

## ПОРТАТИВНОЕ УСТРОЙСТВО ИЗМЕРЕНИЯ СКОРОСТИ КРОВОТОКА

*Захарова Е.А.*

*Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники,  
г. Минск, Республика Беларусь*

*Научный руководитель: Лушакова М.С. – ст. преподаватель кафедры ЭТТ*

**Аннотация.** Разработано портативное устройство измерения скорости кровотока с функцией сохранения результатов исследования на съемный накопитель на базе микроконтроллера типа ATmega328. Исследован метод измерения скорости кровотока с помощью доплеровского сдвига частот. Обоснована практическая ценность портативного устройства данного назначения. Использованы интерфейсы передачи данных SPI (сокращение от Serial Peripheral Interface) и I<sup>2</sup>C (сокращение от Inter-Integrated Circuit).

**Ключевые слова:** кровоток, измерение скорости, скорость кровотока, портативное устройство, микроконтроллер.

**Введение.** Одним из ключевых показателей состояния здоровья человека является скорость кровотока, так как ее отслеживание позволяет своевременно выявить патологии, такие как атеросклероз, тромбоз, сосудистая недостаточность и другие [1]. Однако чаще всего для измерения используют специализированное оборудование, которое невозможно применять при первой медицинской помощи или в бытовых условиях для контроля состояния людей, находящихся в группе риска, так как они имеют несколько недостатков:

- для работы с оборудованием персоналу необходимо обучение базовому функционалу;
- устройства являются стационарными или возимыми, что вызывает сложности при перемещении оборудования силами одного человека;
- переносные оборудования чаще состоят из нескольких составных частей, а также требуют специализированного программного обеспечения для работы с ними;
- часто измерение скорости кровотока не является основной функцией оборудования, поэтому приобретение таких устройств исключительно для решения данной задачи является нецелесообразным.

Рассмотрен метод портативного контроля скорости кровотока, применение которого возможно как в условиях медицинского исследования в специализированных центрах, так и в домашних условиях.

**Основная часть.** Устройство предназначено для локального измерения линейной скорости кровотока в проблемных областях пациента, например, конечностей, в областях наиболее высокой просвечиваемости сосудов. Методика измерения скорости кровотока основана на эффекте Доплера, который заключается в следующем: ультразвуковой датчик, состоящий из приемника и излучателя ультразвуковых волн, под углом больше или меньше 90° направляется на сосуд, излучатель испускает какое-то количество волн, одновременно с этим детектор улавливает отраженную от кровяных телец часть колебаний. Преобразователь вычисляет разность выпущенных и принятых частот, что является доплеровским сдвигом частот, который рассчитывается по формуле 1:

$$F_{\text{доп}} = f_{\text{пр.}} - f_{\text{изл.}}, \quad (1)$$

где  $f_{\text{пр.}}$  – частота принятых ультразвуковых волн;  
 $f_{\text{изл.}}$  – частота выпущенных ультразвуковых волн.

В случае, когда излучающий и приемный элементы ультразвукового преобразователя конструктивно объединены, расчет скорости производится согласно формуле 2:

$$F_{\text{доп}} = \pm 2f_{\text{изл.}} \left( \frac{V}{C} \right) \cos \alpha, \quad (2)$$

где  $C = 1540$  м/с – средняя скорость распространения ультразвуковых колебаний в биологических тканях;

$\cos \alpha$  – линейный угол наклона ультразвуковой волны относительно сосуда.

Таким образом, скорость кровотока согласно применяемому эффекту Доплера, вычисляется согласно формуле 3:

$$V = \pm F_{\text{доп}} C / 2f_{\text{изл.}} \cos \alpha, \quad (3)$$

При условии, что у человека в кровяном русле присутствуют отражатели, которые движутся с различными скоростями и в различном направлении, а скорость самого потока не является постоянной величиной и меняется в зависимости от фазы сердечного цикла, можно сделать вывод, что величина доплеровского сдвига также постоянно изменяется. Таким образом, для расчета реальной скорости кровотока необходимо взять усредненную величину, зависящую от длительности временного интервала обсчета [2].

Основой устройства является микроконтроллер *ATmega328*, который имеет как аналоговые, так и цифровые выводы, измерение и обработка полученных данных производится через аналого-цифровой преобразователь (АЦП) [3]. Данный тип микроконтроллеров используется в миниатюрных платах семейства *Arduino*, однако для данного устройства используется исключительно микроконтроллер, с целью уменьшения габаритов устройства, посредством расположения всех необходимых радиоэлементов на одной печатной плате, как управляющих, так и периферийный.

Ниже на рисунке 1 представлена структурная схема портативного устройства измерения скорости кровотока.

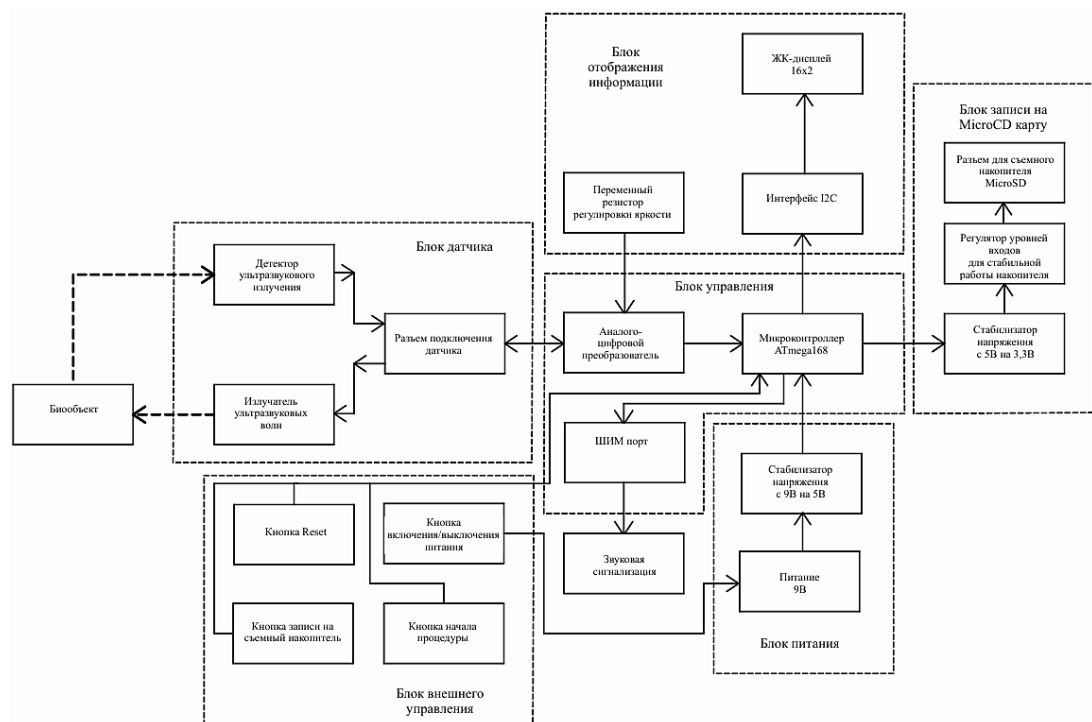


Рисунок 1 – Структурная схема портативного устройства измерения скорости кровотока

Устройство имеет следующий принцип работы: после нажатия кнопки включения на дисплее высвечивается сообщение: «Для начала измерения нажмите кнопку СТАРТ». Перед началом исследования приемник-излучатель прибора необходимо установить под углом больше или меньше 90 градусов относительно исследуемой области, после чего нажать кнопку СТАРТ. Во время измерения в режиме реального времени излучатель испускает ультразвуковые волны, одновременно с этим приемник принимает волны, отраженные от кровяных телец и после аналого-цифрового преобразования, рассчитывает скорость кровотока по заданному алгоритму. Каждое рассчитанное значение скорости кровотока отображается на дисплее в первой строке, во второй строке дисплея указывается средняя скорость кровотока. При нажатии на кнопку сохранения результатов, на схемный накопитель будут записаны показания скорости кровотока, снятые с момента начала исследования. Для окончания измерения необходимо повторно нажать кнопку СТАРТ. Питание выключается отжатием кнопки включения.

Питание данного устройства осуществляется посредством перезаряжаемой батареи с напряжением 9 В, так как данный аккумулятор позволяет обеспечить необходимое напряжение во всей цепи и имеет сравнительно минимальные размеры по сравнению с шестью перезаряжаемыми батареями на 1,5 В. Все периферийные устройства питаются непосредственно от микроконтроллера, а так как микроконтроллеру необходимо питание не более 5,5 В, предусмотрен стабилизатор напряжения с 9 В до 5 В.

Преимуществом в функциональности данного устройства перед зарубежными аналогами является функция записи данных исследования на съемный накопитель. Что позволяет сохранять историю диагностики и проследивать динамику изменения состояния показателя.

**Заключение.** Разработано устройство измерения скорости кровотока с помощью метода доплеровского сдвига частот с функцией записи результатов исследования на съемный накопитель для дальнейшего анализа полноты данных. Устройство имеет преимущество перед зарубежными аналогами как по функциональности, так и в цене. Является более удобным по сравнению с громоздкими моделями, применяемыми в отечественной диагностике, что позволяет применять его в любых условиях, а не только специализированных центрах.

### **Список литературы**

1. New Medical Hightech. Скорость кровотока [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://minimax.ru/articles/general-information/blood-flow.html>. Дата доступа: 20.02.2025
2. Deane, C. Chapter on Doppler ultrasound: principles and practice / Colin Deane // Doppler in Obstetrics by The Fetal Medicine Foundation. – 2002. – Pp. 4–24.
3. ATmega328P Datasheet [Электронный ресурс]. Режим доступа: [https://www1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/Atmel-7810-Automotive-Microcontrollers-ATmega328P\\_Datasheet.pdf](https://www1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/Atmel-7810-Automotive-Microcontrollers-ATmega328P_Datasheet.pdf). Дата доступа: 20.02.2025

UDC 615.47:612.15

## **PORTABLE BLOOD FLOW VELOCITY MEASUREMENT DEVICE**

*Zakharova E.A.*

*Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus*

*Lushakova M.S. – Senior Lecturer at the Department of EET*

**Annotation.** A portable device for measuring blood flow velocity with the function of saving the results of the study to a removable storage device based on a microcontroller of ATmega328 type is developed. The method of blood flow velocity measurement with the help of Doppler frequency shift has been investigated. The practical value of the portable device for this purpose is substantiated. Data transmission interfaces SPI (short for Serial Peripheral Interface) and I2C (short for Inter-Integrated Circuit) are used.

**Keywords:** blood flow, velocity measurement, blood flow velocity, portable device, microcontroller.