



влияние электромагнитных помех, воздействующих на амплитудные и временные параметры сигналов, снижает достоверность результатов анализа и как следствие качество диагностики. Поэтому тематика работы Б.Б. Саидова, связанной с разработкой альтернативного ультразвукового канала связи и разработкой методик применения методов пороговой нелинейной фильтрации передаваемых сигналов, с использованием вейвлет-преобразований, **представляется важной и актуальной.**

## **2. Структура и краткое содержание диссертации**

Диссертация Б.Б.Саидова состоит из введения, 4-х глав, заключения и 5 приложений. Общий объем диссертации составляет 141 страницу, включая 105 страниц основного текста, 45 рисунков и список литературы из 153 наименований.

**Во введении** автор останавливается на обосновании актуальности и научной значимости представленной работы, описании цели, объекта и методов исследования, формулировке положений, выносимых на защиту. Кроме того, введение содержит сведения об апробации и внедрении полученных результатов.

**Первая глава** посвящена аналитическому обзору современных методов обработки электрокардиосигналов и их передачи. Произведен анализ характеристик, параметров и особенностей ЭКГ сигналов, перечислены факторы, влияющие на точность их обработки. Кроме того глава содержит краткий критический обзор известных подходов к передаче ЭКГ-сигналов в условиях шумов.

**Вторая глава** открывает результативную часть работы, описывая авторскую методику повышения качества передаваемых ЭКГ-сигналов с использованием известных методов пороговой фильтрации, основанных на вейвлет-преобразовании. Опираясь на результаты численных экспериментов автор производит выбор оптимального числа уровней вейвлет-разложений, наиболее подходящего вейвлет-базиса и параметров пороговой обработки электрокардиосигналов.

**Третья глава** содержит описание разработанного диссертантом экспериментального ультразвукового устройства для приема, передачи и обработки информации. Кроме того, в ней приводится математическая модель ультразвукового устройства при амплитудной модуляции сигнала.

**В четвертой главе** приводятся результаты экспериментального исследования разработанного ультразвукового устройства.

**Заключение** содержит основные выводы и результаты по диссертационной работе.

### **3. Научная новизна диссертации**

Приведенные в диссертации результаты выполненных теоретических и экспериментальных исследований являются новыми и могут быть полезны широкому кругу специалистов, занимающихся приемо-передачей, обработкой и регистрацией электрокардиосигналов.

К новым результатам, полученным в работе, стоит отнести:

- методику оценки эффективности работы алгоритма обработки электрокардиосигналов на основе показателя отношения сигнал/шум и принципа гарантированного результата, применяемого для согласования многокритериальных данных;

- способ оптимизации обработки ЭКГ-сигналов, основанной на нелинейной пороговой спектральной фильтрации, выборе подходящего базиса вейвлет-преобразования, пороговой функции и подборе порога методом прямого поиска (Greedy-search);

- математическую модель ультразвукового канала связи с амплитудной модуляцией, использующей аппроксимацию модулируемого / детектируемого сигнала в классе тригонометрических полиномов;

- аппаратную и программную реализацию предлагаемого прототипа ультразвукового канала передачи данных ЭКГ, обеспечивающие повышение эффективности обработки передаваемых сигналов.

### **4. Степень обоснованности и достоверности научных положений, выводов и рекомендации, сформулированных в диссертации, их новизна**

Обоснованность и достоверность научных положений, выводов и рекомендаций обеспечены:

- корректным использованием подходов к построению моделей закономерностей и зависимостей, лежащие в основе сформулированных научных положений, выводов и заключения диссертации;

- анализом представительного массива информации с использованием подходящих аналитических методов, методов системного анализа, методов фильтрации сигналов, методов цифровой обработки и спектрального анализа;

- оценкой адекватности предложенных подходов и полученных выводов реальным процессам и наблюдаемым явлениям, подтверждаемой результатами экспериментальных исследований и промышленной апробацией.

## **5. Научные результаты, их ценность**

Результаты диссертационной работы в достаточной степени представлены в 18 печатных работах, в том числе в 5 статьях – в изданиях из перечня рецензируемых журналов, рекомендованных ВАК для опубликования результатов диссертаций, представляемых на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук (Перечень ВАК), 5 статей в зарубежных изданиях, индексируемых базой данных Scopus, 1 статья в других периодических научных изданиях, 6 работ в сборниках международных и российских конференций, индексируемых в РИНЦ. Получен патент на полезную модель.

## **6. Теоретическая и практическая значимость результатов диссертации**

1. Комплексная методика оценки эффективности работы алгоритма обработки электрокардиосигналов, способ пороговой обработки вейвлет-коэффициентов при нелинейной фильтрации, рекомендации в области выбора оптимального порога и пороговой функции, подтвержденные результатами экспериментов, представляются важными результатами в области спектральных методов обработки ЭКГ-сигналов.

2. Математическая модель разработанного ультразвукового устройства с амплитудной модуляцией сигналов легла в основу прототипа первого отечественного ультразвукового канала связи, ориентированного на передачу данных ЭКГ.

3. Разработанный диссертантом программно-аппаратный комплекс, основанный на предложенных методах и алгоритмах прошел экспериментальную апробацию и успешно внедрен в ФГБУ «Федеральный Центр сердечно-сосудистой хирургии» Министерства здравоохранения Российской Федерации (г. Челябинск) и ООО "УРАЛ-ПОЛИМЕР-ЛАК" (г. Челябинск).

## **7. Замечания и вопросы по диссертации**

1. Мотивация данного исследования обусловлена известным недостатком радиоканалов, используемых в настоящее время для передачи данных ЭКГ, связанным с электромагнитными помехами, отрицательно влияющими на достоверность проводимой диагностики. В этом смысле отсутствие в работе результатов теоретического или экспериментального сравнения предложенного автором подхода и традиционных методов передачи ЭКГ-сигналов представляется странным.

2. Эффективность предложенной диссертантом методики выбора наилучшего базиса вейвлет-преобразования, пороговой функции и порогов, применяемых при фильтрации сигнала, подтверждена результатами проведенных экспериментов. В то же время, применимость полученных результатов именно в контексте использования ультразвуковых каналов связи осталась обоснованной не в полной мере.

3. Выводы по второй и третьей главам диссертации представляются не вполне корректными. Так, основной результат гл. 2 в области методики улучшения (enhancement) ЭКГ-сигналов, опирается на хорошо известные методы вейвлет-разложения и пороговой фильтрации и с разработкой каких-либо новых алгоритмов не связан. Сделанный в гл. 3 вывод о преимуществе предложенного автором подхода над известными аналогами, в отсутствие результатов их экспериментального сравнения, представляется недостаточно обоснованным.

4. Результаты диссертации представлены в статьях, опубликованных диссертантом в соавторстве с научным руководителем и др. коллегами. В этой ситуации разделение авторского вклада представляется необходимым, по крайней мере для каждой из основных работ.

5. В то время как экспериментальная часть работы выглядит достаточно убедительно, с математической точки зрения диссертация оформлена небрежно и вызывает многочисленные вопросы. Остановимся лишь на некоторых из них:

а. так, в формулах нередко встречаются (см., напр., (2.9)-(2.11), (2.13)-(2.16), (2.23) и др.) несогласованные или неопределенные ранее величины;

б. на стр. 49 утверждается, что коэффициент корреляции принимает значения в интервале  $[0,1]$ ;

в. формула  $\max_i \min_j R_{ij}$  названа в работе «минимаксным критерием», призванным «минимизировать наибольшее возможное значение корреляции сигналов», в то время как на самом деле его предназначение состоит в обратном — максимизации наименьшего значения этого параметра;

г. обозначение  $argmin$  названо автором «минимальным аргументом порога»;

е. напоминая определения известных математических объектов, автор приводит ссылки на странные первоисточники: Википедию и дискуссионные медицинские Web-ресурсы.

Высказанные замечания не влияют на общую положительную квалификационную оценку работы.

## Заключение

Диссертационная работа Саидова Бехруза Бадридиновича на тему «Исследование и разработка алгоритмов обработки электрокардиосигналов в ультразвуковых приемо–передающих устройствах», является завершенной научно-квалификационной работой, содержащей решение актуальной задачи в области передачи и обработки информации.

Работа соответствует паспорту специальности 2.3.1 – «Системный анализ, управление и обработка информации, статистика» и удовлетворяет требованиям, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата наук, установленным пунктом 9 «Положения о порядке присуждения ученых степеней», утвержденным постановлением Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 года № 842, а ее автор, Саидов Бехруз Бадридинович, заслуживает присвоения ученой степени кандидата технических наук по научной специальности 2.3.1 – «Системный анализ, управление и обработка информации, статистика».

Диссертация и отзыв были обсуждены и одобрены на расширенном заседании отдела математического программирования Федерального государственного бюджетного учреждения науки Институт математики и механики им. Н. Н. Красовского Уральского отделения Российской академии наук (протокол от №438 от 5.09.2023 г.)

Отзыв подготовил: ведущий научный сотрудник отдела управляемых систем ИММ УрО РАН, д.т.н.

 Петунин Александр Александрович

Секретарь заседания  
старший научный сотрудник отдела математического программирования,  
к.ф.-м.н.

 Огородников Юрий Юрьевич

### Сведения о ведущей организации:

*Полное наименование на русском языке:* федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт математики и механики им. Н. Н. Красовского Уральского отделения Российской академии наук

*Сокращенное наименование на русском языке:* ИММ УрО РАН

*Почтовый (фактический) адрес:* 620108, Свердловская обл. г. Екатеринбург, ул. Софьи Ковалевской, 16.

*Официальный сайт в сети Интернет:* <https://www.imm.uran.ru>

*E-mail:* [dir-info@imm.uran.ru](mailto:dir-info@imm.uran.ru)

*Контактный телефон:* +7 (343) 374-83-32, +7 (343) 374-25-81

Подпись зав. отд.  
Ученый секретарь  
ИММ УрО РАН