

«УТВЕРЖДАЮ»

Проректор по научной работе  
и инновациям ФГБОУ ВО

«Рязанский государственный  
радиотехнический университет  
имени В.Ф. Уткина»



Гусев С.И.

« 09 » 2024 г.

## О Т З Ы В

ведущей организации ФГБОУ ВО

«Рязанский государственный радиотехнический университет  
имени В.Ф. Уткина» о диссертации Алавси Хайдера Али Хуссейна  
«Мультимодальный классификатор риска кардиореспираторных заболеваний с  
учетом сопутствующих заболеваний и эффекта синергии», представленной на  
соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.2.12.  
Приборы, системы и изделия медицинского назначения (технические науки)

### Актуальность темы исследования.

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

В клинической практике основным осложнением респираторных инфекций является патология легочной системы в форме внебольничной пневмонии (ВБП), которая занимает лидирующее положение среди болезней органов дыхания в связи с высоким уровнем заболеваемости во всех возрастных группах. В свою очередь, артериальная гипертензия (АГ), занимающая в списке причин смертности первое место, относится к наиболее частым заболеваниям, сопутствующим патологии системы дыхания (СД). Общие факторы риска (возраст, курение, гиподинамия, урбанизация) обуславливают высокую частоту встречаемости ВБП в сочетании с АГ, а общие звенья патогенеза (гипоксия, системное воспаление, окислительный стресс, эндотелиальная дисфункция) – их сложное коморбидное взаимодействие. Наличие у пациента сочетания ВБП и АГ способно существенно изменить течение каждого из ассоциированных заболеваний,

однако особенности течения этих заболеваний в условиях коморбидности ВБП и АГ недостаточно изучены.

В связи с вышеизложенным возникает необходимость в повышении качества классификации риска 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 более персонализированный подход к диагностике и лечению пациентов. В течение предыдущих лет было приложено много усилий для внедрения СППКР. Большой класс СППКР основан на машинном обучении (ML). Ранее было показано, что ML, как и другие отрасли ИИ, имеет широкий спектр возможных реализаций в медицине и может быть очень полезным. На сегодняшний день поиск и усовершенствование методов и алгоритмов интеллектуальных технологий прогнозирования рисков кардиореспираторных заболеваний остается актуальным.

Таким образом, разработка новых технологий получения предикторов кардиореспираторных заболеваний и новых компьютерных методов их анализа для интеллектуальной поддержки диагностики ВБП при наличии фоновой АГ является актуальной и важной для практики задачей.

Научно-технической задачей исследования является разработка мультимодального классификатора для классификации риска кардиореспираторных заболеваний, основанного на комплексном анализе электрофизиологических сигналов кардиореспираторной системы при наличии коморбидности.

Работа выполнена в рамках реализации программы развития ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет», программы стратегического академического лидерства «Приоритет-2030» и в соответствии с научным направлением Юго-Западного государственного университета «Разработка медико-экологических информационных технологий».

#### Структура и содержание диссертации.

Диссертация Алавси Хайдера Али Хуссейна состоит из введения, четырех разделов основного текста, заключения, списка сокращений и условных обозначений и списка литературы.

Список литературы обширен (152 наименований на русском и английском языках). Это позволяет говорить о достаточной полноте проведенного в первом разделе диссертации анализа состояния проблемы, охватывающего вопросы изучения методов прогнозирования коморбидных заболеваний и основных подходов к моделированию систем интеллектуальной поддержки принятия решений в медицинской практике. Итогом такого анализа является обоснование целесообразности решения, сформулированных в специальном подразделе первого раздела задач диссертационного исследования.

Во втором разделе диссертации разработан метод формирования дескрипторов для классификатора функционального состояния системы дыхания. Метод позволяет формировать дескрипторы для обучаемых классификаторов функционального состояния системы дыхания путем оценки распределения векторов, полученных в пространстве вейвлет-коэффициентов поверхностной электромиограммы дыхательных мышц и кардиосигнала, дислоцируемых на вейвлет-плоскостях в области ритма дыхания.

Для классификации функционального состояния системы дыхания разработан метод, заключающийся в параллельной записи электромиосигнала дыхательных мышц  $x(t)$  и кардиосигнала  $y(t)$  на апертуре 60...120 секунд и определении их дискретных оконных преобразований Фурье, отличающийся тем, что дискретные оконные преобразования Фурье определяются в  $N-m1$  окнах этих сигналов, где  $N$  - число дискретных отсчетов на апертуре наблюдения сигналов,  $m1$ -число отсчетов в окне, амплитудные спектры  $X_i$  и  $Y_i$  дискриминируется по частоте путем удаления из спектров отсчетов частот, которые лежат ниже или выше полосы частот, занимаемой ритмом дыхания. Над селектированными частотными отсчетами оконного преобразования Фурье осуществляют амплитудную дискриминацию, заключающуюся в том, что спектральные коэффициенты, величина которых ниже заданного порога, обнуляются, а затем для каждой пары отсчетов оконного преобразования Фурье с номером  $n$  определяется коэффициент синхронизма, после чего определяют функциональное состояние системы дыхания посредством классификатора, построенного на основе логистической модели, в котором коэффициенты синхронизма используются в качестве дескрипторов.

Третий раздел посвящен разработке структурно-функциональных решений для мультимодального классификатора кардиореспираторного риска. Показано, что при учете влияния коморбидных заболеваний на степень тяжести заболеваний СД целесообразно определять, как степень тяжести (кластер) заболевания СД, так и риск коморбидного заболевания. Эта процедура может быть реализована посредством мультимодального классификатора, в основе которого положена гибридная нейронечеткая сеть, содержащая три макрослоя, построенных на парадигме вероятностных нейронных сетей и на парадигме нечеткого логического вывода. Разработана структура системы поддержки принятия клинических решений, предназначенная для мониторинга степени тяжести заболеваний СД. В систему интегрированы решающие модули, позволяющие осуществлять контроль степени тяжести заболевания СД с учетом коморбидности и синхронности КРС, контроль эффективности плана лечения и модуль дифференциальной диагностики, позволяющий определять этиологию заболевания.

Для классификации риска АГ у пациентов с заболеваниями СД предложен мультимодальный классификатор с иерархической структурой, на нижнем иерархическом уровне которого включены четыре «слабых» классификатора, построенных на основе нечеткого логического вывода. На верхнем иерархическом уровне мультимодального

классификатора включена полносвязная нейронная сеть с дополнительным входом, полученным посредством модели виртуального потока. Апробация мультимодального классификатора риска АГ позволяет рекомендовать его для интеграции в мультимодальный классификатор степени тяжести заболеваний системы дыхания у коморбидных больных с артериальной гипертензией.

Разработан мультимодальный классификатор риска заболеваний системы дыхания, который учитывает взаимное влияние коморбидных заболеваний на суммарный медицинский риск. Для построения слабых классификаторов предложено использовать полносвязную нейронную сеть Хопфилда, отличающуюся многосвязной структурой и двумя задержками на один такт, управляемыми генератором с противофазными выходами, обеспечивающими запись в регистры задержек рисков с выходов нейронной сети Хопфилда со сдвигами на один такт. Для обучения слабых классификаторов с нейронной сетью Хопфилда разработан алгоритм, позволяющий обеспечить заданные показатели точности классификации и заданные показатели устойчивости нейронной сети.

В четвертом разделе диссертации разработана система поддержки принятия врачебных решений при диагностике заболеваний системы дыхания с учетом эффекта коморбидности, включающая ПЭВМ с программными модулями обработки и анализа данных и ряд вспомогательных технических средств, позволяющих измерять и оцифровывать электрофизиологические сигналы, а также формировать дескрипторы и обучать классификаторы, агрегированные в мультимодальный классификатор. Проведены экспериментальные и статистические исследования показателей качества модели мультимодального классификатора при двухальтернативной классификации риска внебольничной пневмонии и ОРВИ, использующего дескрипторы, полученные на основе метода оценки синхронизма кардиореспираторной системы. Основные статистические показатели качества классификатора не были ниже 80% с доверительными интервалами, не превышающими 3% от среднего значения, что позволяет рекомендовать его для использования в СППКР по диагностике заболеваний системы дыхания.

Экспериментальные исследования модели мультимодального классификатора, использующего классификатор, полученный на основе метода оценки синхронизма кардиореспираторной системы, и классификатор риска коморбидного заболевания, показали, что учет риска коморбидного заболевания на примере АГ при определении степени тяжести ВБП позволил повысить показатели качества классификации степени тяжести ВБП более чем на 10% по всем показателям качества классификации степени тяжести пневмонии по сравнению с классификатором, не использующем данные о риске коморбидного заболевания. В ходе экспериментальных исследований мультимодального классификатора риска внебольничной пневмонии с тремя сегментами факторов риска экспериментальной выборке группы больных с коморбидностью внебольничная пневмония и артериальная гипертензия было установлено, что при классификации степени тяжести внебольничной пневмонии все используемые показатели качества классификации превышают величину 0,8 по всем группам наблюдения. Сравни-

тельный анализ показателей качества оценки степени тяжести пневмонии известной шкалы PSI показал, что показатели качества оценки риска предложенной модели ММК превосходят аналогичные показатели шкалы PSI на тех же контрольных выборках, в среднем, на 14%.

Использование предложенных методов синтеза моделей мультимодального классификатора медицинского риска с учетом коморбидности кардиореспираторных заболеваний и оценки показателей синхронизма кардиореспираторной системы открывает новые возможности для доступной и объективной диагностики заболеваний системы дыхания.

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 оценки синхронизма кардиореспираторной системы, основанный на сравнении мощностей спектров ритма дыхания, полученных из поверхностной электромиограммы дыхательных мышц и кардиосигнала, отличающийся технологией оценки распределения векторов, полученных в пространстве вейвлет-коэффициентов поверхностной электромиограммы дыхательных мышц и кардиосигнала, дислоцируемых на вейвлет-плоскостях в области ритма дыхания, и позволяющий формировать дескрипторы для обучаемых классификаторов функционального состояния системы дыхания;

— метод классификации функционального состояния системы дыхания, заключающийся в параллельной записи электромиосигнала дыхательных мышц и кардиосигнала на апертуре 60...120 секунд и определения их дискретных оконных преобразований Фурье, отличающийся тем, что дискретные оконные преобразования Фурье определяются в окнах этих сигналов. При этом над селективными частотными отсчетами оконного преобразования Фурье осуществляют амплитудную дискриминацию, заключающуюся в том, что спектральные коэффициенты, величина которых ниже заданного порога, обнуляются, а затем для каждой пары отсчетов оконного преобразования Фурье с номером определяется коэффициент синхронизма, после чего определяют функциональное состояние системы дыхания посредством

классификатора, построенного на основе логистической модели, в котором коэффициенты синхронизма используются в качестве дескрипторов;

— метод синтеза мультимодального классификатора риска коморбидных заболеваний, отличающийся учетом синергетического эффекта коморбидности, основанном на использовании полносвязной нейронной сети Хопфилда с многосвязной структурой и двумя задержками на один такт, управляемыми парафазным генератором, обеспечивающими запись в регистры задержек рисков коморбидных заболеваний с выходов нейронной сети Хопфилда, который позволяет учесть влияние синергетического эффекта коморбидности на суммарный медицинский риск.

#### Обоснованность и достоверность научных положений и выводов.

Обоснованность авторского подхода к разработке и исследованию различных моделей и алгоритмов принятия решений в компьютерных системах классификации риска 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 5 статьях в журналах, рекомендованных ВАК РФ, и в 1 статье в изданиях, индексируемых в международной наукометрической базе Scopus. Сделаны доклады на 11 Международных и Всероссийских научных конференциях.

#### Значимость результатов исследования для науки и практики.

В диссертации изложена идея создания гибридных интеллектуальных систем классификации риска кардиореспираторных заболеваний, построенных на совместном анализе сигналов системы дыхания и сигналов сердечно-сосудистой системы, а также показателей их синхронизма. Решающие модули, предназначенные для классификации риска кардиореспираторных заболеваний, построены на основе иерархической структуры, что позволило интегрировать в ней показатели функционального состояния системы дыхания и сердечно-сосудистой системы.

Результаты диссертационной работы внедрены в учебном процессе Юго-Западного государственного университета при подготовке магистров по направлению подготовки 12.04.04 – Биотехнические системы и технологии.

#### Рекомендации по использованию результатов диссертационного исследования.

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

### Замечания по работе.

1. По п.3 заключения соискателю следовало бы привести классы функционального состояния системы дыхания, которые выделены посредством логистической модели (2.6) и (2.11) и структурной схема преобразования сигналов при классификации функционального состояния системы дыхания, представленной на рисунке 2.11, например, нормальное функциональное состояние, обструктивные нарушения, рестриктивные нарушения и смешанные нарушения системы дыхания.

2. В работе не приведен анализ возможных методов повышения показателей качества классификации кардиореспираторных заболеваний и их осложнений с использованием метода формирования дескрипторов для оценки синхронизма кардиореспираторной системы (раздел 2.1 диссертации).

3. На странице 90 диссертации соискатель приводит авторское определение устойчивости обучения для сети Хопфилда. Может быть здесь в качестве критерия устойчивости было бы более целесообразно использовать статистический критерий, интегрирующий поведение показателей риска по всем примерам обучающей выборки?

4. В первом разделе диссертации автор злоупотребляет непереуведенными англоязычными терминами на рисунках 1.1, 1.3, 1.4, 1.5, 1.6, 1.8.

5. В диссертации не представлено обоснование выбора оптимальной ширины окна для анализа электромиосигнала и кардиосигнала в мультимодальном классификаторе с учетом того, что оптимальная частота дискретизации у этих сигналов различна.

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

### Заключение.

Диссертация Алавси Хайдера Али Хуссейна «Мультимодальный классификатор риска кардиореспираторных заболеваний с учетом сопутствующих заболеваний и эффекта синергии» является научно-квалификационной работой, в которой изложены новые научно обоснованные технические решения и разработки, имеющие существенное значение для развития интеллектуальных средств поддержки принятия решений в практическом здравоохранении. Предложенные методы, модели и алгоритмы актуальны для построения медицинских информационных систем для классификации, 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, в том числе в журналах, рекомендованных ВАК РФ и изданиях Scopus. Работа отвечает требованиям пункта 9 «Положения о порядке присуждения ученых степеней» от 24 сентября 2013 г. и требованиям паспорта специальности.

Автор диссертации, Алавси Хайдер Али Хуссейн, заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.2.12. Приборы, системы и изделия медицинского назначения (технические науки).

Отзыв рассмотрен и одобрен на заседании кафедры «Информационно-измерительная и биомедицинская техника» ФГБОУ ВО РГРТУ 5 сентября 2024 г., протокол № 1.

Отзыв подготовили:

Заслуженный работник ВШ РФ  
зав. кафедрой  
«Информационно-измерительная  
и биомедицинская техника»  
д.т.н., профессор

Жулев Владимир Иванович

*Научная специальность: 2.2.12. Приборы, системы и изделия медицинского назначения*

Почетный работник ВПО РФ  
профессор кафедры  
«Информационно-измерительная  
и биомедицинская техника»  
д.т.н., профессор

Прошин Евгений Михайлович

*Научная специальность: 2.2.11. Информационно-измерительные и управляющие системы*

Подписи В.И. Жулева и Е.М. Прошина заверяю,  
Ученый секретарь ученого совета  
РГРТУ им. В.Ф. Уткина



К.В. Бухенский

ФГБОУ ВО «Рязанский государственный радиотехнический университет имени В.Ф. Уткина»,  
390005, г. Рязань, ул. Гагарина, 59/1  
Тел.: +7(4912) 72-03-03, e-mail: rgrtu@rsreu.ru

Кафедра «Информационно-измерительная и биомедицинская техника» (ИИБМТ)  
к. 329, гл. учебный корпус  
Тел.: (4912) 72-03-65, E-mail: zhulev.v.i@rsreu.ru