

**ОТЗЫВ  
ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА  
КОРЖУКА НИКОЛАЯ ЛЬВОВИЧА**

на кандидатскую диссертацию **Бутусова Андрея Владимировича**  
на тему «Разработка интеллектуальной системы по диагностике степени тяжести внебольничной пневмонии на основе нейронечетких моделей классификаторов»,  
представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по  
специальности 2.2.12 – Приборы, системы и изделия медицинского назначения  
(технические науки)

**1. АКТУАЛЬНОСТЬ ТЕМЫ ИССЛЕДОВАНИЯ**

Одной из важных задач современной медицины является повышение эффективности решения задач прогнозирования, ранней и дифференциальной диагностики, включая оценку динамики развития заболеваний. Своевременное и качественное решение этого класса задач позволяет выбирать адекватные схемы профилактики и лечения. Поэтому, в настоящее время, возрос интерес клиницистов к применению комплексных IT-продуктов с набором включённых медицинских и информационных услуг (медицинская аналитика, обучение, big-data, страховая телематика, и т.д. в одном пакете). Отмечен лавинообразный рост применения «интернета вещей» (IoT) именно в секторе mHealth-продуктов. Это дало толчок к появлению и популяризации понятия «Интернет медицинских вещей» (IoMT). Идет активный поиск эффективных решений в сфере объединения программных средств mHealth, Wearables, IoT и создания интеграционных платформ для накопления и обработки медицинских данных с учетом специфики развития РФ.

Новая модель информационного сопровождения медицинской помощи предполагает наличие постоянной квалификационной поддержки практикующего «врача с планшетом», наличие консультативного сопровождения действий медицинского персонала и пациента, то есть необходимость мощных систем поддержки принятия клинических и организационных решений, дополняющих ERP- и CRM-системы медицинских центров (или их кластеров).

Основной проблемой при удаленном мониторинге внебольничной пневмонией (ВБП) является определение тактики лечения, которую определяет степень тяжести ВБП. В связи с неоднозначной ее оценкой, связанной с использованием множества шкал риска, отсутствием данных по некоторым факторам риска и сложностью интерпретации ряда факторов риска, возникает необходимость в интеллектуальной поддержке таких решений, используя классификацию в рамках машинного обучения.

**2. НАУЧНАЯ НОВИЗНА РЕЗУЛЬТАТОВ ИССЛЕДОВАНИЯ**

В качестве основной цели исследования автор видит повышение качества прогнозирования эффективности лечения и классификации степени тяжести заболеваний системы дыхания в персонифицированных телекоммуникационных системах наблюдения амбулаторных больных.

Для достижения поставленной цели автором решены ряд задач и получены результаты, обладающие несомненной научной новизной:

1. Метод локализации кластеров адаптационного потенциала в биотехнических системах мониторинга состояния здоровья пациента;

2. Гибридный нейросетевой классификатор с гибридной нейронной сетью, построенной по технологиям макрослоев, позволяющий учесть риск коморбидного заболевания на степень тяжести ВБП;

3. Нейронечеткий классификатор, основанный на модели нечеткого логического вывода Мамдани-Ларсена, позволяющий строить многомерное кластерное пространство для мониторинга динамики функционального состояния пациента;

4. Модуль контроля эффективности лечения ВБП, основанный на шкале PSI, позволяющий построить двумерное кластерное пространство, отражающее процесс эффективности лечения ВБП;

5. Система поддержки принятия врачебных решений, предназначенная для оценки степени тяжести ВБП, включающая три модуля принятия решений, отличающаяся тем, что модуль контроля степени тяжести ВБП работает совместно с модулем оценки риска коморбидного заболевания, что позволило повысить качество оценки степени тяжести ВБП более чем на 10% по всем показателям качества.

Последовательность рассуждений автора при решении поставленных задач отражена в содержании диссертационной работы.

**В первом разделе** выполнен анализ состояния дел в области дистанционного контроля степени тяжести ВБП. Показано, что используемые в настоящее время интеллектуальные системы не отвечают современным требованиям персонифицированной медицины, что вызывает необходимость поиска новых методов и подходов к построению таких систем.

**Во втором разделе** излагаются вопросы теоретической, алгоритмической, программно-аппаратной и методической поддержки дистанционного мониторинга степени тяжести заболеваний системы дыхания.

Новыми техническими решениями при этом являются:

1. Метод локализации кластеров адаптационного потенциала в пространстве суррогатных маркеров, включающий четыре этапа, отличающийся тем, что первый этап выявляет релевантные маркеры, характеризующие изменение адаптационного потенциала живой системы при воздействии экзогенного фактора; на втором этапе осуществляется доказательство надежности кластеризации уровней адаптационного потенциала; на третьем этапе анализируются результаты классификации на динамических обучающих выборках, а на четвертом этапе осуществляется анализ статистической неоднородности и/или гетерогенности выделяемых кластеров;

2. Структура дистанционного мониторинга функционального состояния пациента, основанная на телекоммуникационной связи врача и пациента посредством интернет-технологий, отличающаяся использованием идеологии интерфейса и позволяющая осуществлять оперативное принятие решений по ведению амбулаторных больных.

**В третьем разделе** получены нейронечеткие модели классификаторов оценки степени тяжести ВБП, а также модели кластеризации степени тяжести ВБП при наличии коморбидных заболеваний.

Новыми техническими решениями являются:

1. Гибридная нейронная сеть со структурой PNN-FNN-FNN\*, в которой были использованы технологии вероятностных нейронных сетей и нечеткой логики принятия решений. Предложенная структура содержит три макрослоя. Первый макрослой состоит из блоков вероятностных трехслойных нейронных сетей, число которых определяется числом сегментов, выделенных в пространстве ИП. Второй и третий макрослоя состоит из двухслойных нечетких нейронных сетей. Слой нечеткой нейронной сети со структурой FNN\* является макрослоем блочного типа, каждый из блоков которого состоит из двух слоев, первый из которых предназначен для агрегации свидетельств за и против выбора данного кластера, а второй слой работает как байесовский классификатор;

2. Нейронечеткий классификатор, основанный на модели нечеткого логического вывода Мамдани-Ларсена, отличающийся использованием макрослоев, основанных, как на нечетком логическом выводе, так и на моделях полносвязных нейронных сетей прямого распространения сигнала, и позволяющий моделировать шкалы степени тяжести ВБП, осуществлять их агрегирование и классифицировать ВБП по классам степени тяжести.

**В четвертом разделе** разработаны основные элементы СППВР по анализу степени тяжести ВБП с использованием интернет-технологий. Представлены результаты исследования показателей качества разработанных классификаторов. Проведено сравнение показателей качества классификации степени тяжести пневмонии классификатором NFN с известным классификатором, выполненным на основе модели логистической регрессии.

Новыми техническими решениями являются:

1. Структурная схема системы поддержки принятия врачебных решений, предназначенная для мониторинга степени тяжести ВБП, включающая три модуля принятия решений. В первом модуле решается вопрос о целесообразности направления амбулаторного больного на стационарное лечение. Во втором модуле определяется эффективность плана лечения ВБП. В третьем модуле осуществляется дифференциальная диагностика ВБП. Модуль контроля степени тяжести ВБП работает совместно с модулем оценки риска коморбидного заболевания;

2. Гибридный классификатор степени тяжести заболевания, сопутствующего заболеванию ВБП, включающий четыре «слабых» классификаторов, построенных на основе нечеткой логики принятия решений, и полносвязную нейронную сеть прямого распространения сигнала в качестве агрегатора, и модели виртуальных потоков, позволяющие формировать дополнительные информативные признаки на входах классификаторов на различных иерархических уровнях. Сравнительный анализ показателей качества оценки степени тяжести ВБП показал, что учет коморбидности в классификаторе позволяет увеличить показатели качества классификации, в среднем, на 12%;

3. Модуль мониторинга эффективности лечения ВБП, построенный на основе двух групп факторов риска, входящих в шкалу PSI, позволяющий отражать

динамику степени тяжести ВБП в двумерном кластерном пространстве. Апробация модуля мониторинга эффективности лечения ВБП осуществлена на пациентах из экспериментальной группы с затяжной ВБП.

### **3. СТЕПЕНЬ ОБОСНОВАННОСТИ И ДОСТОВЕРНОСТИ НАУЧНЫХ ПОЛОЖЕНИЙ, ВЫВОДОВ, РЕКОМЕНДАЦИЙ И ЗАКЛЮЧЕНИЙ**

Все новые решения автор подробно аргументирует, обосновывает свои предложения исходя из недостатков существующих методов и моделей прогнозирования, возникновения и развития заболеваний нижних дыхательных путей.

Достоверность представленных автором результатов исследований обосновывается их воспроизводимостью в различных условиях, непротиворечивостью концепциям системного анализа, теории распознавания образов и нечеткого моделирования, теории синтеза биотехнических систем, а также аналогичным результатам, полученным другими исследователями по данной тематике. Проведенный анализ диссертации позволяет сделать вывод о достаточно полной обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций.

Содержание автореферата полностью отражает основные идеи, методы и результаты, полученные в диссертации.

Работа прошла апробацию в печати и на различных конференциях. Автору принадлежит 14 печатных работ по теме исследования (в том числе 3 статьи в рецензируемых научных журналах и изданиях). Результаты диссертационной работы докладывались и получили поддержку на 10 научно-технических конференциях высокого уровня. Приведенные факты указывают на хорошую апробацию материалов диссертации.

Таким образом, можно сделать вывод, что теоретические положения, вынесенные на защиту, полученные выводы и заключения достоверны.

### **4. ЗНАЧИМОСТЬ ДЛЯ НАУКИ И ПРАКТИКИ РЕЗУЛЬТАТОВ ДИССЕРТАЦИОННОЙ РАБОТЫ**

Автором предложен метод и алгоритм локализации кластеров адаптационного потенциала в биотехнических системах мониторинга состояния здоровья пациента, обеспечивающие повышение качества обслуживания пациентов за счет разработки нового направления в проектировании систем поддержки принятия решений медицинского назначения.

Разработанный гибридный нейросетевой классификатор с гибридной нейронной сетью с тремя макрослоями позволяет кластеризовать ВБП по степени тяжести заболевания, а также повысить показатели качества классификации степени тяжести ВБП при наличии коморбидности путем дифференцирования влияния коморбидного заболевания на риск ВБП в зависимости от текущего кластера адаптационного потенциала.

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

Результаты работы внедрены в учебный процесс Юго-Западного государственного университета при подготовке магистров по направлению 12.04.04 «Биотехнические системы и технологии» и прошли испытания в Клиническом Научно-Медицинском центре «Авиценна» г. Курска. Испытания показали целесообразность их использования в системах поддержки принятия решений при диагностике неврологических заболеваний.

## **5. ЗАМЕЧАНИЯ ПО ДИССЕРТАЦИОННОЙ РАБОТЕ**

В качестве замечаний считаю необходимым и целесообразным отметить следующее.

1. В первом разделе диссертации недостаточно места уделено анализу причин, сдерживающих развитие интеллектуальных технологий в медицинской диагностике и, в частности, в телемедицине.

2. Из текста диссертации неясно, есть ли связь между кластерным пространством, полученным посредством моделей (4.6) и (4.7) и кластерами адаптационного потенциала, полученными в соответствии с методом, предложенным во втором разделе диссертации.

3. В подразделе 3.1, например, формула (3.2), а также в подразделе 4.4 соискатель рассматривает вопросы динамики медицинского риска. Однако вопрос влияния динамики медицинского риска на оценку степени тяжести пневмонии автор не рассматривает.

4. В разделе 3.2 желательно было бы привести более подробное описание алгоритма определения соответствия между выходами текущей модели коморбидности и входами модулей макрослоя определения кластера степени тяжести пневмонии (рисунок 3.5 диссертации).

Отмеченные замечания носят частный и рекомендательный характер и не снижают высокой положительной оценки и общей ценности диссертационной работы.

## **6. ОБЩЕЕ ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

Диссертационная работа Бутусова Андрея Владимировича на тему «Разработка интеллектуальной системы по диагностике степени тяжести ВБП на основе нейронечетких моделей классификаторов» является законченной научно-квалификационной работой, обладает внутренним единством, содержит новые научные результаты и положения, свидетельствующие о личном вкладе автора в науку.

По теме, содержанию и полученным результатам и выводам, диссертация соответствует паспорту специальности 2.2.12 – Приборы, системы и изделия медицинского назначения.

Полученные в работе теоретические и практические результаты будут способствовать созданию научно обоснованных систем поддержки принятия решений при диагностике заболеваний нижних дыхательных путей, имеющих существенное значение для повышения качества медицинского обслуживания.

Оценивая результаты соискателя в целом, считаю, что представленная диссертационная работа удовлетворяет требованиям пункта 9 «Положения о

порядке присуждения ученых степеней» (Постановление Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 г., № 842), предъявляемым Высшей аттестационной комиссией Министерства науки и высшего образования Российской Федерации к диссертациям на соискание ученой степени кандидата технических наук, а ее автор, Бутусов Андрей Владимирович, заслуживает присвоения ему ученой степени кандидата технических наук.

*Коржук*

20.11.2023г.

**Коржук Николай Львович,**  
официальный оппонент, профессор  
кафедры «Приборы и биотехнические  
системы» ФГБОУ ВО «Тульский  
государственный университет», кандидат  
технических наук, доцент

Адрес: 300012, г. Тула, проспект Ленина, д. 92  
Телефон: (4872) 35-05-52, (910) 943-67-50  
E-mail: [nikolaikorzhuk@mail.ru](mailto:nikolaikorzhuk@mail.ru)  
Научная специальность: 04.00.22 – Гофизика

