

Министерство образования Республики Беларусь  
Учреждение образования  
Белорусский государственный университет  
информатики и радиоэлектроники

УДК 612.172.4+004.773.6

Реджепов  
Владимир Александрович

Модуль обнаружения QRS-комплекса на электрокардиограмме в режиме  
реального времени

### **АВТОРЕФЕРАТ**

на соискание степени магистра технических наук  
по специальности 1-40 80 01 «Компьютерная инженерия»

---

Научный руководитель  
Азаров Илья Сергеевич  
доктор технических наук, доцент

---

Минск 2022

## КРАТКОЕ ВВЕДЕНИЕ

Электрокардиография является наиболее распространенным и важным методом анализа и диагностики активности сердца. Прямым результатом электрокардиографии является получение электрокардиограммы (ЭКГ). Основные показатели, которые нужно оценивать на ЭКГ, включают в себя ось сердца, частоту и регулярность зубцов, а также интервалы и амплитуды каждого комплекса (например, P-волна, PQ-интервал, QRS-комплекс, ST-сегмент).

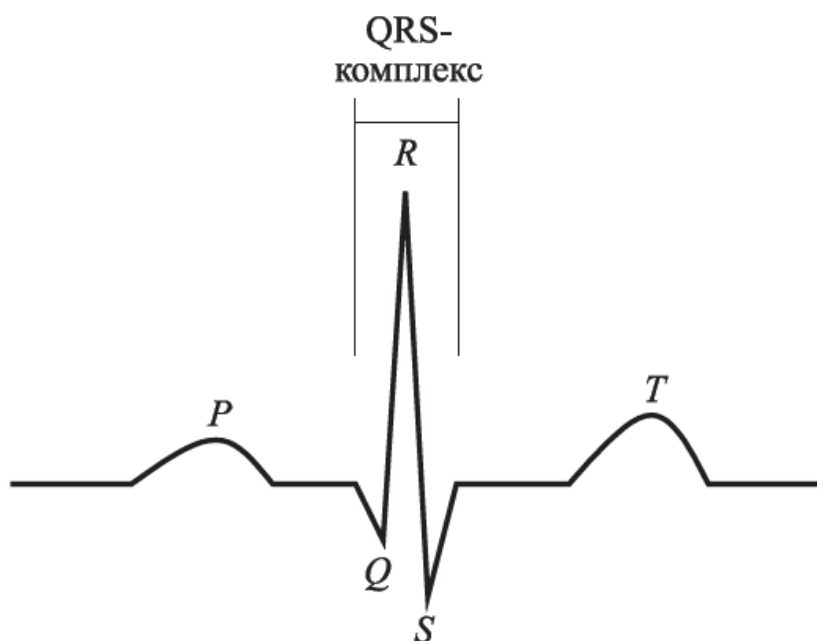


Рисунок 1 – Зубцы нормальной ЭКГ

Массовое обследование населения холтеровским мониторингом, нацеленное на выявление ранних стадий кардиологических заболеваний с бессимптомным течением, представляет из себя одну из важнейших задач современной медицины. Экспертный анализ большого количества 24-часовых записей ЭКГ невозможен без применения средств автоматизации. На ЭКГ по оси X откладывается время, по оси Y – разность потенциалов между точками на теле. В основе многих систем анализа и диагностики активности сердца лежат алгоритмы морфологического анализа ЭКГ: определение положения R-зубца и рядом стоящих Q- и S-зубцов, которые вместе образуют QRS-комплекс (важная характеристика здоровья). Q- и S-зубцы чаще всего имеют меньшую, чем у R-зубца, амплитуду и противоположную полярность относительно изолинии. Следует отметить, что при известном положении R-зубца определение остальных составляющих QRS-комплекса упрощается.

Большинство методов морфологического анализа ЭКГ основано на поиске R-зубца. При известном положении R-зубца определение остальных составляющих QRS-комплекса выполняется относительно просто. Основными проблемами программного обнаружения R-зубца являются артефакты записи ЭКГ и высокая вариабельность кардиосигналов. Разработано портативное устройство для записи ЭКГ-сигнала. Предложен и реализован алгоритм обнаружения QRS-комплексов, рассчитанный на работу в режиме реального времени и основанный на анализе наклона, амплитуды и ширины QRS-комплексов. Этот алгоритм состоит из следующей последовательности фильтров и методов: фильтр нижних частот, фильтр верхних частот, оператор производной, возведение в квадрат, интегрирование, адаптивная пороговая процедура и процедура поиска.

Программная реализация алгоритма показала высокую чувствительность и специфичность на тестовых базах данных MIT-BIH Arrhythmia Database и MIT-BIH Normal Sinus Rhythm Database. Алгоритм применим в кардиомониторах и в других приборах с обработкой ЭКГ в режиме реального времени.

## **ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ**

### **Цели и задачи исследования**

Цель данной работы заключается в разработке портативного устройства для записи ЭКГ-сигнала, а также – метода определения QRS-комплекса на электрокардиограмме в режиме реального времени. Так как решение данной задачи состоит в разработке портативного прибора способного в режиме реального времени оценивать активность работы сердца, то основным направлением исследования была разработка устройства с низким энергопотреблением и программного обеспечения, которое реализует алгоритм определения QRS-комплекса в режиме реального времени. В качестве тестовых ЭКГ-сигналов использовались записи MIT-BIH Arrhythmia Database, так как данная база считается эталонной для проверки работы QRS-детекторов.

### **Новизна полученных результатов**

Научная новизна диссертационной работы заключается в анализе и разработке методов определения QRS-комплексов на электрокардиограмме в режиме реального времени.

Практическая значимость данной работы заключается в том, что полученные результаты могут быть использованы для проектирования систем

устойчивого детектирования сердечной активности в сигналах электрокардиограмм как на аппаратном, так и на программном уровнях.

## **КРАТКОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ**

Во введении рассмотрена важность использования электрокардиографии для анализа и диагностики активности сердца. Показана актуальность использования компьютерного анализа биомедицинских сигналов, который позволяет увеличить достоверность и точность диагностики. Этот подход к повышению уровня медицинской помощи может быть назван диагностикой, поддерживаемой компьютером. Приведена актуальность поиска алгоритмов морфологического анализа ЭКГ и разработки аппаратуры для регистрации биомедицинских сигналов. Дано описание того, что планируется исследовать в ходе диссертации.

В первой главе производится обзор литературы и статей по теме диссертации.

Во второй главе описан метод электрокардиографии. Показана природа биомедицинских сигналов. Рассмотрены цели биомедицинской техники и анализа сигналов. Дано описание методики снятия и анализа электрокардиограмм. Особое внимание уделено помехам в сигнале ЭКГ. Рассмотрено обнаружение событий в сигнале ЭКГ и показано, что оно является одним из наиболее важных шагов в анализе биомедицинских сигналов.

Третья глава посвящена разработке портативного устройства регистрации и обработки ЭКГ-сигнала. Описана концепция использования системы и ее основные характеристики. Выполнено высокоуровневое проектирование системы. Произведено моделирование подсистемы считывания ЭКГ-сигнала. Рассмотрено проектирование компонентов устройства. Осуществлена разработка аппаратных средств устройства.

В четвертой главе рассмотрены методы обнаружения QRS-комплексов. Выполнен обзор существующих методов. Рассмотрены методы обнаружения QRS-комплексов на основе производной и алгоритм обнаружения QRS-комплекса Пана-Томпкинса.

Пятая глава представляет из себя экспериментальный раздел. В данной главе рассматривается разработка алгоритма определения QRS-комплекса на электрокардиограмме в режиме реального времени и оценка результатов работы на тестовых базах данных. Произведено сравнение работы алгоритма с другими алгоритмами определения QRS-комплексов с использованием тестовых баз данных электрокардиограмм MIT-BIH.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Целью данной работы была разработка портативного устройства для измерения ЭКГ-сигнала и алгоритма обнаружения QRS-комплексов на электрокардиограмме в режиме реального времени. В ходе работы были рассмотрены особенности ЭКГ-сигнала, аспекты проектирования аппаратной части устройства, моделирования системы измерения ЭКГ-сигнала, а также различные алгоритмы обнаружения QRS-комплексов.

Реализованный алгоритм последовательно за один проход обрабатывает набор входных данных и вносит небольшую задержку между регистрацией и обнаружением R-зубца. Благодаря этому алгоритм можно применять в кардиомониторах и в других приборах с обработкой ЭКГ в режиме реального времени.

Алгоритм имеет хорошие показатели чувствительности и специфичности:  $S_n = 98.98\%$ ,  $S_p = 96.17\%$  для базы данных MIT-BIH Arrhythmia Database и  $S_n = 98.26\%$ ,  $S_p = 99.29\%$  для базы данных MIT-BIH Normal Sinus Rhythm Database.

## СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ

[1-А.] Реджепов, В.А. Алгоритм обнаружения QRS-комплекса на электрокардиограмме в режиме реального времени / В.А. Реджепов // Материалы 58-ой научной конференции аспирантов, магистрантов и студентов БГУИР. – 2022.