

УТВЕРЖДАЮ

Первый проректор-проректор
по научной работе

ФГАОУ ВО «ЮУрГУ (НИУ)»,

доктор технических наук, доцент

А.В. Коржов

2023 г.



ЗАКЛЮЧЕНИЕ

федерального государственного автономного образовательного учреждения
высшего образования «Южно-Уральский государственный университет
(национальный исследовательский университет)»

Министерства науки и высшего образования Российской Федерации

Диссертация «Исследование и разработка алгоритмов обработки электрокардиосигналов в ультразвуковых приемо–передающих устройствах» на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.3.1. Системный анализ, управление и обработка информации, статистика, выполнена на кафедре инфокоммуникационных технологий федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Южно-Уральский государственный университет (национальный исследовательский университет)».

В период подготовки диссертации соискатель Саидов Бехруз Бадридинович с 2018 года по 2022 год проходил обучение в очной аспирантуре ФГАОУ ВО «Южно-Уральский государственный университет (национальный исследовательский университет)» по направлению подготовки 09.06.01 – «Информатика и вычислительная техника», с 25 июня 2020 года по 30 августа 2022 года работал инженером-исследователем кафедры «Инфокоммуникационные технологии» и с 17 ноября 2022 года по настоящее время работает инженером кафедры информационно-измерительной техники ФГАОУ ВО «Южно-Уральский государственный университет (национальный исследовательский университет)».

В 2018 г. Саидов Бехруз Бадридинович окончил «Таджикский технический университет имени академика М.С. Осими» по специальности «Сети связи и распределения информации».

Справка об обучении в аспирантуре и сдаче кандидатских экзаменов выдана в 2023 г. федеральным государственным автономным образовательным учреждением высшего образования «Южно-Уральский государственный университет (национальный исследовательский университет)».

Научный руководитель – Тележкин Владимир Федорович, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры «Инфокоммуникационные технологии» федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Южно-Уральский государственный университет (национальный исследовательский университет)».

Тема диссертации утверждена Ученым советом высшей школы электроники и компьютерных наук федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Южно-Уральский государственный университет (национальный исследовательский университет)», протокол №3 от «19» ноября 2018 г. Тема диссертации изменена и утверждена Ученым советом высшей школы электроники и компьютерных наук федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Южно-Уральский государственный университет (национальный исследовательский университет)», протокол №7 от «18» апреля 2022 г.

По результатам рассмотрения диссертации «Исследование и разработка алгоритмов обработки электрокардиосигналов в ультразвуковых приемо–передающих устройствах» принято следующее **заключение:**

Актуальностью темы исследования. В последнее время наблюдается стремительный рост количества комплексов, систем связи и объемов передаваемой ими информации, что предъявляет жесткие требования, как к методам обработки информации, так и к способам её передачи. Развитие микроэлектроники, создание элементной базы с очень большой степенью интеграции, миниатюризация вычислительной техники привели в последнее время к широкому использованию цифровых технологий при обработке и передаче информации в радиотехнических и телеметрических системах, а также в системах связи.

При обработке информации в аппаратно-программных комплексах медицинского назначения и её передаче применяются беспроводные сети связи с

использованием радиоволн. Однако в некоторых случаях, особенно в диагностически сложных случаях (заболевания, патологии сердечно-сосудистой системы, исследования сигналов мозга человека), это может быть недопустимо, так как в процессе передачи информации присутствуют помехи и шумы для чувствительного электронного оборудования или возникают проблемы с искажением передаваемой важной диагностической информации. В отмеченных случаях важно исключение электромагнитных и других наводок на медицинскую аппаратуру и уменьшение воздействия помех на амплитудные и временные параметры обрабатываемых и передаваемых сигналов.

При регистрации электрокардиосигналов (ЭКС) помехи воздействуют на их амплитудные и временные параметры, что приводит к недостоверности анализа параметров электрокардиосигналов. Поэтому в канале связи требуется предварительная обработка. Под каналом связи понимается физический путь от источника-передатчика информации к потребителю. При этом разработаны алгоритмы обработки сигналов, которые должны обеспечивать высокую точность и достоверность электрокардиосигналов.

Таким образом, разработка алгоритмов для исключения влияния помех на амплитудные и временные параметры регистрируемых электрокардиосигналов в ультразвуковых приемо-передающих устройствах, является актуальной задачей при совершенствовании медицинской техники.

В диссертационной работе Саидова Б.Б. рассмотрены новые алгоритмы обработки сигналов в ультразвуковых приемо-передающих устройствах, обеспечивающие высокую точность и достоверность электрокардиосигналов. Кроме того представлено алгоритмическое обеспечение в виде совокупности взаимосвязанных разработанных алгоритмов, которое обладает высокими характеристиками по скорости и качеству обработки и позволяет автоматизировать процессы обработки электрокардиосигналов.

В диссертации разработаны алгоритмы обработки электрокардиосигналов на основе вейвлет-пороговой обработки коэффициентов разложения, которые позволяют эффективно удалять помехи в канале приемо-передачи электрокардиосигналов. Оптимизация в работе выполнена за счёт выбора наилучшей пороговой функции, минимизирующей ошибку фильтрации с помощью разработанного комплексного критерия. На основе анализа результатов численных

исследований даны рекомендации по применению определённых пороговых функций и обработке вычисленных коэффициентов разложения, что соответствует пункту 4 области исследований паспорта специальности 2.3.1. Системный анализ, управление и обработка информации, статистика.

В диссертации предложен комплексный критерий оценки эффективности работы алгоритма обработки электрокардиосигналов на основе показателя отношения сигнал/шум и минимаксного критерия, который минимизирует максимально возможное значение взаимной корреляции сигналов на входе и выходе канала приема – передачи электрокардиосигналов. На основе предложенного комплексного критерия наилучшим вейвлет-базисом для обработки электрокардиосигналов выявлено Коифлетс 5 с использованием жесткого метода пороговой обработки и эвристического способа вычисления порога, что соответствует пункту 3 области исследований паспорта специальности 2.3.1. Системный анализ, управление и обработка информации, статистика.

В диссертации предложена математическая модель разработанного ультразвукового устройства при подаче амплитудно-модулированного напряжения на нелинейные ультразвуковые датчики, имеющих степенную аппроксимацию в виде полинома с тригонометрическими функциями, что соответствует пункту 3 области исследований паспорта специальности 2.3.1. Системный анализ, управление и обработка информации, статистика.

В диссертации разработано алгоритмическое обеспечение, предназначенное для повышения эффективности обработки ЭКС в ультразвуковом канале связи, которое позволяет оценить эффективность работы алгоритмов и выявлять оптимальный набор параметров фильтрации, а также выводить графические данные, иллюстрирующие процесс фильтрации, что соответствует пункту 5 области исследований паспорта специальности 2.3.1. Системный анализ, управление и обработка информации, статистика.

Таким образом, работа полностью соответствует паспорту специальности 2.3.1. Системный анализ, управление и обработка информации, статистика.

Содержание диссертационной работы указывает на то, что соискатель достаточно хорошо владеет современными подходами, математическими моделями и методами обработки информации и системного анализа.

Теоретическая значимость работы соискателя заключается в следующем:

-предложен комплексный критерий оценки эффективности работы алгоритма обработки электрокардиосигналов на основе показателя отношения сигнал/шум и минимаксного критерия, который минимизирует максимально возможное значение взаимной корреляции сигналов на входе и выходе канала приема–передачи электрокардиосигналов;

-предложен способ пороговой обработки коэффициентов фильтрации ЭКС от шумов и помех, поскольку выбор оптимального порога и пороговой функции является необходимым этапом при обработке электрокардиосигналов.

Оптимизация в работе выполнена за счёт:

-выбора наилучшей пороговой функции, минимизирующей ошибку фильтрации с помощью разработанного комплексного критерия;

-разработки алгоритмов обработки электрокардиосигналов на основе на основе вейвлет-пороговой обработки коэффициентов разложения, что позволяет эффективно удалять помехи в канале приема-передачи электрокардиосигналов;

-предложена математическая модель разработанного ультразвукового устройства при подаче амплитудно-модулированного напряжения на нелинейные ультразвуковые датчики.

Практическая значимость заключается в создании программно-аппаратного комплекса с использованием ультразвука, в котором реализованы разработанные методы и алгоритмическое обеспечение для эффективной фильтрации помех в канале связи. Данный программно-аппаратный комплекс прошел экспериментальное исследование и был внедрен при выполнении инициативной НИР в деятельности ООО "УРАЛ-ПОЛИМЕР-ЛАК" (г. Челябинск) и в ФГБУ «Федеральный Центр сердечно-сосудистой хирургии» Министерства здравоохранения Российской Федерации (г. Челябинск). Внедрение программно-аппаратного комплекса на практике позволило улучшить качество и уменьшить время обследования населения.

Научная новизна работы заключается в следующем:

1. Предложен комплексный критерий оценки эффективности работы алгоритма обработки электрокардиосигналов на основе показателя отношения сигнал/шум и минимаксного критерия, который минимизирует максимально возможное значение взаимной корреляции сигналов на входе и выходе канала

приема – передачи электрокардиосигналов.

2. Предложен способ пороговой обработки коэффициентов фильтрации электрокардиосигналов от шумов и помех, поскольку выбор оптимального порога и пороговой функции является необходимым этапом при обработке электрокардиосигналов. Оптимизация в работе выполнена за счёт выбора наилучшей пороговой функции, минимизирующей ошибку фильтрации с помощью разработанного комплексного критерия.

3. Разработаны алгоритмы обработки электрокардиосигналов на основе вейвлет-пороговой обработки коэффициентов разложения, что позволяет эффективно удалять помехи в канале приема-передачи электрокардиосигналов.

4. Предложен вариант развития системы связи в виде ультразвукового канала приёма – передачи нестационарных сигналов, у которых амплитуда, частота и фаза изменяются случайным образом в условиях шумов и помех.

5. Предложена математическая модель разработанного ультразвукового устройства при подаче амплитудно-модулированного напряжения на нелинейные ультразвуковые датчики, имеющих степенную аппроксимацию в виде полинома с тригонометрическими функциями.

6. На основе предложенных алгоритмов обработки электрокардиосигналов разработано новое алгоритмическое обеспечение, предназначенное для повышения эффективности обработки электрокардиосигналов в ультразвуковом канале связи.

Личным вкладом соискателя в получении научных результатов, изложенных в диссертационной работе, являются:

-предложенный комплексный критерий оценки эффективности работы алгоритма обработки электрокардиосигналов на основе показателя отношения сигнал/шум и минимаксного критерия, который минимизирует максимально возможное значение взаимной корреляции сигналов на входе и выходе канала приема – передачи электрокардиосигналов;

-предложен способ пороговой обработки коэффициентов фильтрации электрокардиосигналов от шумов и помех, поскольку выбор оптимального порога и пороговой функции является необходимым этапом при обработке электрокардиосигналов.

-разработанные алгоритмы обработки электрокардиосигналов на основе вейвлет-пороговой обработки коэффициентов разложения;

-разработанное ультразвуковое устройство для канала приёма-передачи информации, позволяющее повысить интенсивность и направленность излучения ультразвуковых волн, несущих полезную информацию в беспроводных (защищенных) коммуникациях при высокой эффективности передачи электрокардиосигналов в условиях повышенного зашумления;

-предложена математическая модель разработанного ультразвукового устройства при подаче амплитудно-модулированного напряжения на нелинейные ультразвуковые датчики;

-разработанное алгоритмическое обеспечение предназначено для повышения эффективности обработки электрокардиосигналов в ультразвуковом канале связи.

Все научные результаты, включенные в диссертацию и представленные к защите, получены лично автором.

Степень достоверности результатов проведенных исследований.

Достоверность результатов диссертационного исследования подтверждается подтверждена математическими расчетами и компьютерным моделированием в программной среде Matlab и результатами экспериментальных исследований, которые проводились в учебно-производственной лаборатории электроники (FabLab), ФГАОУ ВО «Южно-Уральский государственный университет (национальный исследовательский университет)». Предложенный автором программно-аппаратный комплекс используется в деятельности ООО "УРАЛ-ПОЛИМЕР-ЛАК" (г. Челябинск) и в ФГБУ «Федеральный Центр сердечно-сосудистой хирургии» Министерства здравоохранения Российской Федерации (г. Челябинск), что подтверждается соответствующими актами внедрения.

По объему выполненных научно-технических исследований и полученным практическим результатам диссертационная работа Саидова Б.Б. является законченной научно-исследовательской работой, результаты которой можно квалифицировать как решение конкретной практически значимой научно-технической задачи, которая соответствует требованиям, предъявляемым ВАК при Минобрнауки России к кандидатским диссертациям.

Результаты и выводы не противоречат ранее полученным результатам других авторов. В диссертацию включены только результаты, полученные Саидовым Б.Б., они не затрагивают интересы соавторов в представленных публикациях. Научному руководителю принадлежит общая постановка задачи диссертационного исследования.

Ценность научных работ соискателя ученой степени

Основные разработки и научные положения диссертации представлены в 18 научных работах, в числе которых: 5 статей в периодических научных изданиях, рекомендуемых ВАК РФ, 5 статей в зарубежных изданиях, индексируемых наукометрической 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.

Материалы диссертации полно представлены в работах, опубликованных соискателем.

Статьи, опубликованные в рецензируемых научных журналах и изданиях, определенных ВАК РФ:

1. **Saidov, B.B.** Spectrum Transformation of an Amplitude-Modulated Signal on an Ohmic Nonlinear Element / B.B. Saidov, V.I. Tambovtsev, I.I. Prokоров // Вестник ЮУрГУ. Серия «Компьютерные технологии, управление, радиоэлектроника». – 2020. – Т. 20, № 1. – С. 71–78. (8с./6с.)

2. **Saidov, B.B.** Opto-Ultrasonic Communication Channels / B.B. Saidov, V.F. Telezhkin // Вестник ЮУрГУ. Серия «Компьютерные технологии, управление, радиоэлектроника». – 2020. – Т. 20, № 4. – С. 55–62. (8с./6с.)

3. Telezhkin, V.F. Wavelet-conversion in electrocardio signal processing / V.F. Telezhkin, **B.B. Saidov**, P.A. Ugarov, A.N. Ragozin // Вестник ЮУрГУ. Серия «Компьютерные технологии, управление, радиоэлектроника». – 2021. – Т. 21, № 1. – С. 70–79. (10с./8с.)

4. **Saidov, B.B.** Optimum ECG signal filtering based on wavelet transformation / B.B. Saidov, V.F. Telezhkin // Вестник ЮУрГУ. Серия «Компьютерные технологии, управление, радиоэлектроника». – 2021. – Т. 21, № 4. – С. 167–172. (6с./5с.)

5. Тележкин, В.Ф. Обработка информации с использованием фильтра Калмана в Matlab Simulink / В.Ф. Тележкин, **Б.Б Саидов** // Системы анализа и обработки данных. – 2021. – № 4 (84). – С. 49–62. (14с./12с.)

Публикации в изданиях, индексируемых Scopus:

6. **Saidov, B.** Transformation of the amplitude-modulated spectrum of a signal on a nonlinear element / B. Saidov, V. Telezhkin // Proceeding – 2020 International Russian

Automation Conference (RusAutoCon). – 2020. – P. 757–761. – Article ID: 9208134. – 5p. (5с./4с.)

7. **Saidov, B.** Digital processing of the ultrasonic signal for mobile devices in the transmission of information / B. Saidov, V. Telezhkin // Proceeding – 2020 Global Smart Industry Conference. – Chelyabinsk, 2020. – P. 92–96. – Article ID: 9267827. – 5p. (5с./4с.)

8. Telezhkin, V. Integrated information processing in wireless (secure) communications of corporate communication systems / V. Telezhkin, **B. Saidov** // 2020 international multi-conference on industrial engineering and modern technologies. – 2020. – Article ID: 9271417. – 5p. (5с./4с.)

9. **Saidov, B.** Simulation of Ultrasonic Sensor at Lower Ultrasonic Range in Data Transmission / B. Saidov, V. Telezhkin // Proceeding – 2021 International Conference on Industrial Engineering, Applications and Manufacturing. – 2021. – P. 703–707. (5с./4с.)

10. Telezhkin, V. Recognition and Elimination of Anomalies in Information Leakage Channels in Opto-Ultrasonic Communication Channels in Data Streams of Industrial Automated Systems / V. Telezhkin, **B. Saidov**, A. Ragozin // Proceeding – 2021 International Russian Automation Conference. – 2021. – P. 201–206. (6с./4с.)

Патенты

11. Магнитострикционное устройство направленного излучения ультразвуковых волн: пат. 208045U1 Рос. Федерация. МПК H04R 15/00, H04R 1/34, H01L 41/06 / В.Ф. Тележкин, **Б.Б. Саидов** / ФГБОУ ВПО "ЮУрГУ"(НИУ); Патентный отдел. – № 2021119611, опубл. 30.11.2021, Бюл. № 34.

Публикации в других изданиях

12. **Saidov, B.B.** Development of equipment for experimental study of digital algorithms in nonstationary signal processing problems / B.B. Saidov, V.F. Telezhkin, N.N. Gudaev, V.N. Bagaev, M.A. Devyatov // Ural Radio Engineering Journal. – 2022. – V.6, No. 2. – P. 186–204. (19с./16с.)

13. Асяев, Г.Д. Ультразвук в офисной связи: служебный каналы и подавление диктофонов / Г.Д. Асяев, В.Н. Багаев, **Б.Б. Саидов** // Радиолокация, Навигация, Связь: сборник трудов XXV Международной научно-технической конференции. – Воронеж, 2019. – Т. 5.– С. 207 – 211. (5с./4с.)

14. **Саидов, Б.Б.** Преобразования спектра сигнала в активном нелинейном элементе с кубической характеристикой / Б.Б. Саидов, И.С. Следнев, В.И. Тамбовцев

// Радиолокация, Навигация, Связь: сборник трудов XXV Международной научно-технической конференции. – Воронеж, 2019. – Т. 6. – С. 1–6. (6с./5с.)

15. Саидов, Б.Б. Ультразвук в офисной связи / Б.Б. Саидов, В.И. Тамбовцев, В.Н. Багаев // III Научный форум телекоммуникации: теория и технологии ТТТ-2019: материалы XVII Международной научно-технической конференции «Физика и технические приложения волновых процессов». – Казань, 2019. – Т. 3. – С. 277–278. (2с./1с.)

16. Саидов, Б. Б. Обработка информации в автоматизированных системах управления на основе ультразвуковых приемо-передающих устройств / Б.Б. Саидов, В.Ф. Тележкин // I-methods. – 2020. – Т. 12, № 4. – С.1–9. (9с./8с.)

17. Саидов, Б. Б. Обработка информации в АСУ на основе ультразвуковых приемо–передающих устройств / Б.Б. Саидов, В.Ф. Тележкин // Всероссийская межведомственная научно-техническая конференция «Наука и Асу – 2020». – М., 2020. – С.107–108. (2с./1с.)

18. Саидов, Б.Б. Преобразование спектра для амплитудно-модулированного сигнала / Б.Б. Саидов, В.Ф. Тележкин // Фундаментальные проблемы управления производственными процессами в условиях перехода к индустрии 4.0: тезисы докладов научного семинара в рамках международной научно-технической конференции "Автоматизация". – Челябинск, 2020. – С. 247–250. (4с./3с.)

Публикации полностью соответствуют теме диссертационного исследования и раскрывают ее основные положения. В диссертации отсутствуют недостоверные сведения об опубликованных соискателем ученой степени работах, в которых изложены основные научные результаты работы.

Диссертационная работа соответствует требованиям, установленным п. 14 Положения о присуждении ученых степеней. Текст диссертации представляет собой самостоятельную научно-квалификационную работу, не содержит заимствованного материала без ссылок на авторов и (или) источники заимствования.

Диссертация «Исследование и разработка алгоритмов обработки электрокардиосигналов в ультразвуковых приемо–передающих устройствах» Саидова Бехруза Бадридиновича **рекомендуется к защите** на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.3.1. Системный анализ, управление и обработка информации, статистика.

Заключение принято на расширенном заседании кафедры

инфокоммуникационных технологий Южно-Уральского государственного университета.

ПРИСУТСТВОВАЛИ:

Голлай Александр Владимирович, доктор технических наук, доцент, директор высшей школы электроники и компьютерных наук; Шестаков Александр Леонидович, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Информационно-измерительная техника»; Тележкин Владимир Федорович, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры «Инфокоммуникационные технологии»; Ширяев Владимир Иванович, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Системы автоматического управления»; Некрасов Сергей Геннадьевич, доктор технических наук, профессор кафедры «Информационно-измерительная техника»; Дударев Николай Валерьевич, кандидат технических наук, старший научный сотрудник кафедры «Инфокоммуникационные технологии»; Спицын Василий Владимирович, старший преподаватель кафедры «Инфокоммуникационные технологии»; Шоназаров Парвиз Махмадназарович, старший преподаватель кафедры «Электронные вычислительные машины»; Джураева Рухшона Султоновна, аспирант кафедры «Инфокоммуникационные технологии»; Трунин Андрей Михайлович, аспирант кафедры «Инфокоммуникационные технологии».

ВЫСТУПИЛИ:

Голлай Александр Владимирович, доктор технических наук, доцент, директор высшей школы электроники и компьютерных наук; Ширяев Владимир Иванович, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Системы автоматического управления»; Тележкин Владимир Федорович, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры «Инфокоммуникационные технологии»; Дударев Николай Валерьевич, кандидат технических наук, старший научный сотрудник кафедры «Инфокоммуникационные технологии»; Спицын Василий Владимирович, старший преподаватель кафедры «Инфокоммуникационные технологии»; Шестаков Александр Леонидович, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Информационно-измерительная техника».

Заключение принято на расширенном заседании кафедры «Инфокоммуникационные технологии» федерального государственного

автономного образовательного учреждения высшего образования «Южно-Уральский государственный университет (национальный исследовательский университет)». Результаты голосования «за» – 10 чел., «против» – 0 чел., «воздержались» – 0 чел., протокол №07 от «10» апреля 2023 г.

Доктор технических наук, доцент, директор
высшей школы электроники и компьютерных
наук ФГАОУ ВО «ЮУрГУ (НИУ)»

Кандидат технических наук, старший научный
сотрудник кафедры «Инфокоммуникационные
технологии» ФГАОУ ВО «ЮУрГУ (НИУ)»


А.В. Голлай


Н.В. Дударев

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Южно-Уральский государственный университет (национальный исследовательский университет)», Россия, 454080, Челябинск, проспект Ленина, 76, [http:// init.susu.ru /](http://init.susu.ru/), e-mail: info@susu.ru, телефон: (351) 267-90-01

ПОДПИСЬ УДОСТОВЕРЯЮ

**Начальник отдела кадров
Работников университета**


Старикова Е.А.

