

## ОТЗЫВ

официального рецензента на диссертационную работу Савостиной Галины Владимировны на тему «Разработка методов цифровой обработки и интеллектуального анализа электрокардиографических сигналов для инфокоммуникационной системы диагностики», представленную на соискание ученой степени доктора философии (PhD) по специальности 6D071900 – Радиотехника, электроника и телекоммуникации.

### **1. Актуальность темы исследования и ее связь с общенаучными и общегосударственными программами.**

В настоящее время в здравоохранении происходят революционные изменения, связанные с проникновением в эту сферу информационно-коммуникационных технологий, которые способны помочь решению многих проблем. Внедрение информационно-коммуникационных технологий в здравоохранение играет решающую роль в снижении стоимости медицинского обслуживания при сохранении его качества, в повышении эффективности, своевременности и доступности медицинской помощи для широких слоев населения. Актуальность тематики диссертационного исследования не вызывает сомнения, поскольку в современном обществе наблюдается неуклонный рост числа заболеваний, связанных с различными функциональными изменениями в работе сердца. Для минимизации ущерба для населения и медицины необходима своевременная диагностика, которая снижает стоимость последующего лечения. Поэтому исследования, направленные на разработку современных технических средств оценки состояния сердечно-сосудистой системы, является очень важным. Наравне с этим, в области медицинского приборостроения наблюдается востребованность к повышению уровня автоматизации процесса обработки и измерения электрокардиографических сигналов (ЭКС).

Повысить диагностические и функциональные характеристики автоматического анализа ЭКС возможно за счет использования информационно-телекоммуникационных технологий на современном уровне их развития, а также интеллектуального анализа данных и средств цифровой обработки сигналов.

Таким образом, диссертационная работа Савостиной Г.В. является законченным научным исследованием, содержащим решение ряда актуальных задач в сфере цифровой обработки и интеллектуального анализа ЭКС.

### **2. Научные результаты и их обоснованность (пункты 2, 5, 6, «Правил присуждения ученых степеней»).**

Представленное диссертационное исследование имеет следующую сформулированную цель – повышение качества функциональных и диагностических характеристик автоматизированных

электрокардиографических систем путем создания и оптимизации радиотехнических методов цифровой обработки и интеллектуального анализа ЭКС.

В соответствии с данной целью в работе успешно решены поставленные задачи. Диссертация состоит из введения, четырех разделов, заключения, списка использованных источников и приложений. Работа в достаточной степени снабжена поясняющими рисунками и таблицами. После каждого раздела автор аргументированно формулирует научно значимые выводы.

**Во введении** приводится общая характеристика работы и обоснование актуальности темы исследования, формулируются цель и задачи, определяются основные положения, выносимые на защиту, обосновывается научная новизна, практическая значимость работы. Также приводятся краткие сведения о публикациях, апробации результатов и структуре диссертации.

**Первый раздел** работы посвящен анализу существующих на сегодняшний день технических решений по организации сбора, обработки и анализа ЭКС. Указан ряд важных проблем, возникающих при организации автоматического анализа ЭКС. Поставлена задача определения оптимальных методов фильтрации ЭКС для повышения качества диагностических характеристик электрокардиографического оборудования. Показана необходимость разработки более совершенных моделей классификаторов ЭКГ средствами интеллектуального анализа сигналов на базе алгоритмов машинного обучения.

**Во втором разделе** производится теоретическое и экспериментальное исследования различных способов цифровой фильтрации помех в ЭКС. В работе предлагается ряд новых и оптимизируются существующие алгоритмы фильтрации. Для предоставления возможности количественной оценки эффективности фильтрации низкочастотных и других видов помех разработана методика сравнения различных методов цифровой фильтрации при помощи предложенных информативных критериев. В результате были сформированы рекомендации по использованию методов ЦФ для устранения помех при проведении различных электрокардиографических (ЭКГ) исследований, а также для препроцессинга интеллектуального анализа.

**В третьем разделе** проводится исследование возможностей различных алгоритмов машинного обучения для выполнения интеллектуального анализа ЭКС. Предлагается ряд способов реализации моделей алгоритмов интеллектуального анализа ЭКС при различной комбинации информативных признаков объектов классификации. Описывается подход к интеллектуальному анализу ЭКС с использованием алгоритмов машинного обучения. В результате на основании отобранных в процессе поиска информативных признаков ЭКС на базе алгоритма машинного обучения  $k$ -ближайших соседей найдено решение по детектированию инфаркта миокарда в одном отведении (II) с точностью классификации по метрикам  $pre = 0,9860$ ,  $rec(sen) = 0,9734$ ,  $spec = 0,9593$ ,  $f1 = 0,9800$ ,  $acc = 0,9703$ . Показано преимущество разработанной модели классификатора.

**В четвертом разделе** разработана аппаратно-программная модель инфокоммуникационной системы диагностики, ориентированная на использование предложенного подхода для интеллектуального анализа ЭКС. Для оптимизации аппаратного обеспечения системы регистрации ЭКС предложено схемотехническое решение по модернизации тракта съема сигнала за счет использования современных быстродействующих аналого-цифровых преобразователей с высокой разрешающей способностью. Благодаря этому удастся повысить компактность, мобильность и функциональность регистрирующего оборудования.

**В заключении** представлены полученные в рамках проведенных исследований теоретические и практические результаты. Сделаны заключительные выводы.

Таким образом, автором диссертационного исследования были получены следующие научные результаты:

- разработан процесс эффективной цифровой фильтрации сигнала для подавления комплекса помех, обеспечивающий совместимость с последующими стадиями автоматической обработки ЭКС;
- предложена методика цифровой обработки ЭКС для селекции информативных признаков в процессе предварительной автоматизированной ЭКГ-диагностики;
- разработан метод бинарной классификации инфаркта миокарда различной локализации по записям ЭКС в одном отведении;
- предложен подход к интеллектуальному анализу ЭКС с применением масштабируемой обучающей базы признаков исследуемых объектов, позволяющий обеспечить интерпретируемость полученных результатов;
- разработана аппаратно-программная модель инфокоммуникационной системы предварительной автоматизированной ЭКГ-диагностики.

**3. Степень обоснованности и достоверности каждого научного результата (научного положения), выводов и заключения соискателя, сформулированных в диссертации.**

Содержащиеся в диссертации научные результаты являются обоснованными и достоверными, характеризуются внутренним единством и связаны между собой в рамках сформулированной цели и поставленных задач исследования.

Достоверность выводов и заключений, сформулированных в работе, подтверждается публикациями в открытой печати, апробацией на международных научных конференциях, наличием патента.

Обоснованность и достоверность научных результатов подтверждаются:

- применением апробированных методов теории цифровой обработки сигналов, радиотехнических средств анализа сигналов, инструментов имитационного моделирования, инструментов и средств статистической радиотехники;
- использованием теоретически обоснованных методов построения моделей классификаторов для интеллектуального анализа ЭКС;

– полученными в процессе эксперимента метрическими характеристиками, подтверждающими достоверность и эффективность предложенных решений;

– использованием достоверных инструментов компьютерного моделирования для симуляции процесса передачи информации;

– применением обоснованных схемотехнических решений на базе современных радиоэлектронных компонентов.

#### **4. Степень новизны каждого научного результата (положения), вывода соискателя, сформулированных в диссертации.**

В диссертационной работе Савостиной Г.В.

– впервые предложены информативные критерии и методика оценки качества алгоритмов цифровой фильтрации ЭКС;

– на основе найденной эффективной комбинации цифровых фильтров разработан новый алгоритм подавления комплекса помех для автоматического анализа ЭКС;

– предложен новый подход к выделению значимых информативных признаков из ЭКС для предварительной автоматизированной диагностики;

– достаточной степенью научной новизны характеризуется предложенный в работе метод интеллектуального анализа данных с применением масштабируемой обучающей базы признаков исследуемых объектов для предварительной автоматизированной диагностики сердечно-сосудистых заболеваний;

– предложена новая методика предварительной автоматизированной диагностики инфаркта миокарда по записям ЭКС в одном отведении в виде модели бинарного классификатора.

Научная новизна полученных результатов подтверждается опубликованными исследованиями данной научной работы в периодических изданиях, имеющих ненулевой импакт-фактор по данным Journal Citation Reports (2 публикации); в изданиях базы данных Scopus (1 публикация); изданиях, рекомендованных ККСОН МОН РК (4 публикации). Кроме этого результаты работы обсуждались на международных научных конференциях различного уровня.

#### **5. Практическая и теоретическая значимость научных результатов.**

Практическая и теоретическая значимость диссертации Савостиной Г.В. заключается в получении автором новых значимых результатов для проведения автоматизированной предварительной диагностики сердечно-сосудистых заболеваний. При этом благодаря использованию радиотехнических методов цифровой обработки сигналов и интеллектуального анализа данных удастся оптимизировать аппаратные решения по регистрации сигналов, повысить качество диагностических и функциональных характеристик систем для автоматического анализа ЭКС, обеспечить реализацию интеллектуальных систем поддержки принятия решений для медицинских специалистов, основанных на использовании современных инфокоммуникационных средств обмена информацией.

Также практическая и теоретическая значимость научных результатов подтверждается наличием патента на полезную модель, актами внедрения и апробации результатов работы.

#### **6. Замечания и предложения по диссертации.**

1. В диссертационной работе, в процессе проведения исследования существующих методов автоматического анализа ЭКС (раздел 1) недостаточно освещены существующие промышленные решения, использующие интеллектуальные алгоритмы для классификации ЭКС.

2. Проведенное в разделе 4 симуляционное моделирование предложенной модели инфокоммуникационной системы описано слишком кратко.

3. На рисунке 3.14 отсутствуют подписи на осях координат и не указаны единицы измерения.

Однако данные замечания носят рекомендательный характер и не снижают ценности диссертационной работы и полученные в ходе ее выполнения практические и теоретические результаты.

#### **7. Соответствие содержания диссертации в рамках требований Правил присуждения ученых степеней.**

Представленная на рецензию диссертационная работа на тему «Разработка методов цифровой обработки и интеллектуального анализа электрокардиографических сигналов для инфокоммуникационной системы диагностики» имеет практическую ценность и теоретическую значимость и в полном объеме отвечает требованиям правил присуждения ученых степеней Комитета по контролю в сфере образования и науки МОН РК, предъявляемым к диссертациям, представленным на соискание ученой степени доктора философии (PhD), а ее автор Савостина Г.В. заслуживает присуждения ученой степени доктора философии (PhD) по специальности 6D071900 - «Радиотехника, электроника и телекоммуникации».

#### **Официальный рецензент:**

**кандидат технических наук, доцент,  
заведующий кафедрой «Робототехника  
и технические средства автоматизации»**

**Казахского национального технического  
университета им. К.И. Сатпаева**

**Ожикенов К.А.**

