

«УТВЕРЖДАЮ»

Директор Федерального государственного бюджетного учреждения науки Институт автоматки и процессов управления Дальневосточного отделения Российской академии наук

д.ф.-м.н., академик РАН Кульчин Ю.Н.

\_\_\_\_\_ 2018 г.

### Отзыв

ведущей организации Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт автоматки и процессов управления Дальневосточного отделения Российской академии наук на диссертационную работу Гергет Ольги Михайловны «Модель и инструментальные средства анализа информационных процессов биологической системы Мать-плод», представленной на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 05.13.17 «Теоретические основы информатики»

#### Актуальность работы

Целью государственной политики в области здравоохранения, определенной Правительством Российской Федерации, является повышение качества, безопасности и эффективности медицинских услуг с использованием передовых достижений науки. Качество оказываемой медицинской помощи населению на современном этапе развития здравоохранения зависит уже не только от уровня подготовки (компетентности) врачебного персонала, но и от систем, осуществляющих поддержку решений врача. Несмотря на успехи в области искусственного интеллекта, машинного обучения и отдельные удачные примеры использования систем поддержки принятия решений в практической медицине, можно констатировать, что их количество ничтожно мало и не покрывает реальные потребности практикующих врачей. Вместе с тем, в процессе функционирования медицинских центров, исследовательских институтов и других организаций накоплены большие массивы разнородной информации, поэтому задачи агрегации и интеллектуального анализа медицинских данных, полученных из разнородных источников для решения актуальных задач в практической деятельности врача является важной и актуальной.

Диссертационная работа Гергет Ольги Михайловны посвящена проблеме повышения эффективности анализа разнородных параметров информационных потоков, протекающих в сложной биологической системе Мать-плод, путем создания новых методов, алгоритмов, комплекса программных средств, которые, что следует особо отметить, нашли свое практическое применение в различных медицинских учреждениях.

### **Научная и практическая новизна проведенных исследований**

Наиболее значимыми результатами для развития отрасли являются:

1. Метод вычисления обобщенного показателя биосистемы мать-плод, особенностью которого является анализ динамически изменяющихся параметров признаков, что позволяет более эффективно учитывать персональные особенности адаптационного потенциала, сложные механизмы регуляции обменных процессов и приводит к повышению метрик специфичности и чувствительности при решении задачи классификации критических ситуаций.

2. Бионическая модель выбора управляющих воздействий, позволяющая исследовать как статические, так и динамические переменные с применением методов машинного обучения. При этом Гергет О.М. предложила новый алгоритм выбора гиперпараметров модели управляющих воздействий, отличающийся возможностью явного или неявного представления управляющего воздействия в кодирующей хромосоме.

3. Модификация алгоритма Resilient Propagation, учитывающая влияние процесса развертывания нейронной сети на изменение величины корректировки веса и заключающаяся в использовании динамики знака суммы производных целевой функции по совместно используемым весовым коэффициентам для определения величины их коррекции.

4. Алгоритм разделения источников ЭКГ-сигнала, базирующийся на концепции взаимодействия модели слепого разделения источников и нелинейной авторегрессионной нейронной сети с внешними входами, в которой применена процедура параллельного развертывания.

5. Структура информационной системы предобработки и анализа информации, поступающей из разнородных источников.

Результаты исследования внедрены государственные и частные компании. Практическое использование предлагаемых решений продемонстрировало снижение времени анализа медицинских данных и значительно повысило качество принимаемых решений.

Поддержка исследования рядом грантов РФФИ, РГНФ, Президента России, администрации города Томска, государственным заданием «Наука»

подчеркивает особую значимость проекта для решения проблем на критически важных направлениях государственного планирования – построения развитых систем информационного анализа данных и развития здоровье-сберегающих технологий для повышения длительности и качества жизни граждан.

Результаты диссертационной работы достаточно полно представлены на международных, всероссийских конференциях, опубликованы более чем в 60 научных работах, в том числе в 18 журналах, рекомендованных ВАК России, 16 публикаций в источниках, индексируемых SCOPUS и Web of Science.

### **Соответствие требований по выполнению, оформлению и апробации диссертационной работы**

Целью работы, поставленной диссертантом, является разработка новых подходов к построению эффективных информационных систем для интегральной оценки и прогнозирования сложных биосистем. Задачи, указанные во введении, логически выводятся из цели, их реализация позволяет достичь желаемого результата. При проведении исследований Гергет Ольга Михайловна корректно использовала следующие методы исследования: теорию информации, вычислительную математику, системный анализ, машинное обучение и прикладное программирование.

В первой главе работы дан полный обзор современных исследований по следующим направлениям: индивидуализированная оценка известной закономерности, сложность и возможность исследования биосистемы Мать-плод с помощью информационных методов, передовые методы, модели и алгоритмы диагностики предпатологических и патологических состояний здоровья беременных женщин. Показан активно развивающийся в настоящее время инструментальный анализ данных, в том числе последние технологии машинного обучения для исследуемой предметной области, указаны сильные и слабые стороны методов и алгоритмов, что позволило автору работы предложить собственный комплексный подход к построению информационных бионических моделей.

Во второй главе диссертации предлагается оригинальный метод вычисления обобщенного показателя биосистемы мать-плод, значительно отличающийся от существующих анализом динамических параметров становления признаков. В тексте ясно изложено, каким образом происходило комплексное исследование объекта анализа с помощью методов интегрального оценивания, использующего меру Кульбака как меру предпочтительности поведения объекта. Проведено сравнение результатов с интегральным критерием, в основе которого реализован анализ меры близости предпочтительного и текущего состояний, исследован энтропийный

метод оценки реакции системы на воздействие. Особо следует отметить получение аналитических выражений для оценки гомеостатических свойств биосистемы, а также исследование показателей, влияющих на интегральную оценку системы.

В третьей главе работы описана бионическая модель выбора управляющих воздействий, позволяющая исследовать как статические, так и динамические переменные с применением методов машинного обучения. Показано преимущество использования обобщенной оценки МиП для прогнозирования эффекта от применения управляющего воздействия по сравнению с критерием, основанным на метрике Махаланобиса. Приведено исследование (кросс-валидация) превосходства (на 6% MAPE) предлагаемых моделей машинного обучения с явным представлением управляющего воздействия в отличие от неявного представления в нейросетевой и линейной регрессионной модели. Для решения задачи обучения глубокой нейронной сети Гергет О.М. предложила использовать кросс-энтропию в качестве целевой функции вместо MSE, что положительно отразилось на адекватности работы нейросетевой модели (как показали тесты на 8% для первой группы и 5% для второй). Исследование разных параметров модели на большом числе тестов позволило выявить особенности объектов исследования, обладающих уникальными свойствами.

Четвертая глава диссертации представляет собой описание исследования аппарата динамических нейронных сетей для задач слепого разделения источников абдоминальной ЭКГ. Продемонстрировано преимущество предлагаемого подхода по сравнению с методом анализа независимых компонент, заключающееся в разделении источников сигнала вне зависимости от их количества и характера смешивания. Предложена модификация алгоритма Resilient Propagation. Реализованный алгоритм позволил снизить значение MSE на порядок меньший по сравнению с методом сопряженных градиентов, Rprop и Левенберга-Марквардта. Серией экспериментов получено несколько важных заключений, такие как: точность выделения источников анализируемого сигнала не зависит от выбора точки отсчета и длительности сигнала; качество выделения R-R интервалов плода не зависит от распределения R-R интервалов, а только от морфологических характеристик QRS – комплекса; эффективность разделения источников абдоминальной ЭКГ с помощью нелинейной авторегрессионной модели с внешними входами NARX превосходит эффективность такого же разделения с помощью анализа независимых компонент.

Пятая глава работы иллюстрирует предлагаемое в диссертационной работе программное обеспечение, использующее разработанные диссертантом методы, алгоритмы и модели, а также результаты их

практического применения при решении задач диагностики и прогнозирования состояния пациентов в ФГБНУ «Восточно-сибирский институт медико-экологических исследований» г. Ангарск, КГБУЗ «Консультативно-диагностический центр» г. Бийск, ООО «Элекард-мед», г. Томск. Детально, с помощью таблиц, графиков показаны результаты исследования нескольких выборок, подтверждающие адекватность предлагаемых оценок мониторинга состояния здоровья беременных женщин. Получен важный результат использования разработанного программного обеспечения – статистически значимое снижение напряжения организма беременных, в анамнезе которых присутствует анемия, вследствие проведения управляющих воздействий, рекомендованных системой. На разработанное в диссертационном исследовании программное обеспечение получено 4 свидетельства о регистрации программного продукта.

Содержание исследования полностью соответствует формуле специальности 05.13.17 «Теоретические основы информатики». Диссертационная работа включает: разработку математических моделей и методов взаимодействия информационных процессов, применение бионических методов и моделей в информационных технологиях, разработку и исследование моделей и алгоритмов анализа данных, обнаружение закономерностей в данных и их извлечениях, исследование информационных потребностей коллективных пользователей.

**Автореферат соответствует содержанию диссертации и установленным нормативам.**

**Значимость полученных результатов для развития соответствующей отрасли науки**

Диссертационная работа Гергет О.М. расширяет теорию и инструментарий информационного анализа данных, получения новых знаний методами машинного обучения, в том числе нейросетевого. Разработанные и протестированные для обработки медицинских последовательностей методы анализа динамики сигналов имеют несомненную значимость для развития информатики и смежных отраслей науки, в том числе теорию цифровой обработки сигналов.

**Рекомендации по использованию результатов и выводов диссертационной работы**

Как показывают результаты анализа эффективности методов настройки динамических нейросетевых моделей для решения задач оценки медицинских сигналов, предлагаемые в диссертации инструменты могут с

минимальными изменениями внедряться в следующие организации: ФГБУ Национальный медицинский исследовательский центр кардиологии Министерства Здравоохранения РФ, Институт клинической кардиологии имени А.Л. Мясникова, НИИ кардиологии им В.А. Алмазова в г. Санкт-Петербург, Новосибирский НИИ патологии кровообращения им. академика Е.Н. Мешалкиной. Технология исследования сигналов является интересной и перспективной для профильных организаций и компаний, занимающихся обработкой не только медицинских, но и сигналов другой природы (электронных и радиосигналов): ЗАО НПО «Телеком» г. Москва, АО НПФ «Микран» г. Томск, АО «Инструментальные системы» г. Москва.

Следует отметить, что готовая модель, методы и программное обеспечение анализа состояния здоровья беременных женщин являются эффективным, наукоёмким и подтвержденным экспериментально инструментом полезным для региональных перинатальных центров России: Московский областной перинатальный центр, Новосибирский городской клинический перинатальный центр, Красноярский краевой клинический центр охраны материнства и детства, Областной перинатальный центр в г. Томске и др.

### **Рекомендации по продолжению и развитию исследований**

Развитие исследований может происходить по нескольким направлениям: во-первых, идеи и методы настройки гиперпараметров интеллектуальной модели можно применить к построению новых моделей, основанных на технологии глубинного обучения: сверточных нейронных сетей, модели U-NET для решения задач сегментации данных, выделения полезного сигнала и классификации. Сложность описания структуры и связей таких моделей подходит для теоретического и практического исследования идей диссертанта.

Во-вторых, алгоритмы исследования динамики сигнала и наложенных сигналов целесообразно исследовать для решения задач, связанных с приложениями в области передачи данных.

В-третьих, несмотря на подтвержденную (и весьма эффективную по сравнению с другими методами) экспериментальную оценку состояния здоровья беременных женщин с некоторыми особенностями и патологиями развития, предлагаемый аппарат крайне важно оценить для как можно большего числа беременных женщин с разнородными особенностями развития, чтобы сделать его более универсальным и адекватным.

### **К тексту диссертации имеются следующие замечания:**

1. В работе подробно описаны методы обработки данных для мониторинга и прогнозирования состояния биосистемы. Вместе с тем, отсутствует формальное описание основных особенностей и характеристик объекта исследования. Следовало больше внимания уделить специфике биосистемы "Мать-плод" и информационным процессам, ее характеризующих.

2. Разработанные методы и инструментальные средства анализа информационных процессов, если судить по их формальному описанию, являются достаточно универсальными. Однако о возможности применения для решения другого класса задач и объектов исследования, условиях, необходимых для выполнения при настройке предложенного комплекса программ на другой класс объектов, и трудоемкости ничего не говорится.

3. При апробации метода вычисления обобщенного показателя автор проводит исследования на базе лабораторно-инструментальных показателей биосистемы, а именно показателей крови. Из диссертации не ясно, может ли оценка быть получена на других данных, и каково должно быть оптимальное количество этих данных, предусмотрена ли функция внесения изменений в информационную систему врачом.

4. Медицина является предметной областью, в которой в системах поддержки принятия решений первостепенную роль играет аргументация (объяснение) полученных решений с разной степенью детализации. Известно, что недостатком нейронных сетей является плохая интерпретируемость полученных решений. К сожалению, в работе не ставилась очень важная задача генерации содержательных объяснений для врача. Не указано планирует ли автор работы в дальнейшем уделить внимание созданию объяснительной компоненты для такого класса систем.

5. В работе недостаточно подробно указано, как будет вести себя система при пропуске некоторых данных (особенно в динамике).

6. Для каждого состояния биосистемы есть управляющие воздействия. Но они подвержены постоянным изменениям (методы лечения непрерывно меняются и совершенствуются). Из текста работы непонятно, как в системе предусмотрено их изменение. Не указано, как персонифицировать указанный подход.

### **Заключение по работе**

Указанные замечания не снижают общей положительной оценки диссертации.

Диссертационная работа Гергет Ольги Михайловны «Модель и инструментальные средства анализа информационных процессов»

биологической системы Мать-плод» является законченной научно-квалификационной работой, выполненной на высоком профессиональном научном уровне, и посвященной решению крупной народнохозяйственной проблемы. Представленные в работе результаты достоверны, выводы и рекомендации обоснованы. Диссертация содержит достаточное количество поясняющих формул, таблиц и иллюстраций.

Работа соответствует п. 9 Положения о порядке присуждения ученых степеней, утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 г. № 842, удовлетворяет всем необходимым требованиям, предъявляемым к диссертационным работам на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 05.13.17 «Теоретические основы информатики», и её автор Гергет Ольга Михайловна заслуживает присуждения ученой степени доктора технических наук по специальности 05.13.17 «Теоретические основы информатики».

Результаты диссертационной работы Гергет Ольги Михайловны были обсуждены на открытом семинаре лаборатории Интеллектуальных систем Федерального государственного бюджетного учреждения науки Институт автоматки и процессов управления Российской академии наук (протокол № 13 от 9 октября 2018 г.)

Председатель семинара

заместитель директора по научной работе

д.т.н.

(ФГБУН Институт автоматки и процессов управления ДВО РАН  
тел. 84232310439, e-mail:gribova@iacp.dvo.ru)

В.В. Грибова

Секретарь семинара

с.н.с., к.т.н.

(ФГБУН Институт автоматки и процессов управления ДВО РАН  
тел. 84232310439, e-mail:shalf@iacp.dvo.ru)

Е.А. Шалфеева

Сведения об организации:

Федеральное государственное бюджетное учреждения науки «Институт автоматки и процессов управления» Дальневосточного отделения Российской академии наук

Сайт: [iacp.dvo.ru](http://iacp.dvo.ru)

Адрес: 690041 Владивосток, ул. Радио, 5

Телефон: 84232310439

Электронная почта: [director@iacp.dvo.ru](mailto:director@iacp.dvo.ru)