

## О Т З Ы В

### официального оппонента

доктора технических наук, доцента Приорова Андрея Леонидовича на диссертацию Аль-Барати Бакер Салех Обади «Методы и алгоритмы формирования ансамблей кардиоосцилляций для обработки, анализа и хранения ЭКГ», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.12.04 Радиотехника, в том числе системы и устройства телевидения

В настоящее время организация массовой диспансеризации населения, обеспечивающей раннюю диагностику функционального состояния организма человека, требует разработки соответствующих автоматизированных систем, включающих в себя быстрые и эффективные алгоритмы поиска диагностических признаков для организма в норме и патологии. Разные участки электрокардиограмм (ЭКГ) могут содержать разные типы кардиоциклов, с разными ритмами, которые должны распознаваться автоматически. Кроме того, применение методов сжатия в подобных системах позволяет сократить объем данных, хранимых для последующей обработки и анализа.

Поэтому совершенствование известных и разработка новых методов и алгоритмов обработки, анализа и хранения электрокардиографического сигнала (ЭКС) с целью расширения диагностических возможностей электрокардиографии является актуальной задачей научно-практической медицины. Данным вопросам и посвящена диссертационная работа Аль-Барати Бакер Салех Обади, в связи с чем ее актуальность не вызывает сомнения.

Тема диссертации полностью соответствует заявленной специальности.

Основной целью работы является совершенствование методов и алгоритмов обработки, анализа и сжатия электрокардиографического сигнала, обеспечивающих повышение качества и достоверности функциональной диагностики работы сердца, а также повышение эффективности систем хранения электрокардиографического сигнала.

Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, списка литературы, списка сокращений и приложений.

Основное **содержание** работы заключается в следующем:

Материал **введения** носит постановочный характер, в нем определяются цели исследования и конкретные задачи, указываются достигнутые научные и практические результаты, а также положения, выносимые на защиту.

В **первой главе** изложены особенности съема, обработки и анализа электрокардиографического сигнала. Приведены требования к системам обработки, отображения и хранения ЭКС. Обоснована необходимость хранения и сжатия ЭКС и приведены критерии оценки эффективности сжатия ЭКГ. Представлен анализ существующих методов и алгоритмов обработки, анализа, сжатия и хранения ЭКС.

**Вторая глава** посвящена изложению теоретических предпосылок решения задач обработки, анализа и сжатия ЭКС. Показана актуальность применения ансамбля кардиоосцилляций при обработке, анализе и хранении ЭКГ. Изложены способы формирования ансамблей кардиоосцилляций при решении задачи обработки, анализа и хранения ЭКГ, показано преимущество использования синхронного ансамбля, описаны алгоритм работы и структура модуля формирования синхронного ансамбля.

Изложены методы, использующие представление и анализ ансамбля кардиоосцилляций: метод дисперсионного картирования и кардиоайгеноскопия; произведён их сравнительный анализ. Показано, что кардиоайгеноскоп реализует максимально возможную точность представления элементов синхронного ансамбля при заданном числе независимых друг от друга компонент.

Показано, что эффективность методов анализа, отображения и сжатия ЭКГ-сигнала зависит от того, насколько однородно множество PQRS-комплексов, сгруппированных в ансамбль кардиоосцилляций. Приведены методы отбора PQRS-комплексов при формировании ансамблей.

Показана возможность применения кардиоайгеноскопии для хранения и сжатия ЭКГ.

**Третья глава** посвящена разработке методов и алгоритмов формирования синхронных ансамблей для обработки и хранения ЭКГ.

Описан разработанный алгоритм формирования и анализа синхронного ансамбля кардиоосцилляций, включающий в себя адаптивную

фильтрацию ЭКГ и последующее детектирование R-зубцов, позволяющий формировать ансамбль с малыми вычислительными затратами и без пропуска кардиоциклов при наличии в электрокардиосигнале медленной волны. Показано, что описанный алгоритм позволяет устранить медленную волну и сформировать синхронный ансамбль из ЭКГ с синусовым ритмом.

Приведено сравнение относительного энергетического вклада ошибки представления элементов синхронного ансамбля с использованием собственных векторов и ряда Фурье, демонстрирующее преимущество кардиоайгеноскопии.

Изучен вопрос об эффективности сжатия с использованием кардиоайгеноскопии ЭКГ с аритмическим синдромом, для которой характерна значительная нестабильность RR-интервалов.

**В четвертой главе рассмотрено** применение методов формирования ансамблей кардиоосцилляций для обработки, отображения и хранения ЭКГ.

Описана реализация кардиоайгеноскопа в виде программного обеспечения для анализа холтеровской ЭКГ.

Изучено применение метода сжатия ЭКГ с аритмическим синдромом.

Установлено, что использование кардиоайгеноскопии позволяет в рамках предложенной полезной модели осуществлять высокоэффективное сжатие ЭКГ, в том числе и ЭКГ с аритмическим синдромом, что открывает новые перспективы для холтеровского мониторинга, персонализированной медицины и популяционной диагностики, особенно в связи с использованием больших данных.

**В заключении** представлены основные выводы по диссертации, **Приложения** включают в себя вспомогательную информацию и акты внедрения результатов работы.

**Научные результаты диссертации состоят в следующем:**

Разработан алгоритм формирования и анализа синхронного ансамбля кардиоосцилляций, включающий в себя адаптивную фильтрацию ЭКГ-сигнала и последующее детектирование R-зубцов.

Разработан метод отбора элементов ансамбля кардиоосцилляций, использующий оценку плотности вероятностей корреляции элементов ансамбля с одним из элементов ансамбля, выбранным в качестве образца,

обеспечивающий формирование и отдельный анализ ансамблей для синусовых PQRST-комплексов и желудочковых экстрасистол.

Предложен метод сжатия ЭКГ-сигналов с аритмическим синдромом на основе отдельного формирования ансамблей кардиоциклов с разной длиной RR-интервалов.

**Практическая сторона заключается в том,** что предложен метод отбора элементов ансамбля кардиоосцилляций по образцу, позволяющий осуществлять кардиоайгеноскопию холтеровских ЭКГ, реализованный в составе свободно распространяемого программного обеспечения с открытым кодом, а также в составе программно-аппаратного комплекса с архитектурой «Эльбрус».

Кроме того, разработано устройство хранения и анализа ЭКГ, использующее представление электрокардиосигнала в базисе собственных векторов его ковариационных матриц и обеспечивающее средний коэффициент сжатия порядка 12.5, а также алгоритм сжатия ЭКГ с аритмическим синдромом, что обеспечивает хранение больших объемов данных ЭКГ.

**Достоверность** основных результатов, полученных в диссертации, подтверждается корректным и грамотным использованием современных методов моделирования и расчета, а также положительной оценкой специалистов при обсуждениях на научно-технических конференциях различного уровня.

Основные результаты работы опубликованы в изданиях уровня, соответствующего кандидатским диссертационным работам.

**Автореферат** диссертации написан в лаконичной форме, но достаточно информативно, и в полной мере отражает основные результаты, полученные в работе.

**Замечания по диссертации:**

1. Не приведены амлитудно-частотная и фазочастотная характеристики используемого в пункте 3.2 цифрового фильтра верхних частот с конечной импульсной характеристикой.
2. В третьей главе используется не общеупотребительное значение термина «передаточная функция».

3. Первые два вывода заключения из пяти имеющихся носят слишком общий характер.

**Обобщая анализ диссертационной работы** Аль-Барати Бакер Салех Обади в целом, необходимо отметить, что указанные недостатки не затрагивают основных научных и важных для практики результатов, полученных автором, а также не носят принципиального характера.

Рассматриваемая диссертация является законченной научно-квалификационной работой, направленной на решение научно-технической задачи совершенствования методов и алгоритмов обработки, анализа и сжатия электрокардиографических сигналов с помощью метода айгеноскопии.

Диссертационная работа «Методы и алгоритмы формирования ансамблей кардиоосцилляций для обработки, анализа и хранения ЭКГ» **удовлетворяет** требованиям ВАК к кандидатским диссертациям, а её автор, Аль-Барати Бакер Салех Обади, **заслуживает** присуждения учёной степени кандидата технических наук по специальности 05.12.04 Радиотехника, в том числе системы и устройства телевидения.

Официальный оппонент  
доктор технических наук, доцент,  
доцент кафедры инфокоммуникаций  
и радиофизики ФГБОУ ВО «Ярославский  
государственный университет  
им. П.Г. Демидова»

Приоров Андрей Леонидович

150003, г. Ярославль, ул. Советская, д. 14  
Телефон: 8-(4852)-79-77-75  
E-mail: andcat@yandex.ru

Подпись Приорова А.Л. заверяю

Дата 04.12.2017

