

УДК 615.4

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ДЛЯ ДИАГНОСТИКИ СИНДРОМА ОБСТРУКТИВНОГО АПНОЭ СНА



И.И. Ревинская
Магистрант БГУИР,
ассистент кафедры ЭТТ
БГУИР



П.В. Камлач
Доцент кафедры
ЭТТ БГУИР, кандидат
технических
наук, доцент



С.И. Мадвейко
Заведующий кафедрой ЭТТ
БГУИР, кандидат
технических наук, доцент



В.М. Бондарик
Декан ФДПиПО, кандидат
технических наук



В.О. Далидович
Студент БГУИР



Д.В. Апанасик Студент
БГУИР

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, Республика Беларусь
Email: irewinskaya.bsuir@gmail.com, kamlachpv@bsuir.by

И.И. Ревинская

Окончила Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники. Магистрант и ассистент кафедры электронной техники и технологии. Область научного интереса – гастрография, методы регистрации и обработки пневмограмм.

П.В. Камлач

Окончил Белорусский государственный университет. Доцент, кандидат технических наук, доцент кафедры электронной техники и технологии БГУИР.

С.И. Мадвейко

Окончил Полоцкий государственный университет. Заведующий кафедрой электронной техники и технологии БГУИР. Доцент, кандидат технических наук.

В.М. Бондарик

Образование: 1983-1988 – Минский радиотехнический институт, специальность «Конструирование и производство радиоаппаратуры», квалификация – инженер-конструктор-технолог.

В.О. Далидович

В 2016 году поступил в БГУИР на специальность Медицинская электроника. В настоящее время является сотрудником компании IDT Belarus.

Д.В. Апанасик

В 2016 году поступил в БГУИР на специальность Медицинская электроника. В школьное время участник и призёр городских олимпиад по информатике и истории.

Аннотация. Разработан аппаратно-программный комплекс «Mobi-PM» для дистанционного мониторинга дыхания у детей и взрослых с возможностью фильтрации полученных данных в режиме реального времени.

Ключевые слова: внешнее дыхание, пневмография, акселерометр, скользящий усредняющий фильтр, фильтр нижних частот.

Введение. Одним из распространенных заболеваний в настоящее время является синдром обструктивного апноэ сна у детей и взрослых. Синдром обструктивного апноэ сна (СОАС) – это состояние, характеризующееся наличием храпа, периодическим спадением верхних дыхательных путей на уровне глотки и прекращением легочной вентиляции при сохраняющихся дыхательных усилиях, снижением уровня кислорода крови, грубой фрагментацией сна и избыточной дневной сонливостью [1]. На рисунке 1 изображены кривые дыхания, снятые с помощью полиграфа. Исчезновение дыхательного потока через рот и нос происходит на фоне сохраняющихся дыхательных движений живота и грудной клетки.



Рисунок 1. – Обструктивные апноэ (фрагмент записи ночного исследования), снятые с помощью полиграфа

Существует множество методов, позволяющих диагностировать синдром обструктивного апноэ сна, одним из которых является пневмография. Предложенный нами метод исследования позволяет регистрировать частоту дыхания, длительность вдоха и выдоха, ритм и тип дыхания. Аппаратно-программный комплекс «Mobi-PM» может быть использован для определения остановки дыхания во время сна.

Аппаратная часть. В структуру комплекса «Mobi-PM» входят два датчика дыхания, два канала блока усиления сигналов и фильтрации, блок управления (микроконтроллер), сенсорный дисплей, блок питания, гальваническая развязка и интерфейс передачи данных Wi-Fi (рисунок 1) [2].

В блок усиления входит инструментальный усилитель, который обладает высоким входным сопротивлением и обеспечивает подавление синфазной составляющей. С выхода усилителя сигнал поступает на блок фильтрации, который представляет собой последовательное включение режекторного фильтра и фильтра нижних частот. Режекторный фильтр предназначен для ослабления сигнала наводки 50 Гц от сети переменного тока. Фильтр нижних частот служит для выделения полосы частот от 0,1 до 10 Гц, содержащей полезный сигнал. С блока фильтров сигнал поступает на вход аналогово-цифрового преобразователя микроконтроллера, где аналоговый сигнал преобразуется в цифровую форму, с последующей визуализацией на дисплее устройства.

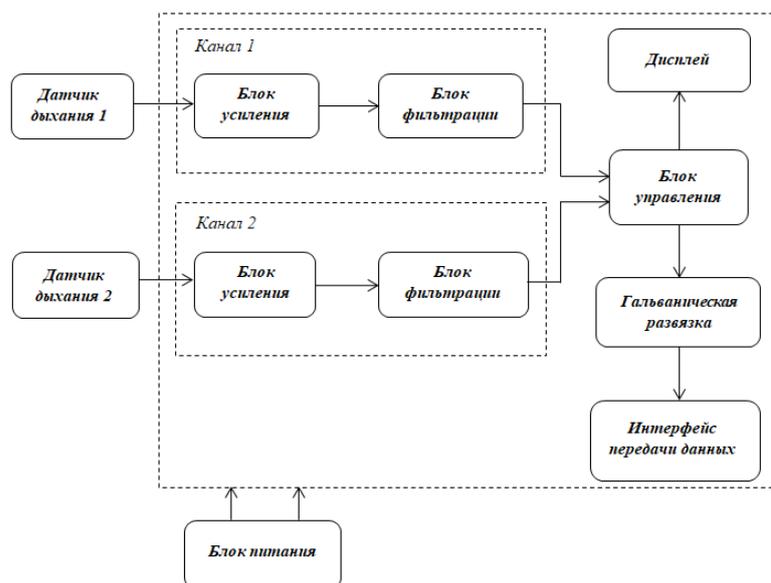


Рисунок 2. – Структурная схема комплекса «Mobi-PM»

Для визуализации параметров использован сенсорный 3,5" дисплей TFT разрешением 640x480 для хорошего визуального восприятия и читабельности текста. Дисплей подключен к микроконтроллеру по шине SPI, обеспечивая управление и передачу данных на экран. Блок питания необходим для питания микросхем, микроконтроллера и дисплея. Гальваническая развязка позволяет передавать информационный сигнал между электрическими цепями, не имеющими непосредственного электрического контакта между ними. Интерфейс Wi-Fi позволяет передавать данные на персональный компьютер.

Датчики дыхания размещаются с помощью ремешков на области грудной клетки и живота обследуемого (рисунок 2).

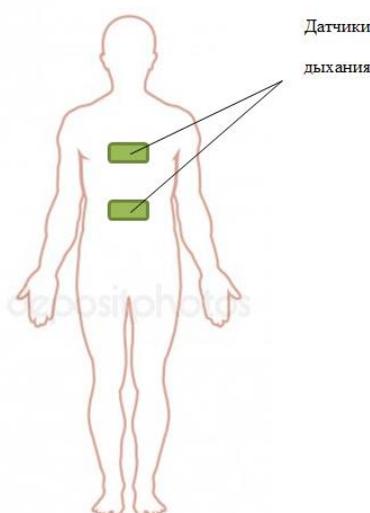


Рисунок 3. – Схема размещения датчиков дыхания

Для исследования механической активности биообъектов широкое применение находят МЭМС-акселерометры, позволяющие с высокой точностью измерять такой параметр движения, как ускорение [3]. В комплексе «Mobi-PM» датчиком дыхания является трехосевой акселерометр, который имеет малые габаритные размеры, малую массу. Акселерометр

измеряет суммарный вектор ускорения, обусловленный движением грудной клетки и ускорением свободного падения, и силы тяготения на трех осях: X, Y и Z. Во время дыхания грудная клетка человека с некоторым ускорением меняется в пространстве. Специальное программное обеспечение (ПО) фиксирует проекции изменения положения датчика по трем плоскостям и определяется суммарный вектор ускорения перемещения грудной клетки:

$$A = \sqrt{a_x^2 + a_y^2 + a_z^2}, \quad (1)$$

где a_x , a_y и a_z – проекции изменения положения датчика на оси X, Y и Z, соответственно.

Программная часть. Аппаратно-программный комплекс «Mobi-PM» позволяет непрерывно передавать данные с датчика устройства на компьютер с помощью беспроводной сети (Wi-Fi) и отображать графики в режиме реального времени как на устройстве (рисунок 3), так и на компьютере. Передача данных осуществляется с использованием протокола UDP.

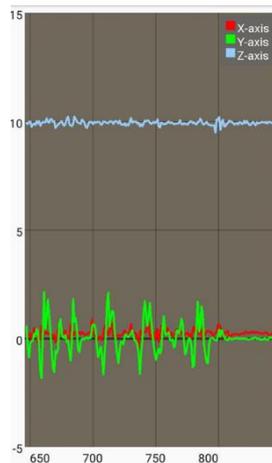


Рисунок 4 – Отображение графиков в реальном времени на индикаторе устройства «Mobi-PM»

Программное обеспечение аппаратной части комплекса «Mobi-PM» позволяет регистрировать данные с датчиков с частотой 100 Гц, передавать информацию на компьютер в режиме реального времени, а также визуализировать пневмограммы на дисплее устройства и в рабочем окне клиентского приложения на компьютере. Для реализации клиентского приложения (рисунок 4) Windows была выбрана технология WPF, обладающая высокой производительностью за счет использования аппаратного ускорения графики через DirectX.

Клиентское приложение позволяет получать и визуализировать данные с датчиков в режиме реального времени с помощью Wi-Fi, обрабатывать данные, вести базу данных пациентов.

Цифровая обработка данных. Для обработки полученных пневмограмм с помощью комплекса «Mobi-PM» была поставлена задача устранения помех с помощью цифровых фильтров. Аналоговые фильтры используются для тех же задач, однако в совокупности с цифровой фильтрацией обеспечивают значительно лучшие результаты.

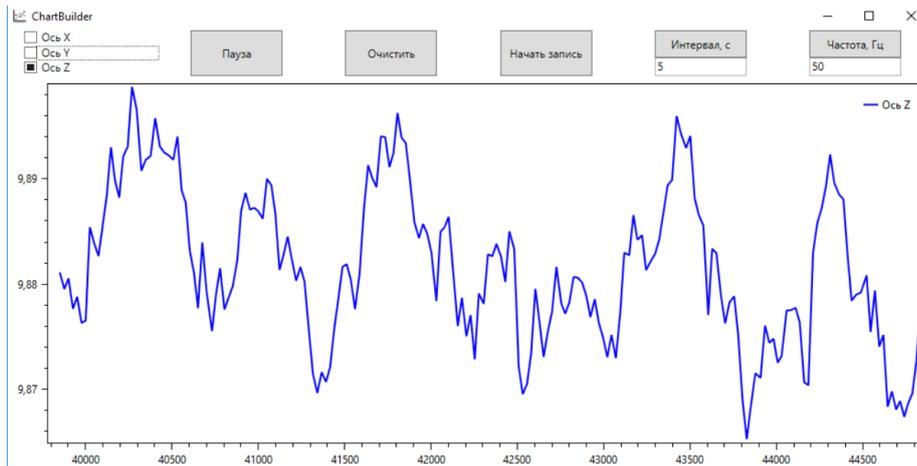


Рисунок 5. – Рабочее окно клиентского приложения Windows комплекса «Mobi-PM»

На рисунке 5 представлен пример полученной пневмограммы снятой с помощью разработанного устройства «Mobi-PM». Фильтрация данных производилась с помощью скользящего усредняющего фильтра. Он осуществляет усреднение некоторого числа точек из входного сигнала для вычисления каждой точки в выходном сигнале [4].

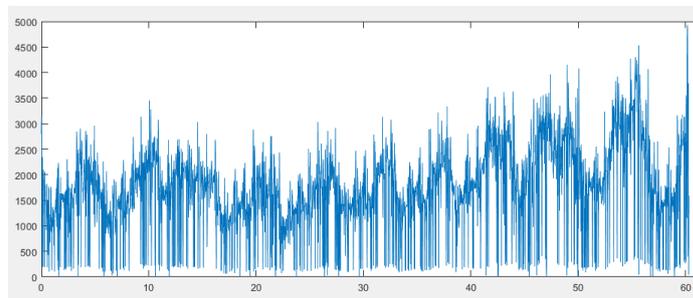


Рисунок 6. – Пример исходного сигнала

Формула (1) представляет уравнение однородного нерекурсивного фильтра[5]:

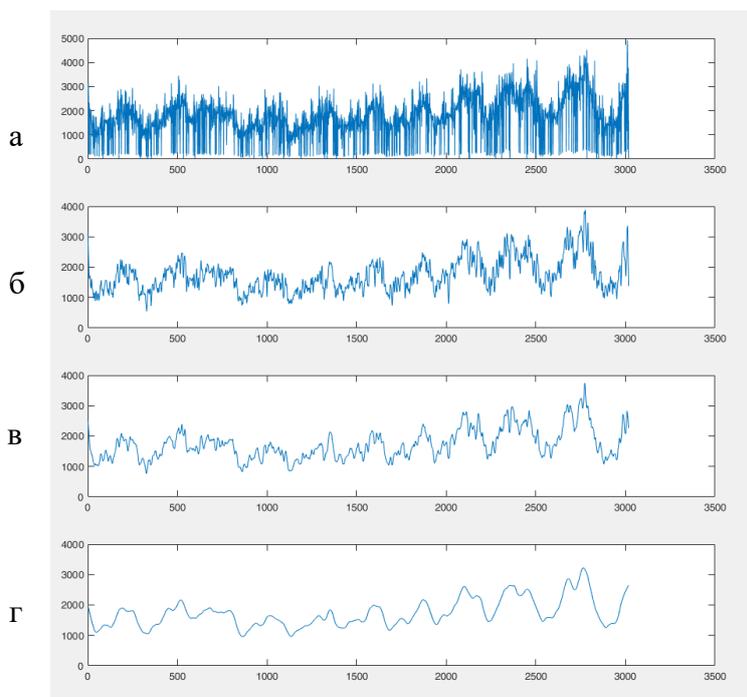
$$y[i] = \frac{1}{M} \sum_{j=0}^{M-1} x[i + j], \quad (2)$$

где $x[]$ – входной сигнал,
 $y[]$ – выходной сигнал,
 M – число усредняемых точек.

На рисунке 6 показан результат сглаживающего действия скользящего усредняющего фильтра, где можно заметить уменьшение амплитуды случайного шума и уменьшение резкости краев. В нашем случае при 70 точках усреднения шум уменьшится примерно в 8 раз.

Кроме того, в среде Matlab есть возможность использовать приложение Signal Analyzer. Данное приложение является интерактивным инструментом для визуализации, предварительной обработки, измерения, анализа и сравнения сигналов во временном интервале. Используя приложение можно применять пользовательские функции

предварительной обработки, что удобно при длительном мониторинге дыхания. На рисунке 7 представлен оригинальный z01original и сглаженный сигнал z01:



Исходный сигнал; б) при $m = 7$ точках усреднения; в) $m = 20$; г) $m = 70$
Рисунок 7. –Результат работы скользящего усредняющего фильтра

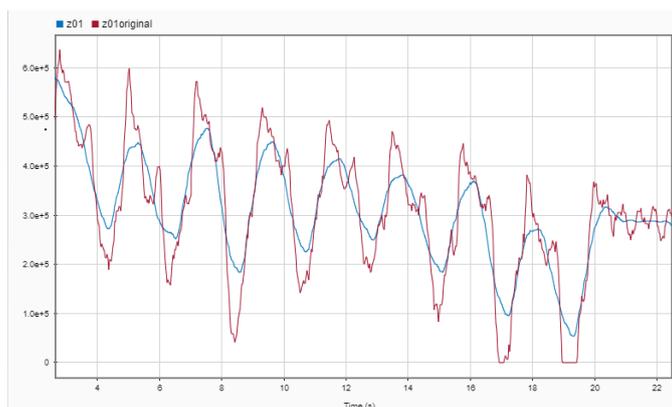


Рисунок 8. – Оригинальный и сглаженный сигналы в приложении Signal Analyzer

Для генерации кода в Matlab можно автоматически генерировать скрипты выполненных команд в приложении Signal Analyzer. Для сглаживающего фильтра он имеет следующий вид:

```
function y = preprocess2(x,Ts)
tv = (0:length(x)-1)*Ts;
if isduration(Ts)
    Ts = seconds(Ts);
end
Fs = 1/Ts;
x = lowpass(x,10,Fs,'Steepness',0.8499,'StopbandAttenuation',60);
y = smoothdata(x,'lowess','SamplePoints',tv);
```

Фильтрация дрейфа базовой линии представлена на рисунке 8 путем вычитания линии тренда от базового сигнала:

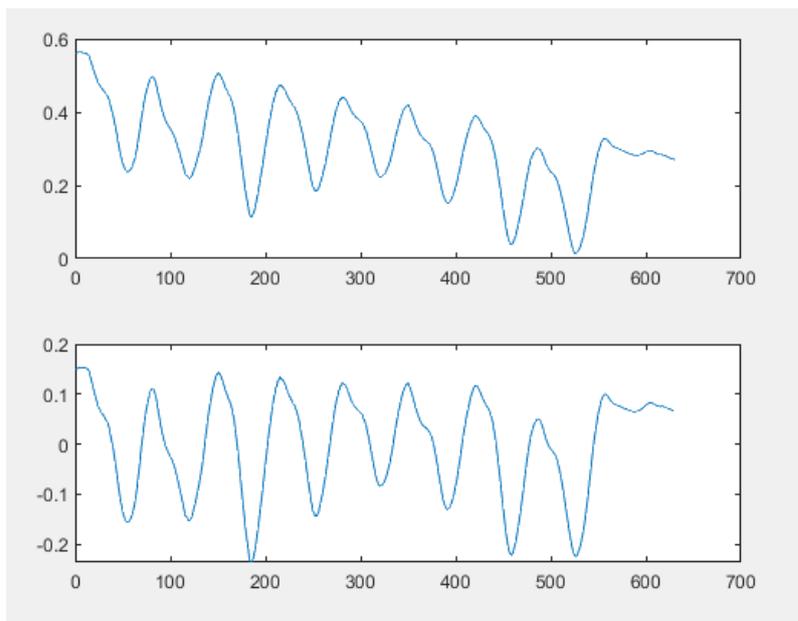


Рисунок 9. – Сигнал пневмограммы после фильтрации дрейфа базовой линии

Скрипт работы программы имеет следующий вид:

```
fs = 1;
L = length(z01copy);
t = (0:L-1)/fs;
y1 = detrend(z01copy);
n = 3;
c = polyfit(t, z01copy', n);
p = polyval(c, t);
y2 = z01copy - p';
plot(t, [z01copy y1 y2]); grid on
legend('Исходный сигнал (ИС)',...
       'ИС+detrend',...
       ['ИС+вычитание полинома ' num2str(n) '-ой степени'],...
       'location', 's')
```

Заключение. Разработанный аппаратно-программный комплекс позволяет регистрировать основные параметры внешнего дыхания пациента и может быть использован для определения остановки дыхания во время сна. Предусмотрена непрерывная передача данных с датчиков на компьютер и обработка полученных данных в режиме реального времени.

Список литературы

- [1] Р.В., Ерошина В.А., Легейда И.В. Храп и синдром обструктивного апноэ сна (учебное пособие для врачей). Москва, 2007.
- [2] для регистрации параметров внешнего дыхания / И.И. Ревинская, П.В. Камлач, П.П. Королевич, В.И. Камлач, С.И. Мадвейко, А.Г. Капитанчук, Д.П. Куничников // Медэлектроника2018. Средства медицинской электроники и новые медицинские технологии : сб. науч. ст. XI Междунар. науч.-техн. конф., 5-6 дек. 2018г. / Белорус. гос. ун-т информатики и радиоэлектроники. Минск, 2018. С. 206208.

[3] Н.А. Проектирование биотехнических систем медицинского назначения. Средства оценки состояния биообъектов: учебник/ Н.А. Корневский, З.М. Юлдашев. Старый Оскол: ТНТ, 2018. 456 с.

[4] линейной фильтрации в оценке параметров дыхания / И.И. Ревинская, П. В. Камлач, С. И. Мадвейко, А.А. Косарева, В.М. Бондарик // BIG DATA and Advanced Analytics = BIG DATA и анализ высокого уровня : сб. материалов V Междунар. науч.-практ. конф. (Республика Беларусь, Минск, 13-14 марта 2019 года). В 2 ч. Ч.2 /редкол. : В. А. Богущ [и др.]. Минск : БГУИР, 2019. С. 2733.

[5] параметров дыхания при занятиях оздоровительной физкультурой / И. И. Ревинская // Опыт и современные технологии в развитии оздоровительной физической культуры, спортивных игр и туризма [Электронный ресурс] : материалы науч.-практ. конф. с междунар. участием, посвящ. 85-летию д-ра пед. наук, проф., Заслуж. тренера БССР, отличника образования Респ. Беларусь А. Г. Фурманова и 45-летию созд. им науч.-пед. шк., Минск, 20 июня 2019 г. / Белорус. гос. ун-т физ. культуры ; редкол. : В. Н. Ананьева, А. А. Михеев, Г. А. Рымашевский. – Минск : БГУФК, 2019. – 1 электрон. пот. диск (CD-ROM). – Объем электрон. дан. 1,78 Мбайт С. 4850.

HARDWARE AND SOFTWARE COMPLEX FOR IDENTIFYING OBSTRUCTIVE SLEEP APNEA

I.I. REVINSKAYA
*Master student of Electronic
Technology and Engineering*

P.V. KAMLACH
*PhD, Associate Professor of
the Electronic Technology and
Engineering.*

S.I. MADVEIKO
*PhD, Associate Professor,
Head of department of
Electronic Technology and
Engineering.*

V. M. BONDARIK
*Dean of the faculty of pre-
University training and
vocational guidance,
candidate of technical
Sciences*

V.O. DALIDOVICH
Student of BSUIR

D.V. APANASIK
Student of BSUIR

*Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Republic of Belarus
Email: irewinskaya.bsuir@gmail.com, kamlachpv@bsuir.by*

Abstract. The Mobi-PM hardware-software complex was developed for remote monitoring childrens and adults respiration in children

Keywords: external respiration, pneumography, strain sensor, accelerometer, moving average filter, low-pass filter.