

УТВЕРЖДАЮ

Проректор по науке и инновациям
ФГБОУ ВО «Воронежский
государственный технический
университет» доктор технических
наук, доцент



А.В. Башкиров

А.В. Башкиров

2025 г.

М.П.

ОТЗЫВ

ведущей организации

ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет»
диссертации Серебровского Андрея Вадимовича
на тему «Развитие технологий биоимпедансного анализа для
классификаторов риска рака молочной железы, построенных на основе
гибридных технологий искусственного интеллекта», представленной на
соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности
2.2.12. Приборы, системы и изделия медицинского назначения (технические
науки)

Актуальность работы

На сегодняшний день рак молочной железы (РМЖ) представляет серьезную угрозу для здоровья и жизни женщины, поскольку в структуре онкозаболеваемости он занимает лидирующую позицию. В России за последнее десятилетие распространенность РМЖ выросла более чем на 40% и отчетливо сформировалась тенденция к «омоложению» заболевания. Таким образом, в группе риска находится каждая 8-я женщина, а по достижении 40 лет и при наличии факторов риска частота заболевания увеличивается.

Постоянное увеличение онкологических заболеваний в мире требует создания новых подходов к их диагностике и к выбору наиболее эффективного лечения. При этом обнаружение на ранней стадии заболевания позволяет сделать лечение успешным во многих случаях. В этой связи, ключевой задачей диссертационного исследования Серебровского А.В. является развитие новых интеллектуальных технологий для классификаторов риска РМЖ, построенных на основе гибридных моделей искусственного интеллекта.

Структура и общая характеристика диссертационной работы

Диссертация состоит из введения, четырех разделов, заключения и списка литературы, включающего 53 отечественных и 92 зарубежных

наименований. Работа изложена на 151 странице машинописного текста, содержит 54 рисунка и 3 таблицы.

Во введении обоснована актуальность работы; сформулированы цель и основные задачи исследования; показаны научная новизна и практическая ценность работы; приведены основные положения, выносимые на защиту; представлены сведения об апробации и внедрении результатов.

В первом разделе выполнен системный анализ в области современных методов и экспериментальных исследований по диагностике и дифференциальной диагностике РМЖ, и использование ансамбля классификаторов для улучшения результатов классификации. Развитие информационных технологий, средств вычислительной техники, совершенствование технологий компьютерной томографии (КТ), УЗИ и других методов медицинского обследования, позволяет на новом качественном уровне осуществлять раннюю диагностику онкологических заболеваний. В рамках развития информационных технологий выделено создание новых методов искусственного интеллекта, которые в последнее время приводят к качественному скачку в развитии диагностики онкологических заболеваний, что привело к росту интереса к этим методам со стороны ученых, врачей и исследователей. Сформулированы задачи последующего диссертационного исследования. Намечены пути достижения поставленных целей.

Во втором разделе описана предложенная трехзвенная модель биоимпеданса биоматериала молочной железы (МЖ), основанная на сканировании поверхности кожи МЖ электродной матрицей и определении импедансной диаграммы в отведениях, образованных электродами матрицы электродов и индифферентным электродом. Модель позволяет определять параметры эквивалентного двухполюсника, которые используются в качестве дескрипторов для классификатора риска РМЖ. Разработан классификатор для оценки риска РМЖ на основе данных биоимпедансных исследований двухуровневой иерархической структурой, использующий в качестве дескрипторов параметры эквивалентных трехзвенных двухполюсников. Предложен алгоритм обучения двухуровневой иерархической искусственной нейронной сети для оценки риска РМЖ на основе данных биоимпедансных исследований. Разработан мультимодальный классификатор риска РМЖ, основанный на трехканальном анализе данных с последующей агрегацией решений в каналах. Разработана архитектура сверточной нейронной сети, предназначенная для анализа данных в третьем канале мультимодального классификатора риска РМЖ.

В третьем разделе приведен способ оценки риска РМЖ, основанный на спектроскопии биоимпеданса, учитывающий анизотропию биоматериала, заключающийся в сканировании поверхности кожи МЖ посредством формирования отведений путем включения в цепь генератора тока биоматериала МЖ и получения графика Коула импеданса этого биоматериала. Для получения сырых данных для обучаемого классификатора риска РМЖ разработано устройство, содержащее последовательно

соединенные четырехсекционную матрицу электродов, блок коммутации, измерительный усилитель, аналого-цифровой преобразователь, микроконтроллер и ЭВМ, генератор тока, входом подключенный к микроконтроллеру, а выходом – к пятому входу блока коммутации, и токовый резистор, первым выводом подключенный к выходу блока коммутации, а вторым – к общей шине. Для сканирования электропроводности биоматериала молочной железы и формирования дескрипторов для классификаторов риска рака молочной железы разработан комплект алгоритмов. Предложена конструкция биоимпедансного преобразователя, в основу которой положена полиимидная подложка с нанесенной на нее методом фотолитографии матрицей электродов. Биоимпедансный преобразователь позволяет оценить анизотропию электропроводности биоматериала и использовать полученную информацию для формирования дескрипторов для классификаторов риска РМЖ.

В четвертом разделе представлены авторские аппаратно-программные средства для биоимпедансных исследований риска РМЖ. Аппаратные средства предназначены для построения моделей машинного обучения для классификации риска РМЖ и включают: устройство сбора данных для биоимпедансной спектроскопии на основе электродной матрицы, устройство связи с объектом исследования и устройство для спектроскопии биоимпеданса посредством матрицы электродов. Приведены результаты экспериментальных исследований трехзвенного пассивного двухполюсника, предназначенного для построения модели биоимпеданса МЖ с целью получения дескрипторов для модели машинного обучения. Определены вариации сопротивлений звеньев на постоянном токе в отведениях, получаемых как посредством двух электродов матрицы электродов, так и посредством электрода матрицы и индифферентного электрода, что позволило задавать начальные значения параметров модели биоимпеданса при итерационных способах решения систем нелинейных алгебраических уравнений. Приведена конструкция фантома и результаты экспериментальных исследований ММК на физической модели с имитацией опухолей различных типов и размеров. Проведена сравнительная оценка показателей качества классификации разработанных классификаторов с результатами УЗИ и рентгеновских исследований в той же самой экспериментальной группе.

В заключении сформулированы основные результаты и выводы по диссертационной работе. Полученные результаты диссертационного исследования позволяют создать предпосылки для практического внедрения алгоритмов и программ обработки и анализа биоимпедансных сигналов в системы поддержки принятия врачебных решений на этапе скрининговой диагностики РМЖ.

Таким образом, содержание диссертации позволяет судить о завершенности и необходимой полноте проведенных исследований, а также содержит достаточно материала, свидетельствующего о достоверности и обоснованности полученных выводов.

Автореферат отражает основные аспекты диссертационного исследования.

Научная новизна и значимость диссертационной работы

Основной научной составляющей диссертационного исследования Серебровского А.В. является разработанное алгоритмическое, аппаратное, методическое и программное обеспечение анализа и классификации импедансных характеристик биоматериала МЖ.

В рамках диссертационного исследования автором созданы оригинальные: модель импеданса биоматериала МЖ, полученная на основе анализа биоимпеданса в отведениях матрицы электродов, которая позволяет сформировать вектор дескрипторов для систем машинного обучения, предназначенных для классификации риска РМЖ; мультимодальный классификатор риска РМЖ, построенный на основе трех каналов анализа данных биоимпедансных исследований, который позволяет интегрировать решения моделей машинного обучения и экспертной оценки и управлять процессом получения данных для биоимпедансного анализа; классификатор риска РМЖ с двухуровневой иерархической структурой, использующий в качестве дескрипторов параметры эквивалентных трехзвенных двухполосников.

Диссертантом разработаны алгоритмы, обеспечивающие обработку биоимпедансных сигналов и обнаружение значимости информативных параметров.

Совокупность представленных в диссертационной работе результатов прошли успешные клинические испытания в ООО «Бионика», а также были использованы в рамках учебного процесса Юго-Западного государственного университета при подготовке студентов технических специальностей.

Результаты диссертационного исследования рекомендуются к использованию в образовательных, научно-исследовательских и лечебно-профилактических учреждениях, занимающихся вопросами систем поддержки принятия решений для диагностики и прогнозирования онкологических заболеваний.

Достоверность и обоснованность научных положений, выводов и рекомендаций диссертации

Обоснованность и достоверность положений, выносимых на защиту, подтверждаются тем, что в теоретических построениях диссертационной работы использовались общепризнанные законы и положения, полученным результатам не противоречат исследования других ученых.

Результаты, основанные на разработанных методических и программных средствах формирования предикторов и моделей классификаторов, выполнены непосредственно автором или в соавторстве с научным руководителем.

Основные положения работы докладывались и обсуждались на всероссийских и международных научно-технических конференциях. По

теме диссертации опубликовано 16 печатных трудов, из них 4 статьи – в журналах ВАК при Минобрнауки России.

Замечания по диссертационной работе

В качестве замечаний можно отметить следующие:

1. При разработке модели биоимпеданса молочной железы соискатель не привел обоснование трехзвенной модели и способа оптимизации числа ее звеньев.

2. Из раздела 2.2.2 не до конца ясно, как изображение в оттенках серого преобразуется в цветное и разлагается на три изображения?

3. В работе отсутствует ясность относительно того, по какому принципу были выбраны частоты тока зондирования для второго (экспертного) канала мультимодального классификатора.

4. При разработке конструкции матричного импедансного преобразователя не раскрыта тема разъёмного соединения. Матрица содержит 256 электродов, что требует использования специальных шлейфов. Насколько это усложнит конструкцию и технологичность изготовления и эксплуатации самого импедансного преобразователя, в диссертации не раскрыто.

5. В разделе 4.3.4 диссертации не приведены критерии включения – не включения при формировании экспериментальной группы.

6. В материалах диссертационного исследования встречаются стилистические и орфографические ошибки.

Приведенные недостатки не носят принципиального характера и не снижают научной и практической ценности приведенных исследований.

Заключение по диссертационной работе

Диссертация Серебровского А.В. «Развитие технологий биоимпедансного анализа для классификаторов риска рака молочной железы, построенных на основе гибридных технологий искусственного интеллекта» является законченной научно-квалификационной работой, которая содержит новые и усовершенствованные результаты исследования актуальных научных задач в области систем интеллектуальной поддержки онкологических заболеваний.

Диссертационная работа «Развитие технологий биоимпедансного анализа для классификаторов риска рака молочной железы, построенных на основе гибридных технологий искусственного интеллекта» соответствует требованиям пп. 9-11,13,14 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного Постановлением Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 г. № 842 (в редакции Постановлений Правительства Российской Федерации от 21.04.2016 г. № 335, от 02.08.2016 г. № 748, от 29.05.2017 г. № 650, от 28.08.2017 г. № 1024, от 01.10.2018 г. № 1168, от 20.03.2021 г. № 426, от 11.09.2021 г. № 1539, от 26.09.2022 г. № 1690, от 26.01.2023 г. № 101), и требованиям паспорта специальности 2.2.12. Приборы, системы и изделия медицинского назначения (технические науки).

Серебровский Андрей Вадимович заслуживает присуждение ему ученой степени кандидата технических наук.

Отзыв подготовил:

д.т.н. (05.13.01), профессор, профессор кафедры системного анализа и управления в медицинских системах Воронежского государственного технического университета Родионов Олег Валерьевич (394026, г. Воронеж, ул. Ватутина, 1. Тел. 8-473-246-76-99. E-mail: saums@vorstu.ru)

Отзыв рассмотрен и одобрен на заседании кафедры системного анализа и управления в медицинских системах Воронежского государственного технического университета 14 января 2025 года, протокол №. 9

Профессор кафедры системного анализа и управления в медицинских системах Воронежского государственного технического университета, доктор технических наук,
профессор

Олег Валерьевич Родионов

Адрес ведущей организации

Россия, 394006, г. Воронеж, ул. 20-летия Октября, 84.
телефон: +7(473) 271-59-05; +7(473) 271-52-68,
e-mail: rector@vgasu.vrn.ru; rector@vorstu.ru; rector@cchgeu.ru

