

## **ОТЗЫВ**

официального оппонента на диссертацию Девярых Дмитрия Владимировича «Модель, алгоритмы и комплекс программ для неинвазивной фетальной электрокардиографии» по специальности 05.13.18 - «Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук.

### **Актуальность темы**

В настоящее время математические методы и компьютерные технологии обработки сложных биомедицинских сигналов, к числу которых относятся электрокардиограммы, широко используются для оценки состояния регуляторных механизмов и адаптивных возможностей организма. Неинвазивная электрокардиография является идеальным скрининг-методом который может быть использован для оценки функционального состояния плода, что имеет большое диагностическое значение для выявления факторов перинатального риска у новорожденных и позволяет проводить своевременную коррекцию выявленных нарушений.

Основной проблемой неинвазивной электрокардиографии является проблема эффективного выделения электрокардиограммы плода из сигнала, зарегистрированного в абдоминальных отведениях с помощью электродов, закрепленных на теле матери. Она обусловлена неопределенностью описания морфологических характеристик QRS-комплекса «мать-плод», значительным преобладанием материнской составляющей в измеряемом сигнале, что в совокупности с помехами, вносимыми измерительной аппаратурой и вариабельностью респираторной активности матери, существенно снижает возможности выделения и качественной оценки параметров сигнала плода.

Несмотря на большое количество известных теоретических моделей, рассматривающих подобные задачи, вопросы надежного выделения электрокардиограммы плода исследованы недостаточно. В этой связи тема исследования Девярых Д.В., целью которого является разработка модели электрокардиограммы плода, алгоритма слепого разделения источников абдоминального сигнала и комплекса программ неинвазивной электрокардиографии для повышения надежности определения сердечной активности плода, несомненно, является актуальной, имеет научную и практическую значимость.

### **Содержание диссертации**

Диссертация Девярых Д.В. состоит из введения, трех глав, заключения общим объемом 129 страниц. Работа содержит 52 рисунка и 13 таблиц. Список литературы составляет 101 источник.

**Во введении** диссертации автором работы дано обоснование актуальности исследования, сформулированы цель, задачи, научная новизна и практическая значимость полученных результатов, представлены выносимые на защиту положения, дана информация о степени апробации работы и публикации основных результатов.

**В первой главе** диссертации автором подробно рассмотрены и обсуждены преимущества и недостатки основных существующих на сегодняшний день моделей и алгоритмов выделения электрокардиографических сигналов системы «мать-плод». В результате проведенного сравнительного анализа автором обоснован вывод об эффективности использования динамической нейронной сети для слепого разделения источников абдоминальной электрокардиограммы и предложена новая нелинейная динамическая модель электрокардиограммы плода.

**Во второй главе** описывается использованный автором метод минимизации целевой функции глубокой нейронной сети с перекрестными связями. Анализируются варианты развертывания динамической рекуррентной сети в статическую и глубокую нейронную сеть. Обсуждается проблема затухания градиентов, обусловленная линейностью обратного прохода, при которой коррекция весов сети в нейронах скрытых слоев на несколько порядков меньше, по сравнению с нейронами выходного слоя. В качестве решения автором предлагается модификация алгоритма эластичного распространения (*resilient propagation*), что позволяет избавиться от прямой зависимости величины коррекции веса от локального градиента нейрона. Предложенный в работе подход является новым и расширяющим возможности слепого разделения сигналов.

**В третьей главе** методами численного моделирования проводится сравнение эффективности предложенного подхода с известными алгоритмами слепого разделения источников, показывается его эффективность, выражающуюся в более точном определении параметров сердечного ритма матери и плода. Автор описывает процесс формирования обучающих и тестовых выборок электрокардиограмм, принадлежащих беременным женщинам на различных сроках беременности. При проведении численных экспериментов, использовались нейронные сети, отличавшихся параметрами скрытого слоя и кратковременной памяти. Представлены структурная схема, характеристики и функциональные возможности разработанного программного комплекса, реализующего последовательно-параллельное раскрытие рекуррентной нейронной сети, что позволило повысить устойчивость к вариабельности входных данных. Оценка адекватности полученных результатов показала, что точность определения частоты сердечных сокращений плода и RR-интервалов слабо зависит от вариабельности сердечного ритма, длительности анализируемого сигнала и выбора точки отсчета.

**В заключении** приводятся основные результаты работы

## **Степень обоснованности и достоверности научных положений**

Автором проведено подробное исследование проблемы, рассмотрены и проанализированы достоинства и недостатки большого набора существующих подходов. Все утверждения подкреплены ссылками на источники. Разработанные в работе модели и алгоритмы основываются на корректном применении методов математической статистики, машинного обучения, теории распознавания образов, численных методов и нейросетевых технологий, сопровождаются численными экспериментами на модельных и реальных наборах данных, согласованностью полученных результатов с оценками и данными других авторов.

Результаты диссертационной работы докладывались и обсуждались на всероссийских и международных конференциях, работы опубликованы в журналах, входящих в перечень ВАК и базы данных SCOPUS и WebofScience.

Вышеперечисленное позволяет считать полученные автором научные результаты обоснованными и достоверными.

## **Значимость полученных результатов, рекомендации по использованию**

В ходе выполнения диссертационной работы автором следующие результаты:

1. Обоснована новая нелинейная динамическая модель электрокардиограммы плода, полученная посредством синтеза модели слепого разделения источников и глубокой нейронной сети с перекрестными связями.

2. Предложен модифицированный численный метод минимизации целевой функции нейронной сети, определяющий коррекцию весового коэффициента в зависимости от динамики знака суммы частных производных по всем моментам времени.

3. Разработан комплекс для неинвазивной электрокардиографии на основе предложенных в работе оригинальной модели и численного метода, новизну которого определяет взаимосвязь между подсистемой обучения нейронной сети и краткосрочной памятью.

Полученные результаты можно классифицировать как новые, обоснованные и имеющие практическое и научное значение. Они представляют интерес для организаций, разрабатывающих решения в области обработки многомерных биомедицинских данных и диагностических систем. Результаты работы могут быть использованы в образовательном процессе при подготовке специалистов в области разработки медицинского информационного обеспечения и диагностики.

Следует отметить, что разработанные автором модель и алгоритмы не являются узкоспециализированными, что позволяет обобщать их на задачи, выходящие за рамки уже рассмотренных в работе.

## **Замечания и недостатки диссертационной работы**

Несмотря на это, следует отметить ряд замечаний и недостатков.

1. В работе не проведено сравнение результатов работы динамической нейронной сети, полученной в результате параллельного и параллельно-последовательного развертывания, хотя в теоретической части работы эти варианты рассматриваются.

2. Следовало бы более подробно обсудить (3 глава) влияние фильтрации шумовой составляющей на качество разделения источников биомедицинского сигнала.

3. При проведении оценок эффективности предлагаемого подхода методами численного моделирования автором рассматривались два соотношения амплитуды сигналов (АМП) электрокардиограмм матери и плода 6 и 1,4. Для реальных электрокардиограмм эти характеристики могут изменяться в гораздо более широком диапазоне, достигая 100 на ранних сроках беременности. Неясно как скажутся другие значения АМП на оценку эффективности.

4. Для оценки точности выделения источников АЭКГ длительность сигнала электрокардиограммы делилась на 10 секундные отрезки. Следует пояснить, чем обусловлено такое разбиение и будет ли сказываться изменение длительности на точность оценок.

5. В третьем положении, выносимом на защиту, автор приводит в качестве оценки эффективности предлагаемого метода абсолютные значения ошибок определения параметров сердечной деятельности (частоты сердечных сокращений и отклонения RR-интервалов). Не понятно, по отношению к каким референтным величинам они вычислялись. Представление этих оценок в относительных величинах было бы более информативно.

6. Следует высказать автору замечание по редактированию текста, как диссертации, так и автореферата. Эти документы содержат ряд неточностей, отсутствуют пояснения некоторых обозначений, имеются стилистические и пунктуационные ошибки.

Однако отмеченные недостатки не являются принципиальными, не оказывают решающего влияния на основные теоретические и практические результаты работы, а также оценку диссертанта как самостоятельного исследователя.

## **Заключение**

Диссертация Девярых Д.В. является законченным научно-исследовательским трудом, выполненным самостоятельно и на хорошем уровне. Результатом работы является разработка научно-обоснованной модели электрокардиограммы плода, алгоритма слепого разделения источников абдоминального сигнала и комплекса программ неинвазивной

электрокардиографии, что направлено на повышение эффективности диагностики сердечной активности плода.

Автореферат соответствует тексту диссертации.

Работа соответствует требованиям пункта 9 «Положения о порядке присуждения ученых степеней» в части требований, предъявляемым к кандидатским диссертациям, и соответствует паспорту научной специальности 05.13.18 – «Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ» на соискание ученой степени кандидата наук.

Автор диссертации Девятых Дмитрий Владимирович заслуживает присуждения искомой ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.13.18 – «Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ».

**Официальный оппонент** доктор технических наук, доцент Фокин Василий Александрович,

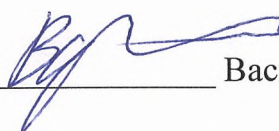
Адрес: 634055, г. Томск, ул. Вавилова, д.4. кв. 37

Тел. 89095388180, e-mail: [fokin@ssmu.ru](mailto:fokin@ssmu.ru)

Место работы: ФГБОУ ВО «Сибирский государственный медицинский университет», 634050, г. Томск Московский тракт, 2.

Должность: профессор кафедры медицинской и биологической кибернетики с курсом медицинской информатики.

Научная специальность: 05.13.18 – «математическое моделирование, численные методы и комплексы программ».



Василий Александрович Фокин

