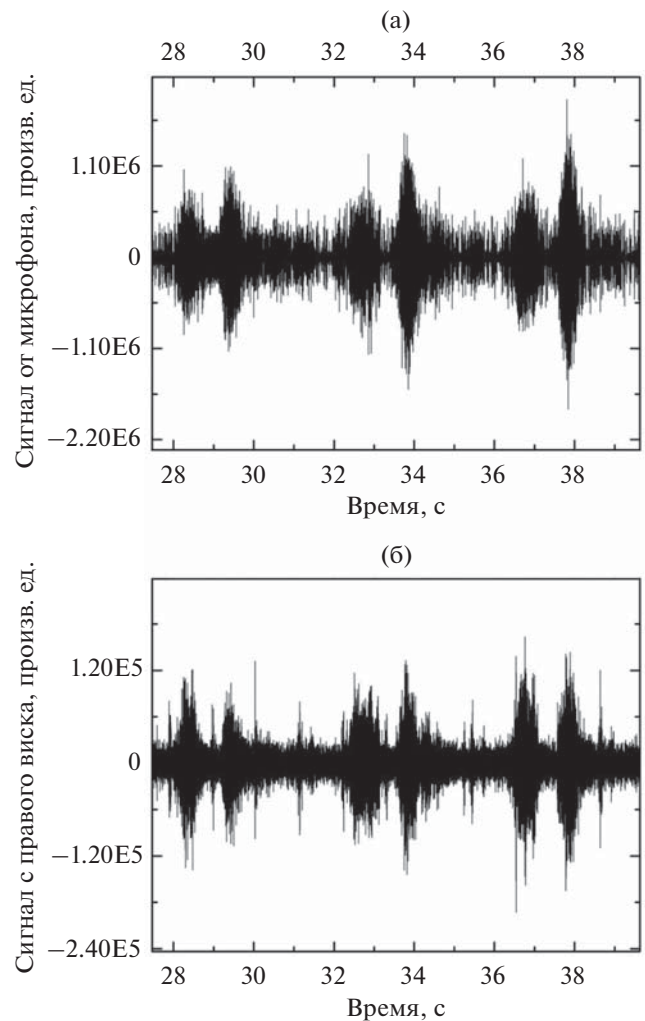


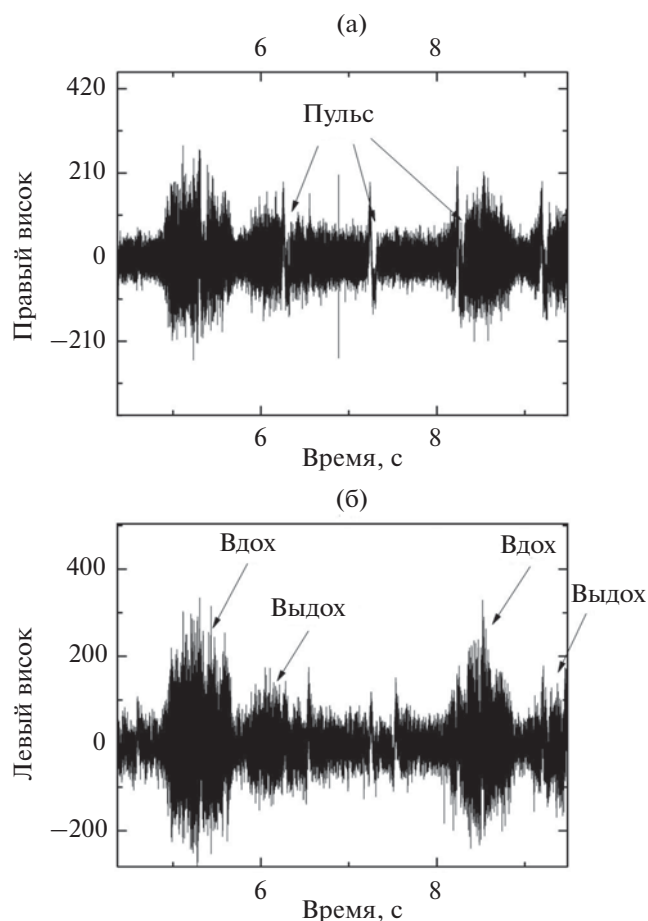
Рис. 2. Сигналы от акустического приемника (а) — от микрофона, (б) — правого виска. Произведена фильтрация исходных сигналов полосовым фильтром в полосе 700–2000 Гц.

и слева практически одинаковы, то приведены данные, относящиеся только к левому виску.

Как видно, спектр обладает сложной формой. Наибольшая частотная компонента имеет частоту около 2 кГц, имеются так же более слабые компоненты — на частотах около 200 Гц.

Интересная картина наблюдается при анализе огибающей дыхательных колебаний, полученных в процессе двухэтапного эксперимента (сначала счет 15 мин, затем релаксация 15 мин). Это иллюстрируется на графиках рис. 5, представляющих типичную ситуацию на левом виске.

Как видно из рис. 5а, наблюдается неравномерная картина дыхания — амплитуда регистрируемых звуков дыхания заметно изменяется во времени.

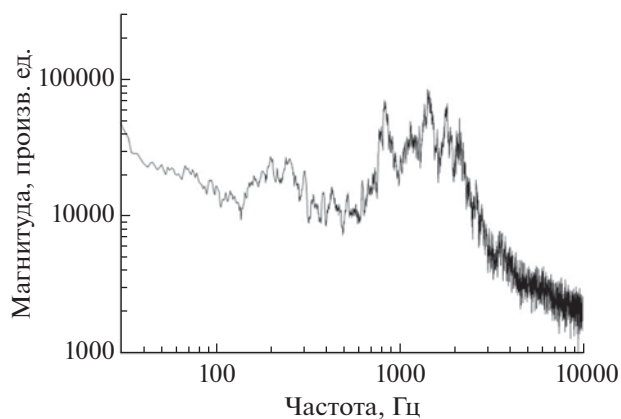


**Рис. 3.** Сигналы, полученные от приемников, расположенных на висках испытуемых. (а) — Сигнал от правого виска, (б) — сигнал от левого виска.

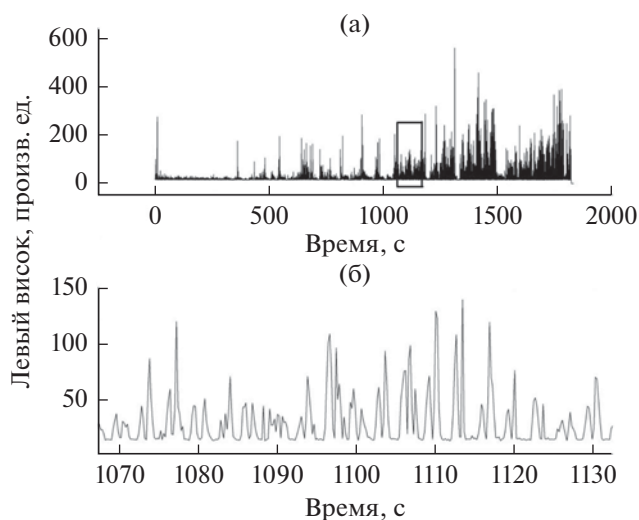
### ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ЭКСПЕРИМЕНТОВ

Выше представлены результаты регистрации акустических сигналов, связанных с жизнедеятельностью испытуемых, полученные при использовании в качестве зон съема висков. При этом на рис. 3 показано, что вызываемые дыханием акустические сигналы, снимаемые с левого и правого висков, подобны друг другу, что позволяет, по нашему мнению, на практике ограничиваться регистрацией сигналов от одной стороны.

Важным, по нашему мнению, обстоятельством является сложность наблюдаемых сигналов, связанных с дыханием. Как видно на графиках рис. 5, картина сигналов обладает заметной нерегулярностью актов дыхания. Это многообразие позволяет предполагать возможную диагностическую ценность такого способа регистрации параметров дыхания при оценке дыхательного ритма.



**Рис. 4.** Частотный спектр в диапазоне 30 Гц–10 кГц сигналов, приведенных на графиках рис. 3.



**Рис. 5.** Зависимость от времени огибающей сигнала, полученного от приемника, расположенного на левом виске. (а) — Общий вид сигнала в течение времени эксперимента 30 минут, (б) — фрагмент верхнего графика в более детальном масштабе и по времени и по амплитуде.

Таким образом, возможность регистрации звуков дыхания из височных областей головы человека может представлять практический интерес для непрерывного контроля параметров дыхания, в частности, у операторов в процессе выполнения ими их профессиональных обязанностей.

### ВЫВОДЫ

При использовании контактных пластинчатых акустических датчиков, расположенных на висках человека, обнаружены акустические сигналы, вызываемые дыханием человека.

Представляется, что такой прием акустических сигналов дыхания может представлять интерес как для целей медицинской диагностики, так и контроля состояния операторов ответственных производственных процессов.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Гринченко Н.Т., Макаренко А.А.* Специализированные пьезокерамические сенсоры для регистрации звуков жизнедеятельности человека // Акустичний Вісник. 2010. Т. 13. № 1. С. 11–16.
2. *Вовк И.В., Гринченко В.Т., Макаренко А.П.* Акустика дыхания и сердечной деятельности // Акуст. вестн. 2011. Т. 14. № 1. С. 3.
3. *Дьяченко А.И., Михайловская А.Н.* Респираторная акустика (Обзор) // Труды Института общей физики им. А.М. Прохорова. 2012. Т. 68. С. 136–181.
4. *Артемьев А.М., Макаренко А.П., Макаренко А.А.* Исследование эффективности электроакустических преобразователей электронных стетофонендоскопов // Акустичний Вісник. 2009. Т. 12. № 1. С. 3–10.
5. *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.
6. *Аносов А.А., Ерофеев А.В., Пешков К.Ю., Щербатов М.И., Беляев Р.В., Мансфельд А.Д.* Совместное использование пассивной акустической и инфракрасной термометрии для контроля УВЧ-нагрева // Акуст. журн. 2020. Т. 66. № 6. С. 690–696.
7. *Аносов А.А., Ерофеев А.В., Мансфельд А.Д.* Использование акустотермометрии для определения температурного поля в предплечье человека // Акуст. журн. 2019. Т. 65. № 4. С. 551–556.
8. *Андреев В.Г., Грамович В.В., Выборов О.Н., Мартынюк Т.В., Родненков О.В., Руденко О.В.* Ударное возбуждение звука при схлопывании створок полулунных клапанов сердца // Акуст. журн. 2019. Т. 65. № 2. С. 232–240.
9. *Martin A., Voix J.* Ear audiowearable: Measurement of heart and breathing rates for health and safety monitoring // IEEE Trans. Biomed. Eng. 2018. V. 65. № 6. P. 1256–1263.
10. *Rao A., Ruiz J., Bao C., Roy S.* Acoustic methods for pulmonary diagnosis // IEEE Reviews in Biomedical Engineering. 2018. V. 12. P. 221–239. <https://doi.org/10.1109/RBME.2018.2874353>
11. *Pasterkamp H., Kraman S.S., Wodicka G.R.* Respiratory sounds: advances beyond the stethoscope // American journal of respiratory and critical care medicine. 1997. V. 156(3). P. 974.
12. *Dalmay F., Antonini M.T., Marquet P., Menier R.* Acoustic properties of normal chest // Eur. Respir. J. 1995. V. 8(10). P. 1761–1769.
13. *Миргородский В.И., Герус А.В., Герасимов В.В., Пешин С.В.* Чувствительность акустических приемников с пластинчатыми пьезопреобразователями звукового–ультразвукового диапазона // Успехи современной радиоэлектроники. 2015. № 12. С. 3.
14. *Миргородский В.И., Герасимов В.В., Пешин С.В.* Обнаружение новых акустических сигналов от головы человека // Акуст. журн. 2014. Т. 60. № 4. С. 437–442.