

УТВЕРЖДАЮ

Проректор по научной  
работе Федерального  
государственного бюджетного  
образовательного учреждения  
высшего образования

«Новосибирский государственный  
технический университет»

д.т.н., проф Вострецов А.Г

«31» 10 2016 г.



### Отзыв ведущей организации

на диссертационную работу Девярых Дмитрия Владимировича, выполненную на тему «Модель, алгоритмы и комплекс программ для неинвазивной фетальной электрокардиографии» на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности: 05.13.18 «Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ».

#### 1. Актуальность темы

Диссертационная работа Девярых Дмитрия Владимировича посвящена решению задачи неинвазивной электрокардиографии. Под неинвазивностью подразумевается оценка сердечной активности плода по показателям электрокардиограммы матери, зарегистрированной в абдоминальных отведениях.

Для решения поставленной задачи используются современные методы нейросетевого моделирования, вычислительной математики, теории вероятностей и математической статистики, а также прикладного программирования.

Актуальность работы не вызывает сомнений – неинвазивная фетальная электрокардиография для оценки сердечной активности плода является одной из актуальных задач пренатальной диагностики. Ультразвуковая доплерография регистрирует механические движения сердца плода, в то время как электрокардиография основывается на анализе электрической активности сердца. Оказываемое воздействие на плод в ходе ультразвуковой диагностики ограничивает потенциальные возможности мониторинга. Преобладание материнских и шумовых компонент в абдоминальной электрокардиограмме определяет нетривиальность задачи выделения из смеси сигналов плодовой составляющей.

Автор в своей работе выдвинул новую математическую модель, численный метод и разработанный комплекс программ для решения данной задачи, которые основаны на результатах современных исследований концепции слепого разделения источников, глубокого и динамического обучения нейронных сетей.

## **2. Научная новизна проведенных исследований**

1. Основной научный результат, полученный автором, заключается в разработке новой модели источника сигнала, построенной на основе объединения концепции слепого разделения источников и нелинейной авторегрессионной модели с внешними входами. Модель, в отличие от известных аналогов, за счет активационных функций и перекрестных связей определяет значение электрокардиограммы плода нелинейным образом с учетом временной структуры данных;
2. Обучение нейросетевой модели осуществляется на основе динамики знака суммы производных функции среднеквадратичной ошибки модели по совместно используемому весу, что отличает предложенный автором алгоритм глубокого обучения от известных аналогов;

3. В результате исследований была разработана новая концепция и структура программного комплекса для неинвазивной электрокардиографии плода со встроенными функциями параллельного развертывания динамической нейронной сети.

### **3. Значимость для науки и практики**

Предложенная модель позволяет выполнять разделение источников абдоминальной электрокардиограммы, не обращаясь к частотным характеристикам биомедицинских сигналов. Автором в разделе 1.3.4 показана зависимость результатов частотно-временного анализа от вариабельности RR-интервалов сигнала, в то время как надежность результатов предложенной в работе модели к вариабельности сигналов оказалась устойчивой, что показано в разделе 3.3.2. Отсутствуют требования к наличию опорных сигналов, зарегистрированных в грудных отведениях, что является обязательным условием для линейной адаптивной фильтрации. В отличие от вейвлет-зум процедуры и кратномасштабного анализа предложенная автором модель позволяет разделять наложенные друг на друга QRS-комплексы матери и плода. По сравнению с линейной моделью слепого разделения источников, матрица разделяющих коэффициентов которой была получена с помощью анализа независимых компонент, отсутствуют требования к равенству размерностей входного и выходного сигналов. Это позволило автору выделить источники АЭКГ, как из одномерного, так и из многомерных сигналов (раздел 3.5).

В разделе 2.4 автором обоснована неизбежность затухания градиентов при развертывании динамической нейронной сети. Существующие же на сегодняшний день алгоритмы глубокого обучения не учитывают наличия в развернутых сетях совместно используемых весовых коэффициентов. Предложенный автором алгоритм обучения позволил найти такие значения параметров нейронной сети, при которых значение среднеквадратичной ошибки при обучении оказалось ниже, чем у известных аналогов. Результаты

тестирования, приведенные в разделе 3.2, подтвердили отсутствие примеров, которые бы указывали на переобученность нейронной сети.

Проверка адекватности модели, приведенная в разделе 3.3, показала независимость полученных результатов от длительности сигнала и выбора точки отсчета.

#### **4. Рекомендации по использованию результатов и вывод диссертации**

Теоретические и практические результаты диссертационного исследования Девярых Д.В. могут быть эффективно использованы:

1. учеными в области машинного обучения, разработки моделей глубоких и динамических искусственных нейронных сетей;
2. разработчиками медицинских информационных систем;
3. работниками медицинских учреждений, занимающихся пренатальной диагностикой сердечной активности;
4. студентами, аспирантами и работниками вузов, занимающихся исследованиями методов распознавания образов, обучения нейросетевых моделей.

#### **5. Достоверность результатов исследований**

Достоверность научных результатов обеспечивается применением проверенных методов вычислительной математики, теории вероятностей и математической статистики, а также прикладного программирования, соответствием экспериментальных данных, полученных в ходе исследований и опытного внедрения комплекса программ, непротиворечивостью моделей, проверкой на тестовых примерах.

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

Диссертационная работа состоит из введения, трех глав, заключения, а также библиографического списка, включающего 101 источник и четырех приложений. Общий объем работы 129 страниц, в том числе 52 рисунка и 13

таблиц. В приложении приведены свидетельства о государственной регистрации программы для ЭВМ и акты о внедрении.

**Во введении** обоснована актуальность темы диссертации, сформулированы цели и задачи исследования, научная новизна, методы исследования, практическая значимость.

**В первой главе** диссертации рассмотрено современное состояние методов неинвазивной электрокардиографии плода, проведен подробный анализ результатов, полученных множеством независимых ученых. В результате систематизации выделено 5 основных подходов к моделированию электрокардиограммы, среди которых наиболее перспективным, с точки зрения автора, является слепое разделение источников. Усовершенствование модели за счет придания ей динамических и нелинейных свойств, достигается автором посредством синтеза концепции слепого разделения источников и динамической нейронной сети.

**Во второй главе** приводится описание модели электрокардиограммы, полученной в результате синтеза концепции слепого разделения источников и динамической нейронной сети. В качестве основных блоков краткосрочной памяти рассматриваются линии задержек и обратные связи. В результате их внедрения в структуру сети прямого распространения с одним скрытым слоем получена нелинейная авторегрессионная модель с внешними входами. Следующий этап построения модели, заключающийся в параллельном развертывании, приводит к получению глубокой нейронной сети с перекрестными связями.

Автор рассматривает полученную нейронную сеть как глубокую, в связи с чем возникает необходимость создания специфического алгоритма обучения. Использование алгоритма Resilient propagation позволило решить проблему зависимости коррекции веса от затухающего в глубоких слоях нейронной сети градиента. Однако, чтобы коррекция веса, совместно используемого нейрона в нескольких слоях, не определялась в зависимости

от количества скрытых слоев сети, автор предлагает модификацию алгоритма.

**В третьей главе** описаны характеристики исходных биомедицинских сигналов, результаты собственных вычислительных экспериментов, структура программного комплекса.

Обучение множества нейронных сетей на различных выборках показало необходимость определения параметров скрытого слоя и емкости краткосрочной памяти в зависимости от объема и разнородности обучающей выборки.

Сравнение с такими алгоритмами обучения как Левенберга-Марквардта, сопряженных градиентов, наискорейшего спуска, Resilient propagation подтвердило эффективность предложенного алгоритма обучения для решения проблем затухания градиентов в глубоких слоях и обучения долгосрочным зависимостям.

Приведена структура программного комплекса, разработанного с использованием языка программирования *MATLAB* и возможностей Neural Network Toolbox. Выделена его отличительная особенность, принимающая форму нового блока подсистемы обучения.

Необходимость синтеза слепого разделения источников и нейросетевого подхода к моделированию электрокардиограммы подтверждается результатами сравнения с эффективностью работы моделей, разделяющие коэффициенты которых были найдены с помощью известных алгоритмов анализа независимых компонент.

**В заключении** обобщаются основные теоретические и практические результаты, полученные в диссертационной работе.

**В приложении** приведены акты о внедрении и свидетельства о государственной регистрации программы для ЭВМ.

По теме диссертации опубликованы 14 работ, в том числе 5 статей в журналах, входящих в перечень рецензируемых научных журналов и изданий, 5 публикаций в материалах международных и всероссийских

научных конференций, 3 работы в зарубежном издании, входящем в международную базу цитирования «SCOPUS». По результатам диссертационной работы созданы два программных продукта, получивших свидетельства о государственной регистрации программы для ЭВМ. Автореферат соответствует содержанию диссертации и содержит 22 страницы текста. Автореферат соответствует установленным нормативам.

#### **7. Замечания и недостатки**

1. Не показаны результаты работы динамической нейронной сети, полученной в результате параллельно-последовательного развертывания.
2. В диссертационной работе следовало обратить внимание на алгоритмы предварительного обучения глубоких слоев с использованием ограниченных машин Больцмана.
3. Во всех примерах длительность входных сигналов составляла 10 секунд, не показано как будет варьироваться надежность модели при изменении длительности обучающих сигналов и частоты дискретизации.

#### **8. Выводы**

Результаты, полученные в диссертационной работе Девярых Д.В, позволяют сделать вывод, что работа выполнена автором на высоком научном уровне и посвящена актуальному направлению. Все положения диссертации обоснованы и подкреплены теоретическим анализом и проведенными исследованиями. Отмеченные замечания не снижают положительной оценки диссертационной работы Девярых Дмитрия Владимировича.

Диссертация соответствует п. 9 Положения о порядке присуждения ученых степеней, утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. № 842, отвечает требованиям, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.13.18 – «Математическое

моделирование, численные методы и комплексы программ», а ее автор достоин присуждения ученой степени кандидата технических наук по данной специальности.

Отзыв подготовил:

Д.т.н., директор научно-исследовательского  
института медицинской инженерии НГТУ

Белик Дмитрий Васильевич

Телефон: 8 (383) 315-22-02

630073, г. Новосибирск, пр-т К.Маркса 20,

Федеральное государственное бюджетное

образовательное учреждение высшего образования

«Новосибирский государственный

технический университет»




Белик Д.В.

Отзыв обсужден и утвержден на расширенном семинаре Научно –  
исследовательского института медицинской инженерии Федеральное  
государственное бюджетное образовательное учреждение «Новосибирский  
государственный технический университет». «НИИМИ НГТУ»

« 19 » октября 2016 г., протокол № 5

Директор



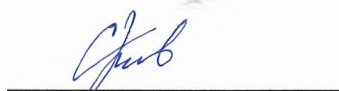
Белик Д.В.

НИИМИ НГТУ

д.т.н.

Заслуженный конструктор РФ

Секретарь



Богаев С.А.