

МИНОБРНАУКИ РОССИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования

«САРАТОВСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ Н.Г.ЧЕРНЫШЕВСКОГО»

Кафедра дискретной математики и информационных технологий

**СИСТЕМА ИЗМЕРЕНИЯ БИОИМПЕДАНСА**  
**АВТОРЕФЕРАТ БАКАЛАВРСКОЙ РАБОТЫ**

студента 5 курса 521 группы

направления 09.03.01 Информатика и вычислительная техника

факультета компьютерных наук и информационных технологий

Кириллова Руслана Валерьевича

Научный руководитель:

к.т.н., доцент

\_\_\_\_\_

А.О. Соколов

подпись, дата

Зав. кафедрой:

к.ф.-м.н., доцент

\_\_\_\_\_

Л.Б. Тяпаев

подпись, дата

Саратов 2019

## ВВЕДЕНИЕ

В современном мире нас окружает много электронных устройств, которые могут абсолютно многое связанное с любого рода деятельности. Начиная от обычного сложения математических чисел, заканчивая сложными измерениями и вычислениями. Не так давно, в мире электронных устройств, появились микроконтроллеры, они имеют компактность и хорошую производительность. Они есть практически в любой современной техники, будь это холодильник, чайник, бортовой компьютер автомобиля или аппарата для поддержания жизнеобеспечения пациента. Всего этого безусловно полно на рынке, масса устройств, но есть одна область применения данных микроконтроллеров, которая еще мало освоена, хотя имеет свою долю устройств на рынке. Устройство, которое мы решили изучить, упростить и воспроизвести, это устройство – которое способное измерить электрическое сопротивление человеческой ткани по биоимпедансу. Это устройство стало востребовано для медицины, а если быть более точнее, то для реанимационных отделений. Чтобы измерить электрическое сопротивление тела пациента, перед тем как ввести препараты в тело человека, чтобы не совершить роковую ошибку при спасении человеческой жизни.

Практическое применение биоимпедансного анализа для характеристики состава тела человека для оценки водных секторов организма, а затем и других компонентов состава тела принято связывать с работами французского анестезиолога А.Томассета, выполненными в начале 1960–х годов.

Данный метод исследования активно практиковали и в спортивной медицине уже в середине XX века. Он позволял объективно контролировать объем мышечной массы у спортсмена, его физическую активность и выносливость. В соответствии с регулярными измерениями корректировались нагрузка, режим питания, рацион, рассчитывался суточный калораж. Это обеспечивало достижение высоких результатов [1].

Таким образом, начиная с 1960-х годов и по настоящее время метод биоимпедансного анализа, основанный на измерении электрической проводимости различных тканей человека, применяется специалистами уже более 65 лет в различных сферах деятельности: в медицине, спорте, образовании, науке, космической и военной деятельности и др. [2; 3]

И так, что же такое биоимпенданс и что с ним связано?

1. «Биоимпедансометрия (BIA) или биоимпедансный анализ – метод диагностики состава тела человека посредством измерения импеданса – электрического сопротивления участков тела – в разных частях организма» [4].

2. «Электрический импеданс (комплексное электрическое сопротивление) (англ. impedance от лат. Impedio «препятствовать») – комплексное сопротивление между двумя узлами цепи или двухполюсника для гармонического сигнала.

Это понятие и термин ввёл физик и математик О. Хевисайд в 1886 году.» [5].

3. «Биоимпедансметр – оборудование для измерения биоимпенданса».

Это оборудование изначально было разработано с целью расчета введения лекарственных средств в реанимационных отделениях [5].

На сегодняшний день биоимпедансный анализ успешно применяют в своей практике врачи разных специальностей: диетологи, эндокринологи, доктора других направлений [6]. Методика предоставляет врачу большой объем ценной информации, указывает на необходимость проведения лабораторно-функциональных исследований, помогает в определении тактики лечения [7].

В данной выпускной квалификационной работе мы рассмотрим применение микроконтроллеров на примере создания устройства для измерения биоимпедансного анализа. Главная идея – это симитировать работу устройства за счет его встроенного функционала, что позволило бы в дальнейшем уменьшить себестоимость производства.

Актуальность выпускной квалификационной работы обусловлена тем, что коммерческое оборудование для измерения биоимпеданса часто бывает большим и дорогостоящим. В некоторых больницах оборудование и ПО может быть оптимизировано для небольшой группы пациентов.

Перепроектирование данной платформы с нуля гарантирует, что система будет очень гибкой и может служить как платформа для будущего развития в дальнейшем с последующими модификациями и улучшениями. Сейчас современные микроконтроллеры позволяют реализовать это с использованием: компьютера, планшета или мобильного смартфона для визуализации данных, в добавок становится все более и более популярным, и актуальным, поэтому так же появляется возможность использовать беспроводные технологии передачи данных. Так же в устройстве можно использовать беспроводной источник питания (аккумулятор). Данное устройство должно выполнять обработку данных в цифровом варианте на микроконтроллере и отображать замер сопротивления через светодиод на микроконтроллере, через изменение степени яркости.

Конечная цель попробовать смоделировать устройство, чтобы показать, что эта система может успешно измерять сопротивление материалов.

Цель выпускной квалификационной работы – моделирование устройства, повторяющего работу биоимпеданса на базе микроконтроллера.

Для достижения цели необходимо решить следующие задачи:

- систематизация знаний об объекте исследования;
- провести классификацию и анализ данных о работе микроконтроллеров;
- выбрать микроконтроллер для реализации программно-аппаратного модуля;
- разработать схему соединения электронных компонентов с выводами микроконтроллера;
- разработать программный продукт микроконтроллерной системы измеряющий биоимпеданс;

- провести отображение степени сопротивления через световой индикатор на микроконтроллере.

Бакалаврская работа состоит из введения, 3 разделов, заключения и списка использованных источников. Общий объем работы – 41 страница, из них 38 страниц – основное содержание, включая 21 рисунок, список использованных источников информации – 26 наименований.

## КРАТКОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

**Первый раздел** «Биоимпедансный анализ» посвящен теоретическим основам разработки системы для биоимпедансного анализа.

Биоимпедансный анализ (БИА) – это контактный метод измерения электрической проводимости биологических тканей, дающий возможность оценки широкого спектра морфологических и физиологических параметров организма. В биоимпедансном анализе измеряются активное и реактивное сопротивления тела человека и/или его сегментов на различных частотах. На их основе рассчитываются характеристики состава тела, такие как жировая, клеточная и скелетно-мышечная массы, объем и распределение воды в организме [1].

В основе БИА лежит определение электрического импеданса биологических объектов. Импедансом называют полное электрическое сопротивление тканей. Эта величина имеет два компонента: активное и реактивное сопротивления. Активное, или омическое, сопротивление характеризует способность тканей к тепловому рассеянию электрического тока. Реактивное сопротивление характеризуется смещением фазы тока относительно напряжения за счет емкостных свойств клеточных мембран, способных накапливать электрический заряд на своей поверхности [8].

Существует несколько видов приборов для измерения биоимпеданса, но принцип действия для всех одинаков. Один из способов измерения внешне походит на снятие ЭКГ. Это так называемый горизонтальный тип биоимпедансометров. Сначала врач вносит в компьютерную программу такие данные, как возраст, пол, вес и рост, обхват талии, бедер, окружность запястий. Человека укладывают, к его запястьям и лодыжкам подключают специальные датчики – электроды, через которые подается слабый переменный ток малой мощности [9].

Исследование динамики состава тела здорового контингента методом БИА апробировано не только в условиях привычного существования человека, но и во время длительных и краткосрочных космических полетов.

Научный и практический интерес в связи с этим представляет мониторинг состава тела, и прежде всего инфраструктуры жидкостных пространств организма в невесомости [10].

В первом разделе описаны основные составляющие для создания системы измерения биоимпеданса.

**Второй раздел** «Микроконтроллеры и микропроцессоры» посвящен описанию и сравнению микроконтроллеров, а также выбору программных платформ для программирования микроконтроллеров.

ARM – это семейство микропроцессоров и микроконтроллеров, основанных на архитектуре компьютера, но с сокращенным набором команд (RISC). Архитектура RISC – ее особенность связана с низкой себестоимостью производства, меньшим выделением тепла и низким энергопотреблением микропроцессоров. ARM Holdings, владеющая семейством ARM, лицензирует свой чип и набор инструкций для сторонних компаний. Сторонние компании могут добавить к микроконтроллеру, например: память, периферийные устройства, беспроводные модули и т. д. Например это делают компании «STMicroelectronics» и «Texas Instruments».

На современном рынке в данный момент достаточно производителей микроконтроллеров. Но мы остановимся на сравнении продуктов от двух компаний. Связанно это с тем, что данные компании более распространены на рынке радиотехники. Их продукты можно приобрести практически в любом магазине радиотоваров, а также в интернет-магазинах. А если быть более точнее, то данные компании это: «Arduino» и «STMicroelectronics». Основная разница между данными компаниями – это производитель самих микропроцессоров. В «Arduino» используют микропроцессоры «ATmega» производства компании «Atmel». В «STMicroelectronics» используются микропроцессоры компании «Cortex», производимые британской компанией «ARM (Advanced RISC Machines)».

Для программирования микроконтроллеров есть несколько программ от разных производителей ПО. Например: «CodeSourcery», «Keil» и

«IAR.SooCox CoIDE». Первое программное обеспечение обновляется редко, имеет мало встроенных библиотек, а второе и третье более подходящие. Теперь разберемся с первым, то есть «Keil», имеет множество готовых библиотек под разные микроконтроллеры и микропроцессоры, включая «STM32». Имеет в себе встроенный отладчик и программатор для микроконтроллера. Так же имеет виртуальный эмулятор запуска проекта имитируя работу отладки кода на конкретном микроконтроллере.

**Третий раздел** «Практическое применение» посвящен обоснованию выбора аппаратной платформы для моделирования устройства измерения биоимпеданса, показана схема устройства и результат работы устройства.

Идея воспроизведения устройства по получению данных об биоимпедансе, возникла в результате желания попробовать использовать минимум аппаратной части для достижения цели. Так как это получилось бы добиться минимум затрат. Так как сейчас на рынке достаточно разных микроконтроллеров по доступной цене с достаточно приличным функционалом компонентов на борту микроконтроллера, а также датчиков и прочих комплектующих на рынке электроники. То цель попытки реализации можно считать рентабельной. В качестве основы был выбран микроконтроллер семейства «STM32» от компании «STMicroelectronics».

Далее необходимо выбрать конкретный микроконтроллер для начала разработки. Выбор остановился на «STM32F4–Discovery (STM32F407VGT6)» на процессоре Cortex–M4.

Далее мы составили экспериментальную схему работы датчика, выхода микроконтроллера подается «примерное» напряжение в 3.3 вольта, силу тока формально мы установили в 1 А, это необходимо для наглядного примера что в дальнейшем за счет резисторов мы его уменьшим до 9 мА, после в цепи установлен резистор на 5 кОм и последующая «земля», далее идет резистор на 500 кОм. После в цепи стоит амперметр, он показывает наглядно что ток был уменьшен до 9 мА, следом стоит управляющий тиристор, установленный на биологической ткани (электрод, датчик). Земля под



номером 8 символизирует так же биологическую ткань. С управляющего вывода тиристора идет сигнал на вход АЦП микроконтроллера, и с первого выхода микроконтроллера идет на светодиод, который в зависимости от поступающего сигнала меняет яркость. Схема была составлена при помощи веб-эмулятора электронных схем [11] и представлена на рисунке 1.

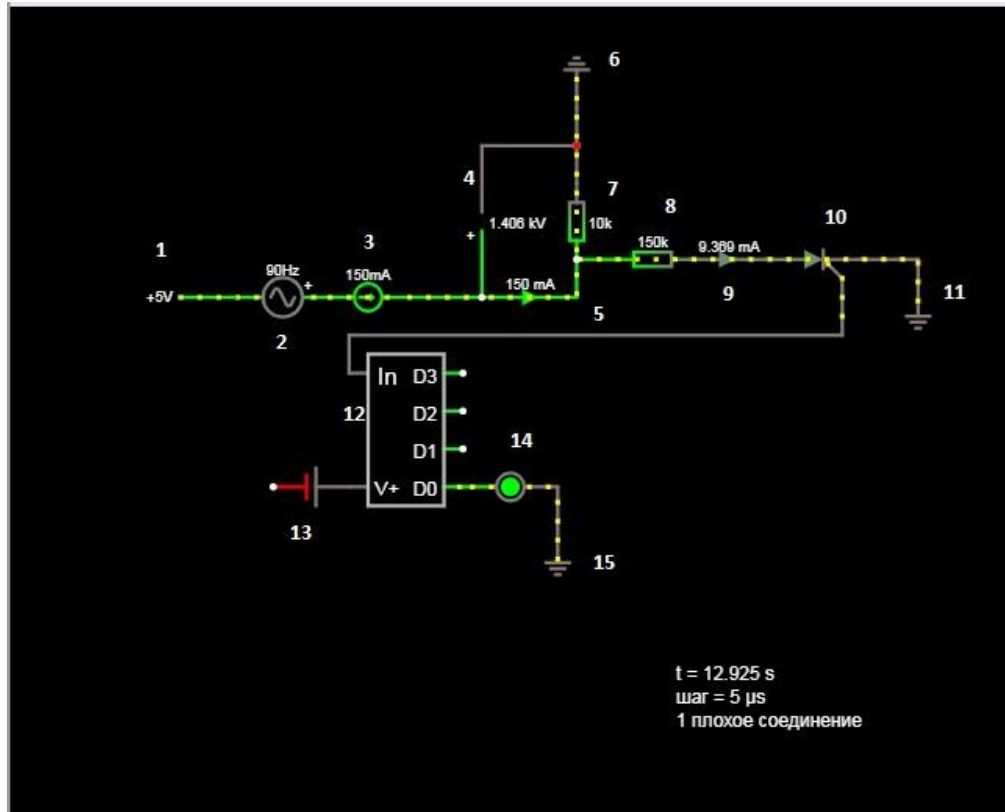


Рисунок 1 – Спроектированная схема.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

БИА позволяет не только определять компонентный состав тела, но и служить основой для разработки методов оценки индивидуальной адаптации к силовым нагрузкам [12; 13].

Совершенствование аппаратных и программных средств БИА в последние годы существенно повысило его возможности и расширило перечень отраслей науки и практики для его применения [14]. Важнейшей перспективой дальнейшего развития метода является его повсеместное внедрение в профилактическую медицину при решении вопросов сохранения и укрепления здоровья населения [7].

Таким образом, биоимпедансометрия является одним из популярных методов оценки состава тела человека, что предполагает ее широкое использование в различных областях превентивно–предиктивной и клинической медицины. В основе биоимпедансометрии лежит комплексное изучение состояния организма на доклинических стадиях развития заболевания, в период его развития и в процессе динамического наблюдения. Несомненно, биоимпедансометрия позволяет получить объективные научные данные при биомедицинской антропологии. В совокупности с фундаментальными морфологическими, функциональными и биохимическими методиками исследования биоимпедансометрия предоставляет возможности оценки индивидуально–типологических характеристик организма человека [7].

В данной выпускной квалификационной работе мы спроектировали экспериментальное устройство для подачи синусоидного сигнала через микроконтроллер. Который используется в устройствах для получения данных об биоимпенданса. Из теории об импедансе мы узнали, что для подобных измерений необходимо подавать переменное напряжение на датчик (электрод) с небольшим напряжением и силой тока, не превышающего значение больше 0.10 мА. Спроектировали схему от вывода ЦАП через тиристор к АЦП. И запустили работу светодиода, который

сигнализировал работу устройства. Поскольку данный проект был началом возможного дальнейшего развития. Можно в дальнейшем продолжить реализовывать этот проект с использованием беспроводных средств связи, например: «Bluetooth». Для синхронизации данных с мобильным устройством. Так же можно реализовать отображение данных через подключенный дисплей к микроконтроллеру. Тем самым упростить вывод полученной информации на экран. В заключение можно добавить, что все поставленные задачи были реализованы, дальнейшая разработка подобного устройства может считаться рентабельной.

### **Основные источники информации:**

- 1 Руднев С.Г., Соболева Н.П., Стерликов С.А. Биоимпедансное исследование состава тела населения России. М., 2014. 493 с
- 2 Николаев Д.В., Смирнов А.В., Бобринская И.Г., Руднев С.Г. Биоимпедансный анализ состава тела человека. М.: Наука, 2009. 392 с
- 3 Мартиросов Э.Г., Николаев Д.В., Руднев С.Г. Технологии и методы определения состава тела человека. М.: Наука, 2006. 256 с
- 4 Биоимпедансометрия [Электронный ресурс]: Материал из Википедии – свободной энциклопедии: / Авторы Википедии // Википедия, свободная энциклопедия. – Электрон. дан. – Сан-Франциско: Фонд Викимедиа, 2019. – URL: <https://ru.wikipedia.org/?oldid=99303409> (дата обращения 17.05.19) – Загл. с экрана – Версия 99303409, сохранённая в 21:36 UTC 18 апреля 2019 – Яз. рус.
- 5 Электрический импеданс [Электронный ресурс]: Материал из Википедии – свободной энциклопедии: / Авторы Википедии // Википедия, свободная энциклопедия. – Электрон. дан. – Сан-Франциско: Фонд Викимедиа, 2019. – URL: <https://ru.wikipedia.org/?oldid=100199411> (дата обращения 07.06.19) – Загл. с экрана – Версия 100199411, сохранённая в 06:24 UTC 3 июня 2019 – Яз. рус.

- 6 Иванов Г.Г., Балуев Э.П., Петухов А.Б., Николаев Д.В. Биоимпедансный метод определения состава тела // Вестник РУДН. Медицина. 2000. Вып. 3. С. 66–73.
- 7 Гайворонский И.В., Ничипорук Г.И., Гайворонский И.Н., Ничипорук Н.Г. Биоимпедансометрия как метод оценки компонентного состава тела человека (обзор литературы) // Вестник СПбГУ. Медицина. 2017. Т. 12. Вып. 4. С. 365–384
- 8 Николаев Д.В. Биоимпедансный анализ: основы метода. Протокол обследования и интерпретация результатов // Спортивная медицина: наука и практика. 2012. Вып. 2. С. 29–36.
- 9 Khalil S., Mohktar M., Idrahim F. The theory and fundamentals of bioimpedance analysis in clinical status monitoring and diagnosis of disease // Sensors (Basel). 2014. Vol. 14, N 6. P. 10895–10928.
- 10 Neymsfield S.B., Lohman T.G., Wang Z., Going S.B. Human body composition (2nd ed.). Champaign: Human Kinetics, 2005. 533 p.
- 11 This is an electronic circuit simulator [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.falstad.com/circuit/> (дата обращения 20.05.19) – Загл. с экрана – Яз. англ.
- 12 Николаев В.Г., Медведева Н.Н., Николенко В.Н. Очерк интегративной антропологии. Красноярск: КрасГМУ, 2015. 326 с
- 13 Прусов П.К. Взаимосвязи показателей биоимпеданса с физическим развитием и работоспособностью у юных спортсменов // Медицина для спорта: материалы I Всероссийского конгресса. М., 2011. С. 354–358.
- 14 Мартиросов Э.Г., Руднев С.Г., Николаев Д.В. Применение антропологических методов в спорте, спортивной медицине и фитнесе. М.: Физическая культура, 2010. 119 с