

Министерство образования Республики Беларусь  
Учреждение образования  
Белорусский государственный университет  
информатики и радиоэлектроники

УДК 004.42:[612.649+534.231.3]

Мешкова  
Карина Евгеньевна

**Аппаратно-программный комплекс оценки состояния плода и  
прогнозирования исхода родов на основе импедансометрических  
характеристик околоплодных вод**

**АВТОРЕФЕРАТ**

на соискание степени магистра

по специальности 1-39 80 03 «Электронные системы и технологии»

---

Научный руководитель  
Давыдов Максим Викторович  
канд. техн. наук, доцент

---

Минск 2024

## КРАТКОЕ ВВЕДЕНИЕ

Анализ медико-биологических показателей жизнедеятельности организма и импедансометрических характеристик, полученных при воздействии электрического поля на исследуемый объект, позволяет установить соотношение показателей и произвести оценку состояния объекта. В соответствии с этим разрабатываются методы исследования импедансометрических характеристик биологических объектов. Примером является измерение импеданса биологических тканей в стоматологии для оценки состояния пульпы зуба и хирургии для усовершенствования системы удаления структурных патологий.

В гинекологии оценка состояния плода проводится во время всего гестационного периода. Исследуемым объектом считается не только сам плод, но и амниотическая жидкость со всеми отходами жизнедеятельности. Методами оценки состояния является кардиотография, ультразвук, доплерография, эхокардиография, концентрация гормонов крови у матери. Контроль развития плода позволяет выявить отклонения, установить степень зрелости плода и начальные признаки гипоксии.

Для оценки состояния плода при анализе импедансометрических характеристик следует учитывать отличающийся состав амниотической жидкости в разный период гестации, различную структуру у разных пациентов, метод забора амниотической жидкости и параметры электрического поля.

Исходя из вышеперечисленного поставлена цель – разработать аппаратно-программный комплекс оценки состояния плода и прогнозирования исхода родов на основе импедансометрических характеристик околоплодных вод, используя специальную методику их измерения и провести оценку теоретических и экспериментальных значений.

Для реализации создается программная модель системы, включающая два электрода, кювету и исследуемую жидкость. Для проведения исследований в качестве исследуемой жидкости выбран 25% раствор амниотической жидкости. Далее проводится моделирование процесса воздействия электрического переменного поля с дальнейшим вычислением характеристик.

Исследования осуществляются по разработанной методике, оцениваются результаты и проводится классификация вод по результатам экспериментов.

Тема данной работы является актуальной, так как результаты позволят оценить импедансометрические характеристики системы с околоплодными водами. С помощью которых можно установить соотношение параметров импедансометрических характеристик и состояния плода либо предположить способ родоразрешения.

# **ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ**

## **Связь работы с научными программами (проектами), темами**

Тема диссертационной работы утверждена приказом от 03.10.2022 №2277–с ректора учреждения образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники» и соответствует разделу 2 «Биологические, медицинские, фармацевтические и химические технологии и производства» Перечня приоритетных направлений фундаментальных и прикладных научных исследований Республики Беларусь на 2021–2025 годы (Постановление Совета Министров Республики Беларусь от 7 мая 2020 г. № 156).

Диссертационная работа выполнена в двух организациях: учреждении образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники» и УЗ «1 городская клиническая больница».

## **Цель, задачи, объект и предмет исследования**

Целью диссертационной работы является разработка аппаратно-программного комплекса для оценки состояния плода и прогнозирования исхода родов на основе импедансометрических характеристик околоплодных вод, используя специальную методику их измерения и проведение оценки теоретических и экспериментальных значений.

Для достижения поставленной цели потребовалось решить следующие задачи:

- создать программную модель системы для вычисления характеристик. В качестве модели контейнера для раствора околоплодных вод было решено использовать кювету для спектрофотометрии;
- разработать методику исследования импедансометрических характеристик амниотической жидкости;
- разработать аппаратно-программный комплекс;
- провести исследования амниотической жидкости на основе разработанного аппаратно-программного комплекса;
- оценить результаты исследования и провести классификацию вод по результатам импедансометрических характеристик.

Объектом исследования в диссертационной работе является амниотическая жидкость, образующаяся для защиты и развития плода со всеми биологическими отхода на протяжении всего этапа гестации и родов.

Предметом исследования являются импедансометрические характеристики (тангенс угла диэлектрических потерь и емкость).

## **Научная новизна**

1. Путем программного моделирования и вычислительных операций установлена зависимость показателя емкости системы (кювета + исследуемая жидкость или объект) при воздействии электрического поля напряжением 1 В и частотой 100 кГц от показателя диэлектрической проницаемости.

2. Результатом экспериментальной апробации является разработка алгоритма прогнозирования способа родоразрешения по показателям емкости системы с 25% раствором амниотической жидкости.

## **Положения, выносимые на защиту**

1. Методика исследования импедансометрических характеристик системы с амниотической жидкостью, позволяющая оценить состояние плода по тангенсу угла диэлектрических потерь и емкости раствора околоплодных вод, в отличие от известных методов и способов оценки в медицине, основанных на анализе результатов ультразвуковых исследований.

2. Экспериментально установленный диапазон показателей емкости системы с околоплодными водами, полученными путем естественных родов, (1,768 – 1,913 пФ) позволил разработать алгоритм прогнозирования способа родоразрешения, основанный на оценке параметра емкости системы с околоплодными водами.

## **Личный вклад соискателя ученой степени**

Все основные результаты, изложенные в диссертационной работе, получены автором самостоятельно. Определение цели и задач исследований, интерпретация и обобщение научных результатов проводились совместно с научным руководителем кандидатом технических наук, доцентом М.В. Давыдовым. Основными соавторами опубликованных работ являются кандидат технических наук, доцент М.В. Давыдов, врач хирург-гинеколог С.В. Пацеев, выпускница университета А.Р. Савейко. А.Р. Савейко принимала участие в программном моделировании системы с исследуемыми жидкостями.

## **Апробация результатов диссертации**

Результаты исследований апробированы на практике, доложены на научно-практической конференции: XIII Международная науч.-техн. конференция «МЕДЭЛЕКТРОНИКА – 2022» (декабрь, 2022., Минск, БГУИР); 100

идей для Беларуси (декабрь, 2022., Минск, БГУИР); 60-я юбилейная научная конференция аспирантов, магистрантов и студентов УО БГУИР (апрель, 2024., Минск, БГУИР).

Результаты, полученные в рамках диссертационной работы, внедрены в учебный процесс на кафедре электронной техники и технологии Учреждения образования Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, Республика Беларусь, в 2023 г.

### **Опубликованность результатов диссертации**

По результатам выполненных исследований опубликовано 6 научных работ. Из них 5 в сборниках статей и материалов конференций, 1 статья в научном рецензируемом журнале.

### **Структура и объем диссертации**

Диссертация состоит из введения, общей характеристики работы, пяти глав с краткими выводами по каждой главе, заключения, библиографического списка и приложений. Общий объем диссертационной работы составляет 66 страниц, включая 44 страницы машинописного текста, 33 иллюстрации на 15 страницах, 6 таблиц на 3 страницах, список использованных источников из 18 наименований и 6 собственных публикаций автора на 2 страницах, а также 2 приложения.

## ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

Во **введении** и **общей характеристике** обоснована актуальность темы диссертационной работы, определены цель и задачи исследования, сформулированы основные положения, выносимые на защиту, их научная новизна, приведены сведения об апробации и опубликовании основных результатов диссертации.

В **первой главе** на основании анализа литературных данных исследованы методы и средства оценки состояния плода в период гестации и родов, а также использование импедансометрических методов для исследования биологических объектов. Широкое использование постоянной электронной регистрации сердцебиения, сканирование посредством ультразвука, оценка кровотока в сосудах матки, эмбриона и пуповины являются наиболее признанными для оценки состояния плода. Анализ информации позволил выявить недостаточную надежность использования одного способа оценки состояния плода во время беременности и родов.

Импедансометрические методы позволяют провести оценку состояния среднего уха, слуховых труб и проводящих путей по показателям импеданса. Измерение импеданса также применяется и в хирургии, контроле замораживания биологических тканей, что позволяет использовать исследования импедансометрических характеристик для данной тематики работы.

Во **второй главе** представлена разработанная методика проведения исследований импедансометрических характеристик околоплодных вод. Перед разработкой методики сформулированы регистрируемые импедансометрические параметры исходя из предыдущих исследований околоплодных вод. Разработан протокол измерения характеристик под действием электрического поля. По согласованию с врачом хирургом-гинекологом выбрана методика забора амниотической жидкости, сформулированы и выбраны необходимые данные истории пациенток для анализа данных. Перед выполнением исследований с раствором амниотической жидкости проведены тестовые испытания для отладки методики.

Методика исследований импедансометрических характеристик амниотической жидкости включает методику проведения моделирования, методику подготовки околоплодных вод к проведению исследований, методику подготовки аппарата измерителя иммитанса и кювет, методику проведения исследований и методику обработки и анализа полученных данных.

Методика проведения моделирования включает создание модели кюветы для исследования в программе SolidWorks; проведение симуляции процесса воздействия электрического поля на исследуемый объект или жидкость

в программе Comsol Multiphysics; расчет электрических параметров исследуемых жидкостей и объектов.

Методика подготовки околоплодных вод к проведению исследований включает забор вод, визуальный анализ, сбор информации о способе родов и патологиях и подготовки раствора амниотической жидкости.

Для измерения характеристик выбран аппарат измерителя иммитанса МНИПИ Е7-20 с присоединительным устройством УП-2. Напряжение сигнала задается в 1 В и частотой 100 кГц. Именно данная частота позволяет измерять тангенс угла потерь с минимальной погрешностью прибора на всех исследуемых жидкостях и разброс значений на данной частоте минимальный. Для записи данных используется программное обеспечение вышеуказанного аппарата.

В **третьей** главе описывается поэтапный процесс моделирования исследований жидкостей, в том числе биологических объектов. Изначально строится модель кюветы в программе SolidWorks. Далее импортируется в Comsol Multiphysics и создается модель исследуемой жидкости или объекта с электродами в воздушной изолированной среде. В работе использовались жидкости и объекты, которые входят в том или ином количестве в околоплодные воды (дистиллированная вода, раствор хлорида натрия, кровь). Также проведены исследования для моделей легких и печени. По результатам моделирования и вычисления параметра емкости системы получены одинаковые показатели для системы с легкими, кровью и печени – 2,328 пФ. Емкость системы с водой составляет 1,550 пФ, емкость системы с хлоридом натрия – 1,103 пФ.

В **четвертой** главе изложена разработка аппаратно-программного комплекса. В комплекс входит 2 электрода, кювета с исследуемым раствором, устройство присоединительное УП-2, измеритель иммитанса, персональный компьютер, программное обеспечение. Аппарат измерителя иммитанса МНИПИ Е7-20 производит расчет комплексной проводимости или комплексному сопротивлению объекта, далее рассчитывает остальные параметры. Погрешность прибора минимальная и достаточная для проведения исследований (погрешность равна  $\pm 0,1\%$ ). Для записи применяется программное обеспечение с возможностью переноса данных с прибора на компьютер в виде файла благодаря интерфейсу RS-232C. Для работы программы необходимо выбрать порт подключаемого устройства, ввести имя файла и установить параметры для передачи данных. Обработка экспериментальных данных проводится с проверкой попадания в интервал нормального распределения.

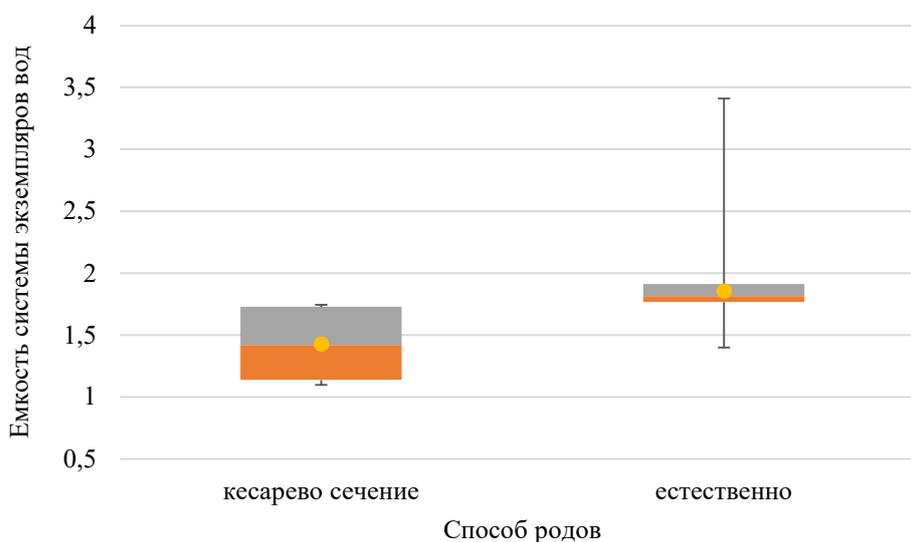
В **пятой** главе отмечены результаты исследований 31 экземпляра раствора амниотической жидкости. На основе значений импедансометрических характеристик околоплодных вод проведена классификация вод по

следующим признакам: внешние, способ родоразрешения, наличие патологий. Классификация по внешнему признаку не показала распределение экземпляров по разным группам. Оценка вод с патологиями позволила установить следующее:

1 Вероятность многоводия у пациентки можно оценить по показателям тангенса угла, которые лежат близко друг к другу, что подтверждает единый характер патологий и имеет средний показатель в 0,0073;

2 Результаты емкости в пределах 1,712-1,816 пФ указывают на возможную гипоксию плода.

Наиболее точный результат классификации вод замечен по способу родов. Кесарево сечение назначалось по показаниям и является только медикаментозным решением на основе взятых анализов, узи, доплерографией и осмотре пациенток. График емкости системы с раствором околоплодных вод в зависимости от способа родов (рисунок 1).



**Рисунок 1 – Емкость системы экземпляров околоплодных вод**

Воды, полученные путем естественных родов, лежат в диапазоне от 1,768 пФ до 1,913 пФ. Таких экземпляров собрано 26. Воды, полученные путем кесарево сечение (всего исследовано 5 экземпляров), лежат в диапазоне от 1,137 пФ до 1,728 пФ. Выбросы минимальные, что показывает высокий процент принадлежности показателей емкости к полученному диапазону. По полученной классификации предложен алгоритм прогнозов исхода родов.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В работе изучена научная литература по оценке состояния плода в период гестации и родов. Проведен анализ использования импедансометрических методов для исследования биологических объектов в медицине и рассмотрены аппаратно-программные комплексы.

В программном пакете Comsol Multiphysics изучено воздействие электрического поля напряженностью 1 В на систему (кювета + исследуемая жидкость или объект) с электродами в воздушной изолированной среде. Кювета моделировалась согласно параметрам реальной кюветы для исследований в программе SolidWorks. Объем исследуемой жидкости или объекта брался 1,25 мл, согласно такому объему проводится экспериментальная апробация. Для исследования выбраны модели воды, хлорида натрия, крови, легких и печени. Емкость системы с водой составляет 1,550 пФ, а емкость системы с хлоридом натрия – 1,103 пФ. Данные жидкости контрольные и результаты сравниваются с результатами апробации. Кровь исследовалась по причине возможного присутствия в амниотической жидкости как в патологии, так и в нормальном состоянии. Показатель емкости системы с кровью равен 2,328 пФ.

Для экспериментальной апробации разработана методика исследования импедансометрических характеристик, включающая процесс моделирования, подготовки околоплодных вод и измерителя иммитанса, проведения исследований и обработки полученных данных. В работе измеряются параметры емкости и тангенса угла диэлектрических потерь системы, как наиболее точных для классификации вод либо разработки прогноза на роды. Необходимые параметры вычислялись аппаратом измерителя иммитанса МНИПИ Е7-20. Прибор идеально подходит для работы на исследуемой частоте 100 кГц, выбору измеряемого параметра с относительной основной погрешностью менее 1%. Запись данных происходит через программное обеспечение на персональном компьютере, соединенное интерфейсом RS-232C, с измерителем иммитанса. В исследовании используется 25% раствор амниотической жидкости, что позволяет брать небольшое количество вод. Данное упрощает взятие материала в период гестации и не несет угрозы для плода в утробе.

В ходе проведения исследований получены значения емкости системы для контрольных жидкостей. Показатель емкости системы с водой, вычисленный на основе значения энергии в программе Comsol Multiphysics, равен 1,550 пФ и немного меньше, чем показатель емкости, полученный при экспериментальной апробации (1,770 пФ). Данное объясняется идеальными условиями измерения показателя в программе моделирования, но наличием относительных

погрешностей при проведении исследований. Показатель емкости системы с хлоридом натрия имеет схожий характер зависимости.

За время проведения исследований собран 31 экземпляр вод с различным составом, способом родов и наличием патологий. В общем количестве вод собраны воды с гипоксией и многоводием.

При анализе экземпляров вод с диагнозом многоводие выявлен единый характер патологии по близким значениям тангенса угла системы для данных вод, причем показатели лежат ближе к высокой границе допустимого диапазона пациенток с естественным способом родов.

Анализ вод с гипоксией показал, что диапазон значений емкости системы таких вод лежит в пределах 1,7 – 1,8 пФ и при учете способа родов данные значения не пересекаются.

Классификация всех собранных экземпляров околоплодных вод по способу родов позволяет сделать прогноз о возможном кесарево сечении, а не естественных родах при анализе показателя емкости. На основе данной зависимости построен алгоритм прогнозирования способа родов для пациентки от значения емкости системы с амниотической жидкости. За контрольный показатель емкости системы с водами взят 1,768 пФ, что соответствует начальной границе допустимых значений вод с естественным способом родов.

Диссертация проверена на корректность использования материалов с применением сетевого ресурса «Антиплагиат», который показал процент оригинальности 73,85%. Цитирования обозначены ссылками на публикации и указаны в разделе пояснительной записки «Список используемых источников».

## СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ

1–А. Исследование параметров биологических жидкостей на основе импедансометрического метода=The research of the parameters of biological fluids based on the impedance method / А. Р. Савейко [и др.] // Медэлектроника–2022. Средства медицинской электроники и новые медицинские технологии : сборник научных статей XIII Международной научно-технической конференции, Минск, 8-9 декабря 2022 г. / Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники ; отв. за вып.: М. В. Давыдов. – Минск : БГУИР, 2022. – С. 73–77.

2–А. Программная модель системы для анализа импедансометрических характеристик биологических жидкостей=A software model of the system for analyzing impedance-metric characteristics of biological fluids / К. Е. Мешкова [и др.] // Медэлектроника–2022. Средства медицинской электроники и новые медицинские технологии : сборник научных статей XIII Международной научно-технической конференции, Минск, 8-9 декабря 2022 г. / Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники ; отв. за вып.: М. В. Давыдов. – Минск : БГУИР, 2022. – С. 93–97.

3–А. Meshkova, K. E. Data reading software / Meshkova K. E. // Электронные системы и технологии : сборник материалов 59-й научной конференции аспирантов, магистрантов и студентов БГУИР, Минск, 17–21 апреля 2023 г. / Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники; редкол.: Д. В. Лихаческий [и др.]. – Минск, 2023. – С. 1168–1169.

4–А. Мешкова, К.Е. Аппараты для оценки состояния плода = Devices for assessing the condition of the fetus / К.Е. Мешкова // Электронные системы и технологии: сборник материалов 60-й юбилейной научной конференции аспирантов, магистрантов и студентов БГУИР, Минск, 22–26 апреля 2024 г. / Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники; редкол.: Д. В. Лихаческий [и др.]. – Минск, 2024 (в печати).

5–А. Мешкова, К.Е. Аппаратно-программные комплексы для исследования импедансометрических характеристик= Hardware and software complexes for the study of impedance characteristics / К.Е. Мешкова // Электронные системы и технологии: сборник материалов 60-й юбилейной научной конференции аспирантов, магистрантов и студентов БГУИР, Минск, 22–26 апреля 2024 г. / Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники; редкол.: Д. В. Лихаческий [и др.]. – Минск, 2024 (в печати).

6–А. Мешкова, К.Е. Моделирование и экспериментальная апробация аппаратно-программного комплекса для определения импедансометрических

параметров амниотической жидкости / К.Е. Мешкова // Доклады БГУИР. – 2024 (в печати).

7–А. Квантовые приборы и системы в медицине. Лабораторный практикум : пособие / С. К. Дик [и др.]. – Минск : БГУИР, 2024. – 68 с. : ил.

8–А. Электронные компоненты и биомедицинские сенсоры. Лабораторный практикум: пособие / И. В. Самуйлов [и др.] – Минск : БГУИР, 2024. – 77 с. : ил :