

«УТВЕРЖДАЮ»

Проректор по научной и  
исследовательской деятельности  
ФГАОУ ВО «Южный федеральный  
университет», доктор химических наук  
Метелица А.В.  
2022 г.



## О Т З Ы В

ведущей организации

ФГАОУ ВО «Южный Федеральный университет»

о диссертационной работе Мяснянкина Максима Борисовича  
«Разработка мультимодальных классификаторов риска коморбидных  
заболеваний на основе анализа вариаций системных ритмов»,  
представленной на соискание ученой степени кандидата технических  
наук по специальности 2.2.12. Приборы, системы и изделия  
медицинского назначения (технические науки)»

**Актуальность исследования.** Диссертационная работа посвящена разработке и внедрению в практическое здравоохранение высокотехнологичных средств прогнозирования развития кардиореспираторных заболеваний. Проблема их диагностики стала особенно острой в последние три года, когда тенденция к росту заболеваемости и смертности от этих заболеваний стала очевидной в связи с новой коронавирусной инфекцией.

Хроническая обструктивная болезнь легких (ХОБЛ) является одной из основных причин хронической заболеваемости и инвалидизации во всем мире и в настоящее время занимает четвертое место среди причин смерти. В свою очередь, ишемическая болезнь сердца (ИБС), занимающая в списке причин смерти первое место, относится к наиболее частым заболеваниям, сопутствующим ХОБЛ. Общие факторы риска (возраст, курение, гиподинамия, урбанизация) обуславливают высокую частоту встречаемости ХОБЛ в сочетании с ИБС, а общие звенья патогенеза (гипоксия, системное

воспаление, окислительный стресс, эндотелиальная дисфункция) – их сложное коморбидное взаимодействие. Наличие у пациента сочетания ХОБЛ и ИБС способно существенно изменить течение каждого из ассоциированных заболеваний, однако особенности течения этих заболеваний в условиях коморбидности ХОБЛ и ИБС недостаточно изучены.

В связи с вышеизложенными, возникает необходимость в повышении качества дифференциальной диагностики этих заболеваний, что может быть реализовано посредством широко используемых в настоящее время методов интеллектуальной поддержки принятия врачебных решений. Искусственный интеллект (ИИ) и системы поддержки принятия клинических решений (СППКР) могут помочь врачам обеспечить лучшее и более персонализированный подход к диагностике и лечению своих пациентов. В течение предыдущих лет было приложено много усилий для внедрения СППКР. Большой класс СППКР основан на машинном обучении (ML). На сегодняшний день поиск и усовершенствование методов и алгоритмов интеллектуальных технологий прогнозирования рисков кардиореспираторных заболеваний остается актуальной и важной для практики задачей.

Научно-технической задачей исследования является разработка мультимодального классификатора для дифференциальной диагностики сердечно сосудистых и респираторных осложнений, основанная на комплексном анализе электрофизиологических сигналов кардиореспираторной системы.

### **Оценка содержания и оформления диссертации**

Диссертация Мяснянкина Максима Борисовича состоит из Введения, четырех разделов основного текста, Заключение и списка литературных источников.

В работе выполнен достаточный обзор существующей по теме диссертации литературы, что позволяет говорить о полноте проведенного в первом разделе диссертации анализа состояния проблемы, охватывающего вопросы изучения методов прогнозирования заболеваний и основных

подходов к моделированию систем интеллектуальной поддержки принятия решений в медицинской практике, что позволило сформулировать задачи диссертационного исследования.

Во втором разделе диссертации разработан метод формирования дескрипторов для классификатора функционального состояния системы дыхания, заключающийся в проведении априорных процедур определения спектрального диапазона ритма дыхания пациента и дискретизации кардиосигнала пациента и формировании вейвлет-плоскости кардиосигнала, на которой выделяют область, соответствующую спектру ритма дыхания, определяют показатели вариабельности этих строк по времени и по частоте, и используют их в качестве дескрипторов для обучаемого классификатора функционального состояния системы дыхания. На основе этих дескрипторов разработана структура иерархического классификатора функционального состояния системы дыхания, состоящая из трех автономных нейронных сетей прямого распространения сигнала. Для классификации функционального состояния системы дыхания разработано устройство, содержащее последовательно соединенные два модуля параллельной обработки электрофизиологических сигналов, модуль формирования дескрипторов и иерархическую нейросетевую структуру с тремя нейронными сетями.

В третьем разделе разработан метод, позволяющий вести обработку и графическое отображение многоканальных медицинских сигналов в квазиреальном времени. Метод предполагает осуществление сегментирования программы на легко используемые, дополняемые и изменяемые модули-классы и включает алгоритмы визуализации потоковых данных медицинских сигналов в операционной системе Windows. Источниками данных являлось разнообразное медицинское оборудование и системы для вычисления диагностических показателей.

На основе предложенного метода разработана модульная структура программного обеспечения обработки медицинских сигналов в ОС Windows для многоканальной системы сбора данных. Обработка данных в ступенях-

обработчиках конвейера включает в себя такие типичные операции, как запись данных на жесткий диск или в отдельный буфер памяти, фильтрация сигнала – удаление постоянной составляющей или подавление определенного спектра частот, вычисление диагностических показателей сигнала, анализ полученных показателей и принятие решений. Согласно предложенной модульной структуре разработано программное обеспечение обработки многоканальных медицинских сигналов в операционной системе Windows в реальном времени, предназначенное для мультимодальных классификаторов риска кардиореспираторных заболеваний.

В четвертом разделе диссертации разработано устройство для считывания и демодуляции электромиосигнала, включающее амплитудный и частотный каналы демодуляции, позволяющее из одноканального электромиосигнала получить двухканальный с последующей оценкой взаимной спектральной плотности между этими каналами и вычисления дескрипторов на ее основе. Это позволило разработать мультимодальный классификатор с двухуровневой иерархической структурой, включающий классификатор риска ХОБЛ, классификатор риска ИБС и два классификатора наличия коморбидного заболевания, отличающийся использованием для вычисления дескрипторов параметров спектральных характеристик системных ритмов, позволяющий осуществлять дифференциальную диагностику коморбидных заболеваний.

Основные статистические показатели качества мультимодального классификатора не были ниже 80% с доверительными интервалами, не превышающими 5% от среднего значения, что позволяет рекомендовать его для клинической практики. Проведено обучение мультимодального классификатора в полном комплекте классификаторов нижнего иерархического уровня и без классификатора функционального состояния системы дыхания. Сравнительные оценки показателей качества этих моделей показали, что включение в модель мультимодального классификатора

классификаторов функционального состояния системы дыхания позволяет повысить показатели качества модели на 10...14%.

Заключение диссертации содержит формулировки основных результатов и выводов, которые отражают достижение основной цели работы на основе решения задач диссертационного исследования, а также рекомендации по использованию результатов и перспективы дальнейшей разработки темы исследования.

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 полученных результатов, выводов и рекомендаций**

В работе получены следующие результаты, характеризующиеся научной новизной:

- метод формирования дескрипторов для классификатора коморбидных заболеваний, заключающийся в проведении априорных процедур определения спектрального диапазона ритма дыхания пациента и дискретизации кардиосигнала пациента на апертуре не менее 3 минут, отличающийся использованием вейвлет-плоскости кардиосигнала для выделения области строк, соответствующей спектру ритма дыхания;

- структура и архитектура иерархического классификатора функционального состояния системы дыхания, включающие три иерархических нейронных сети, отличающиеся тем, что дескрипторы первой нейронной сети отражают вариации ритма дыхания во времени, дескрипторы второй нейронной сети определяются вариацией ритма дыхания по частоте, а третья нейронная сеть использует в качестве дескрипторов выходы первых

двух нейронных сетей и является агрегатором их решений по классификации функционального состояния системы дыхания;

- метод обработки и графического отображения многоканальных медицинских сигналов в квазиреальном времени, основанный на дроблении общего вычислительного процесса на определенные стадии, называемые ступенями, отличающийся алгоритмом работы ступени визуализации данных;

- мультимодальный классификатор с двухуровневой иерархической структурой, включающий классификатор риска ХОБЛ, классификатор риска ИБС и два классификатора наличия коморбидного заболевания, отличающийся использованием для вычисления дескрипторов параметров спектральных характеристик системных ритмов.

### **Обоснованность и достоверность научных положений и выводов**

Обоснованность авторского подхода к разработке и исследованию различных моделей и алгоритмов принятия решений в компьютерных системах прогнозирования кардиореспираторных заболеваний базируется на всестороннем анализе существующих достижений в данной области, логичности проводимых теоретических рассуждений. Достоверность полученных в диссертации результатов подтверждается корректным использованием математического аппарата, полным соответствием теоретических положений и результатов экспериментальных исследований.

Основные результаты диссертационного исследования изложены в 4 статьях в журналах, рекомендованных ВАК РФ, и в 4 статьях в изданиях, индексируемых в международной наукометрической базе Scopus. Сделаны доклады на 11 Международных и Всероссийских научных конференциях.

### **Теоретическая и практическая значимость результатов исследования**

В диссертации изложена идея создания гибридных интеллектуальных систем прогнозирования риска кардиореспираторных заболеваний, построенных на совместном анализе сигналов системы дыхания и сигналов сердечно-сосудистой системы, а также показателей их синхронности.

Решающие модули, предназначенные для прогнозирования риска кардиореспираторных заболеваний, построены на основе иерархической структуры, что позволило интегрировать в ней показатели функционального состояния системы дыхания и сердечно-сосудистой системы.

Результаты диссертационного исследования рекомендуются к использованию в образовательных, научно-исследовательских и лечебно-профилактических учреждениях, занимающихся вопросами систем поддержки принятия решений для диагностики и прогнозирования кардиореспираторных заболеваний. Система прогнозирования риска кардиореспираторных заболеваний прошла испытание в отделении медицинской реабилитации клинического научно-медицинского центра «Авиценна», г. Курск.

### **Замечания**

1. В работе не приведен анализ возможных методов повышения показателей качества классификации кардиореспираторных заболеваний и их осложнений с использованием результатов гибридного анализа системных ритмов.

2. На странице 63 диссертации приведена структурная схема иерархического классификатора, на нижнем иерархическом уровне которого используются два автономных интеллектуальных агента NET 13-1 и NET 13-2. В диссертации отсутствует информация о сравнительной ценности этих двух классификаторов, входящих в состав иерархического классификатора.

3. В разделе 3 диссертации не приведены количественные характеристики конвейерной визуализации данных в реальном времени, что затрудняет оценку эффективности предложенного метода обработки и графического отображения многоканальных медицинских сигналов в квазиреальном времени.

4. В диссертации не представлена информация об оптимальной ширине окна для анализа электромиосигнала в мультимодальном классификаторе рисунок 4.9, тогда как для ЭКС эта величина составляет 3 минуты.

5. На многих рисунках, например, рисунок 1.2, 1.4, 2.4 – 2.18, 4.7, 4.8, не приведены размерности на осях графиков, что затрудняет анализ этих графиков.

6. Некоторые термины не определены, например стр. 43 – что означает термины «..волны представлены спектром..», возможно это не волны, вернее сигналы? И здесь же термин «нулевая гармоника», гармоника чего?

7. На стр. 46 идет рассуждение о «Вейвлет-преобразовании». Не ясно, какие вейвлет-преобразования используются: Уолша, Хаара, Меллена Мофета или др.? Какой материнский вейвлет?

8. На стр. 50 приводится выражение «модуляция медленных волн менее высокого порядка медленными волнами более высокого порядка». Волны разных порядков, что такое порядок волны?

Перечисленные замечания в целом не снижают научной и практической значимости диссертационной работы.

### **Заключение**

Диссертация Мяснянкина Максима Борисовича «Разработка мультимодальных классификаторов риска коморбидных заболеваний на основе анализа вариаций системных ритмов» является научно-квалификационной работой, в которой содержится решение актуальной задачи разработки и внедрения в практическое здравоохранение высокоэффективных средств интеллектуальной поддержки принятия решений при оценке риска коморбидных заболеваний. Предложенные методы, модели и алгоритмы актуальны для построения систем управления, прогнозирования, принятия решений в условиях неопределенности и использования нечеткой исходной информации.

Сформулированные выводы достаточно обоснованы, основные полученные результаты в полной мере отражены в имеющихся авторских публикациях. Работа отвечает требованиям пункта 9 «Положения о порядке присуждения ученых степеней» от 24 сентября 2013 г. и требованиям паспорта



специальности 2.2.12. Приборы, системы и изделия медицинского назначения (технические науки)

Автор диссертации, Мяснянкин Максим Борисович, заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.2.12. Приборы, системы и изделия медицинского назначения (технические науки).

Отзыв подготовлен д.т.н. (01.04.06), профессором, профессором кафедры электрогидроакустической и медицинской техники ИНЭП ЮФУ Николаем Николаевичем Черновым (347922, г. Таганрог, ул. Шевченко, 2, тел. +7(8634)371-795, e-mail: mnchernov@sfedu.ru).

Адрес 344006, г. Ростов-на-Дону, ул. Большая Садовая, 105/42, ЮФУ.

Отзыв рассмотрен и одобрен на заседании кафедры электрогидроакустической и медицинской техники ИНЭП ЮФУ 2 ноября 2022 года, протокол № 9.

Заведующий кафедрой  
электрогидроакустической и  
медицинской техники ИНЭП ЮФУ,  
доктор технических наук, профессор,



Сергей Павлович Тарасов

Адрес: Россия, 347992, г Таганрог, Ростовской обл.  
Ул. Шевченко 2, ЮФУ ИНЭП  
Телефон: +7(8634)371-795 e-mail: tsp-47@mail.ru

