

Министерство образования и науки Российской Федерации
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«САРАТОВСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ Н.Г.ЧЕРНЫШЕВСКОГО»

Кафедра динамического моделирования и биомедицинской инженерии

Разработка датчика дыхания на основе трехосевого
акселерометра

АВТОРЕФЕРАТ БАКАЛАВРСКОЙ РАБОТЫ

студента 4 курса 461 группы

направления 12.03.04 «Биотехнические системы и технологии»

факультета нано- и биомедицинских технологий

Андропова Егора Сергеевича

Научный руководитель

профессор, д.ф.- м.н., доцент

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

Саратов 2017

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы: Дыхание является жизненно важным процессом для человека [1]. Контроль органов дыхания человека весьма важен при диагностике различных заболеваний. Для этого применяют целый ряд диагностических методов. К ним относятся: рентгенография, рентгеноскопия, флюорография, компьютерная томография и многие другие методы [2].

Кроме того, важно также проводить мониторинг дыхания в случаях, когда контролируется дыхание лежачих больных и детей [3]. Для детей это особенно актуально, поскольку для самых маленьких это позволяет сократить случаи синдрома внезапной детской смертности. Во многих исследованиях снимают одновременно дыхание и другие сигналы сердечно-сосудистой системы (например, электрокардиограмму, фотоплетизмограмму, реограмму и др.) для установления синхронизованности ритмов регуляции [4] или направления взаимодействия подсистем человеческого организма [5].

Существует множество устройств, работающих на разных принципах, которые могут контролировать частоту и глубину дыхания. К ним относятся устройства с использованием ультразвуковых, газодинамических, тензометрических, анемометрических датчиков и др. [6].

Вместе с тем, актуальна проблема разработки легкого, удобного и чувствительного датчика, который может легко применяться для новорожденных, тяжелобольных и лежачих в коме.

Цель бакалаврской работы: разработать датчик дыхания на основе трехосевого акселерометра.

Поставленная цель определила **следующие задачи:**

1. Сделать обзор по методам оценки дыхательной активности.
2. Исследовать возможность использования трехосевого акселерометра в качестве датчика дыхания.
3. Разобраться с программированием передачи данных цифрового

датчика GY-521.

4. Подсоединить датчик к платформе Ардуино и написать программу передачи данных в компьютер.
5. Вывести данные, передаваемые от акселерометра, в файл данных.
6. Освоить фильтрацию временных рядов при помощи фильтров с конечной импульсной характеристикой
7. Написать программу фильтрации и отфильтровать экспериментальные временные ряды акселерометра.
8. Проанализировать полученные данные, сопоставить их с имеющимися записями дыхательной активности.

Структура и объём работы. Бакалаврская работа состоит из введения, 3 разделов, заключения, списка использованных источников и 4 приложений. Общий объём работы – 42 страницы, из них 33 страницы – основное содержание, включая 18 рисунков и 5 таблиц, список использованных источников информации – 22 наименования.

КРАТКОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Первый раздел «Датчики дыхания» посвящен обзору различных устройств для регистрации параметров дыхания.

При регистрации дыхательной активности могут быть использованы датчики, регистрирующие механические движения грудной клетки, либо поток вдыхаемого или выдыхаемого воздуха, а в некоторых случаях еще газовый состав выдыхаемого воздуха. Они могут работать на различных физических принципах. Рассмотрим некоторые из них.

1) Температурный датчик

Этот тип датчика определяет частоту дыхания путем регистрации более высокой температуры выдыхаемого и более низкой вдыхаемого воздуха. С помощью него так же иногда измеряют объем выдыхаемого воздуха. В основном применяется на новорожденных. Главным недостатком является маска, которая закрывает лицо, что доставляет дискомфорт пациенту. Например, при физической нагрузке она уменьшает обзор. [7]

2) Тензодачик

Этот тип датчика преобразует растяжение грудной клетки в электрический сигнал. Обязательно нужен опоясывающий ремень, что доставляет неудобства для тяжелобольных, или при исследовании лежащих в коме. [8]

3) Ультразвуковой датчик потока

Датчик состоит из сенсора скорости потока и сенсора давления. Также в него часто включают капнометрический и оксиметрический сенсоры, для расширения возможностей. С помощью них можно регистрировать состав дыхательного газа, что дает информацию о метаболизме. Основой метода измерения скорости потока является ламинарное течение потока.

При регистрации всех этих параметров в реальных условиях играют роль недостатки этого метода. Поток может быть турбулентным, что означает разные скорости отдельных зон потока. При этом датчик будет регистрировать с ошибками измерения. Так же, из-за того, что датчик должен

находится во влажной зоне, часто происходит выпадение конденсата, что сильно сказывается на точности.[6]

Все эти приборы имеют ряд недостатков, которые мешают правильному исследованию дыхания.

Второй раздел «Аппаратные и программные средства для разработки датчика дыхания» посвящен обзору всех составляющих датчика.

Устройство для измерения дыхания, которое я изготовил, основывается на ускорении грудной клетки при дыхании. Состоит из платы Arduino Nano и 3-х осевого акселерометра-гироскопа GY-521. С помощью платы Arduino Nano осуществляется управление модулем, а так же его связь с компьютером для передачи данных. Модуль GY-521 содержит трехосевой акселерометр, который понадобится для работы. Программирование датчика реализуется с помощью среды разработки Arduino на одноименном языке, который основан на языке C. Для визуализации на временных графиках из сохраненных данных для дальнейшего анализа осуществляется с помощью среды программирования Lazarus.

За счет малых размеров компонентов, сам прибор также имеет небольшие габариты по сравнению со многими другими датчиками. Также он будет удобен для тяжелобольных и лежащих в коме, так как его можно просто положить на грудную клетку для исследования дыхания.

Платформа Arduino Nano содержит в себе микроконтроллер ATmega328. Работает через кабель Mini-B USB, имеет малые размеры. Производит эту плату компания Gravitech. [14] Характеристики Arduino Nano представлены в таблице 1.

Таблица 1 Характеристики Arduino Nano.

Тип микроконтроллера	Atmega328
Рабочее напряжение	5В
Аналоговые входы	8
Цифровые входы и выходы	14

Flash-Память	32Кб
ОЗУ	2Кб
EEPROM	1Кб
Постоянный ток через вход/выход	40мА
Тактовая частота	16МГц
Размеры платы	1.85 см x 4.2 см

АТmega328 поддерживает интерфейсы I2C (TWI). Последовательная шина I2C используется для связи внешних компонентов с микроконтроллером. Для этого используются два вывода: SDA и SCL. Для использования шины I2C применяют библиотеку Wire.[15]

С помощью GY-521 через вектора силы тяжести и скорости вращения можно определить перемещение и положение аппарата в пространстве. Так же в этом модуле стоит маленький датчик температуры. При движении устройства, который содержит GY-521, определяется его угловая скорость и ускорение на трех осях, что дает информацию о положении прибора.

Микросхема MPU-6050, главными элементами которого являются гироскоп и акселерометр - это главный компонент модуля GY-521. Основой работы датчика дыхания на GY-521 является акселерометр. Суть его работы в том, что он регистрирует проекции суммы ускорения устройства и силы тяготения на трех осях: X, Y и Z. При дыхании грудная клетка человека с некоторым ускорением меняется в объеме. При вдохе расширяется, при выдохе сужается. Именно это ускорение грудной клетки регистрирует акселерометр.[16]

Данные с трехосевого акселерометра поступают в совокупности с шумом, который мешает правильному анализу дыхания. Для минимизации артефактов в моей работе будет использован цифровой фильтр. [18]

Третий раздел «Разработка и изготовление датчика дыхания на основе акселерометра и Arduino» посвящен реализации целей, поставленных в работе.

Сначала было произведено подключение модуля GY-521 к плате Arduino Nano. Далее в среде разработки Arduino я написал программу для считывания показателей с акселерометра через прерывания. [11]

Плата была подключена к компьютеру, после чего я загрузил программу в модуль. Полученные значения ускорения поступают в определенный COM-порт компьютера. Результат работы программы можно посмотреть через монитор порта, встроенного в среду разработки Arduino. На рисунке 1 представлены значения ускорения с акселерометра по трем осям, которые выводятся в монитор порта среды Arduino.

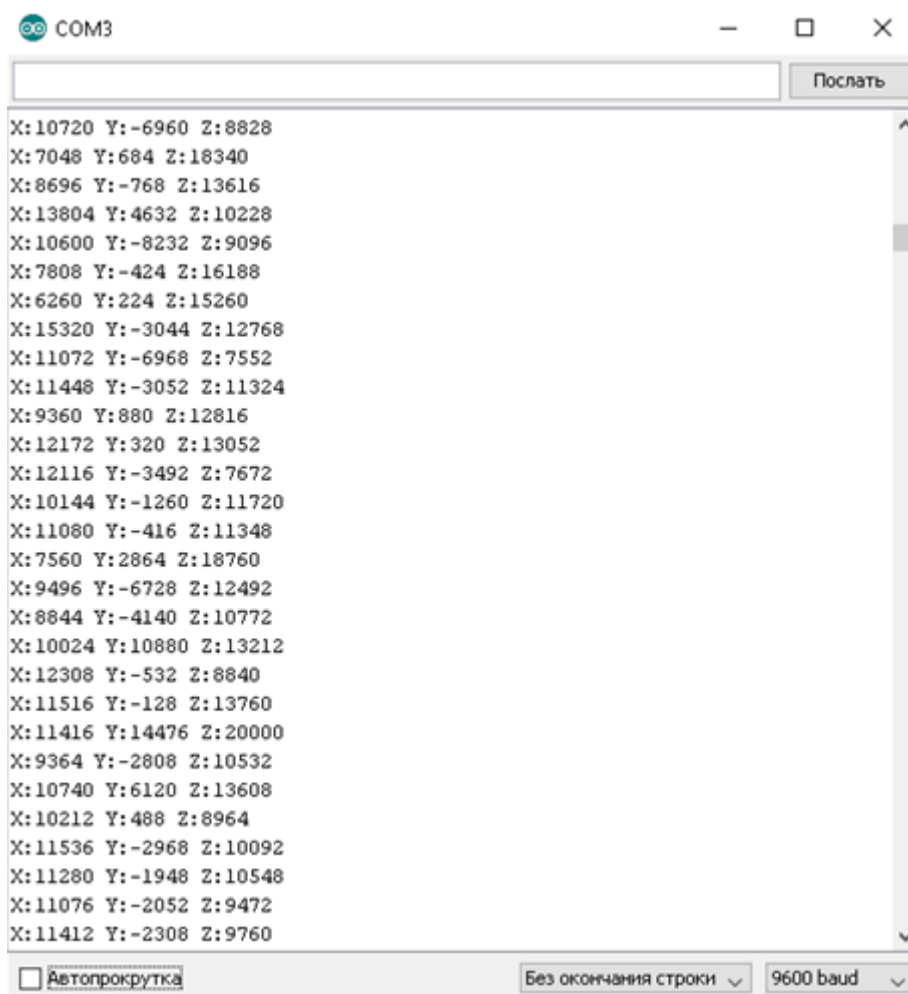


Рис.1 Монитор порта, на котором значения ускорения с акселерометра по трем осям.

Теперь этот датчик может быть использован для считывания частоты дыхания. Это реализуется путем приложения самого датчика к грудной клетке. При дыхании грудная клетка расширяется и обратно сужается, при этом датчик регистрирует ускорение ее движения с помощью трехосевого акселерометра. Считывание данных с модуля происходит с частотой дискретизации 40Гц.

Для визуализации полученных данных на графике я использую среду программирования Lazarus.[21] Для этого я прикрепил датчик к грудной клетке, записал и сохранил в файл около 9 дыхательных циклов. Запись данных в файл я осуществлял с помощью программы Terminal 1.9b. В среде Lazarus я написал код, для визуализации этих значений на графике. Графики дыхательных циклов представлены на рисунке 2.

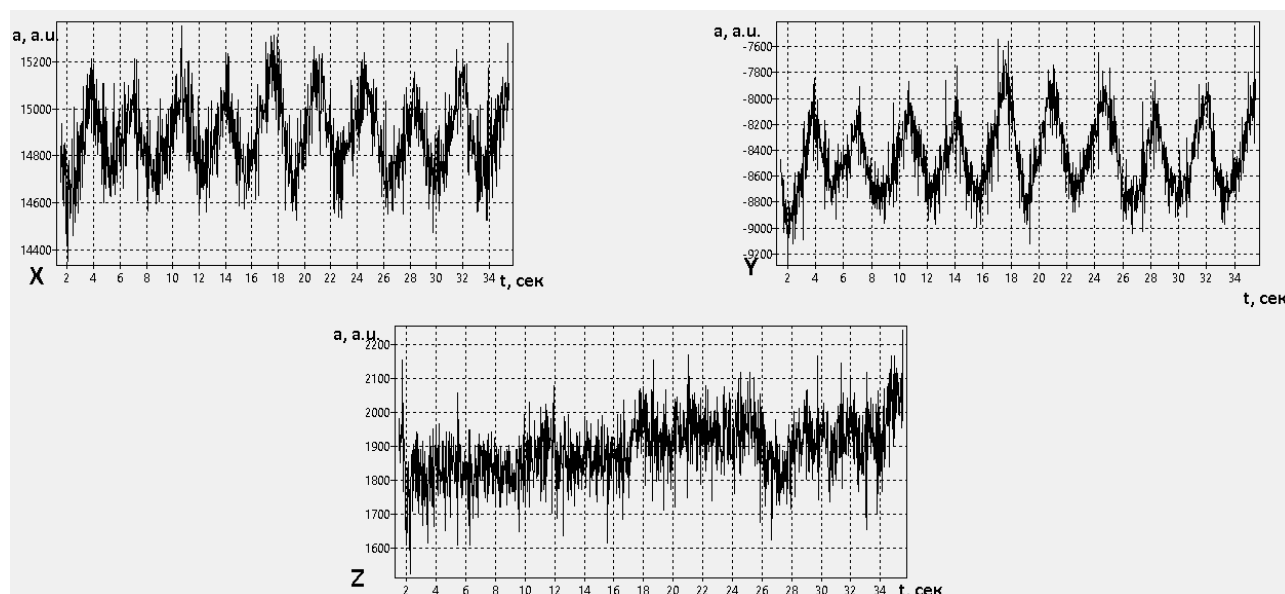


Рис.2 Графики дыхательных циклов по трем осям.

Несмотря на то, что данные сильно зашумлены, по осям X и Z явно виден ритм дыхания с частотой порядка 0.3 Гц.

Для сглаживания шумов я использовал КИХ-фильтр низких частот. Отдельно рассчитав частотную характеристику фильтра в готовой программе в Matlab, я использовал ее в своей программе, чтобы отфильтровать зашумленные данные путем их свертки. А так же избавился от тренда с

помощью процедуры вычитания из значений скользящей средней. Для этого я брал данные примерно на 2 периода дыхания, считал среднюю по ним и вычитал ее из первого значения. Далее перемещался на одну точку и проделывал ту же процедуру, но уже со сдвигом в эту одну точку. Конечные графики дыхания представлены на рисунке 3.

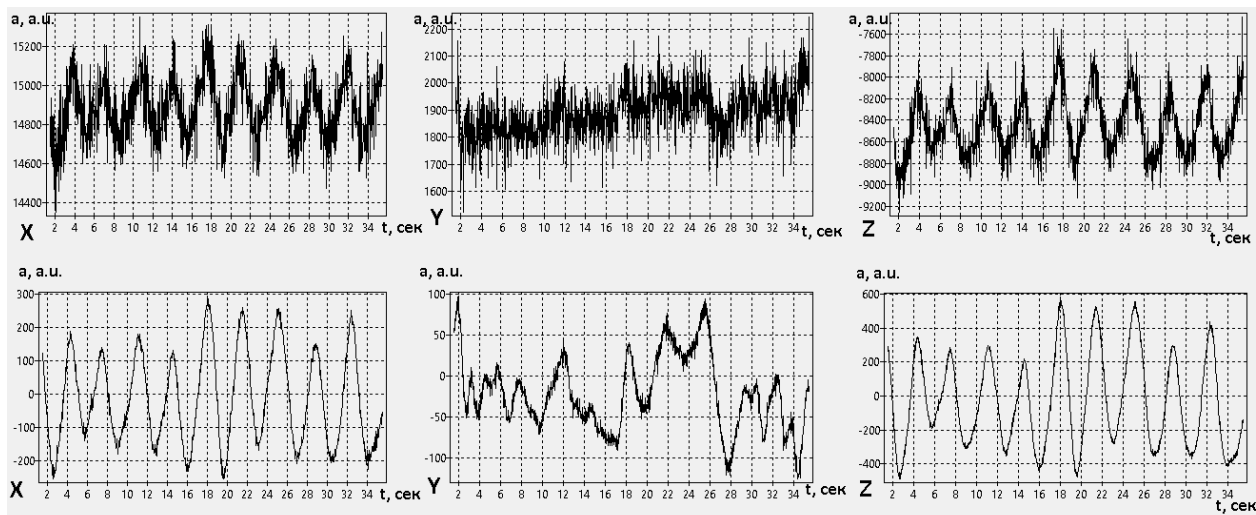


Рис.3 Графики дыхательных циклов по трем осям (фильтрованные и усредненные).

По полученному результату можно сделать вывод, что для анализа частоты дыхания лучше всего подходят графики по осям X и Z. На них меньше всего артефактов, лучше видна частота, амплитуда и другие параметры. Это связано с тем, что грудная клетка расширяется по диагонали (вверх и вперед). Поэтому это движение отображается на оси Z, которая направлена перпендикулярно грудной клетке, и на оси X, которая направлена вверх (рис.12).



Рис.4 Движение грудной клетки при произвольном дыхании человека. Точка начала координат примерно соответствует высоте установки датчика на груди.

Расширение грудной клетки имеет максимальную амплитуду в проекции по оси Z, что видно на графиках. Ее и стоит использовать для интерпретации показаний. На этой оси видны все дыхательные циклы, их амплитуду, время, за которое они были произведены.

Заключение

В ходе этой работы была выполнена задача: изготовление датчика дыхания на основе трехосевого акселерометра. Устройство получилось компактным, более удобным в применении, чем другие датчики, а главное по нему можно исследовать частоту дыхания человека. Написан код программы, позволяющей по прерыванию обмениваться данными датчика и Arduino, которая в свою очередь передает данные акселерометра в компьютер через USB-порт.

Для фильтрации данных, полученных с датчика, была написана программа на Lazarus, осуществляющая фильтрацию при помощи КИХ-фильтра.

В настоящем исполнении датчик подключается проводами к Arduino, однако поскольку эта платформа является очень гибкой, в дальнейшем можно дополнительно присоединить беспроводной интерфейс, что позволит сделать этот датчик беспроводным и еще больше повысить удобство его использования.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Физиология человека: Учебник/ В двух томах. Т. 1/ В.М. Покровский, Г.Ф. Коротько, В.И. Кобрин и др.; Под ред. В.М. Покровского, Г.Ф. Коротько. – М.: Медицина, 1997. – 448 с.: ил.
2. Огороков А.Н. Диагностика болезней внутренних органов: Т. 3. Диагностика болезней органов дыхания: — М: Мед. лит., 2000. — 464 с.: ил.
3. Babysense 5. Монитор дыхания ребенка. Инструкция по эксплуатации.
4. Киселев А.Р., Караваев А.С., Гриднев В.И., Прохоров М.Д., Пономаренко В.И., Боровкова Е.И., Шварц В.А., Посненкова О.М., Безручко Б.П. «Метод оценки степени синхронизации низкочастотных колебаний в вариабельности ритма сердца и фотоплетизмограмме», Кардио-ИТ, 2016, Т.3, В.1, е0101.
5. Хорев В.С., Пономаренко В.И., Прохоров М.Д. "Исследование направления связи между ритмами сердечно-сосудистой системы человека", Труды школы-семинара "Волны-2009", Звенигород, часть 2, стр. 25-26.
6. МедУнивер - Медицинский информационный портал [электронный ресурс], Режим доступа: <http://meduniver.com/Medical/Xirurgia/2145.html>, свободный.
7. Школьный мир: Учебное оборудование и учебно-наглядные пособия [электронный ресурс], Режим доступа: <http://td-school.ru/index.php?page=554/>, свободный.
8. Ezelectro История разработок 5 [электронный ресурс], Режим доступа: <http://ezelectro.narod.ru/history1/page1.html>, свободный.
9. Соммер У., Программирование микроконтроллерных плат Arduino/Freeduino, Издательство: БХВ-Петербург, Год: 2012.
10. Arduino-diy - проекты и обучающие уроки под Arduino [электронный ресурс], режим доступа: <http://arduino-diy.com/arduino-avtonomnaya->

- smart-mashina, свободный.
11. Аппаратная платформа Arduino [электронный ресурс]. Режим доступа: <http://arduino.ru/>, свободный.
 12. У Самоделкина - Самоделки своими руками, сделай сам [электронный ресурс], режим доступа: <https://usamodelkina.ru/6824-kvadrokopter-na-arduino.htm>, свободный.1
 13. В.Н. Баранов, Применение микроконтроллеров AVR: схемы. алгоритмы, программы, издательство: Додэка XXI, год: 2006.
 14. Виктор Петин, Проекты с использованием контроллера Arduino, 2-е издание, Издательство: БХВ-Петербург, Год: 2015.
 15. Б.Ю. Семёнов, Шина I2C в радиотехнических конструкциях, издательство: СОЛОН-Р, год: 2002.
 16. Arduino-Kit - модули, датчики и сенсоры [электронный ресурс]. Режим доступа: <https://arduino-kit.ru/>, свободный
 17. Д.С. Федоров, А.Ю. Ивойлов, В.А. Жмудь, В.Г. Трубин, Использование измерительной системы MPU 6050 для определения угловых скоростей и линейных ускорений, год: 2015.
 18. Программирование для школьников. Паскаль, Lazarus. [электронный ресурс]. Режим доступа: <http://gospodaretsva.com/2269.html>, свободный.
 19. Гарри Лэм, Аналоговые и цифровые фильтры Москва, Издательство: Мир, Год: 1982.
 20. Киселев А.Р., Караваев А.С., Гриднев В.И., Учебно-методическое пособие “Использование радиофизических методов в медицине”, год: 2017.
 21. Джереми Блум. Изучаем Arduino Издательство: БХВ-Петербург Год издания: 2015
 22. Мансуров К.Т. , Основы программирования в среде Lazarus, Год: 2010.