

МИНОБРНАУКИ РОССИИ
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего
образования
**«САРАТОВСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ Н.Г. ЧЕРНЫШЕВСКОГО»**

Кафедра динамического моделирования и биомедицинской инженерии

Беспроводной монитор дыхания на основе ультразвукового излучателя

АВТОРЕФЕРАТ МАГИСТЕРСКОЙ РАБОТЫ

студента 2 курса 206 группы
направления 12.04.04 Биотехнические системы и технологии
факультета nano- и биомедицинских технологий

Коваленко Никиты Андреевича

Научный руководитель
Профессор, д.ф.-м.н., профессор
должность, уч. степень, уч. звание

подпись, дата

В.И.Пономаренко
инициалы, фамилия

Зав. кафедрой, д.ф.-м.н., доцент
должность, уч. степень, уч. звание

подпись, дата

Е.П. Селезнев
инициалы, фамилия

Введение

Актуальность работы:

Приоритетным направлением медицины является изучение важных жизненных показателей с дальнейшим анализом. Поэтому актуальным является разработка и внедрение современных устройств, сочетающих в себе такие качества, как мобильность, низкая стоимость, компактность и низкое энергопотребление.

Одним из наиболее важных физиологических показателей является частота дыхательных движений (ЧДД). ЧДД - это количество циклов вдох - выдох, совершаемые грудной клеткой за единицу времени. [1].

Благодаря анализу ЧДД можно выявить ряд таких заболеваний как, синдром обструктивного апноэ сна, болезни легких, астма. Профессиональные спортсмены во время тренировки также нуждаются в своевременном контроле физиологических показателей, к которым относится ЧДД [2].

Современные технологии предлагают множество методов регистрации ЧДД, такие как пьезоэлектрический, газодинамические датчики, основанные на акселерометре и другие.

Актуальность работы определяется возможностью бесконтактного отслеживания частоты дыхания тяжелобольных и находящихся в коме людей. Для поставленной задачи подходят ультразвуковые, инфракрасные и радиолокационные датчики.

Цель работы: является разработка системы бесконтактной регистрации сигналов дыхания и оценки параметра частоты дыхательных движений (ЧДД).

Задачи, которые необходимо решить, представляется таким списком:

1. Проанализировать достоинства и недостатки различных способов измерения ЧДД;
2. Освоить возможности ультразвуковых датчиков;

3. Подключить датчик к платформе Arduino и написать программу передачи данных в компьютер;
4. Написать программу обработки данных в режиме реального времени;
5. Исследовать частоту дыхания;
6. Разработать метод оповещения медперсонала в случае нарушения дыхания

Структура и объём работы:

Работа состоит из введения, 3 разделов, заключения, списка использованных источников и 3 приложений. Общий объём работы – 54 страниц, из них 39 страниц – основное содержание, включая 22 рисунка и 2 таблиц, список использованных источников информации – 26 наименований.

Краткое содержание работы

Первый раздел «О природе дыхания и методы его регистрации»

Дыхание — это одна из немногих способностей организма, которая может осуществляться сознательно и неосознанно. При частом и поверхностном дыхании возбудимость нервных центров повышается, а при глубоком — наоборот, снижается. Во время смеха или при икоте наблюдаются особые виды дыхательных движений.

Находясь в покое человек дышит не прилагая видимых усилий, чаще всего даже не замечая процесса дыхания. Данный тип дыхания называется дыхательным комфортом. (ЧДД 12 – 20 в мин).

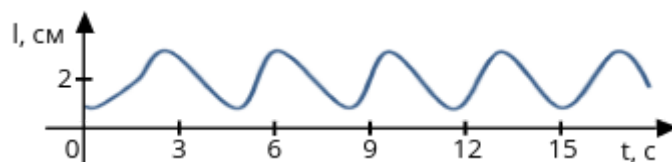


Рис. 1. ЧДД соответствующее эйпноэ

Брадипноэ (“редкое дыхание”) – тип дыхания, при котором человек может осуществлять менее 12 дыхательных движений в минуту. [3]

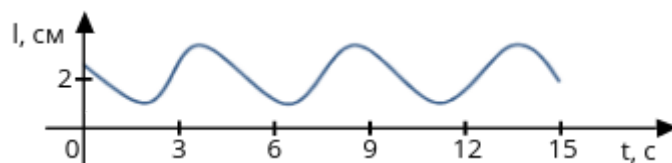


Рис. 2. ЧДД соответствующее брадипноэ

Тахипноэ — учащённое поверхностное дыхание (более 20 дыханий в минуту). Наблюдается при лихорадке, анемии и других заболеваниях крови. При истерии ЧДД достигает 60—80 в минуту, такое дыхание называют «дыханием загнанного зверя» [4].

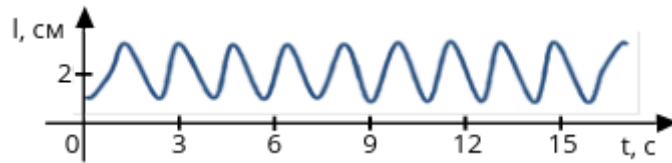


Рис. 3. ЧДД соответствующее тахипноэ

Гиперпноэ — глубокое и частое дыхание (ЧДД > 20 в мин).

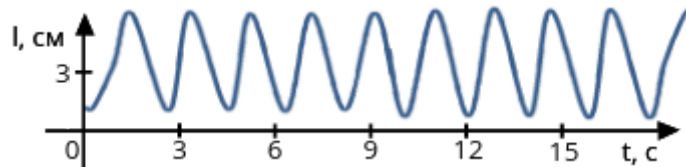


Рис. 4. ЧДД соответствующее гиперпноэ

Апноэ — это тип дыхания, при котором у человека могут наблюдаться остановки дыхательных движений.

Существует отдельный вид апноэ во сне. Самостоятельная задержка дыхания также может считаться апноэ. В этом смысле термин «апноэ» часто используется во фридайвинге [5].

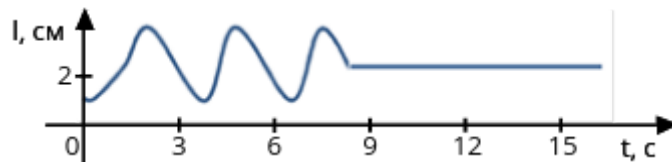


Рис. 5. ЧДД соответствующее апноэ

Типы периодического дыхания

Периодическим дыханием называется такое нарушение ритма дыхания, при котором периоды дыхания чередуются с периодами апноэ. Существует два типа периодического дыхания: дыхание Чейна-Стокса и дыхание Биота.

При дыхании Чейна-Стокса паузы (апноэ — до 5-10 с) чередуются с дыхательными движениями, которые сначала нарастают по глубине, затем убывают.

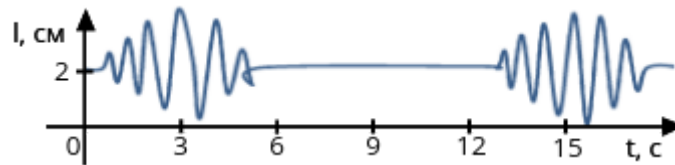


Рис. 6. ЧДД соответствующее дыханию Чейна-Стокса

При дыхании Биота, паузы чередуются с дыхательными движениями нормальной частоты и глубины. [6]

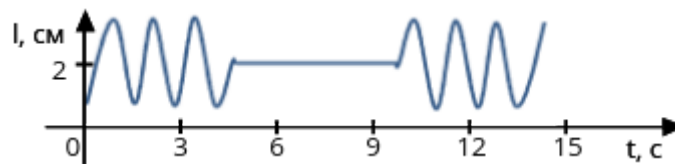


Рис. 7. ЧДД соответствующее дыханию Биота

Типы терминального дыхания.

Терминальным дыханием называют тот тип дыхания, при котором возникает состояния, пограничные между жизнью и смертью (терминальное состояние). К терминальным типам дыхания относятся: дыхание Куссмауля, апнейстическое дыхание, гаспинг-дыхание.

Дыхание Куссмауля – глубокое, шумное дыхание, характерно для больных с нарушением сознания при диабетической и уремиической комах, а также при отравлении метанолом.

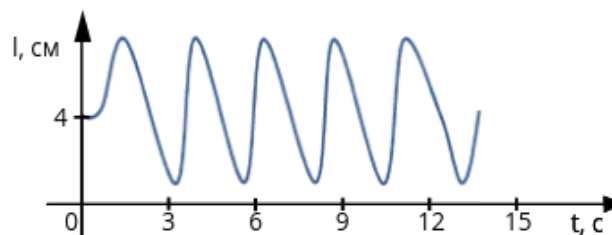


Рис. 8. ЧДД соответствующее дыханию Куссмауля

Тип дыхания Куссмауля возникает в результате нарушения возбудимости ДЦ на фоне гипоксии мозга, ацидоза, интоксикаций. Глубокие шумные вдохи с

участием основной и вспомогательной дыхательной мускулатуры сменяются активным форсированным выдохом.

Апнейстическое дыхание характеризуется продолжительным вдохом, изредка прерываемым коротким форсированным выдохом. Причинами такого дыхания может быть поражение пневмотаксического центра в стволе мозга (травмы мозга, инфаркт моста мозга, отравление барбитуратами).

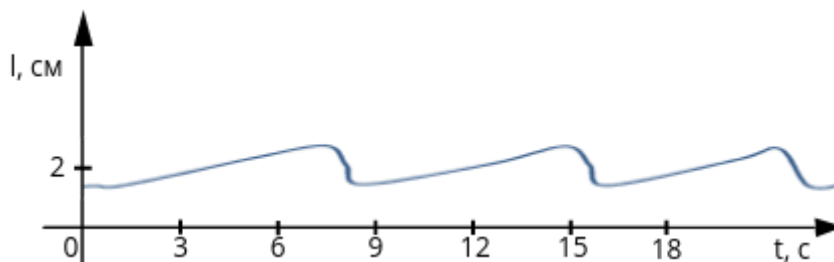


Рис. 9. ЧДД соответствующее Апнейстическому дыханию

Гаспинг-дыхание – единичные, редкие, убывающие по силе вдохи с длительными (по 10-20 с) задержками дыхания на выдохе.

В акте дыхания участвуют не только диафрагма и дыхательные мышцы грудной клетки, но и мускулатура шеи и рта. Источником импульсов дыхательных движений являются нейроны каудальной части продолговатого мозга при прекращении функции вышележащих отделов мозга.

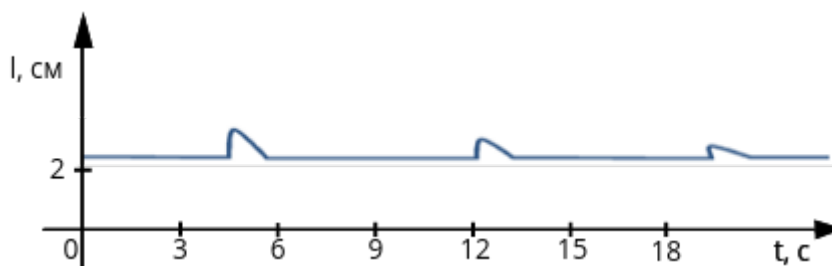


Рис. 10. ЧДД соответствующее Гаспинг-дыхание

Гаспинг-дыхание возникает в терминальной фазе асфиксии. Встречается при различных патологических состояниях (отравлениях, травмах, кровоизлияниях и тромбозах ствола головного мозга).

Методы регистрации ЧДД

Основным способом объективизации ЧДД, позволяющим проводить их точную регистрацию и анализ, являются датчики дыхания. Различают контактные и бесконтактные датчики дыхания. Выбор датчика зависит от различных условий эксплуатации, таких как место проведения, состояние здоровья и активности человека. Методы работы данных аппаратов основаны на фиксировании отклонения грудной клетки. Полученные сигналы обрабатываются с помощью компьютерной программы и представляются в графическом виде.

Контактные датчики

Контактные датчики — это датчики параметрического типа, принцип работы которых основан на изменении электрического напряжения при изменении механической величины. При достижении измеряемой величины определенного значения замыкаются или размыкаются электрические контакты, включенные в те или иные цепи, которые сигнализируют, что перемещение больше или меньше определенной величины.

Пьезоэлектрические датчики

Принцип работы пьезоэлектрического датчика основан на прямом пьезоэлектрическом эффекте, а именно на преобразовании механической энергии в электрическую. Возникновение пьезоэлектрического эффекта вызвано связью между электрическими и механическими свойствами материала, обычно — кристаллического.

Прикладывая механическое напряжение к пьезоэлементу, он поляризуется в указанном направлении, и между его гранями появляется электрическая разность потенциалов. Значение механического напряжения, приложенного к кристаллу, прямо связана с величиной его деформации, а, следовательно, и с разностью

потенциалов между его гранями. Это позволяет по измеренной величине напряжения узнать величину действующей на пьезокристалл силы.

Сложность, заключается в том, что пьезокристалл, как источник напряжения, подобен скорее заряженной емкости, чем батарее. Если пьезоэлектрик деформировать, и оставить его в этом состоянии, то напряжение между гранями уменьшится вследствие оседания на них ионов воздуха и тока, прошедшего через систему регистрации. Таким образом, при постоянной деформации пьезоэлемента напряжение будет уменьшаться, пока не достигнет нуля. Поэтому удобнее использовать пьезодатчик только при измерении относительно быстрых деформаций.

Термоанемометрические датчики

Термоанемометрические датчики потока. В результате развития технологии терморезистивных датчиков появились датчики с мостовым или дифференциальным способом включения чувствительных и нагревательных элементов, так называемый мостовой способ измерения массового расхода газа. В первом поколении датчиков этого типа использовались малые, нагретые спирали, расположенные под разными углами к вектору скорости потока. Разность температур, и следовательно сопротивлений спиралей, является функцией скорости потока.

Акселерометр

Акселерометр — прибор, измеряющий проекцию кажущегося ускорения (разности между истинным ускорением объекта и гравитационным ускорением). В простом виде акселерометр представляет собой чувствительный элемент, закрепленный на упругом подвесе. При его отклонение от первоначального положения можно определить направление изменения положения, а также величину ускорения.

1.2.2 Бесконтактные датчики

Принцип действия для бесконтактного датчика может быть основан на использовании эффекта Доплера, согласно которому, частота принятого сигнала, отраженного от цели может отличаться от частоты излучаемого сигнала и разница зависит от соотношения скоростей объектов относительно друг друга.[7]

Радиолокационные датчики

Использование электромагнитных волн обладает преимуществом, которое состоит в том, что они отражаются не от одежды, а от поверхности кожи. В основном отражение электромагнитных волн происходит на пограничных слоях между областями с различной электропроводностью. Поскольку воздух является электрическим изолятором, а одежда обычно также является изолятором, то отражение будет происходить фактически от поверхности кожи. В этом состоит значительное преимущество от использования электромагнитных волн. [8]

Лазерные датчики

С помощью лазерной интерферометрии можно измерять относительное перемещение с высокой точностью. Разность фаз между излучаемым лазерным лучом и отраженным лазерным лучом зависит от расстояния до отражающей цели, так что если наблюдать интерференцию отраженного луча и луча, совпадающего по фазе с излучением лучом, то интенсивность результата интерференции будет меняться периодически.

Ультразвуковой датчик

Ультразвук – это звуковые волны, имеющие частоту выше воспринимаемых человеческим ухом, обычно под ультразвуком понимают частоты выше 20 КГц.

Ультразвуковые волны имеют преимущества сильной направленности, низкого энергопотребления и дальнего распространения, поэтому в схеме

ранжирования с использованием комбинации сенсорной технологии автоматического управления ультразвуковое ранжирование в настоящее время является самым популярным и широко используется. Например: измерение уровня воды: строительная площадка и некоторые промышленные объекты. [9]

Второй раздел «Аппаратная часть датчика дыхания»

Данный датчик дыхания основан на микроконтроллере Arduino nano. В качестве детектора изменения объема грудной клетки используется ультразвуковой датчик HC-SR04. С помощью Bluetooth модуля JDY-30 сигнал передается для обработки на компьютер. Устройство работает от двух AA батареек. Так как при последовательном подключении батарей их напряжение составляет 3 В применяется повышающий DC-DC преобразователь MT3608. С его помощью получают напряжение 9В которое передается на контакт VIN микроконтроллера. VIN - это пин на Arduino для подключения источника питания с напряжением в рекомендуемом диапазоне от 7 до 12 вольт.

Ультразвуковой датчик HC-SR04

Ультразвуковой дальномер HC SR04 является прибором бесконтактного типа, и обеспечивает высокоточное измерение и стабильность. На его работу не оказывает существенного воздействия электромагнитные излучения и солнечная энергия.[10]

Состоит датчик из двух мембран, одна из которых генерирует направление звуковой волны, а другая принимает отраженное от цели эхо. Звуковой генератор (сенсор) излучает ультразвуковой импульс с некоторым периодом и запускает таймер. Вторая мембрана регистрирует эхо от объекта и останавливает таймер.

Принцип работы ультразвукового датчика показан на рисунке 11.

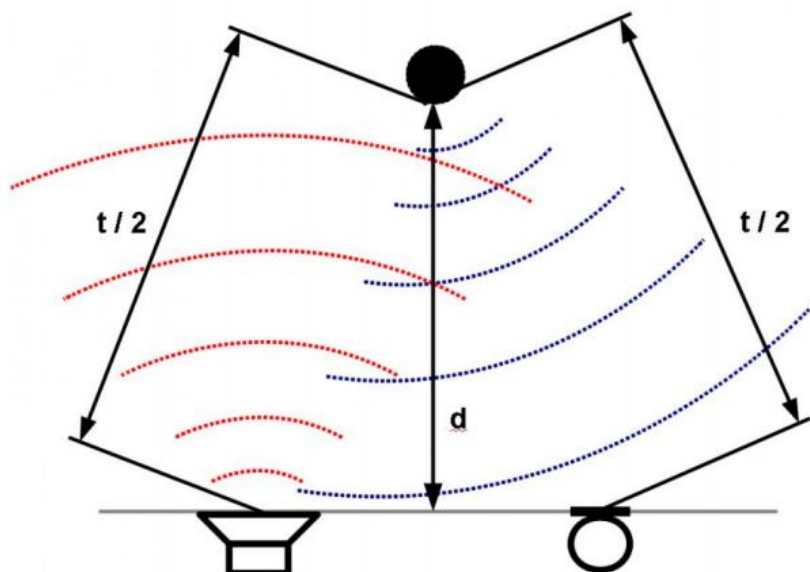


Рис. 11. Принцип работы ультразвукового измерителя

Расстояние можно рассчитать по времени таймера, который замеряет сколько времени прошло с момента отправки импульса и получения эха и скорости звука в воздухе по формуле:

$$S = \frac{t_{\text{в.у.}} \cdot V_{\text{зв}}}{2}$$

где S – расстояние от сенсора до объекта, $t_{\text{в.у.}}$ – время, за которое сенсор считывает эхо, $V_{\text{зв}}$ – скорость звука в воздухе.

Таким образом, сенсор принимает сигнал эха и выдает значение расстояния, которое кодируется длительностью электрического сигнала на выходе датчика. Излучение следующего импульса возможно только после считывания эха от предыдущего, по этой причине рекомендованный производителем период между импульсами должен быть не менее 50 мс.[11]

Ограничения датчика.

Теоретическое ограничение принципа работы, на котором основан ультразвуковой датчик, по частоте съема показаний можно рассчитать по формуле:

$$f = (V_{\text{зв}}/S)/2$$

где f – частота съема показаний, $V_{зв}$ – скорость звука в воздухе, S – расстояние от сенсора до объекта. [12]

Таким образом из рисунка 12 видно, что при расстоянии равном 30 см теоретическая окрайна чтения составляет 500 Гц, но так как высота кровати пациента может варьироваться, частота была установлена в 200 Гц. Данная частота позволяет установить датчик на расстоянии до 85 см.

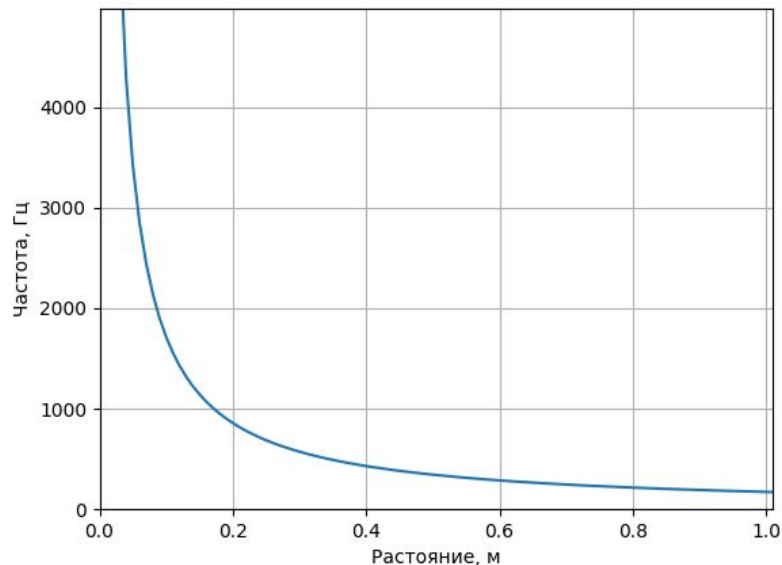


Рис. 12. График зависимости частоты от расстояния

Также присутствует ограничение у модуля Bluetooth. Максимальная пропускная способность: 16 Кбайт/с (Android, Windows), максимальное расстояние передачи составляет 30 метров.

Блок схема и принципиальная схема.

Источником электропитания прибора являются две батарейки типа АА, напряжение которых передается в преобразователь напряжения и далее на микроконтроллер. Микроконтроллер запускает сигнал ультразвукового датчика. Ультразвуковой датчик испускает волну звука. Звуковую волну, отразившуюся от объекта, фиксирует датчик и передает информацию обратно на микроконтроллер. Микроконтроллер обрабатывает полученные данные и отправляет их при помощи

Bluetooth на компьютер. В случае необходимости можно подать сигнал обратно с компьютера на Arduino. На рисунке 13 представлена блок схема датчика дыхания.

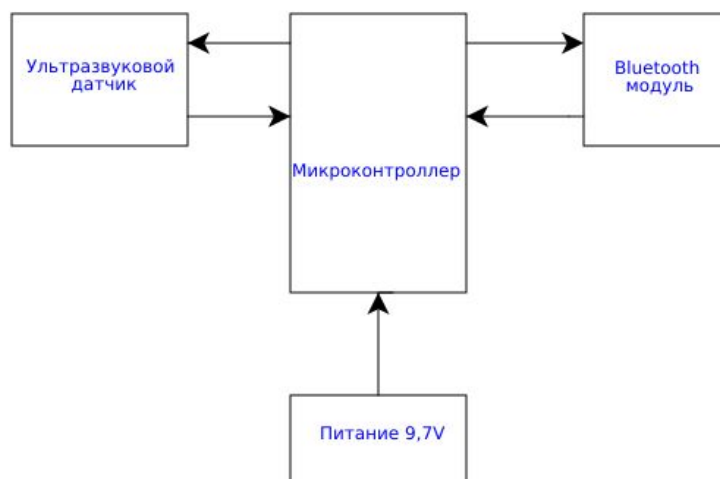


Рис. 13. Блок схема ультразвукового датчика дыхания

Как видно из рисунка две батарейки АА соединяются последовательно, что позволяет получить напряжение в 3V. Они соединяются с положительным и отрицательным входящим контактом на повышающем DC-DC преобразователе. От преобразователя с выходных ножек отходит питание на микроконтроллер к ножке GND и VIN. Далее от Arduino отходит на ультразвуковой датчик и на модуль Bluetooth. Контакты ECHO и TRIG на датчике соединяются с цифровыми контактами D8 и D7 на микроконтроллере соответственно. На Bluetooth модуле исходящий контакт RX соединяется со входящим контактом TX Arduino, а входящий TX и исходящим на микроконтроллере RX. На рисунке 14 изображена принципиальная схема устройства датчика.

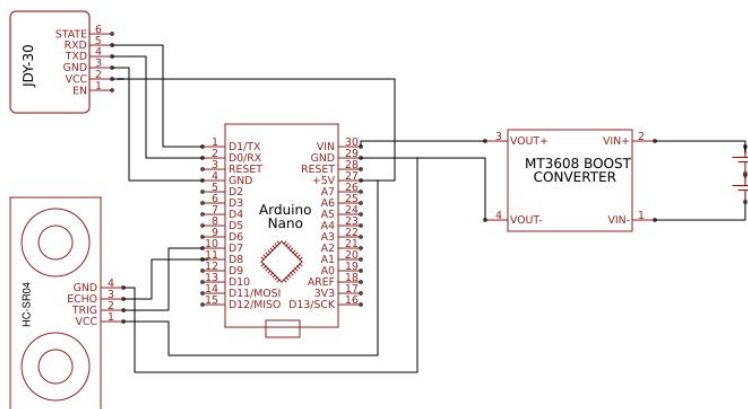


Рис. 14. Принципиальная схема ультразвукового датчика дыхания

Конструкция в сборе представляет собой небольшой короб размером длиной 9 см шириной 7 см и высотой 4,5 см. Выполнен из пластика в следствии чего имеет малый вес. На тыльной стороне имеется магнит для крепления к стойке над пациентом.



Рис. 15. Датчик дыхания в сборе

Третий раздел «Программная часть»

Программная часть состоит из скетча для Arduino Nano на языке Arduino с использованием библиотеки Newring. С помощью данной библиотеки можно легко работать с ультразвуковым датчиком. Данный скетч позволяет получать данные с HC-SR04 и отправлять на компьютер через Bluetooth модуль. Также он пересчитывает расстояние в сантиметры для удобства отображения.

Для отображения информации написана программа на языке Python.

Python — доступный для изучения язык программирования. Он позволяет использовать эффективные высокоуровневые структуры данных и предлагает простой, но эффективный подход к объектно-ориентированному программированию. Сочетание понятного синтаксиса и динамической типизации делает Python предпочтительным языком для написания сценариев и ускоренной разработки приложений в различных сферах и на большинстве платформ.[13]

Данная программа отображает график ЧДД в реальном времени и сохраняет данные для последующего изучения специалистом.

Также приложение анализирует ЧДД и при выявлении нарушений оповещает медицинский персонал при помощи отправки смс сообщений на номер дежурного врача.

Монитор дыхания

Окно программы создается с помощью библиотеки PyQt5.

PyQt – это набор Python-связей для фреймворка Qt от Digia. Qt — кроссплатформенный фреймворк для разработки программного обеспечения на языке программирования C++. s. [14]

Для отображения графика ЧДД в реальном времени была использована библиотека Matplotlib.

Matplotlib является гибким, легко конфигурируемым пакетом, который вместе с NumPy, SciPy и IPython предоставляет возможности, подобные MATLAB. В настоящее время пакет работает с несколькими графическими библиотеками, включая wxWindows и PyGTK. [15]

С помощью Matplotlib можно делать и анимированные изображения. [16]

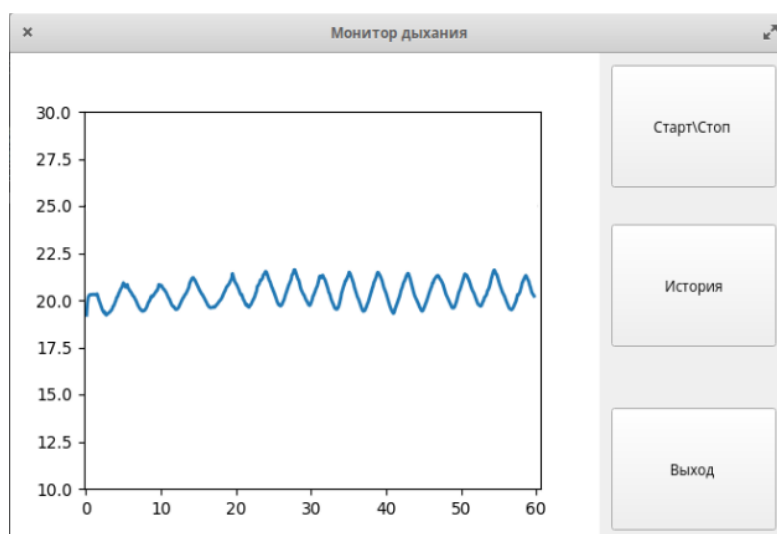


Рис. 16. Монитор дыхания.

Данный монитор позволяет останавливать работу датчика для изучения графика. Также программа записывает все показания в файл с указанием даты. Это позволяет изучить более подробно данные снятые с пациента.

Методы обработки

Спектром сигнала называется совокупность гармонических колебаний, из которых.

Спектральный анализ основывается на классических рядах Фурье и преобразовании Фурье. Ряды Фурье используются для периодических сигналов и сигналов, заданных на конечном интервале времени. Преобразование Фурье применяется для непериодических сигналов, заданных на всей временной оси.[17]

Основная задача спектрального анализа заключается в определении частотного спектра сигнала (функции). Любой сигнал может быть представлен своим частотным спектром. [18]

С данной задачей поможет справиться библиотека с открытым исходным кодом для языка программирования Python NumPy.

NumPy это open-source модуль для python, который предоставляет общие математические и числовые операции в виде пре-скомпилированных, быстрых функций.

SciPy (Scientific Python) расширяет функционал numpy огромной коллекцией полезных алгоритмов, таких как минимизация, преобразование Фурье, регрессия, и другие прикладные математические техники.[19]

Понимание частоты дыхания позволяет сделать предположения о виде дыхания. В ходе проведенного мной эксперимента выявлено что в нормальном состоянии частота сигнала ЧДД составляет от 0.2 Гц до 0.35 Гц. Исходя из этого можно задать границы частоты для оповещения медицинского персонала.

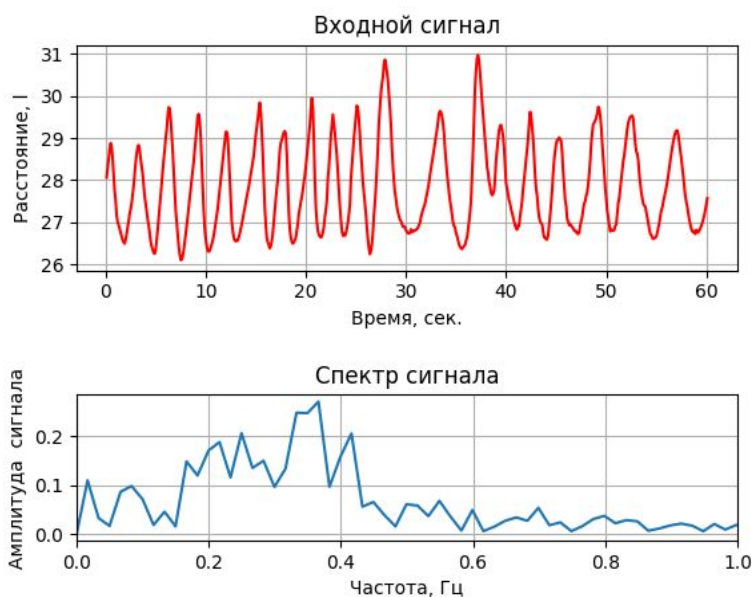


Рис. 17. График входного сигнала и его спектр.

Методы оповещения.

Важным аспектом работы монитора дыхания является оповещение медицинского персонала о состоянии пациентов.

Много сервисов предоставляют данные возможности, но для того, чтобы вставить в программу данный функционал, требуется открытое и удобное API (Application Programming Interface - интерфейс программных приложений — это установка функций и правил позволяющая взаимодействовать между программным обеспечением, которое предоставляет API и другими программными компонентами.) Этим критериям соответствует сервис smsc.ru.

Программа при преодолении заданных порогов частоты отправляет оповещения. Также подается сигнал, если расстояние до грудной клетки перестает меняться в течении 30 секунд.

Заключение

По результатам выполнения магистерской работы был проведен литературный обзор на тему физиологии дыхания и видов нарушения дыхательных ритмов, обзор способов измерения значения параметра ЧДД, обзор существующих приборов, предназначенных для измерения значения ЧДД.

Для реализации поставленной цели были изучены возможности ультразвуковых датчиков и микроконтроллеров Arduino. Проведен обзор способов оповещения медицинского персонала.

Также написаны программы для Arduino и для отображения графика ЧДД десктопное приложение. Приложение записывал и обрабатывает данные от Arduino в реальном времени

Была исследована частота дыхания для реализации оповещения сотрудников.

Список литературы

1. Губина, М. И. Физиология дыхания. Методическое пособие для студентов / М. И. Губина, В. А. Талалаева; Иркутск: ИГМУ, 2009. - 61 с.
2. Йонаш, В. Клиническая кардиология. / В. Йонаш; Прага: Гос. изд-во мед. лит, 1966. - 137 с.
3. Боброва, В. И., Никифоров, С. Н. Нарушение дыхания при патологии центральной нервной системы / В. И. Боброва, С. Н. Никифоров; Український неврологічний журнал. – 2013. – №. 2. – С. 20-27.
4. Клинические синдромы при заболеваниях органов дыхания : учебно-методическое пособие / Э. А. Доценко [и др.]. – Минск : БГМУ, 2018. – 40 с.
5. Чазова, И.Е. Синдром обструктивного апноэ во время сна и связанные с ним сердечно-сосудистые осложнения / И. Е. Чазова; Российский кардиологический журнал - 2006.- N 1.- С. 75 - 86.
6. Патологические типы дыхания при воздействии острой гипоксии / Н. С. Акопян [и др.]. – Авиакосмическая и экологическая медицина. – 2002. – Т. 36. – №. 1. – С. 32-37.
7. Дубнищев, Ю. Н., Ринкевичус, Б. С. Методы лазерной доплеровской анемометрии. / Ю. Н. Дубнищев, Б. С. Ринкевичус; М.: Наука, 1982. 303 с.
8. Duval, V. Analog Distance Sensing // Sensors magazine online. 2004. N 9
Электронный ресурс.: <http://www.sensorsmag.com/articles/0904/index.htm>.
9. Оценка функциональных резервов организма человека на основе метода ультразвуковой доплерографии / Н. А. Агаджанян [и др.] Физиология человека. – 2008. – Т. 34. – №. 3. – С. 65-69.
10. Каур, М., Пал, Дж. Измерение расстояния до объекта с помощью ультразвукового датчика HC-SR04 / М. Каур, Дж. Пал; Международный журнал научных исследований и разработок. - 2015. - Т. 3. - №. 05.

11. Ультразвуковой датчик измерения расстояния HC-SR04. / Жмудь В. А. [и др.] – 2017.
12. Кологривов, В. Н. Эффект Доплера в классической физике. / В. Н. Кологривов; — М.: МФТИ, 2012. — 32 с.
13. Олифант, Т. Е. Питон для научных вычислений / Т. Е. Олифант
Вычислительная техника в науке и технике. - 2007. - Т. 9. - №. 3. - С. 10-20.
14. Горожано А. И. PyQt 5 для лингвистов: профессиональноориентированное программирование: электронное учебное пособие для студентов лингвистических вузов и факультетов (бакалаврат и магистратура) / А. И. Горожанов. – М., 2014. – 201 с.
15. Van Der Walt, S., Colbert, S. C., Varoquaux, G. The NumPy array: a structure for efficient numerical computation / S. Van Der Walt, S. C. Colbert, G. Varoquaux; Computing in Science & Engineering. – 2011. – Т. 13. – №. 2. – С. 22.
16. Хантер, Дж. Д. Матplotlib: 2D графическая среда / Дж. Д. Хантер; Вычислительная техника в науке и технике. - 2007. - Т. 9. - №. 3. - С. 90.
17. Морозов, А. Н., Светличный, С. И. Основы фурье-спектро радиометрии. / А. Н. Морозов, С. И. Светличный; М.: Наука, 2006. 275 с
18. Цифровая обработка сигналов: Справочник. / Гольденберг Л. М. [и др.]; М.: Радио и связь, 1985.
19. Jones, E., Oliphant, T., Peterson, P. SciPy: Open source scientific tools for Python. / E. Jones, T. Oliphant, P. Peterson; – 2014.