

**МИНОБРНАУКИ РОССИИ**  
**Федеральное государственное бюджетное образовательное**  
**учреждение высшего образования**

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

**Разработка приложения для человеко-машинного интерфейса на**  
**основе электромиографии**

**АВТОРЕФЕРАТ**  
выпускной квалификационной работы бакалавра

Студента 4 курса 4021 группы  
направления 03.03.02 «Компьютерные технологии в медицинской физике»

Мещеряков Роман Константинович

Научный руководитель:

Профессор, д.ф.-м.н.,  
профессор

\_\_\_\_\_

подпись, дата

В.И. Пономаренко

Зав. кафедрой  
медицинской физики,  
Д.ф.-м.н., профессор

\_\_\_\_\_

подпись, дата

А. В. Скрипаль

Саратов 2024

## Введение

Несчастные случаи могут привести к травмам, в результате которых человек может лишиться полностью или частично функционала отдельных частей своего тела. На сегодняшний день наука предоставляет ряд различных решений по реабилитации в подобных случаях. Для тех, кто лишился конечностей, были изобретены различные разновидности протезов, каждая из которых основана на механизмах передачи сигнала от тела человека к устройству протеза.

Бионические протезы позволяют человеку вернуться в общество, ведь они не только восстанавливают утраченный функционал, но и выглядят эстетически более привлекательно, позволяя владельцам протеза не выделяться на фоне остальных. Это позволяет человеку не зависеть от других людей, и повышает средний уровень жизни, что делает исследования в этом направлении актуальными.

Современный прогресс в области технологий и информационных систем требует разработки новых методов взаимодействия человека с машиной. Одним из самых перспективных направлений в этой области является разработка человеко-машинного интерфейса на основе электромиографии. Эта технология основана на электрических сигналах, генерируемых мышцами человека, для управления всевозможными устройствами и системами.

Целью данной дипломной работы является создание человеко-машинного интерфейса, позволяющего человеку взаимодействовать с компьютерной программой за счет сокращения мышц, миоэлектрический сигнал которых будет считываться и передаваться на компьютер.

В рамках этой дипломной работы были решены следующие задачи:

1. Провести обзор методов регистрации сигналов электромиограммы.

2. Разработать и создать усилитель сигнала способный зафиксировать сигнал электромиограммы на поверхности кожи и преобразовать его в цифровой формат.

3. Организовать интерфейс между усилителем сигнала и компьютером посредством АЦП.

4. Разработать и реализовать приложение, использующее данный сигнал.

### **Основное содержание работы**

Первая глава данной работы посвящена основным принципам работы усилителя сигнала электромиограммы, а также расчету его необходимых характеристик. В этой главе рассмотрены особенности считывания сигнала с поверхности кожи человека, каким образом они были решены, а также строение самого усилителя и описание его компонентов.

Принцип работы электромиографии основан на регистрации электрической активности мышц с помощью электродов, которые размещаются на поверхности кожи над мышцами. Зачастую два электрода подключаются напрямую к мышце, в то время как третий заземляет сигнал и подключается к ближайшей кости. Когда в мышце появляется потенциал действия, электроды улавливают скачек активности. Сила, с которой сокращается мышца, соответствует выходящему напряжению.

Для получения качественных и точных данных важно правильно разместить электроды на коже. Полученные сигналы ЭМГ обычно имеют низкую амплитуду и смешаны с шумом, поэтому требуется их усиление и фильтрация. Усилители ЭМГ усиливают сигналы в несколько тысяч раз, чтобы сделать их более читаемыми и легкими для анализа. Фильтры используются для удаления шума и искажений, которые могут возникнуть в процессе регистрации сигналов. Частотный фильтр обычно применяется

для удаления нежелательных компонентов сигнала, а фильтры наводки используются для удаления электромагнитных помех.

Для снятия электромиограммы необходимо учитывать несколько факторов: частотный диапазон сигнала, который является ключевым параметром при проведении данного исследования, низкий уровень входного сигнала, наличие помех, а также высокое сопротивление на поверхности кожи.

Частотный диапазон сигнала для снятия электромиограммы обычно составляет от 10 Гц до 1000 Гц. Этот диапазон охватывает основные частоты электрической активности мышц, позволяя получить достоверную информацию о работе мышц и их состоянии. Для успешного определения сокращения мышцы, необходимо достоверно определять сигнал электромиограммы. Уровень сигнала в диапазоне частот до 500 Гц лежит в пределах 0-10 мВ.

Из вышеперечисленных условий следуют следующие требования к характеристикам усилителя: Частотный диапазон до 1000 Гц, высокий коэффициент усиления. Так же он должен быть дифференциальным и с высоким входным сопротивлением.

В рамках данной работы была разработана и собрана схема усилителя сигнала (рис. 1-2), состоящая из следующих компонентов:

- Входной дифференциальный инструментальный усилитель, представленный на схеме U1. В качестве входного усилителя в данной работе используется микросхема AD620.
- Фильтр высоких частот, состоящий из конденсатора ёмкостью 1  $\mu\text{F}$  C4 и резистора сопротивлением 10  $\text{k}\Omega$  R4.
- Усилитель переменного сигнала U2B. Позволяет увеличить амплитуду входного сигнала без искажения его формы.

- Активный детектор на основе операционных усилителей используется для выпрямления сигналов переменного напряжения.
- Фильтр низких частот, состоящий из конденсатора ёмкостью  $0.1 \mu\text{F}$  C2 и резистора сопротивлением  $100 \text{ k}\Omega$  R3.
- Компаратор. Аналоговый компаратор непрерывно сравнивает значение обработанного сигнала с пороговым значением и преобразует его в логический 0 или 1.

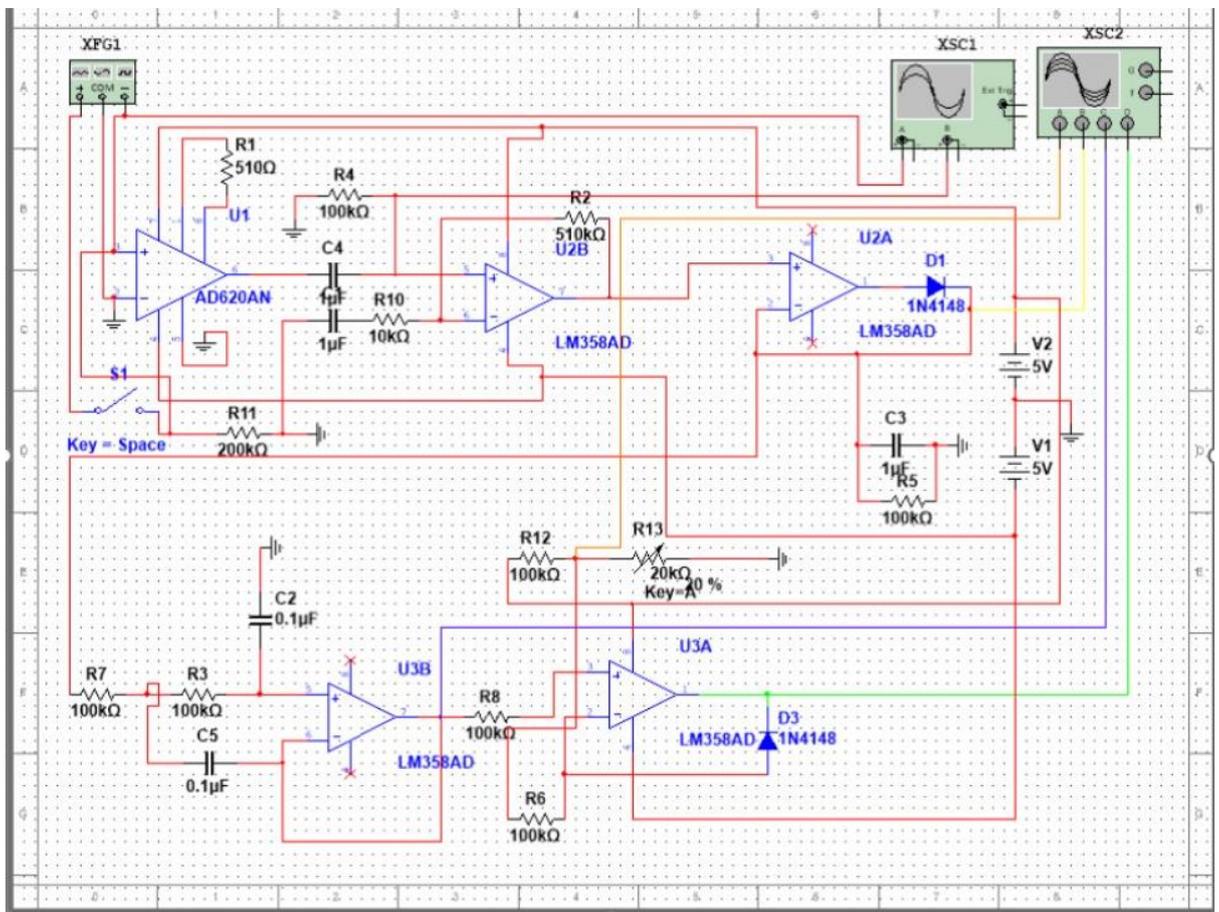


Рис. 1. Принципиальная схема одного канала усилителя электромиограммы.

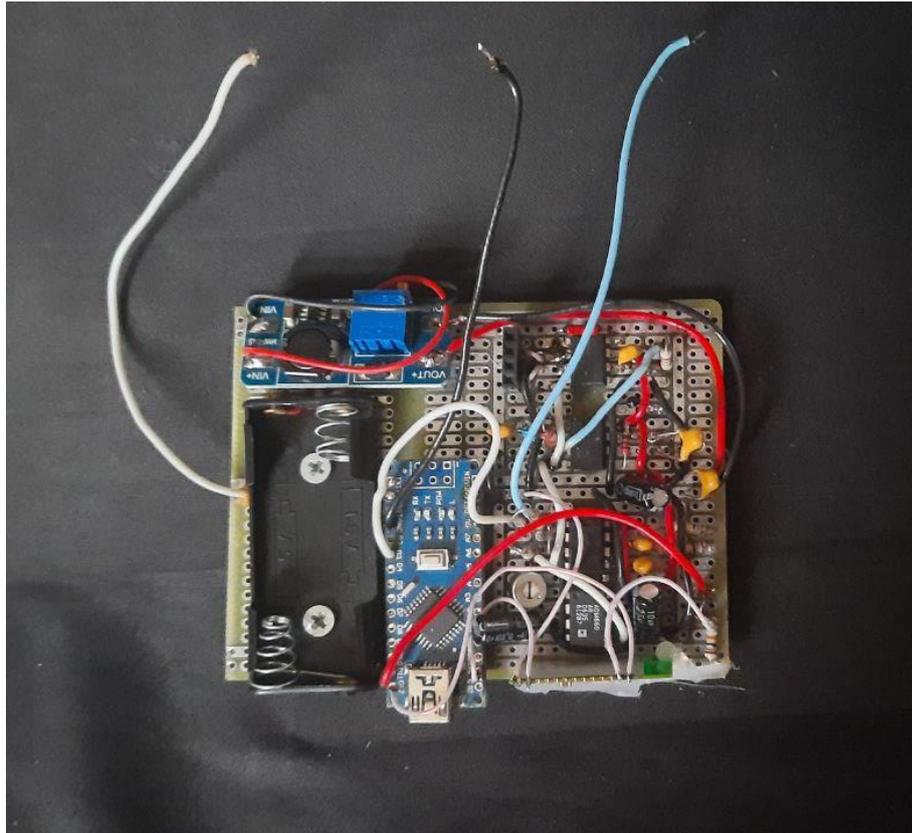


Рис. 2. Фото усилителя сигнала электромиограммы.

Во второй главе рассматривается процесс организации интерфейса между усилителем сигнала и компьютером. В качестве АЦП организующего связь между усилителем сигнала и компьютером используется плата Arduino Nano. В рамках данной работы данная плата была запрограммирована таким образом, чтобы считывать сигнал с цифровых входов платы и передает их значения в виртуальный com порт для передачи через подключенный Bluetooth модуль.

В третьей главе представлен процесс разработки приложений, использующих сигнал электромиограммы. Для демонстрации возможностей человеко-компьютерного интерфейса было решено разработать приложения, отражающие возможный потенциал данной технологии. Итоговым результатом стали две программы, использующие данную технологию в различных областях.

Первое приложение разработано на языке python и представляет собой программу для набора текста путем перебирания символов алфавита. Идея данного приложения заключается в том, чтобы обеспечить человека, который лишился возможности поддерживать связь с врачами или родственниками с помощью речи, жестов или написания сообщений на бумаге или печатая на клавиатуре.

Принцип работы приложения заключается в том, что пользователю на выбор предоставляется две половины алфавита. При выборе одной из этих половин, вторая отбрасывается, а на их месте появляется разделенная напополам выбранная часть символов. Затем процесс повторяется до тех пор, пока не будет выбрана одна последняя буква, которая и будет записана в окно набора сообщения. Внешний вид пользовательского интерфейса представлен на рисунке 3.

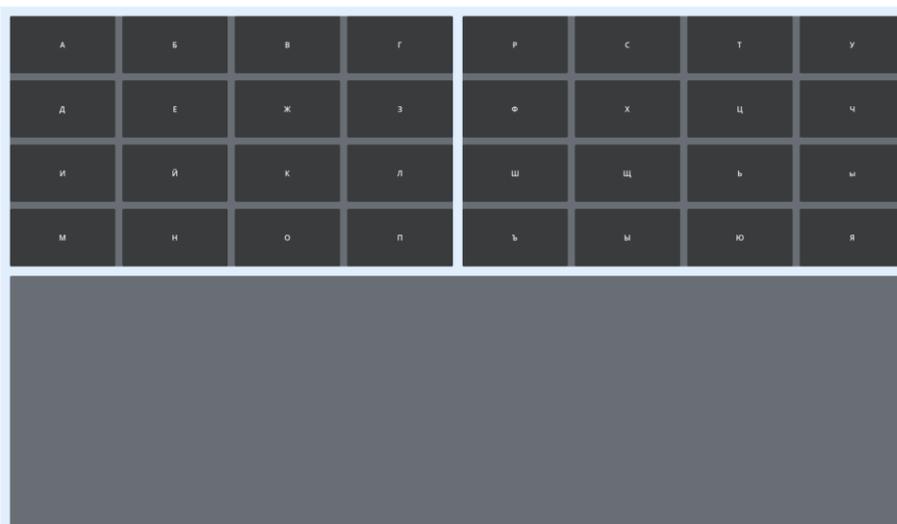


Рис. 3. Интерфейс приложения для набора текста.

Вторым приложением, разработанным для демонстрации возможностей технологии электромиографии, является игра, разработанная с применением программного обеспечения Godot. В рамках данной игры пользователь управляет персонажем роботом, задачей которого является, перемещаясь по арене, ловить полезные предметы, уклоняясь от опасных. Управление осуществляется за счет сжатия мышц, при котором сжатие

мышц левой руки заставит робота двигаться в левую сторону, а сжатие мышц правой руки, соответственно в правую. Целью пользователя является набирать очки, не допуская ошибок, чтобы набрать как можно более высокий счет.

В Godot Engine структура нодов (узлов) является центральной частью разработки игр и других интерактивных приложений. Ноды (Nodes) представляют собой простейшие элементы сцены (Scene). Каждый нод имеет свои уникальные свойства и функции.

Ноды организованы в виде дерева, где один нод может быть родителем для других нодов (детей). Это создаёт иерархическую структуру. Взаимодействие между нодами определяется их позицией в этом дереве.

Для разработки приложения был использован встроенный в Godot язык программирования GDScript. Это высокоуровневый, объектно-ориентированный, императивный язык программирования с последовательной типизацией, созданный для Godot. Он использует синтаксис на основе отступов, аналогичный такому языку, как Python.

## **Заключение**

В результате проделанной работы были разработаны приложения, использующие сигнал усилителя электромиограммы, а также организован интерфейс между усилителем электромиограммы и компьютером.

Для реализованных программ были созданы графические интерфейсы, отражающие функционал каждого приложения. В первом приложении интерфейс предоставлял пользователю возможность набора

текста, путем выбора необходимого символа алфавита. Второе приложение представляло собой интерактивную игру с управлением основанным на передаче сигнала электромиограммы на компьютер.

В ходе работы были выполнены следующие задачи:

1. Произведен обзор методов регистрации сигнала электромиографии
2. Создан усилитель сигнала способный зафиксировать сигнал электромиограммы с помощью электродов, расположенных на поверхности кожи. Также данный усилитель преобразует собранный сигнал в цифровой формат.
3. Организован интерфейс между усилителем сигнала и компьютером за счет платы Arduino и Bluetooth модуля
4. Разработаны программы, использующие обработанный сигнал в качестве входной информации

#### Список литературы

1. Протезы.рф : комплектация и стоимость : офиц. сайт. URL: <https://протезы.рф/price/> (дата обращения: 13.05.2024).
2. ОРТО Инновации : Бионические протезы рук : офиц. сайт. URL: <https://orto-invs.ru/bionic-protezy> (дата обращения: 13.05.2024).
3. Кибер Моторика : Виды протезов рук : офиц. Сайт. URL : <https://motorica.org/vidy-protezo-v-ruk> (дата обращения: 13.05.2024).
4. Карпов А. А., Юсупов Р. М. Многомодальные интерфейсы человеко-машинного взаимодействия // Вестник Российской академии наук. – 2018. – Т. 88. – №. 2. – С. 146-155. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=32606676> (дата обращения: 13.05.2024).
5. Вербицкая Н. О., Чекотин Р. С. Формирование нейрометодики профессионального обучения в условиях человеко-машинного

взаимодействия // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Образование. Педагогические науки. – 2017. – Т. 9. – №. 2. – С. 62-73. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/formirovanie-neuyrometodiki-professionalnogo-obucheniya-v-usloviyah-cheloveko-mashinnogo-vzaimodeystviya> (дата обращения: 13.05.2024).

6. Гехт Б.М. Теоретическая и клиническая электромиография. – Л. : Наука. Ленингр. отд-ние, 1990

7. Rohtash Dhiman et al. Detecting the useful electromyogram signals-extracting, conditioning and classification // IJCSE. - Aug.-Sep. 2011. - V. 2. - № 4. - P 634-637.

8. Analog Devices : Low Cost Low Power Instrumentation Amplifier : AD620

9. Godot Docs : Godot Engine 4.2 documentation in English : <https://docs.godotengine.org/en/stable/index.html> (дата обращения: 25.06.2024).

10. Блум Джереми : Изучаем Arduino: инструменты и методы технического волшебства: Пер. с англ. - СПб.: БХВ-Петербург, 2015

11. John Nussey : Arduino For Dummies, 2nd Edition : 2018 by John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, New Jersey

12. Хоровиц Пауль, Хилл Уинфилд : Искусство схемотехники, Том 1 : Пер. С Англ.

13. Й. Дудель, Й Рюэгг, Р. Шмидт : Физиология человека. Том 1 : 1997

14. Покровский, В.М. Физиология человека / В.М. Покровский; под ред. В.М. Покровского, Г.Ф. Коротько. – М.: Медицина, 1997. – 448 с

15. Персон, Р.С. Электромиография в исследованиях человека / Р.С. Персон. – М.: Медицина, 1969. – 125 с.

16. Гехт, Б.М. Теоретическая и клиническая электромиография / Б.М. Гехт. – Л.: Наука, 1990. – 229 с.
17. Петин В. А.: Проекты с использованием контроллера Arduino. — СПб.: БХВ-Петербург, 2014.
18. Коуэн Х., Брумлик Дж., Руководство по электромиографии и электродиагностике, пер. с англ., М., 1975.
19. Агеева У.О., Агеева В.Г., Барский А.Б. Бионическое интеллектуальное протезирование конечностей и логические нейронные сети 2014
20. Уразбахтина Ю.О., Камалова К.Р., Морозова Е.С. Бионические протезы верхних конечностей: сравнительный анализ и перспективы использования 2022
21. Хоровиц П., Хилл У. : Искусство схемотехники : Том 1 : стр 164.
22. Белоус А. И., Емельянов В.А., Турцевич А.С. : Основы схемотехники микроэлектронных устройств. : стр. 101 – 105.
23. Волкова А. Ю., Кандрина Ю. А. : Электротехника: фильтры высоких и низких частот. : 2017 : 27-29 стр.
24. Алексеев А.Г. Войшвилло Г.В. : Операционные усилители и их применение : 1989 : стр. 72
25. Maithili Dhule : Beginning Game Development with Godot: Learn to Create and Publish Your First 2D Platform Game : 2021 : 15-17 стр.