

# Разработка концепции устройства мониторинга функционального состояния лёгких

А. С. Богданова<sup>1</sup>, Ю. О. Боброва<sup>2</sup>

Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет  
«ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина)

<sup>1</sup>alicebgdnev@mail.ru, <sup>2</sup>jobobrova@etu.ru

**Аннотация.** Легкие человека подвержены различным заболеваниям, многие из которых протекают достаточно незаметно на начальных стадиях. Первичным методом осмотра пациента при подозрении на наличие у него легочного заболевания является аускультация, но из-за недостаточной остроты слуха врача, многие заболевания могут быть не замечены. Решить данную проблему может устройство мониторинга функционального состояния лёгких. В статье рассматриваются алгоритм программной обработки сигнала дыхания, корпус устройства, его схема и концепция.

**Ключевые слова:** аускультация; мониторинг; легкие; функциональное состояние; корпус; концепция

## I. ВВЕДЕНИЕ

Дыхание является неотъемлемой частью жизни каждого человека. Кроме насыщения организма кислородом и выведения углекислого газа, благодаря дыханию также поддерживается кислотно-щелочной баланс организма, осуществляется терморегуляция, регуляция водного баланса и т. д. К несчастью, эти процессы нарушаются вследствие различных заболеваний дыхательной системы.

В последнее время доля заболеваний органов дыхания увеличивается, так с 2019 по 2020 год в структуре первичной заболеваемости взрослого населения РФ она выросла с 30,0 до 36,9 %. При этом наибольший рост наметился среди показателей заболеваемости пневмонией, острым обструктивным ларингитом, эпиглоттитом [1]. Увеличению доли заболеваний легких способствует ухудшение экологической обстановки, рост онкологических заболеваний органов дыхания, стрессы, вред, связанный с профессиональной деятельностью людей, появление нового вируса Covid-19 и т. д.

Для диагностики заболеваний легких используются различные методы: рентгенография, бронхография, компьютерная томография (КТ), аускультация, спирометрия и т. д. При рентгенографии человек подвергается ионизирующему излучению, что вредно для организма [2]. Бронхография проводится под местной анестезией, она является подвидом рентгенографии и тоже оказывает на человека вредное воздействие. КТ предполагает высокую лучевую нагрузку на пациента, а также томографические снимки недостаточно точны. Спирометрия не имеет абсолютных противопоказаний, но маневр форсированного выдоха следует выполнять с осторожностью [3]. Аускультация безопасна для пациента, она не имеет противопоказаний и является первичным этапом диагностики [4, 5]. Если во

время аускультации врач выявит подозрения на наличие у пациента заболевания дыхательных путей, он может назначить ему обследование методом рентгенографии, томографии и т. д. Поэтому она будет рассмотрена в данной работе. Аускультация может проводиться как с использованием технических средств (механические и электронные стетоскопы), так и без них (путем прикладывания уха к груди пациента). Электронные стетоскопы дороже механических, но имеют перед ними ряд преимуществ. Основным минусом механических стетоскопов является сильная зависимость от остроты слуха врача, в электронных стетоскопах данная проблема может быть решена различными способами: приложением или встроенной программой анализа дыхания, записью сигнала дыхания для его последующего прослушивания несколькими врачами, визуализацией сигнала дыхания. Также электронный стетоскоп позволяет проводить обследование пациента дистанционно (врачу отправляется запись сигнала дыхания с грудной клетки), обращение в больницу требуется только при возникновении подозрений о наличии заболевания. Благодаря этому здоровые люди могут снизить для себя риск заражения различными заболеваниями от других посетителей лечебного учреждения.

## II. КОНЦЕПЦИЯ

Сигнал дыхания, снимаемый с пациента методом аускультации, имеет большой диапазон частот (от ниже 100 до 2000 Гц) и представляет собой широкополосный шум, имеющий амплитуду от 50 до 2 Дб, в зависимости от частоты (чем выше частота, тем ниже интенсивность сигнала) [6, 7].

Для регистрации аудиосигнала дыхания используются различные электронные стетоскопы. Такие приборы могут применяться как в домашних условиях, так и в лечебном учреждении. В первом случае они позволяют пациенту самостоятельно следить за своим здоровьем и проводить исследования в любое удобное для него время. Врачам электронный стетоскоп позволяет полнее анализировать сигнал и находить шумы и отклонения, которые он бы не заметил при аускультации обычным механическим стетоскопом.

Концепция устройства мониторинга функционального состояния лёгких представлена на рис. 1.



Рис. 1. Концепция устройства

Пациент может осуществлять съем сигнала дома или в другом удобном для себя и не противоречащим правилам аускультации месте, подключив датчик по Bluetooth к своему ноутбуку или смартфону с заранее установленной программой обработки сигналов. После записи сигналы могут храниться на подключаемом к датчику устройстве или в облаке (при дополнительных настройках пользователя). Также записанный сигнал может быть отправлен лечащему врачу через приложение или на электронную почту. Кроме записи сигнала пользователь может отправить врачу построенные программой спектрограммы для более точной оценки состояния здоровья специалистом. Пациент может связываться с врачом как в случае выдачи программой соответствующего сообщения, так и при собственных беспокоящих его подозрениях о наличии заболевания.

При получении записи сигнала и/или спектрограммы дыхания врач анализирует полученную информацию и принимает решение о приглашении пациента на прием в лечебное учреждение или отправке только письма с рекомендациями. Все полученные сигналы хранятся в базе данных лечебно-профилактического учреждения и могут быть переданы в отдел статистики в обезличенном виде.

Структурная схема устройства мониторинга функционального состояния лёгких представлена на рис. 2. Акустический датчик прикладывается к человеку в точках аускультации. С пациента снимается звуковой сигнал (сигнал дыхания), который затем преобразуется в электрический. После этого он поступает на блок усиления и фильтрации (БУиФ). Далее усиленный и отфильтрованный сигнал оцифровывается с помощью АЦП и подается на микроконтроллер (МК). Микроконтроллер служит для передачи сигнала на ПК через Bluetooth, а также включения и выключения индикатора работы прибора. Кнопки включения/выключения прибора содержит блок управления, также в нем есть кнопки начала, паузы и остановки записи сигнала дыхания. ПК осуществляет запись, обработку и визуализацию сигнала.

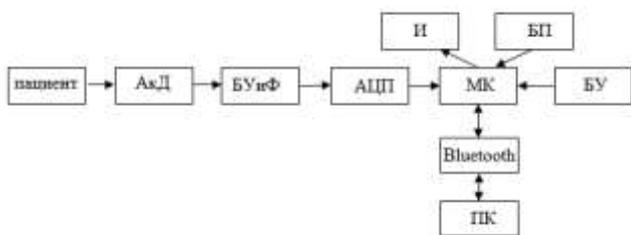


Рис. 2. Структурная схема устройства

На рис. 1 представлены следующие блоки устройства: АкД – акустический датчик; БУиФ – блок усиления и фильтрации; АЦП – аналого-цифровой преобразователь; МК – микроконтроллер; И – индикатор работы прибора; БП – блок питания; БУ – блок управления; ПК – персональный компьютер.

### III. ПРОГРАММА АНАЛИЗА СИГНАЛОВ ДЫХАНИЯ

После снятия сигнала с пациента и передачи его на компьютер или смартфон, происходит его обработка и дальнейший анализ с выдачей решения о здоровье пациента или необходимости обратиться к врачу. Алгоритм работы программы представлен на рис. 3.

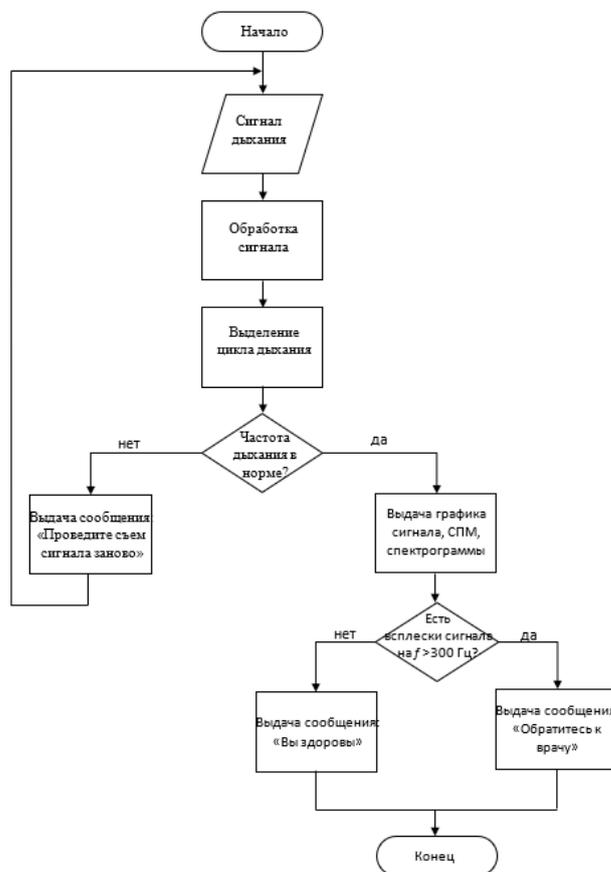


Рис. 3. Алгоритм обработки

Программа осуществляет анализ аудиосигналов дыхания путем перевода их в текстовый формат и дальнейшей обработки данных [8]. Также в случае неправильного, слишком быстрого ритма дыхания при съеме сигнала, программа выдает соответствующее сообщение о необходимости повторного измерения. Это сделано для того, чтобы уберечь пациента от заведомо ложных результатов. Ввиду того, что спектр сигнала дыхания здорового человека обычно не превышает 200 Гц, а на частотах от 300 Гц находятся дыхательные шумы, свидетельствующие о наличии астмы, пневмонии, крепитации, фиброза и т. д., программа разделяет пациентов на больных и здоровых по плотности мощности сигнала на соответствующих частотах [6].

Программа была протестирована аннотированных аудиофайлах звуков легких, записанных с различных точек грудной клетки [9]. Пример работы программы представлен на рис. 4, 5.

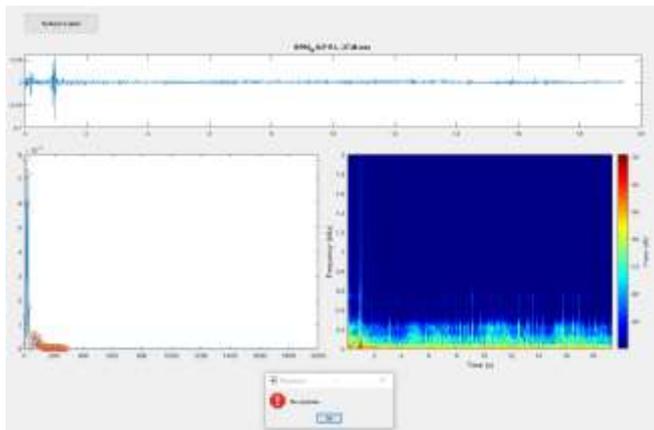


Рис. 4. Акустический сигнал дыхания здорового человека

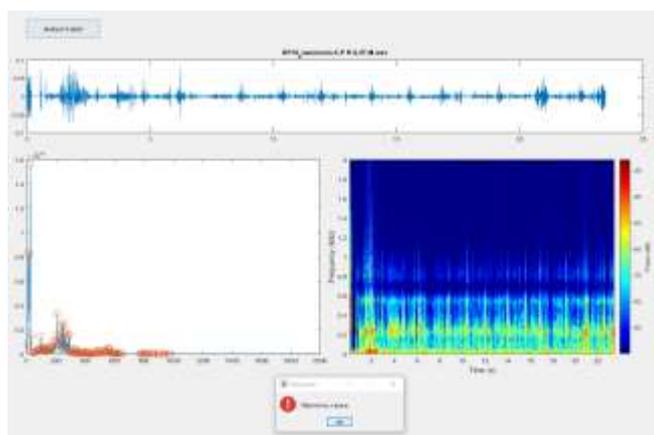


Рис. 5. Акустический сигнал дыхания человека, больного пневмонией

Как видно из рис. 4, у здорового человека спектральная плотность мощности сигнала сосредоточена в основном на частотах до 200 Гц. У больного человека, как на рис. 5, спектральная плотность мощности имеет пики вплоть до 1000 Гц (в некоторых случаях может доходить и до 2000 Гц). Также у здоровых людей уровни дыхания в среднем не превышают  $25 \pm 2$  дБ на вдохе и  $19 \pm 2$  дБ на выдохе, то у 60 % больных оба эти показателя гораздо выше [10].

#### IV. КОРПУС УСТРОЙСТВА

Моделирование корпуса производилось в программе Fusion 360, позволяющей не только создать модель, но и сделать ее реалистичный рендер [11].

Для уменьшения числа помех от микро-движений руки при съеме сигнала, уменьшения шумовых помех, связанных поднятием и опусканием грудной клетки при дыхании разработан эргономичный корпус с силиконовой вставкой (рис. 6).

Силиконовая вставка в месте соприкосновения кожи и датчика (при этом чувствительная область датчика остается открытой) обеспечивает более плотный контакт и внешнюю шумозащищенность благодаря ее гибкости по сравнению с твердым, негнувшимся пластиком.

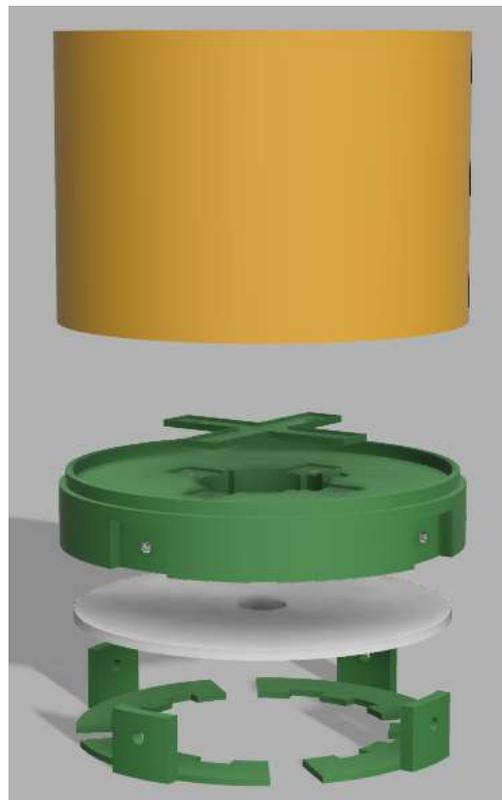


Рис. 6. Корпус устройства

Также корпус имеет небольшие размеры и маленький вес, благодаря чему удобно лежит в руке и не вызывает ее быстрого затекания и усталости. Его круглая форма позволяет свободно обхватывать устройство одной рукой. Также корпус имеет яркие, жизнерадостные цвета, благодаря которым он легко заметен на различных поверхностях и немного поднимает настроение.

#### V. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Разрабатываемая система подходит для длительного мониторинга состояния дыхательной системы, позволяя как проводить самостоятельный анализ собственного здоровья пациента, так и связываться с врачом при появлении опасений. Также, при желании, данной системой может пользоваться и доктор, преимуществами для него в таком случае будет визуализация сигнала и возможность обсудить на консилиуме врачей сложные случаи.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Шастин А.С., Бушуева Т.В., Газимова В.Г., Обухова Т.Ю., Жданов А.Н. Заболеваемость болезнями органов дыхания в период пандемии новой коронавирусной инфекции факультета/ Российской Федерации. Врач, 2021; (11): 11-17
- [2] Основные рентгенологические синдромы патологии легочной ткани: учеб. пособие / Л.А. Тимофеева, Т.Н. Алешина, А.В. Быкова. Чебоксары: Изд-во Чуваш. ун-та, 2013. 104 с.
- [3] Функциональные методы исследования внешнего дыхания : учеб.-метод. пособие /Е.Л. Трисветова, С.Е. Федорович. Минск : БГМУ, 2016. 28 с.
- [4] Аускультация легких : метод. рекомендации / В.П. Царев [и др.]. 2-е изд., доп. Минск: БГМУ, 2007. 16 с.
- [5] Физические методы обследования человека: учебное пособие для самоподготовки к практическим занятиям по пропедевтике внутренних болезней студентов 3 курса лечебного факультета/ М.А. Бутов [и др.]. Рязань: ФГБОУ ВО РязГМУ Минздрава России, 2019. 78 с.

- [6] Дьяченко А.И., Михайловская А.Н. Респираторная акустика (обзор). Лазерная и акустическая биомедицинская диагностика. М.: Наука, 2012. (труды ИОФАН; т.68): 156-170.
- [7] Артеменко М.В., Калугина Н.М. Анализ акустических шумов как основа дифференциальной диагностики состояния легких человека // Научное обозрение. Реферативный журнал. 2016. №4. С. 9-24.
- [8] Audioread // Mathworks URL: <https://www.mathworks.com/help/matlab/ref/audioread.html> (дата обращения: 02.04.2022).
- [9] A dataset of lung sounds recorded from the chest wall using an electronic stethoscope // Data.Mendeley URL: <https://data.mendeley.com/datasets/jwyy9np4gv/3> (дата обращения: 02.04.2022).
- [10] Макаренкова А.А. Исследование и объективизация дополнительных звуков дыхания у больных хронической обструктивной болезнью легких // Акустичний вісник. 2010. № Том 13, N 3. С. с. 31–41.
- [11] Integrated CAD, CAM, CAE, and PCB software. // Autodesk URL: <https://www.autodesk.com/products/fusion-360/overview> (дата обращения: 02.04.2022).