



НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ



АЛЬБОМ
ВЫПУСКНЫХ КВАЛИФИКАЦИОННЫХ
РАБОТ
студентов бакалавриата и магистратуры
по направлениям 12.03.04 и 12.04.04
БИОТЕХНИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ И ТЕХНОЛОГИИ
(2024)



ИНСТИТУТ РАДИОТЕХНИКИ И ЭЛЕКТРОНИКИ
ИМ. В.А. КОТЕЛЬНИКОВА
КАФЕДРА ОСНОВ РАДИОТЕХНИКИ

НАПРАВЛЕНИЕ «БИОТЕХНИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ И ТЕХНОЛОГИИ» В «НИУ «МЭИ»

Кафедра Основ радиотехники (ОРТ), одна из старейших кафедр Национального исследовательского университета «МЭИ» (в составе МЭИ – с 1930 года), с 1998 года начала обучение студентов по специальности **«Биомедицинские и биотехнические аппараты и системы»** совместно с другими кафедрами Радиотехнического факультета МЭИ. В настоящее время кафедра ОРТ совместно с кафедрами ФОРС, РТП и АС и РТС ведет подготовку студентов по направлению **«Биотехнические системы и технологии»** по образовательной программе бакалавриата **«Биотехнические и медицинские аппараты и системы»** и магистратуры **«Радиоэлектроника в биотехнических и медицинских аппаратах и системах»**.

Выпускники бакалавриата ориентированы на разработку и обслуживание разнообразной диагностической и терапевтической медицинской радиоэлектронной аппаратуры – от простейших измерителей ритма сердца и артериального давления до компьютерных томографов.

Студенты бакалавриата изучают биологию, физиологию, биофизику, закономерности взаимодействия электромагнитных и акустических полей с живыми организмами, методы и технику медико-биологических исследований и лечебных воздействий, ультразвуковые и оптические медицинские приборы.

Особенностью подготовки специалистов является ориентация на использование методов и схемотехнических решений радиоэлектроники для разработки разнообразной биомедицинской аппаратуры. Вместе с перечисленными дисциплинами они получают прекрасную подготовку во всех областях радиоэлектроники, включая цифровую и аналоговую схемотехнику, формирование и обработку сигналов, микроэлектронику, СВЧ и КВЧ электронику, конструирование радиоэлектронной аппаратуры.

Особое внимание уделяется изучению информатики и вычислительной техники, пакетов прикладных программ для проведения расчетов, проектирования и моделирования.

Студенты магистратуры ориентированы на научные исследования по разработке разнообразной диагностической и терапевтической радиоэлектронной медицинской аппаратуры, а также на создание новых эффективных алгоритмов обработки биомедицинских сигналов с целью извлечения диагностической информации.

Студенты магистратуры изучают методы математической обработки медико-биологических данных и биомедицинских сигналов, методы моделирования и проектирования биотехнических систем медицинского назначения. Вместе с этим они расширяют свои знания в таких областях радиоэлектроники как цифровая и микропроцессорная техника, прием и обработка сигналов, физика СВЧ и КВЧ излучения.

На протяжении всего времени обучения магистранты ведут научно-исследовательскую работу, участвуют в научно-технических конференциях и семинарах. В течение всего второго года обучения в магистратуре студенты проходят длительную производственную практику на профильных предприятиях.

Особое внимание в процессе обучения уделяется приобретению навыков компьютерного моделирования и программирования, а также совершенствованию переводов технической литературы с иностранных языков.

В обучении студентов принимают участие не только преподаватели «НИУ «МЭИ», но и ведущие преподаватели и сотрудники кафедры Нормальной физиологии Российского университета дружбы народов, НПКЦ Диагностики и телемедицинских технологий Департамента здравоохранения города Москвы, Федерального медицинского биофизического центра им. А.И. Бурназяна.

Широкое системное образование дает студентам гарантию трудоустройства. Полученные знания и навыки работы с электронно-

измерительной техникой, диагностическими устройствами и программным обеспечением позволят найти интересную высокооплачиваемую работу. По окончании бакалавриата и магистратуры выпускники кафедры трудоустраиваются в отраслевые научно-исследовательские институты (разработка, испытания, регистрация медицинской техники); фирмы, разрабатывающие биомедицинские приборы; исследовательские медицинские центры; фирмы – поставщики медицинского оборудования (сервисное обслуживание, менеджмент, маркетинг). Основные работодатели: ГБУЗ «Научно-практический клинический центр диагностики и телемедицинских технологий ДЗМ», ФГБУ «Всероссийский научно-исследовательский и испытательный институт медицинской техники» Росздравнадзора, ГАУ Инженерный научно-практический центр «Гормедтехника», ФГБНУ «Научно-исследовательский институт медицины труда имени академика Н.Ф. Измерова», ФГБУ «Национальный институт качества» Росздравнадзора, МТО "Стормовъ", ООО «ОМБ», ООО ИЛЦ «МедТестПрибор», ООО «Ван Моурик Медикал», GE Healthcare и другие отечественные и зарубежные компании.

Итогом обучения студентов является выпускная квалификационная работа, которая демонстрирует способность студента самостоятельно решать научные и прикладные задачи исследования и разработки биомедицинских приборов и систем. В альбоме представлены описания наиболее интересных выпускных квалификационных работ 2024 года бакалавров и магистров направления «Биотехнические системы и технологии».

Компьютерная модель респираторной системы человека

Студент: Ерочкина Софья Сергеевна

Научный руководитель: к.т.н. Балакин Дмитрий Александрович
(выполнено на кафедре ОРТ)

Работа посвящена моделированию респираторной системы человека, что позволяет исследовать механизмы развития и прогрессирования респираторных заболеваний. В данной работе проведено исследование дыхательной системы человека через создание и сравнение электрической и механической моделей. Цель работы заключается в разработке компьютерной модели респираторной системы человека на основе модельно-ориентированного проектирования, которая позволила бы более глубоко понять динамику дыхательной системы и ее реакцию на различные патологии. В результате исследования была создана общая модель, совмещающая два подхода к моделированию дыхательной системы, управляемая с помощью графического интерфейса и позволяющая моделировать патологии дыхания такие, как хроническая обструктивная болезнь легких, бронхиальная астма, острый респираторный дистресс-синдром, фиброз легких и эмфизема.

Одним из основных достижений данной работы является создание графического интерфейса, который значительно упрощает процесс моделирования и анализа результатов. Это делает модель доступной для широкого круга исследователей и специалистов в области медицины.

Кроме того, электрическая модель может быть использована для создания входных параметров для калибровки и исследования биорадара, что может иметь важное значение для разработки новых методов диагностики и мониторинга состояния дыхательной системы.

Механическая модель, в свою очередь, может быть использована для создания кода для отладочной платы устройства, управляющего потоком воздуха, что позволяет создать полноценный стенд-имитатор дыхательной системы человека. Дальнейшие исследования могут включать в себя расширение модели для включения других патологий, а также создание единой системы с биорадиолокатором.

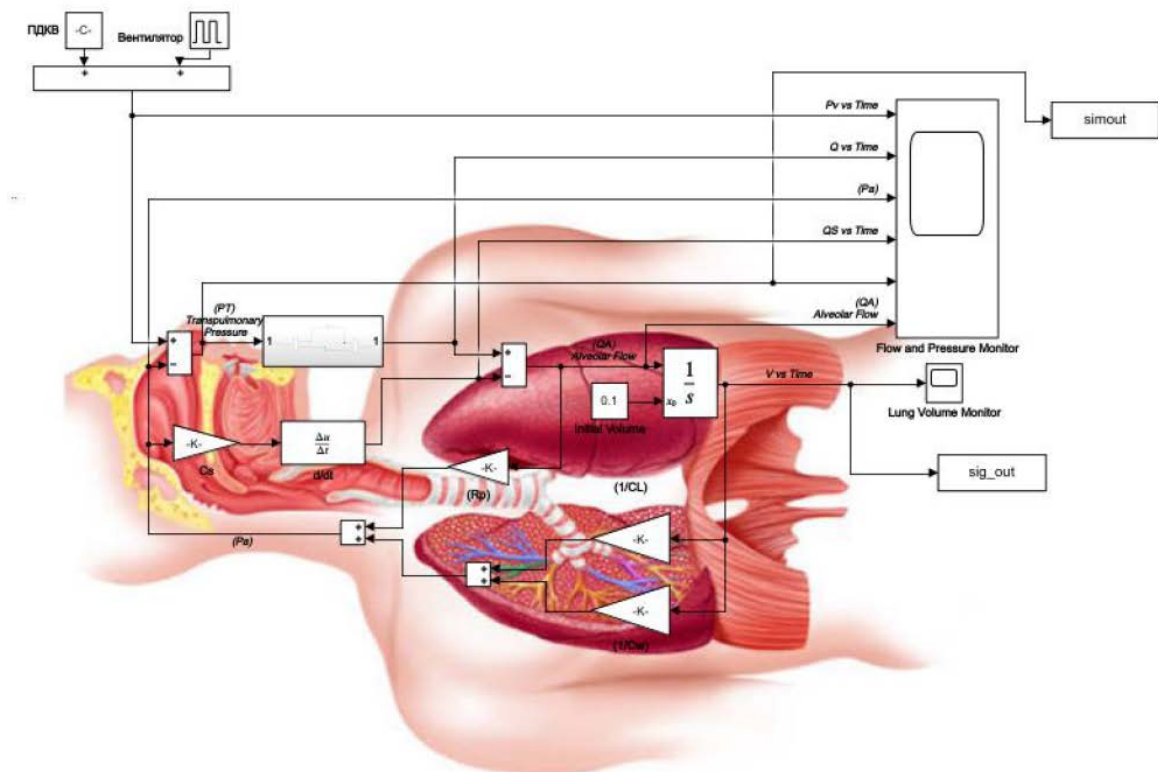


Рисунок 1 – Модель дыхательной системы человека, реализованной в Simulink

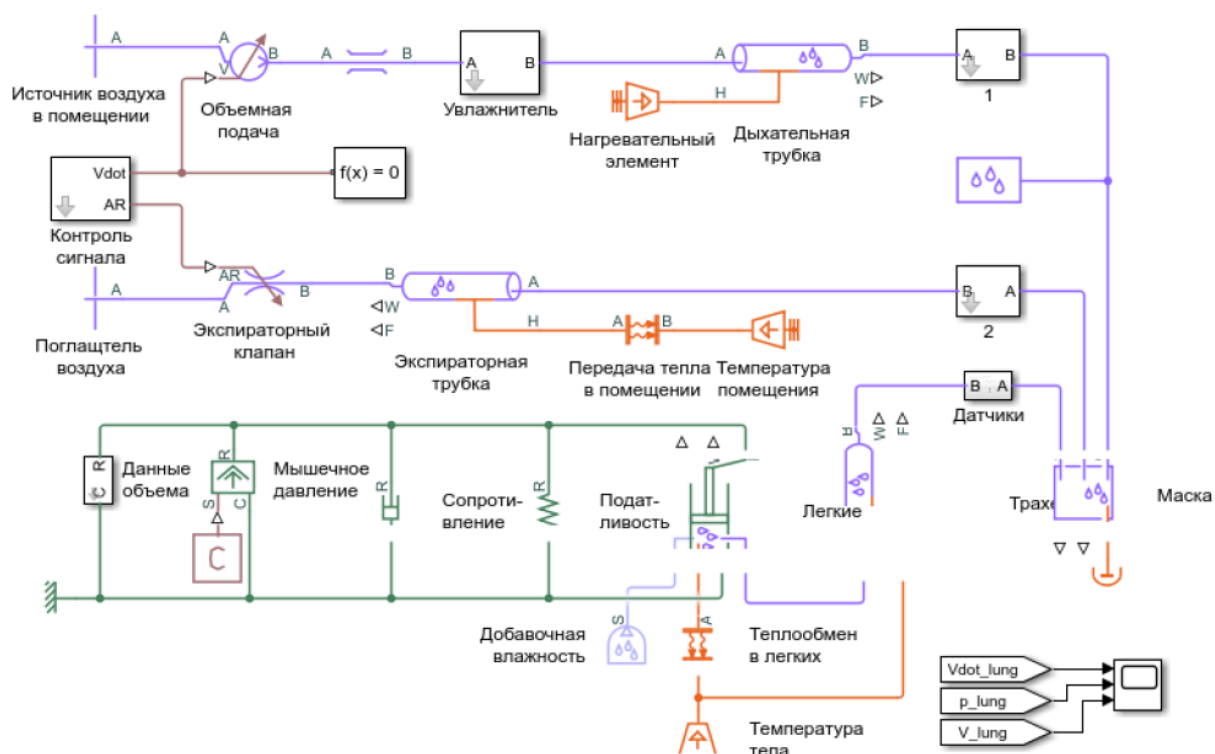


Рисунок 2 – Схема реализации в Simulink механической модели легочной системы

Алгоритмы классификации электромиографических сигналов для микроконтроллеров

Студент: Котельников Клим Константинович

Научный руководитель: д.т.н. Истомина Татьяна Викторовна
(выполнено на кафедре ОРТ)

Выпускная квалификационная работа посвящена исследованию алгоритмов классификации электромиографических сигналов. Объектом исследования является пользователь системы классификации и управления.

Целью работы является разработка алгоритмов и написание программ классификации электромиографических сигналов для микроконтроллеров, способных определять исполняемые жесты, для интеграции их в системы управления протезами.

В процессе работы изучались различные алгоритмы и методы классификации данных, проводилась адаптация методов под условия работы микроконтроллера и особенности получаемых для классификации данных. Были рассмотрены восемь вариаций алгоритмов классификации ЭМГ сигналов на основе методов К NN и нечеткой логики и один алгоритм К NN. Для этого были написаны три программы классификаторов с возможными вариациями их выполнения для микроконтроллера STM32F407VET6, а также несколько вспомогательных программ для ЭВМ.

Процесс разработки алгоритма классификации требует большого объема работы, по подбору оптимальных методов сбора обучающих данных, подбору коэффициентов и методов принятия решений, однако несмотря на то, что в работе рассматривался лишь вопрос реализации наиболее эффективного метода фазификации, полученные данные позволяют сделать вывод о наиболее эффективных вариантах реализации алгоритма.

В результате работы были созданы алгоритмы классификации жестов и написаны девять программ, проведено тестирование программ на основе реальных данных и определены предпочтительные вариации алгоритмов.

В перспективе, данный подход может обеспечить повышение комфорта пользования протезами, при сохранении доступности.



Рисунок 3 - Жесты, записанные для тестирования

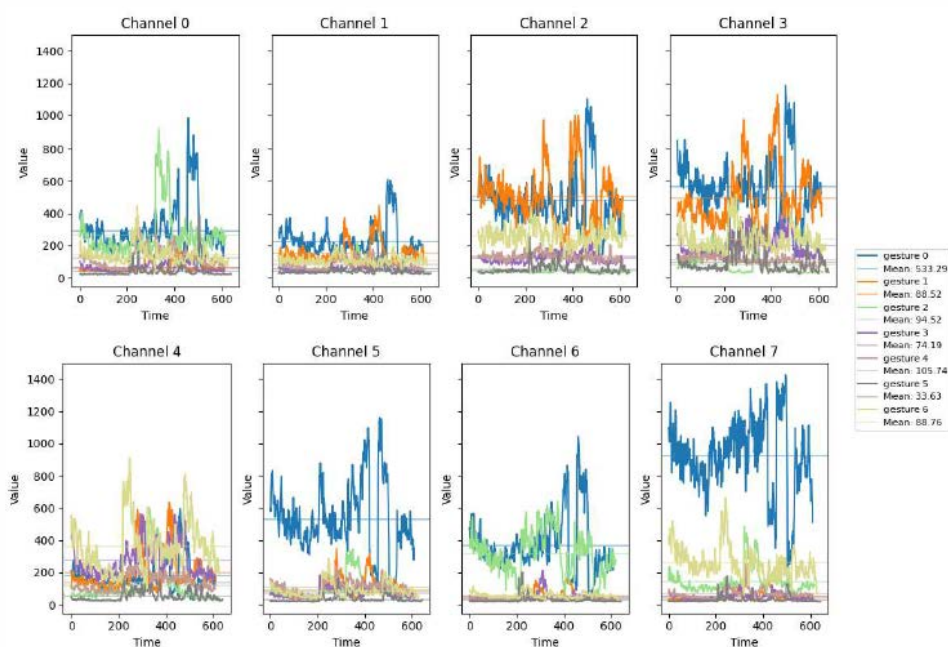


Рисунок 4 – Временные зависимости набора данных серии ЭМГ-сигналов

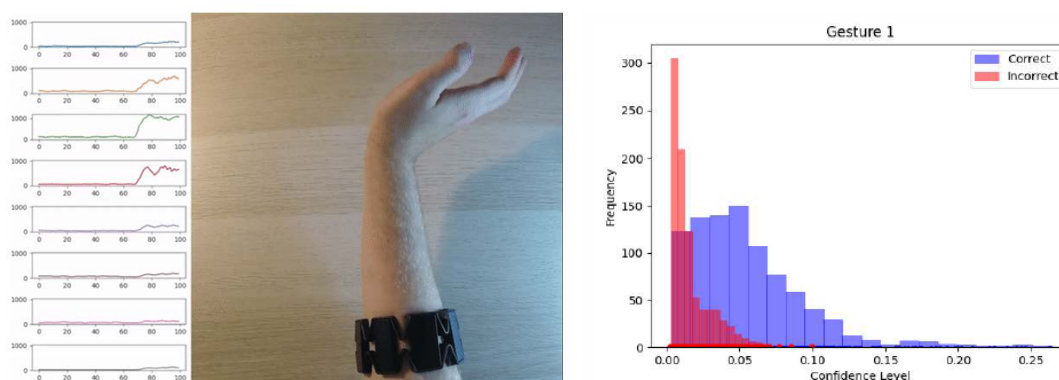


Рисунок 5 – Данные датчиков при жесте 1 (слева); пример хорошего распределения уверенности ответов для жеста 1 (справа).

Разработка макета лабораторной работы «Кардиоусилитель»

Студент: Савин Руслан Викторович

Научный руководитель: д.т.н. Крамм Михаил Николаевич
(выполнено на кафедре ОРТ)

В результате выполнения данной работы был спроектирован, разработан и собран макет лабораторного стенда для выполнения лабораторной работы «Кардиоусилитель». Данный макет легко подключается к генератору сигналов, осциллографу и источнику постоянного напряжения, установленных в лабораториях кафедры ОРТ. Разработанное устройство позволяет проводить следующие опыты: исследование коэффициента усиления синфазного и дифференциального сигналов первым каскадом, вторым каскадом и всем устройством; исследование частотных характеристик кардиоусилителя при выключенным и включённым ФНЧ во втором каскаде; исследование влияния подстроечного сопротивления $R7$ на характеристики кардиоусилителя; исследование характеристик инструментального усилителя AD620AN.

В ходе выполнения работы над собранным макетом были произведены эксперименты, проверяющие его электрические характеристики, а также эксперименты, выполняемые в ходе лабораторной работы. Сделан вывод, что макет пригоден для качественного проведения всех экспериментов. Достигнуты все цели, поставленные перед выполнением данной работы.

Был сформулирован возможный порядок опытов для их проведения во время выполнения лабораторной работы «Кардиоусилитель». Приведённые опыты позволяют изучить все характеристики кардиоусилителя, которые необходимо знать согласно разделу «Кардиоусилитель» дисциплины «Медицинские приборы» учебного плана подготовки студентов по направлению «Биотехнические системы и технологии».

Данная работа решает важную задачу – разработанный макет позволит проводить лабораторные работы по изучению схемы кардиоусилителя, изменяя его характеристики и убеждаясь в достоверности тех или иных полученных теоретических знаний.

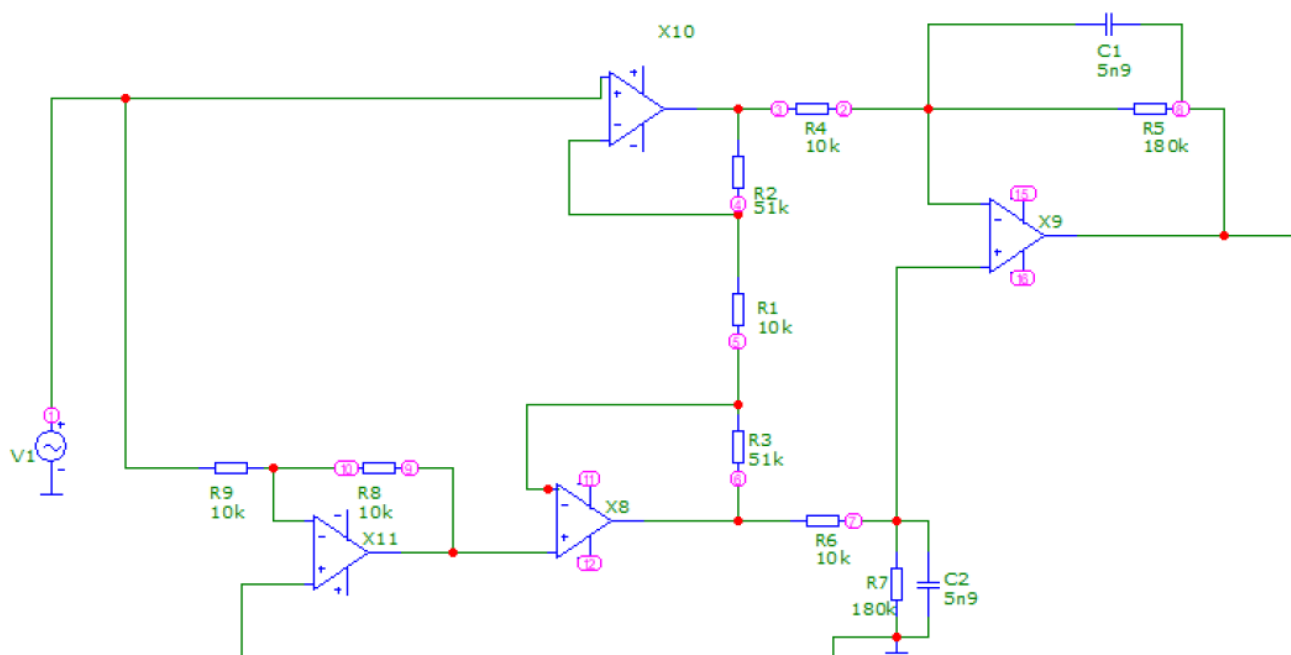


Рисунок 6 – Модель схемы «Кардиоусилитель» в ПО «Micro-Cap»

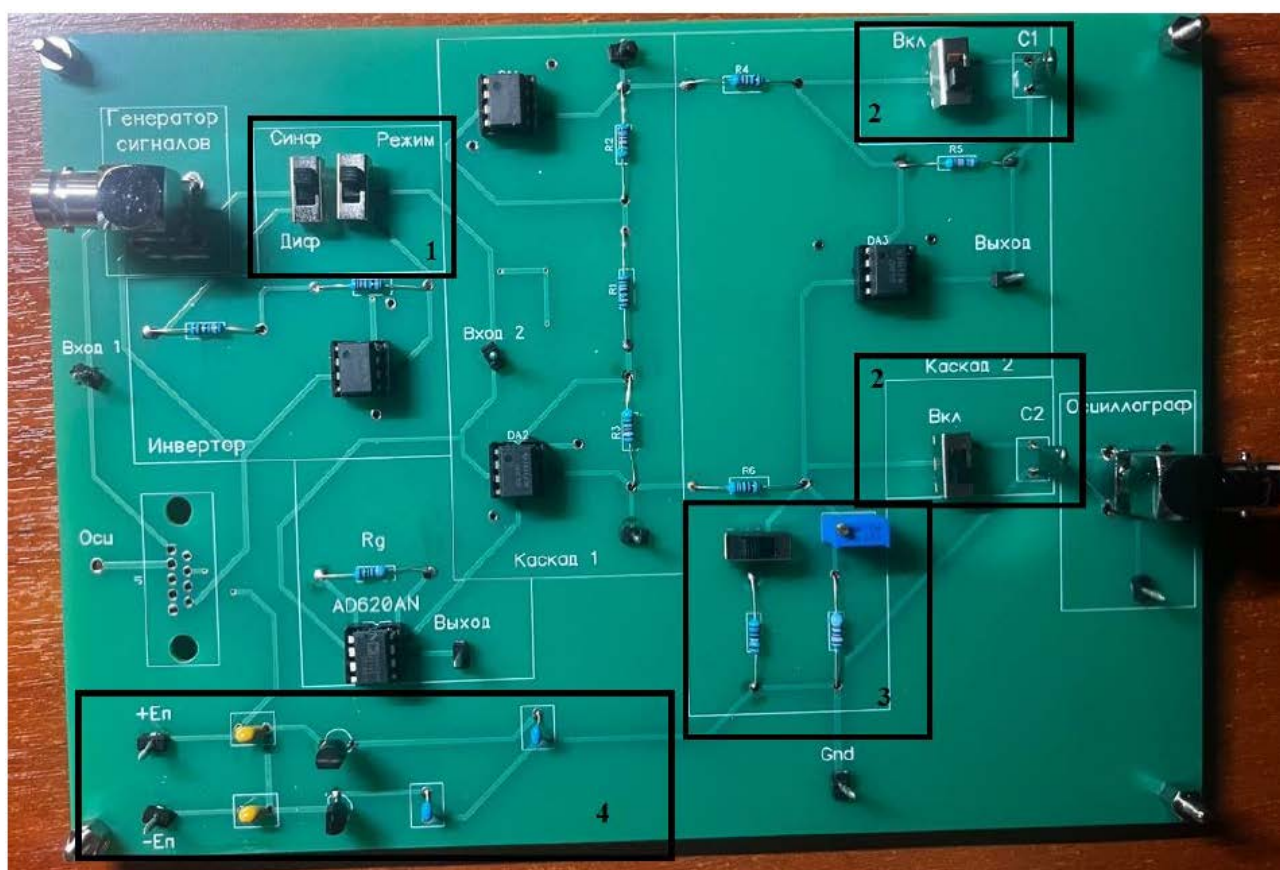


Рисунок 7 – Печатная плата с установленными компонентами

Разработка блока для пульсоксиметрии

Студент: Сныткин Александр Евгеньевич

Научный руководитель: д.т.н. Крамм Михаил Николаевич
(выполнено на кафедре ОРТ)

В ходе выполнения выпускной квалификационной работы были подробно описаны физические основы оксиметрии и пульсоксиметрии, приведены основные математические формулы, используемые для расчёта диагностических параметров. Представлены основные методы пульсоксиметрии и их сравнительный анализ. Рассмотрены основные источники помех, предложены методы борьбы. Составлена структурная схема прибора, структурная схема алгоритма функционирования. Произведён подбор элементной базы, построена электрическая принципиальная схема прибора. Получена программа на ЭВМ, с помощью которой задаётся алгоритм работы микропроцессора. Произведено моделирование и печать корпуса устройства, сборка и отладка. Написана программа на ЭВМ для анализа данных с устройства. На основе готового макета произведена серия экспериментов, произведён полный расчёт сатурации кислорода в крови на основе экспериментальных данных. Приведён анализ влияния помех и параметров фильтров на результат определения диагностических параметров.

Построен макет блока для пульсоксиметрии. Разработанный блок может быть использован как в качестве лабораторного стенда, так и прибора для исследования алгоритмов обработки плетизмограмм. Проведенные в работе исследования показали, что макет позволяет оценить диагностические параметры пульсоксиметрии и оценить влияние на точность измерений различных факторов, все эти факторы в совокупность могут послужить базой для создания полноценного пульсоксиметра и программного обеспечения, реализующего оптимальную обработку.

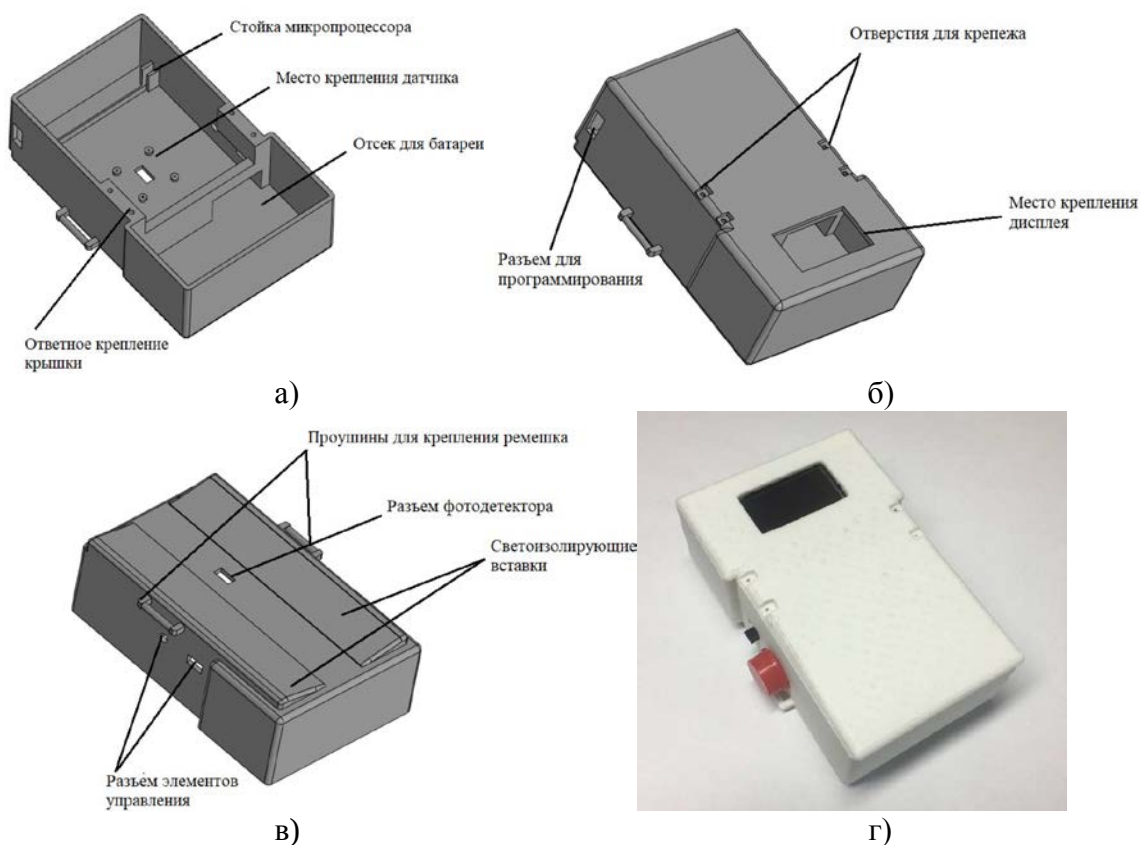


Рисунок 8 – а) внутренний вид корпуса; б) общий вид корпуса; в) нижний вид корпуса; г) вид прибора в сборе

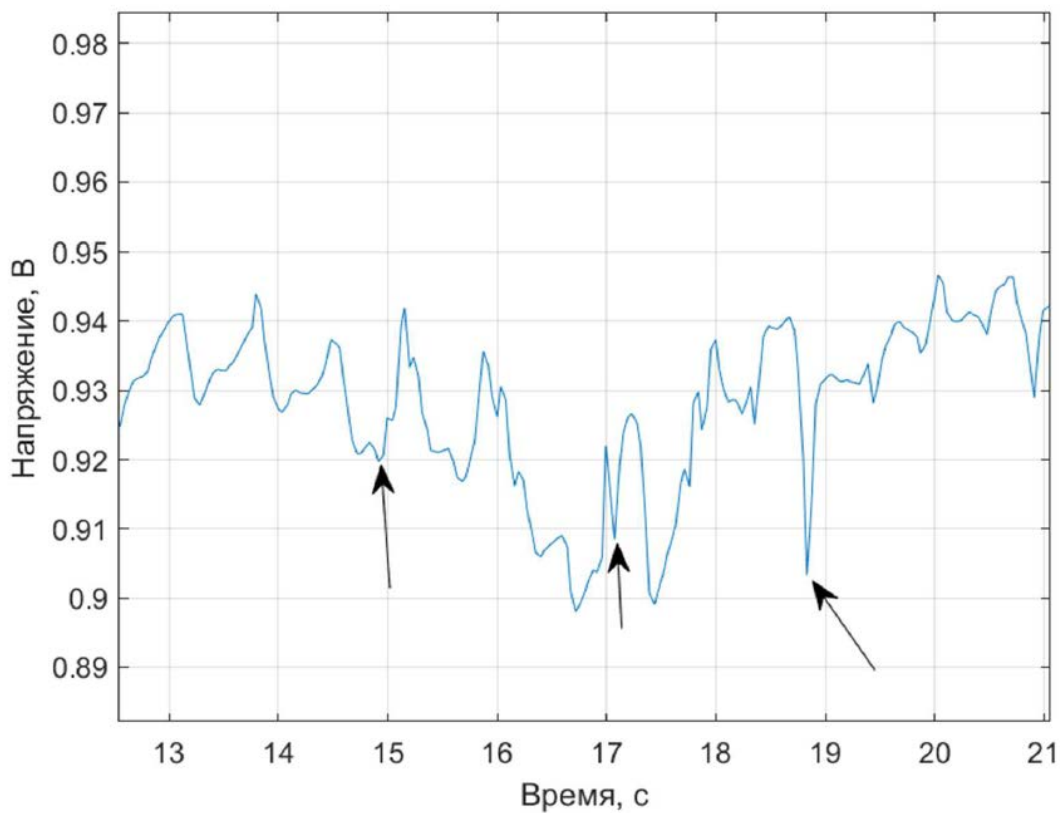


Рисунок 9 – Плетизмограмма при наложении датчика на палец руки (стрелками показаны места появления артефактов)

Системы обработки результатов анализов ЭЭГ

Студент: Моисеев Александр Викторович

Научный руководитель: к.т.н. Петрунина Елена Валерьевна
(выполнено на кафедре ОРТ)

В ходе дипломной проекта была проведена всесторонняя исследовательская работа, направленная на анализ и обработку сигналов электроэнцефалографии (ЭЭГ) с целью создания классификатора для распознавания двигательных образов. Основное внимание было уделено методам предобработки ЭЭГ-сигналов, выбору оптимальных паттернов и схем отведения, а также разработке и обучению модели классификации на основе сверточных нейронных сетей.

Рассмотрен широкий спектр существующих методов и технологий обработки ЭЭГ-сигналов, проанализирована система обработки ЭЭГ, включающая программное обеспечение, базу данных и алгоритмы анализа. На основе полученных данных была создана модель, показавшая высокую точность в классификации двигательных образов. Экспериментальные результаты продемонстрировали, что предложенная архитектура CNN в сочетании с методами предобработки ЭЭГ обеспечивает высокую производительность и точность распознавания различных типов двигательных образов.

Кроме того, в работе была продемонстрирована важность правильного выбора паттернов ЭЭГ и схем отведения для достижения высокой точности классификации. Проведенные эксперименты подтвердили, что использование многочастотного анализа и адаптивных фильтров позволяет значительно улучшить качество сигналов и, следовательно, точность классификации.

Данное исследование показало, что разработка и использование методов обработки ЭЭГ и классификации сигналов двигательных образов на основе сверточных нейронных сетей является перспективным направлением для создания интерфейсов "мозг-компьютер" (BCI). Результаты работы могут быть использованы для дальнейшего развития систем BCI, способных улучшить качество жизни людей с ограниченными возможностями, а также для расширения возможностей нейрофизиологических исследований.

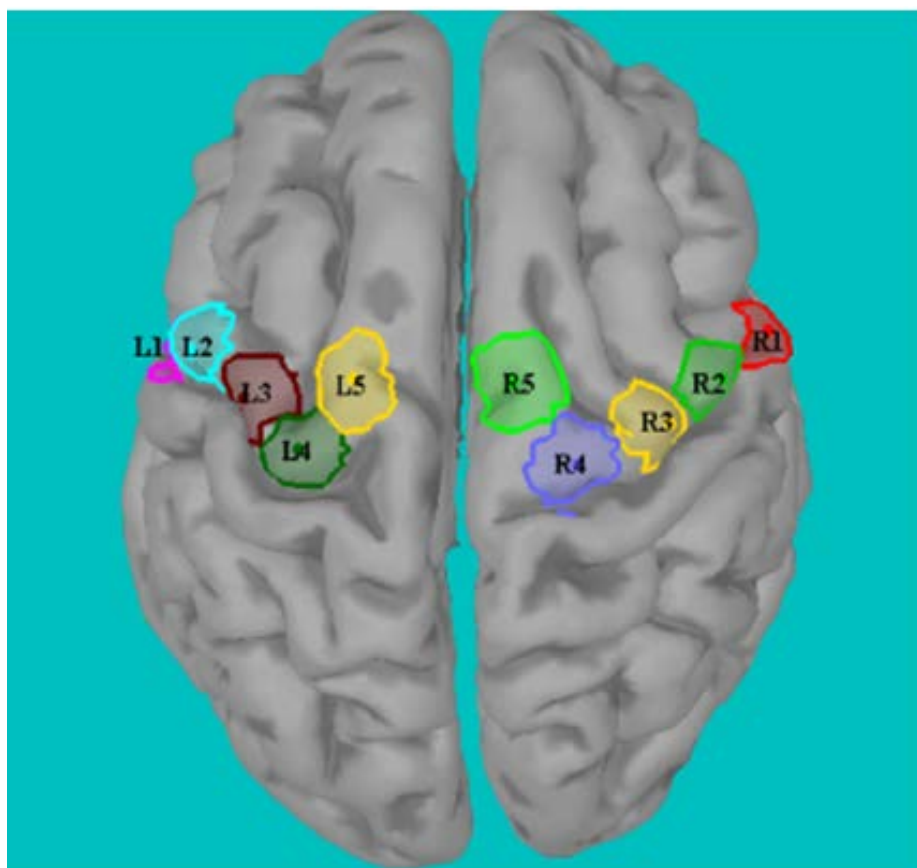


Рисунок 10 – Выбор паттернов ЭЭГ для двигательных образов

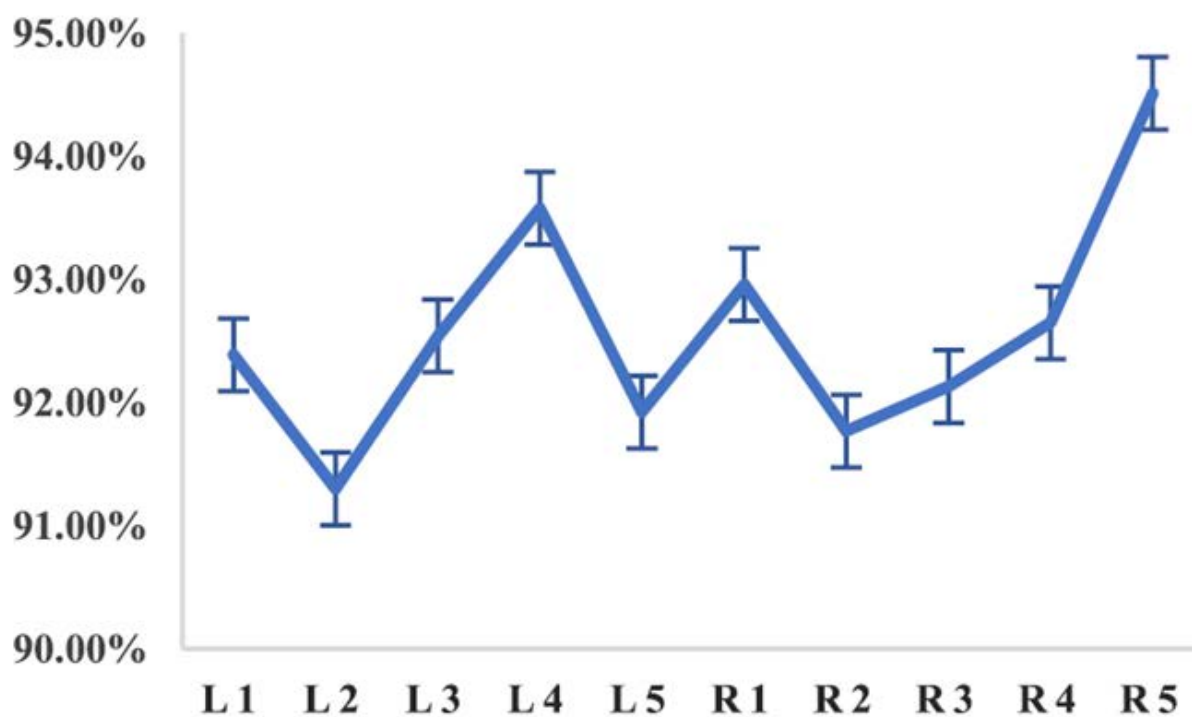


Рисунок 11 – Средняя точность классификатора двигательных образов ЭЭГ

Разработка антенны для измерения внутренней температуры биологических тканей для применения в пульмонологии

Студент: Ильин Георгий Сергеевич

Научный руководитель: к.т.н. Седанкин Михаил Константинович
(выполнено на кафедре ОПТ)

В данной выпускной квалификационной работе рассматривается разработка и создание антенны-аппликатора для высокоточной и эффективной диагностики патологий легких на основе математической модели легких. Работа актуальна в свете необходимости ранней диагностики таких заболеваний, как пневмония и COVID-19, которые требуют неинвазивных, быстрых и точных методов выявления.

Антенна-аппликатор работает на принципе микроволновой радиометрии, что позволяет измерять изменения температуры в тканях легких, обусловленные воспалительными процессами или опухолевыми образованиями.

В процессе работы были созданы и промоделированы многослойные модели легочной ткани, включающие кожу, жировую ткань, мышцы, кости и легкие. Моделирование проводилось с использованием программы CST Studio Suite, что позволило получить распределение электромагнитного поля и глубину проникновения на различных частотах и мощностях. Особое внимание уделено выбору материалов для антенны и параметров диэлектрической подложки, что существенно влияет на характеристики коэффициента стоячей волны и глубины проникновения сигнала.

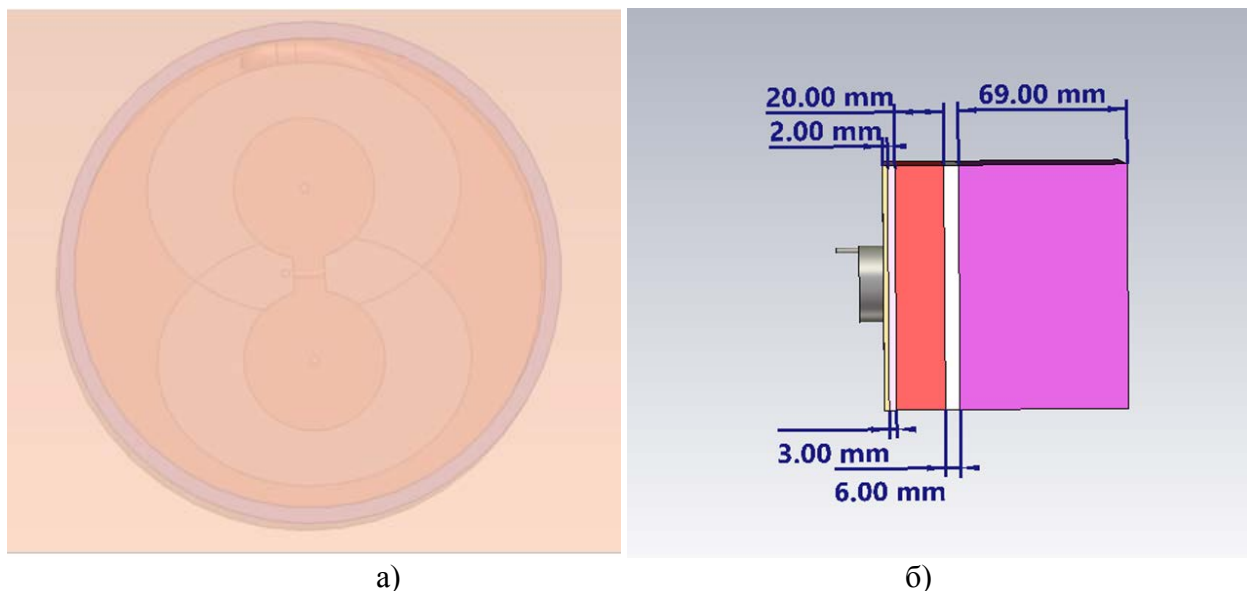


Рисунок 12 – а) фронтальный вид на излучатель в виде "восьмерки"; б) послойная модель легких с нанесенными размерами

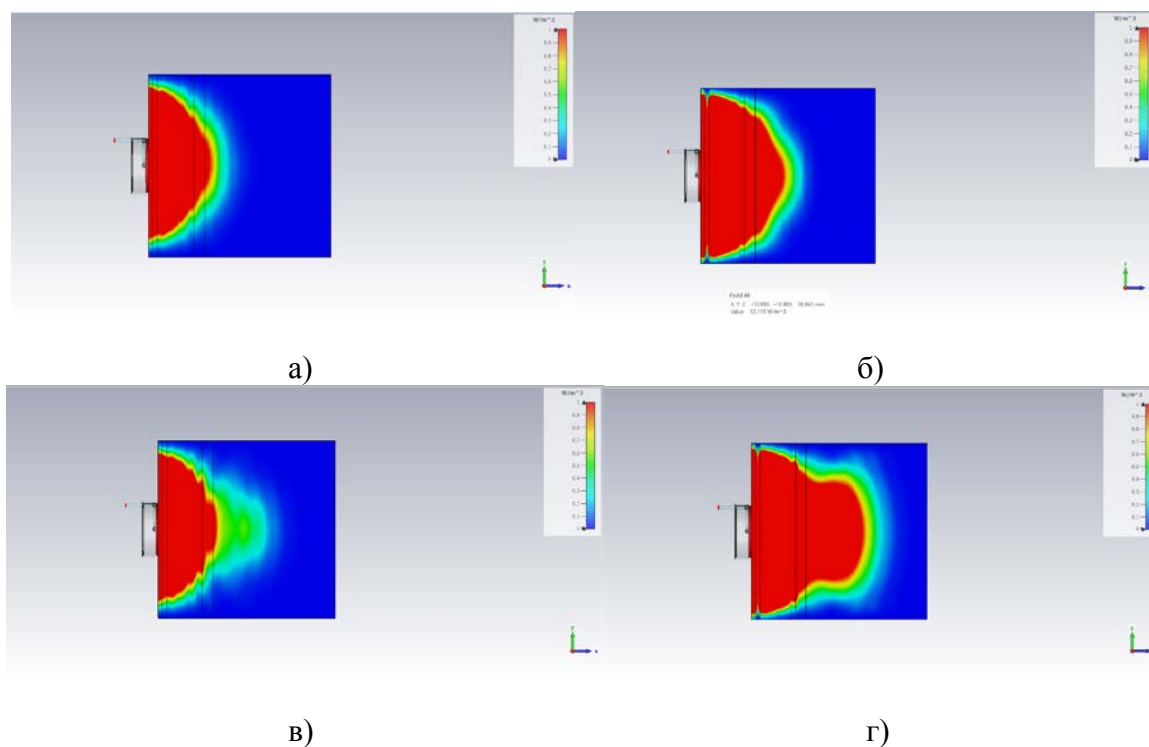


Рисунок 13 – Результаты моделирования: а) плотность потерь мощности при вдохе; б) плотность потерь мощности усовершенствованной модели антенны при вдохе; в) плотность потерь мощности при выдохе; г) плотность потерь мощности усовершенствованной модели антенны при выдохе

Моделирование плода в утробе матери для исследования средствами ультразвуковой визуализации

Студент: Акопова Анна Юрьевна

Научный руководитель: к.т.н. Леонов Денис Владимирович
(выполнено на кафедре ОПТ)

В выпускной работе представлен процесс моделирования фантомов плода в утробе матери для исследования средствами ультразвуковой визуализации. В ходе работы был произведен обзор компаний производителей подобных фантомов, на основе которого было предложено разработать две собственные модели.

Первая версия фантома включает модель плода, сделанную из фотополимерной смолы и погруженную в вещество, имитирующее амниотическую жидкость.

Вторая модель фантома плода имеет скелет и включает следующие внутренние органы: мозг, правое легкое, левое легкое, печень, правую почку, левую почку, мочевой пузырь. Для того, чтобы органы фантома отличались друг от друга по эхогенности при ультразвуковом исследовании, использовались примеси графита и металлического глиттера в различных концентрациях. Фантом плода помещен в форму, имитирующую беременный живот, и заполнен чистым пластизолом, имитирующим амниотическую жидкость, и пластизолом с 2% примеси металлического глиттера, имитирующим окружающие ткани матери. Фантом был проверен на УЗИ-аппарате.

Данная модель фантома плода в утробе матери не является конечным вариантом, она будет дополняться и совершенствоваться. В перспективе планируется добавить фантому такие структуры как: плацента, пуповина, сердце, желудок и кишечник.

Разработанные фантомы плода в утробе матери позволят специалистам в области акушерства и гинекологии повысить навыки в определении различных патологий. Эти модели помогут улучшить качество пренатальной диагностики, что благоприятно повлияет на здоровье плода.



Рисунок 14 – Пошаговый процесс создания фантома плода с внутренними органами

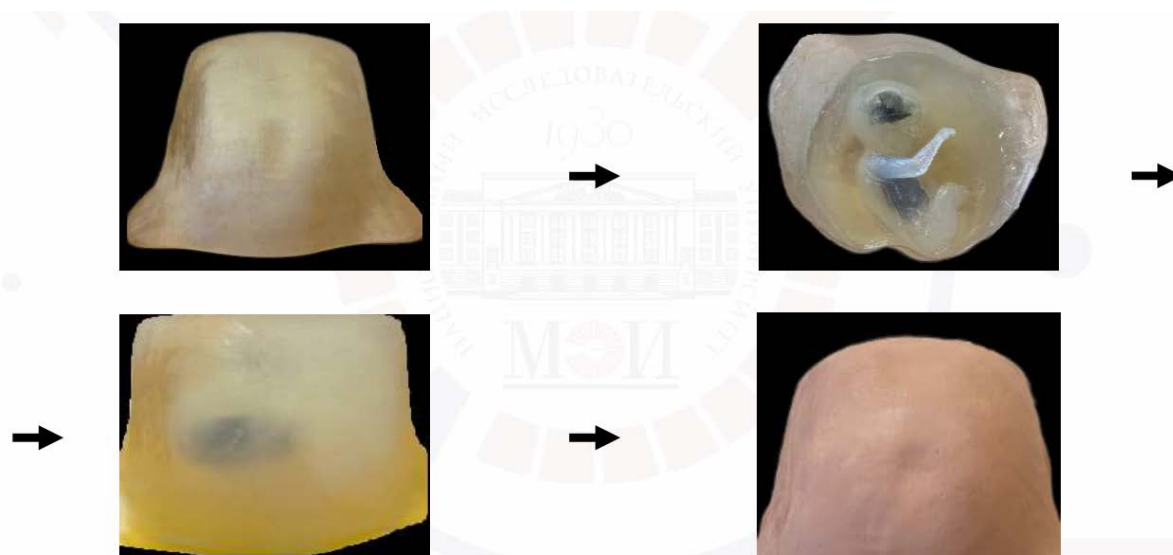


Рисунок 15 – Пошаговый процесс создания фантома плода в утробе матери

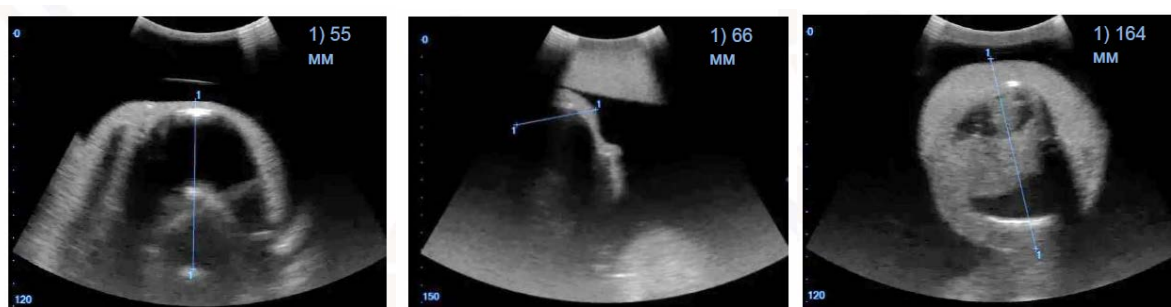


Рисунок 16 – Измерение параметров фантома плода в утробе матери: а) би-парентальный размер; б) лобно-затылочный размер; в) окружность живота

Модель легких для ультразвуковой диагностики

Студент: Шагиева Самира Маратовна

Научный руководитель: к.т.н. Леонов Денис Владимирович
(выполнено на кафедре ОРТ)

В данном бакалаврском проекте была разработана модель грудной клетки для ультразвуковой диагностики. Был проведен анализ рынка, который показал высокую стоимость зарубежных фантомов и отсутствие моделей, имитирующих дыхательный цикл, на российском рынке.

Для моделирования дыхательного цикла был разработан поршневой насос, управляемый платой, с заданными параметрами дыхательного объема и частоты дыхания. Грудная клетка была смоделирована по снимкам компьютерной томографии и имеет 4 варианта для определения различных эффектов. Исследование моделей на ультразвуковом аппарате показало следующие результаты:

1) модель здорового легкого без искажений полностью идентична снимкам здоровых человеческих легких, что подтверждается проверкой в двух режимах исследования. В-режим показывает четкую краевую плевральную линию, М-режим демонстрирует картину «морского берега»;

2) модели с имитацией А-линий и консолидированных участков имеют достаточно высокую степень сходства с реальными изображениями легких, что доказывает верный подбор материалов.

Для исключения врачебных ошибок и повышения квалификации персонала было необходимо создать точный и эффективный тренажер для ультразвуковой диагностики. Так как легкие являются сложным органом при проведении УЗИ из-за наполненности воздухом и менее четкой визуализации, данный тренажер является актуальным для получения навыков проведения исследования.

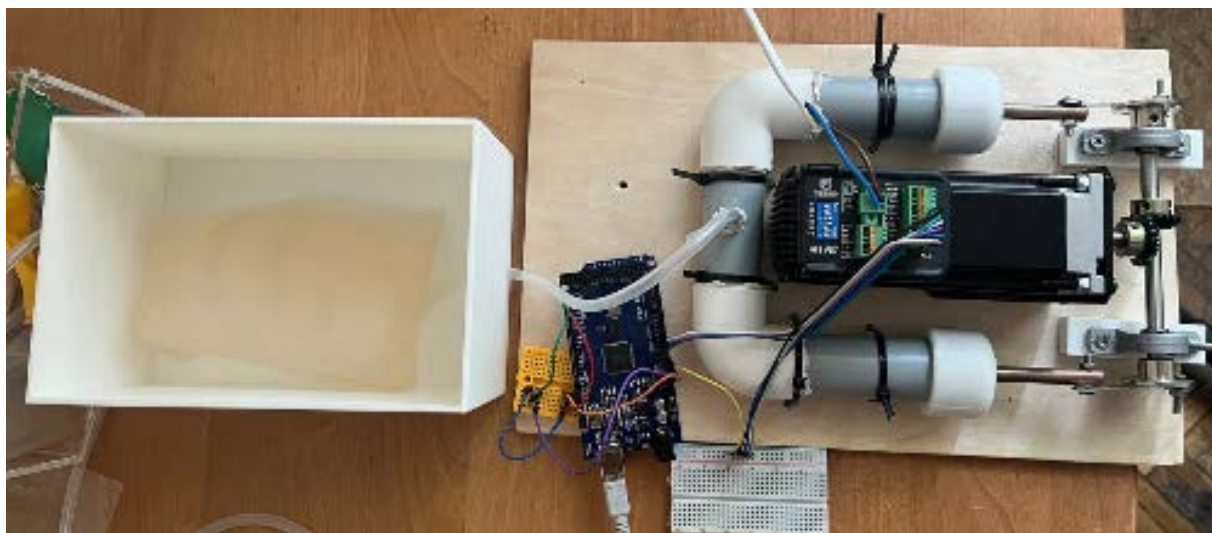


Рисунок 17 – Собранный фантом грудной клетки с поршневым насосом для имитации дыхания

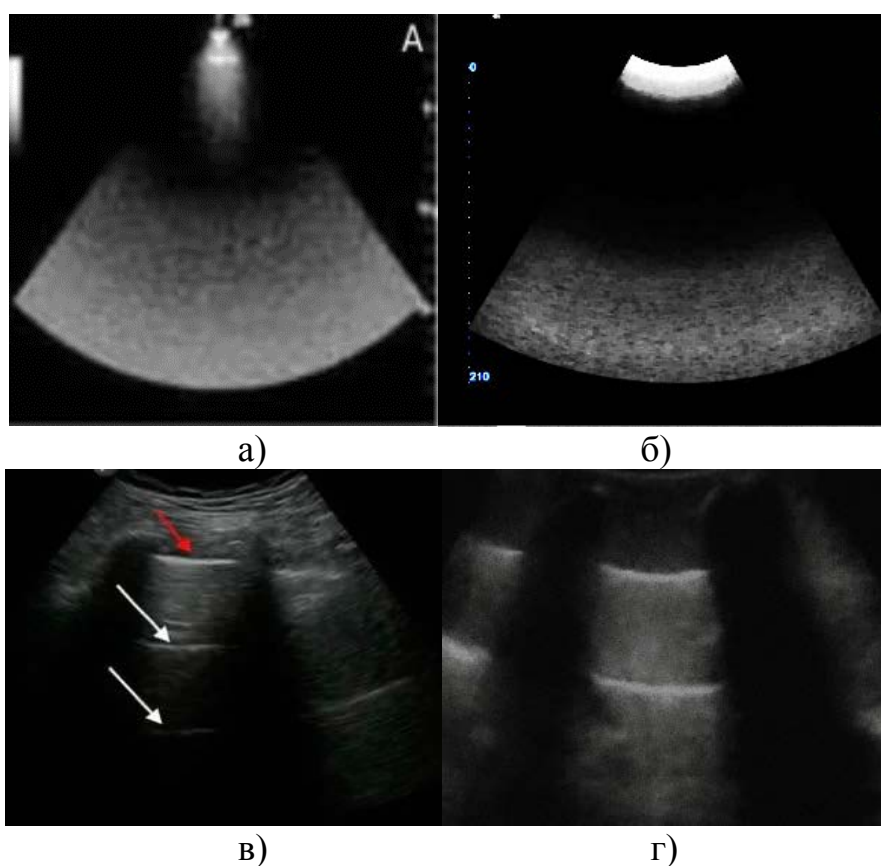


Рисунок 18 – Ультразвуковое изображение здорового легкого: а) человеческое легкое, б) разработанный фантом; ультразвуковое изображение теневых артефактов и А-линий: в) человеческое легкое, г) - разработанный фантом

Разработка ультразвукового фантома для обучения регионарной анестезии

Студент: Булгакова Юлия Владиславовна

Научный руководитель: к.т.н. Леонов Денис Владимирович
(выполнено на кафедре ОРТ)

Магистерская диссертация посвящена разработке ультразвукового фантома, пригодного для обучения навыкам регионарной анестезии. Актуальность работы заключается в том, что создание эффективного тренажера для отработки инвазивных манипуляций под ультразвуковым контролем позволит снизить частоту врачебных ошибок при выполнении регионарной анестезии.

Целью диссертации является разработка технологии создания ультразвукового фантома сосудов и нервов из доступных, недорогих и износостойких материалов, предназначенного для тренировки навыков проведения ультразвукового исследования сосудов и нервов, а также для отработки сосудистого доступа под ультразвуковым контролем и ультразвуковой навигации регионарной анестезии.

Проведен обзор разработанных фантомов для регионарной анестезии. Большинство из них являются неоправданно дорогостоящими. Изучена ультразвуковая анатомия сосудов, нервов и костей человека. Разработаны и исследованы модели тканей человека, имитирующие ультразвуковые характеристики. Разработан и исследован ультразвуковой фантом сосудов и нервов для обучения регионарной анестезии, содержащий три прямых сосуда, два прямых нерва и нерв с бифуркацией. Разработаны фантомы шейного нервного сплетения и пояснично-крестцового отдела, пригодные для отработки различных методов регионарной анестезии. Изучены основные документы, регламентирующие требования и методы проведения технических испытаний фантомов сосудов и нервов. Подготовлена дополнительная документация по использованию фантома сосудов и нервов в образовательных целях.

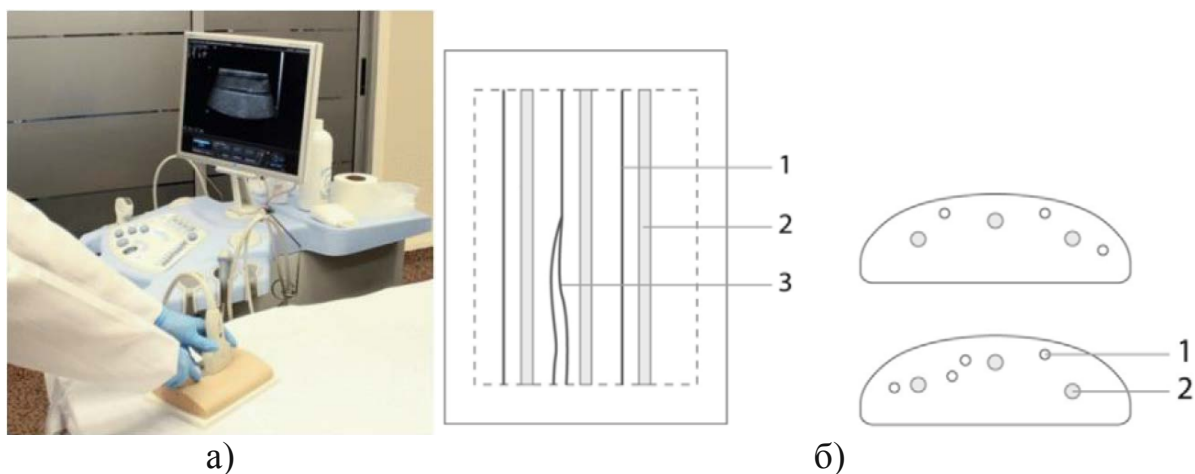


Рисунок 19 – а) фантом сосудов в процессе тренировки студента медицинского учреждения; б) схема моделей, содержащихся в фантоме (вид сверху (слева), сзади (справа вверху) и спереди (справа внизу)): 1 – нервы; 2 – сосуды; 3 – область бифуркации

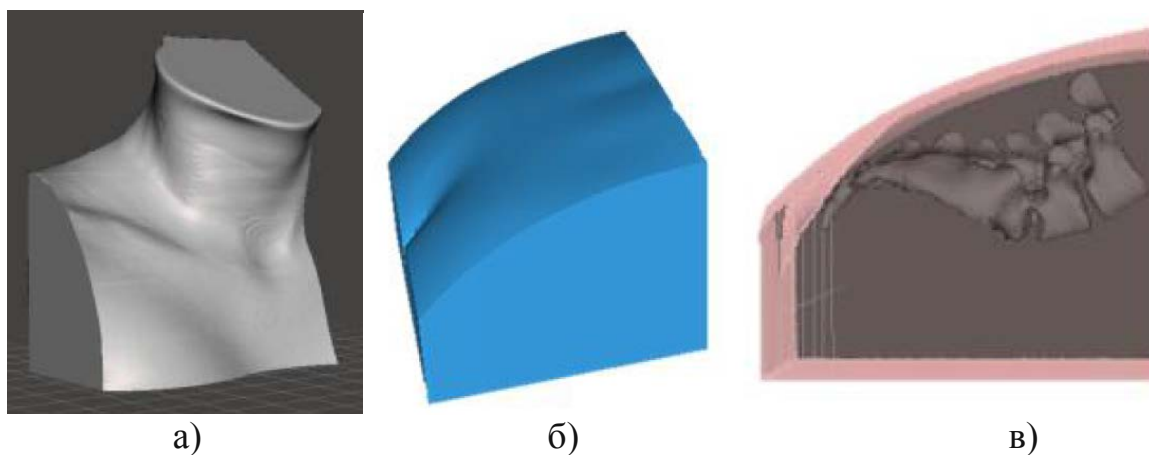


Рисунок 20 – а) модель фантома шейного нервного сплетения; модель внешнего вида фантома пояснично-крестцового отдела: б) общий вид; в) вид в срезе

Оптимизация параметров модели электрической активности сердца на базе клеточных автоматов

Студент: Петров Константин Эдуардович

Научный руководитель: к.т.н. Жихарева Галина Владимировна
(выполнено на кафедре ОРТ)

Данное исследование фокусируется на изучении модели электрической активности миокарда с использованием клеточных автоматов. Основной целью работы является анализ влияния задержки проведения возбуждения и размеров клеточных автоматов на скорость автоволновых процессов в сердечной ткани. В ходе численного эксперимента также проводится подбор оптимальных параметров клеточных автоматов с учетом особенностей различных отделов миокарда и проводящей системы сердца.

В результате выполнения работы была изучена модель электрической активности сердца на основе клеточных автоматов и описан принцип ее работы.

Была разработана программа для исследования скорости проведения возбуждения, которая непосредственно зависит от времени задержки включения клеточных автоматов и их количества.

Также в результате исследования были подобраны параметры клеточных автоматов, такие как площадь клеточных автоматов и время задержки включения, соответствующие различным отделам сердца.

По результатам проведенных исследований были оптимизированы параметры модели электрической активности сердца, и, как следствие, увеличено ее быстродействие и уменьшено количество занимаемой памяти почти в 1,6 раз.

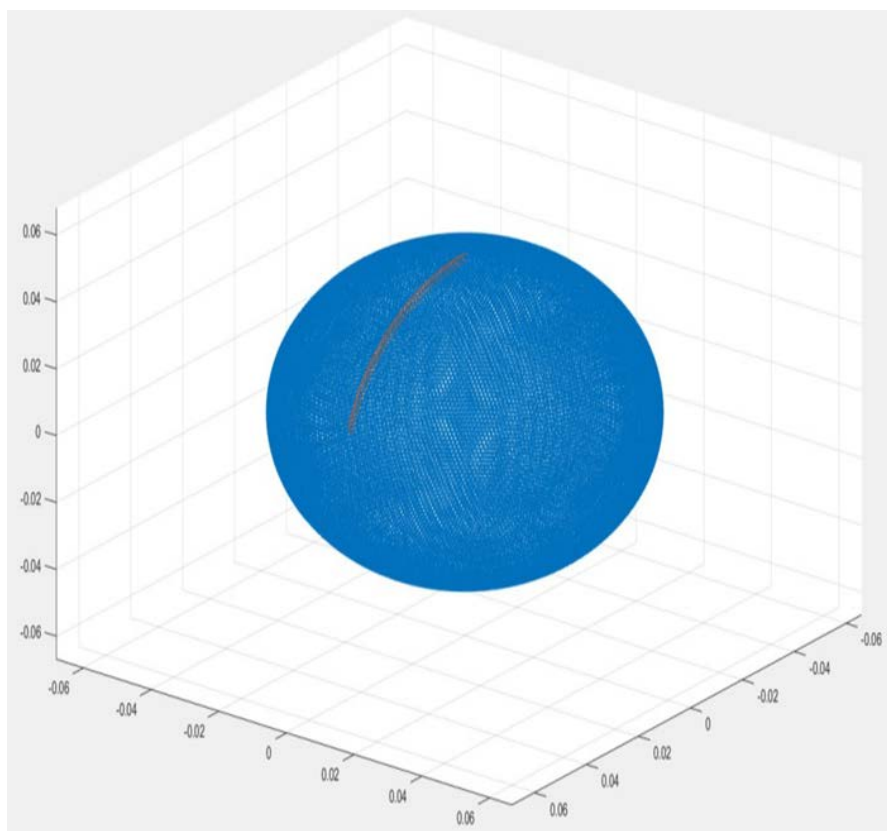


Рисунок 21 – Цепочка клеточных автоматов (выделены красным цветом), по которым определяется скорость автоволновых процессов в миокарде

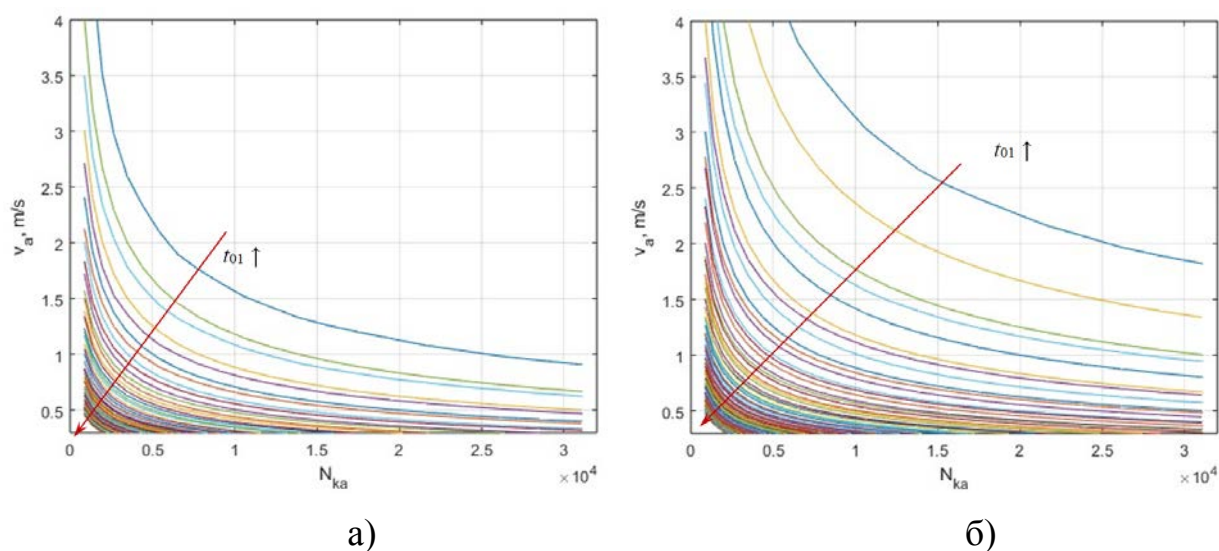


Рисунок 22 – зависимость скорости автоволновых процессов v_a от числа клеточных автоматов N_{ka} а) при различных временных задержках t_{01} ; б) при различных временных задержках t_{01} и частоте дискретизации 4 кГц

Исследование алгоритмов ЭКГ-картирования и оценка влияния их погрешности на качество решения обратной задачи электрокардиографии

Студент: Останин Илья Алексеевич

Научный руководитель: к.т.н. Жихарева Галина Владимировна
(выполнено на кафедре ОРТ)

Магистерская работа посвящена исследованию алгоритмов ЭКГ-картирования. В работе разрабатывался и исследовался алгоритм формирования карт наружных потенциалов с помощью метода интерполяции Шепарда по сигналам многоэлектродной ЭКГ-системы. Исследовалось влияние погрешности интерполяции на результат реконструкции распределения эквивалентных токовых источников на поверхности квазиэпикарда.

Исследование алгоритма проводилось с помощью модели генератора сердца и вспомогательных программ для автоматизации вычислений. В данной работе проведено исследование алгоритмов объемной интерполяции, в частности метода Шепарда и триангуляции, в применении к решению обратной задачи электрокардиографии.

В ходе работы был оценен вклад интерполяции карт наружных потенциалов на более частую сетку в погрешность реконструкции распределения эквивалентных токовых источников на поверхности квазиэпикарда. Методы интерполяции показали высокое качество интерполяции со средней корреляцией 0.95 между интерполированными и идеальными картами наружных потенциалов, а также высокую стабильность при изменении параметров торса пациента или ошибках выбора оптимальных параметров интерполяции.

В дальнейшем, для увеличения качества реконструкции распределения эквивалентных токовых источников, предлагается подробнее исследовать возможность улучшения и адаптации изученных методов интерполяции для других количеств и расположений электродов многоэлектродной ЭКГ-системы, а также, рассмотреть возможность использования современных технологий интерполяции на основе машинного обучения.

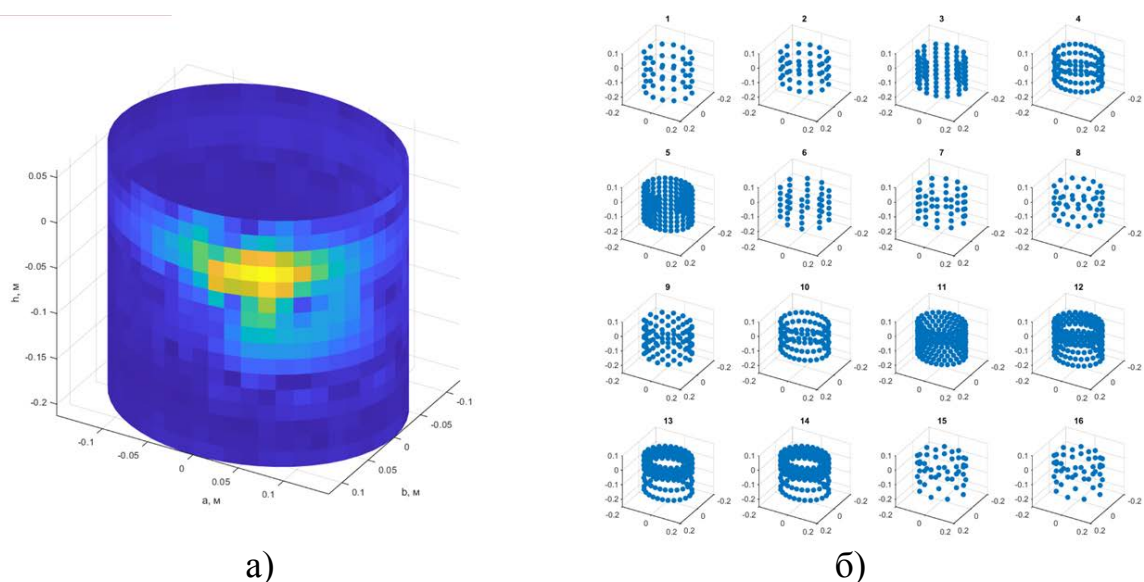


Рисунок 23 – Исследование влияния характеристик многоэлектродной ЭКГ-системы: а) распределение абсолютной погрешности; б) расположение электродов

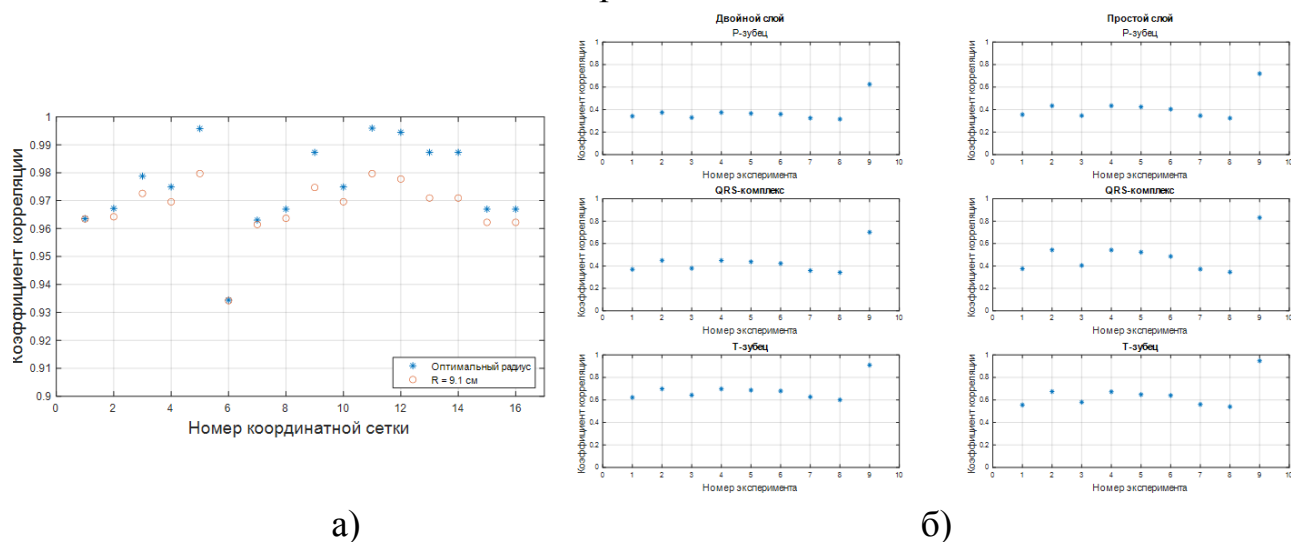


Рисунок 24 – Исследование влияния характеристик многоэлектродной ЭКГ-системы: а) зависимость качества интерполяции карт наружных потенциалов от типа сетки; б) зависимость качества реконструкции от типа сетки

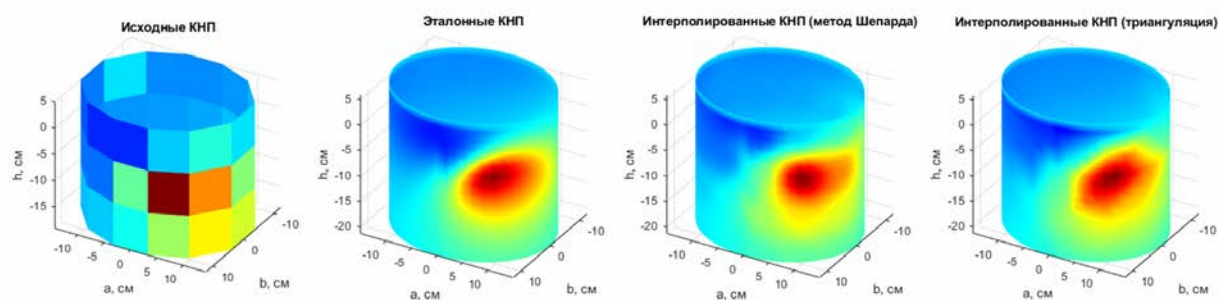


Рисунок 25 – Визуализация карт наружных потенциалов (КНП)

Алгоритмы анализа биосигналов на основе нечеткой логики

Студент: Козловская Ирина Викторовна

Научный руководитель: д.т.н. Истомина Татьяна Викторовна
(выполнено на кафедре ОРТ)

Работа посвящена разработке приложения для нечеткого анализа сигналов стабิโลграммы и ЭЭГ для классификации их параметров на норму и патологию. Рассмотрены методики нечеткого анализа биомедицинских сигналов, существующие среды и инструменты для проведения нечеткой классификации. Разработан нечеткий алгоритм анализа информативных признаков биосигналов на основе алгоритма Мамдани, а также создано приложение для проведения нечеткой классификации.

В данной работе были изучены принципы работы теории нечеткой логики применительно к анализу биосигналов человека. Рассмотрен и изучен математический аппарат нечеткой логики, позволяющий работать в условиях неопределенности данных. Проведен обзор различных программных сред, а также использование языков программирования для создания систем нечеткого анализа биомедицинских данных. Был проведен анализ связи изменений биомедицинских параметров человека с проявлением нарушений моторных функций человека, выявлена корреляция изменений мю-ритма ЭЭГ с проявлением таких неврологических расстройств, как эпилепсия, болезнь Паркинсона и др. Также изменения этого ритма и стабิโลграфического сигнала могут свидетельствовать о нарушениях опорно-двигательной системы, таких как ДЦП. Была проведена разработка методики нечеткого анализа биомедицинских сигналов, изложен алгоритм работы системы нечеткого логического вывода на базе алгоритма Мамдани. Создано приложение со встроенной системой нечеткой классификации, позволяющее классифицировать информативные признаки биосигналов на «Норму» и «Отклонения». Были составлены решающие правила, по которым проводилась классификация.

Данное приложение классификации призвано помогать медицинским специалистам в сложных клинических ситуациях, выявляя отклонения исследуемых параметров от нормальных значений.

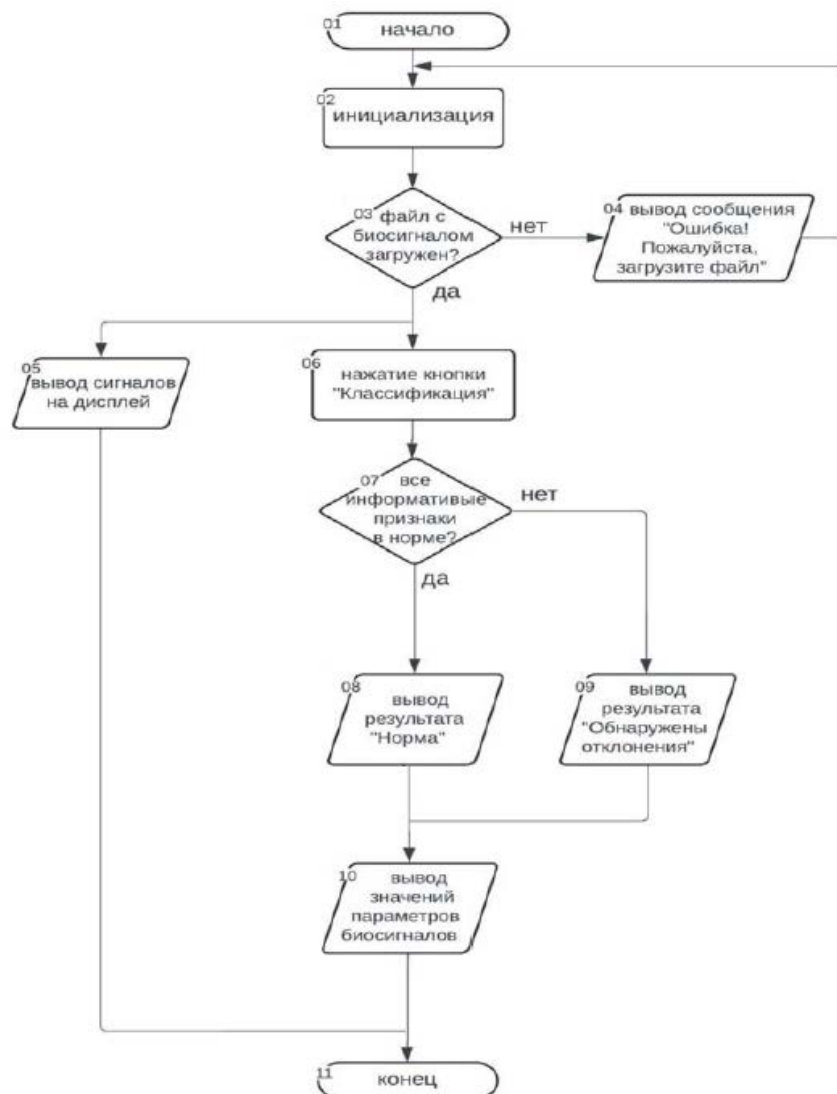


Рисунок 26 – Нечеткий алгоритм обработки биосигналов

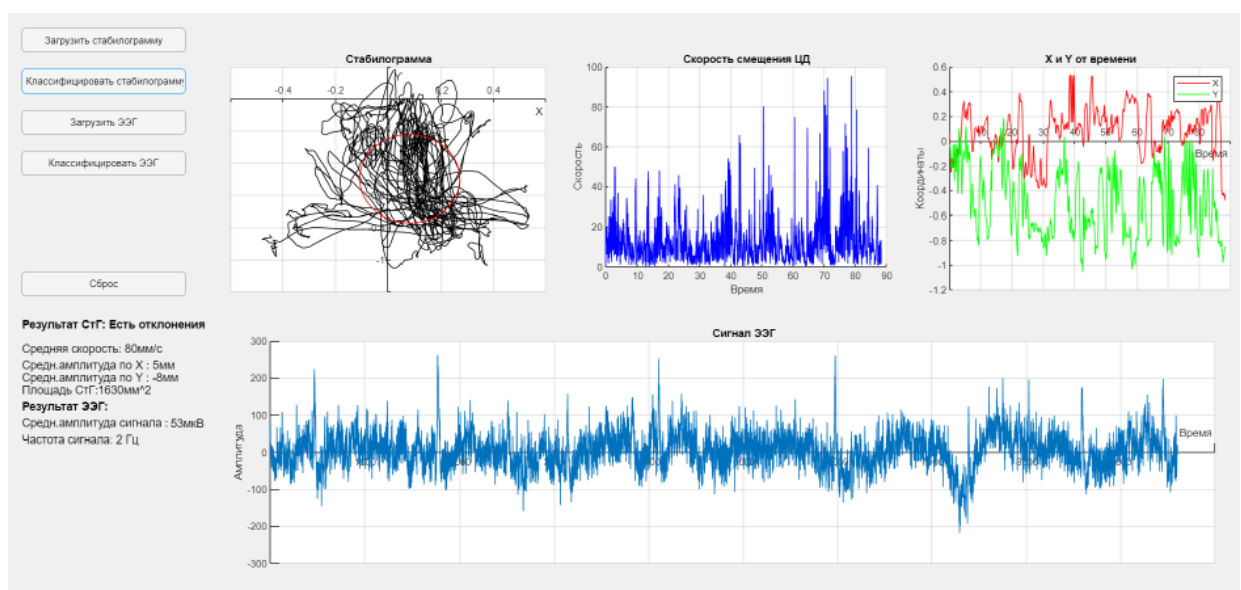


Рисунок 27 – Вид окна приложения с загруженными сигналами пациента... и результатами их классификации

Разработка устройства определения патологии дыхания

Студент: Шарапов Игорь Валерьевич

Научный руководитель: к.т.н. Шалимова Елена Владимировна
(выполнено на кафедре ОРТ)

В выпускной квалификационной работе рассмотрены вопросы разработки прототипа устройства для определения патологий органов дыхания посредством анализа шумов дыхания, полученных при аускультации легких. Также в работе представлен проект технической документации, пригодной для подачи в Федеральную службу по надзору в сфере здравоохранения в целях государственной регистрации медицинского изделия по национальной процедуре.

Проведенный анализ метода аускультации легких показал необходимость определения типа дыхания (везикулярное или бронхиальное) на первом этапе диагностики. Был предложен алгоритм, который позволяет по полученным данным дифференцировать везикулярное дыхание от бронхиального.

Разработан и реализован прототип устройства, который позволяет осуществлять запись сигналов дыхания и передавать их в ПК для дальнейшей обработки. Разработанный прототип устройства и анализ записей сигналов дыхания подтвердили возможность использования спектрального анализа для определения патологий органов дыхания, а также выявили круг задач, которые необходимо решить для получения законченного медицинского изделия.

Потенциальными путями развития устройства может стать интеграция модуля передачи по протоколу Bluetooth. Учитывая потенциально возможное применение устройства, функция передачи данных по Bluetooth будет полезна для быстрого информирования пользователя (или его опекуна в случае несовершеннолетних детей) об обнаруженной патологии.

Разработка методов обработки отраженного от человека сигнала доплеровского радиолокатора миллиметрового диапазона с учетом фрактальных свойств отраженного сигнала

Студент: Гильмутдинов Раиль Ильнарович

Научный руководитель: доцент Федоров Виктор Александрович
(выполнено на кафедре ФОРС)

В процессе бакалаврской работы проводилось выявление связи между фрактальными параметрами в частотных кластерах ритмограммы сердца и функциональным статусом человека. Объектом исследования являлся радиолокационный измерительный комплекс, применяемый для задач функциональной диагностики человека; метод обработки сигнала, принятого доплеровским радиолокатором. Цель работы заключается в анализе экспериментальных данных, содержащихся в отраженных от человека сигналах, принятых радиолокационным доплеровским комплексом «ПУЛЬСАР».

В процессе работы над ВКР была рассмотрена нелинейная модель динамического анализа вариабельности сердечного ритма, разработанная на основе принципов фрактальных представлений, которая позволяет исследовать сложные процессы формирования и управления ритма сердца и ставить в соответствие различным физиологическим состояниям конкретные числовые характеристики. Для получения большей информации о функциональном состоянии организма человека спектр мощности вариабельности сердечного ритма исследован с позиции трехкомпонентной теории. Исследования подтвердили эффективность и информативность предложенного метода, а также соответствие модели реальным процессам, что делает её пригодной для клинического использования.

Применение радиолокационного метода для диагностики состояния физиологических объектов создает инновационный подход к бесконтактной диагностике, который обеспечивает автоматизацию экспресс-оценки состояния объекта исследования.

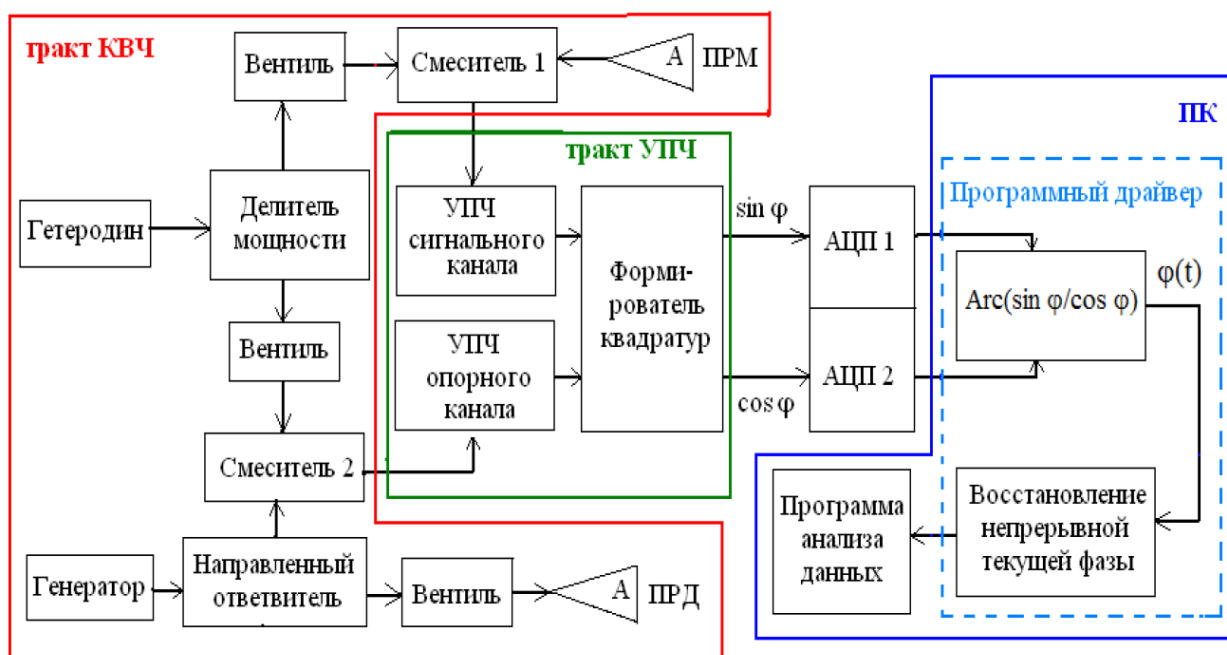


Рисунок 30 – Обобщенная структурная схема супергетеродинного приемопередающего устройства

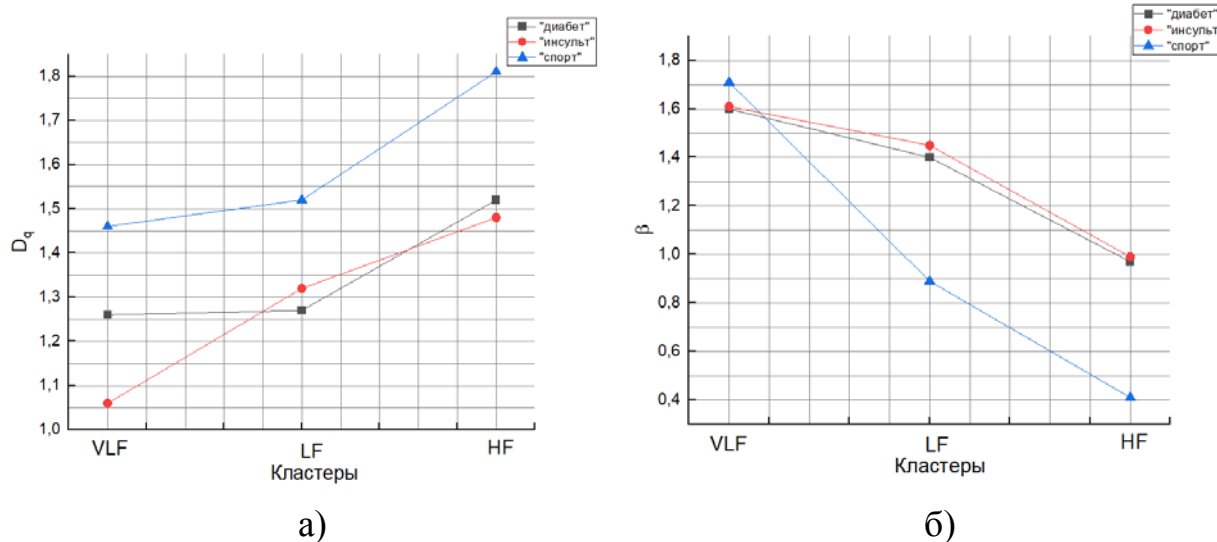


Рисунок 31 – а) распределение фрактальной размерности Хаусдорфа-Безиковича для каждой категории испытуемых; б) распределение фрактального спектрального показателя для каждой категории испытуемых

Реализация дифференциального усилителя биопотенциалов в базисе на переключаемых МОП-конденсаторах

Студент: Сучкова Мария Витальевна

Научный руководитель: к.т.н. Остапенков Павел Сергеевич

Консультант: ассистент Торопчин Денис Сергеевич
(выполнено на кафедре ФОРС)

В процессе выполнения работы были описаны особенности регистрации электрических потенциалов на кожном покрове, как одного из способов оценки состояния организма, а также перечислены основные факторы, осложняющие измерения параметров биообъектов. Была изучена теория схемотехники на переключаемых конденсаторах и принципы функционирования программируемой аналоговой интегральной схемы (ПАИС).

Предложена схема дифференциального усилителя в базисе на переключаемых МОП-конденсаторах в полностью дифференциальном исполнении. Полностью дифференциальное исполнение позволяет эффективно подавлять синфазные помехи, а также увеличить динамический диапазон устройства.

Дифференциальный усилитель биопотенциалов был реализован в виде микросхемы частичного применения на ПАИС Anadigm AN221E04, конфигурирование которой производилось с помощью специализированного программного обеспечения AnadigmDesigner2.

Над физической моделью устройства были проведены эксперименты для снятия характеристик разработанной схемы: коэффициента ослабления синфазного сигнала (Косс) и динамического диапазона, свободного от паразитных составляющих (SFDR). Значение коэффициента ослабления синфазного сигнала составило 102 дБ, что является характеристикой высококачественного дифференциального усилителя. Значение динамического диапазона, свободного от паразитных составляющих, составило 72 дБ.

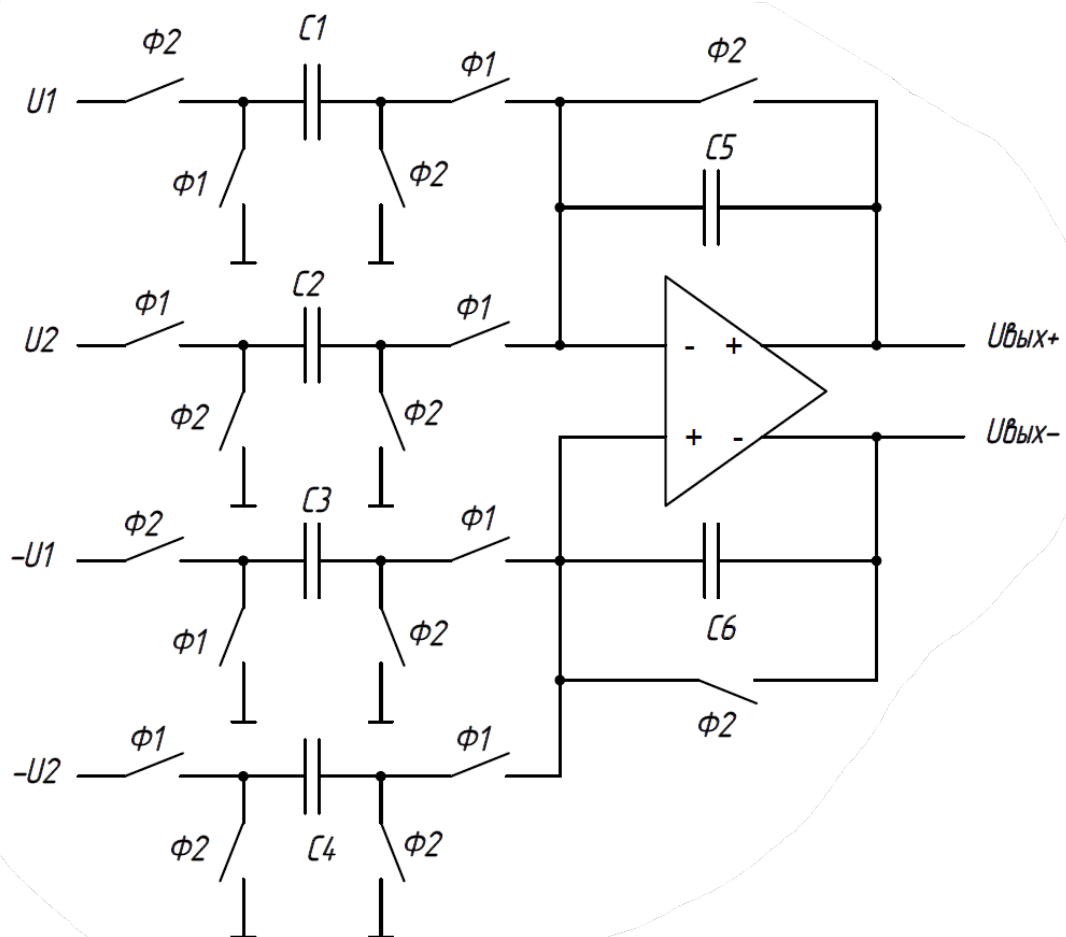


Рисунок 32 – Разработанная схема дифференциального усилителя

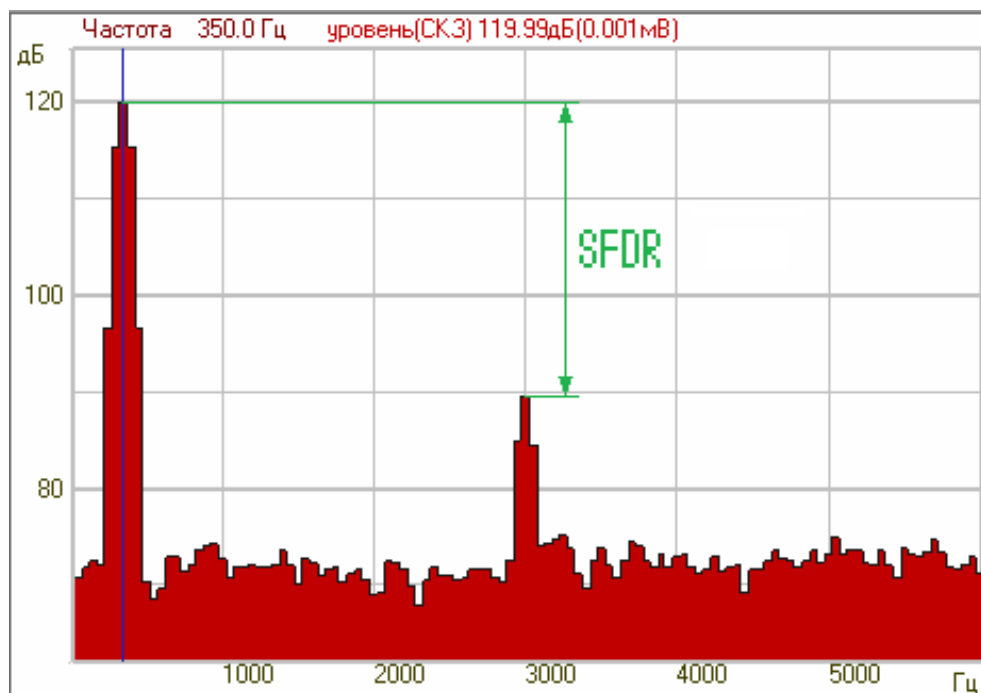


Рисунок 33 – Измерение динамического диапазона, свободного от паразитных составляющих (SFDR) при помощи спектра

Сенсор сверхслабых магнитных полей для биомедицинских приложений на основе антиферромагнитных гетероструктур

Студент: Самойленко Кристина Дмитриевна

Научный руководитель: д.ф.-м.н. Сафин Ансар Ризаевич
(выполнено на кафедре ФОРС)

В ходе выполнения выпускной квалификационной работы была рассчитана чувствительность магнитного сенсора в составе магнитной энцефалографии (МЭГ). В качестве альтернативы более компактным и доступным вариантом являются сенсоры на основе антиферромагнитных структур. Исследованы перспективные сенсорные элементы для детектирования сверхслабых магнитных полей, ориентированные на использование в биомедицинских приложениях. Основой таких сенсоров являются антиферромагнитные гетероструктуры, которые благодаря уникальным магнитным свойствам позволяют достигать высокой чувствительности и малых уровней шумов.

Были проанализированы возможности объединения антиферромагнитных осцилляторов в ансамбли с целью увеличения мощности и выявлена приоритетная из изученных топология для снятия сверхслабых магнитных полей: решетка. Проведенные исследования показали, что антиферромагнитные сенсоры обладают рядом преимуществ по сравнению с традиционными магниторезистивными или сверхпроводниковыми квантовыми интерферометрами (СКВИДными датчиками), включая более простую конструкцию, низкое энергопотребление, высокую помехоустойчивость и возможность массового производства по доступным технологиям.

В ходе работы были определены основные направления дальнейшего совершенствования антиферромагнитных сенсоров для биомедицинских применений, а именно: изучение чувствительности данных датчиков, конструкции и схемотехнических решений. Полученные результаты демонстрируют перспективность данного подхода и открывают новые возможности для разработки высокочувствительных магнитных датчиков следующего поколения.

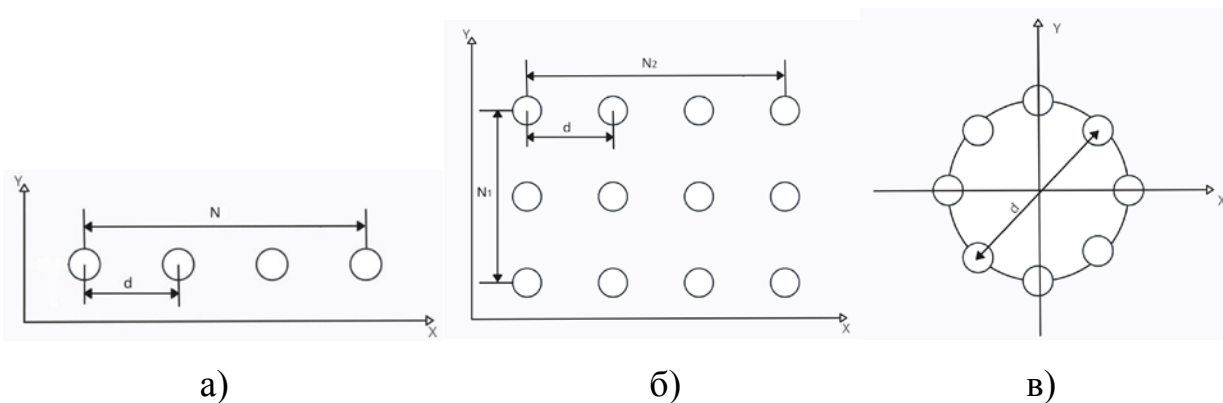


Рисунок 34 – Рассматриваемые топологии связанных антиферромагнитных осцилляторов: а) цепочка; б) решетка; в) кольцо

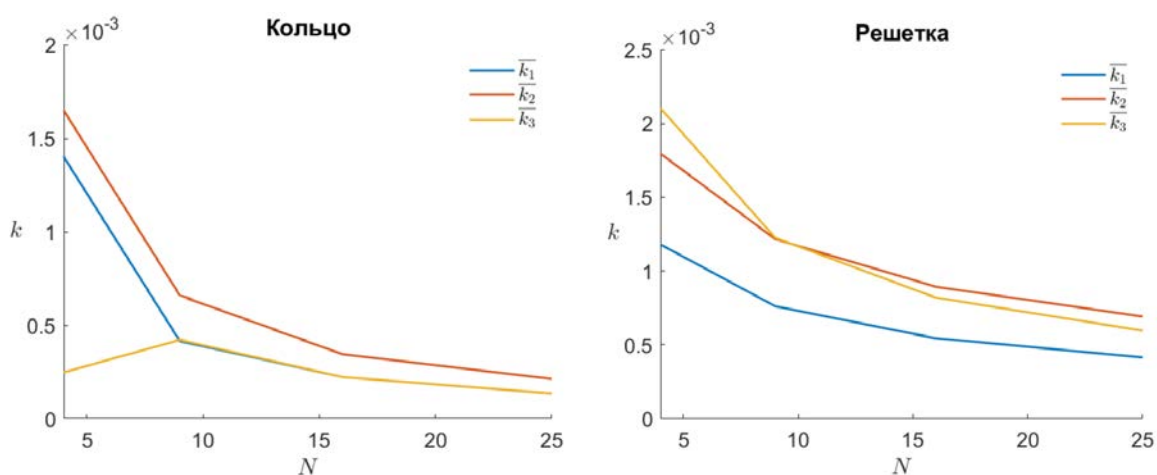


Рисунок 35 – Сравнение полученных коэффициентов связи: графики зависимости средних коэффициентов связи от числа осцилляторов в ансамбле: кольцо (слева) и решетка (справа)

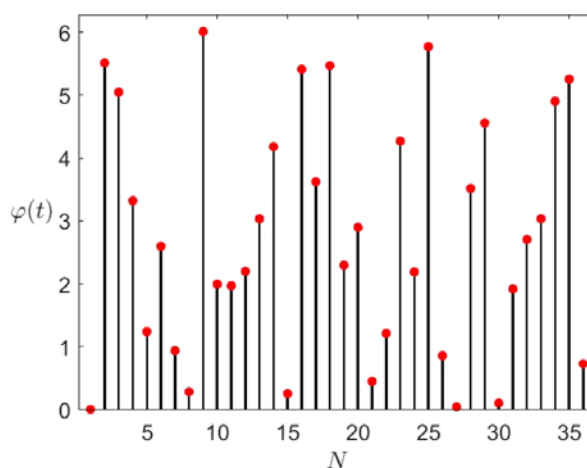


Рисунок 36 – Визуализация изменения фаз осцилляторов в ансамбле с течением времени