

Разработка прибора регистрации ФКГ для обнаружения патологий сердечных клапанов

К. С. Комаров, К. А. Бобкович, М. А. Маклыгин

*Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет
«ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина)*

kok0lord@ya.ru

Аннотация: В данной работе рассматривается необходимость в разработке компактного прибора для регистрации фонокардиографических (ФКГ) и электрокардиографических (ЭКГ) сигналов для обнаружения и оценки пролапса сердца. Предложены компоненты схемы, подходящие для интерпретации аудиосигналов, полученных с помощью чувствительного микрофонного датчика, и их беспроводной передачи на внешнее устройство вторичной обработки кардиосигналов.

Ключевые слова: фонокардиография, цифровая аускультация

I. ВВЕДЕНИЕ

В Российской Федерации по данным организации Росстат по состоянию на 2023 год на 1000 человек около 350 смертей приходится на сердечно-сосудистые заболевания. Прирост же больных за год (впервые диагностируемых с данным типом болезни) за 2023 год составляет 5 млн человек, и данное число растет на 17 % в год [1], [2].

По этой причине ранняя диагностика патологий системы кровообращения является важнейшим аспектом в планировании лечения и предотвращения летального исхода. Полное исследование состояния сердца включает в себя регистрацию и запись параметров различной природы: механической, электрической.

Наиболее информативным методом регистрации кардиосигналов является электрокардиография (ЭКГ). Данный метод позволяет с помощью системы электродов фиксировать значения суммарного потенциала миоцитов в проводящих тканях сердца. Диагностика состояния динамики ЭКГ во времени отдельных компонентов нервной системы сердца (синусовый узел, атриовентрикулярный узел, пучки Гисса и волокна Пуркинье) позволяет более точно локализовать недуг и определить его причину. Для этого в большинстве случаев используется система из 12 отведений (треугольник Эйнтовена и грудные отведения по Франку), однако для нахождения опорных точек на электрокардиограмме (Р, Q, R, S, Т) и вычисления ритма сердца достаточно одного отведения (рис. 1).

Однако не все патологии сердца связаны с нарушениями в нервных тканях. Врожденные дефекты, а

также нарушения метаболизма и баланса веществ в организме могут приводить к неправильному функционированию сердечной мышцы. В частности, аускультацию сердца проводят для диагностики пролапса митрального клапана (ПМК). Данное заболевание характеризуется миксоматозным изменением створок клапана, которое может быть связано с биохимическими (повышенное содержание воды и мукополисахаридов приводит к уменьшению механической прочности, что сопровождается характерными звуковыми «щелчками» при протекании крови через клапан) и наследственными (больные синдромом Марфана могут испытывать проблемы с работой клапанов в связи с гипермобильностью соединительной ткани) нарушениями [3], [4]. В детском возрасте данная патология в большинстве случаев протекает доброкачественно, однако осложнения, такие как тяжелая митральная регургитация, инфекционный эндокардит, тромбоэмболия легочной артерии, аритмия и внезапная смерть, чаще возникают у пожилых людей, в связи с чем и проводится аускультативная диагностика [5]. Она подразумевает использование таких методов, как эхокардиография и фонокардиография. Первый является методом ультразвукового исследования – основанный на применении пьезоэффекта, он позволяет получить картину сечения сердца и визуально оценить состояние клапанов за счет регистрации отраженных ультразвуковых колебаний. Второй подразумевает запись звуков сердца, возникающих в ходе его работы, с помощью микрофонного или пьезодатчика; ФКГ является вспомогательным методом диагностики и используется как дополнение к ЭКГ в синхронной записи с ним для регистрации тонов сердца (S1 – систолический, S2 – диастолический, S3 и S4 характеризуют бессимптомную сердечную недостаточность, пролапс и нарушения проводимости мышцы). В норме выделяются первый и второй тон, третий часто возникает в условиях нагрузки, а четвертый тон означает возможное наличие вышеперечисленных заболеваний.

II. СТРУКТУРА СИСТЕМЫ РЕГИСТРАЦИИ КАРДИОСИГНАЛОВ

На рис. 1 представлена структурная схема регистратора исследуемых сигналов.

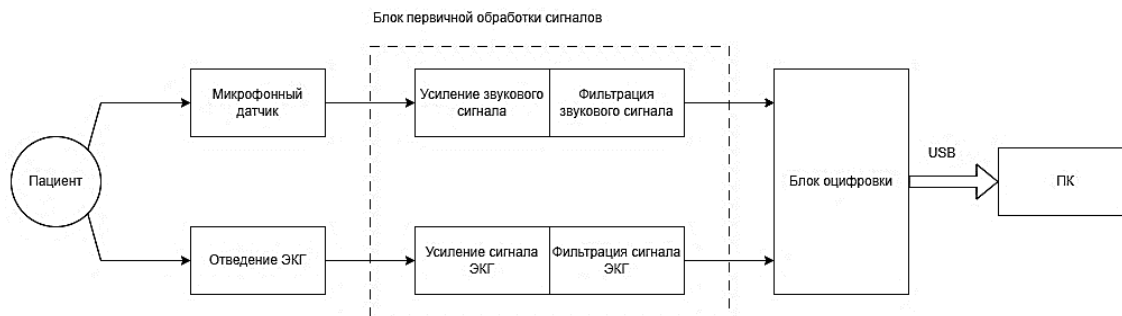


Рис. 1. Обобщенная схема устройства регистрации ЭКГ и ФКГ

Исходя из того, что каналы регистрации имеют различные требования к предусилению, фильтрации, питанию и обработке, блок первичной обработки содержит различные компоненты. Сигнал передается на блок оцифровки, необходимый для осуществления аналого-цифрового преобразования и передачи данных через беспроводное подключение на автоматизированное рабочее место врача.

III. РЕАЛИЗАЦИЯ АППАРАТНОЙ ЧАСТИ УСТРОЙСТВА

Нет достоверной информации о связи численных значений (длительности и громкости) звукового сигнала на месте S4 с конкретными параметрами патологий (степень пролабирования створок, размеры створок, объем регургитации). Значения варьируются в зависимости от расположения датчика на грудной клетке и индивидуальных особенностей строения сердца. Поэтому ФКГ применяют в основном для цифровой аускультации для записи и объективизации звуков сердца.

Слуховой диапазон у человека находится в пределах от 20 до 20000 Гц, однако он сужается с возрастом. Тона сердца же варьируются от 10 до 150 Гц, что усложняет диагностику при выслушивании с помощью стетоскопа. Более выраженные «клики» имеют повышенные частоты.

В разрабатываемой системе предусматривается регистрация ФКГ совместно с одним отведением ЭКГ. В данном случае ЭКГ необходимо для уточнения локализации QRS-комплекса.

Для этого достаточно трех электродов, расположенных в непосредственной близости друг от друга по окружности (выбран диаметр 4 см). Так как сам прибор разрабатывается компактным, то электроды из соображений эргономичности и удобства регистрации при снятии показаний с шести основных точек аускультации должны являться многоразовыми. В данном случае из всех видов электродов соответствуют прижимные или сухие электроды. Несмотря на то, что расстояние между электродами значительно меньше, чем при классической системе отведений, и вид кардиограммы будет отличаться в зависимости от расположения датчиков при аускультации, это не повлияет на алгоритм обработки, так как подход к сегментации сигнала остается тем же.

Регистрация ФКГ выполняется непосредственно микрофонным датчиком с широким частотным диапазоном и высокой чувствительностью. Микрофон выбран конденсаторный, поэтому для него необходимо

фантомное питание (для выбранной модели требуется 48В), которое преобразуется от встроенного аккумулятора с помощью импульсного повышающего преобразователя.

Амплитуда фонокардиограммы может достигать от 10 до 25 мВ для S1, 6–15 мВ для S2, и всего лишь 2–3 мВ для третьего и четвертого тона. Поэтому минимальный уровень напряжения, улавливаемый микрофоном, должен быть 0,1 мВ (100 мкВ). Меньшей частотой обладает третий тон (10–70 Гц), поэтому временная развертка подстраивается под нижний теоретический порог. Данные значения может обеспечивать АЦП с частотой 96 кГц и динамическим диапазоном 24 бита, передающий за шаг 0,4 мкВ (пример: сигма-дельта преобразователь PCM1808). Параллельная запись двух сигналов с задержкой 1/96000 секунды обеспечивает синхронность записи.

С конденсаторного микрофона, на который подано напряжение смещения (фантомное питание), снимается дифференциальный сигнал с помощью инструментального усилителя. Для соответствия динамического размаха АЦП сигнал дополнительно усиливается блоком усиления ФКГ сигнала. Перед тем как оцифровать аналоговый сигнал располагается аналоговый фильтр для ограничения полосы пропускания. Основные тактирующие сигналы АЦП (MSK, WS, Dout, BCK) получают от микроконтроллера, интерфейс передачи данных I2S, изначально разработан для передачи аудиосигналов.

Микроконтроллер типа ESP32 со встроенным АЦП и Wi-Fi модулем выбран в качестве вторичного преобразователя: ESP32 имеет встроенный драйвер I2S интерфейса, в сравнении с более простым аналогом atmega328. STM32 также имеет данный интерфейс, но вычислительной способности ESP32 достаточно для данной задачи передачи сигналов в два канала с интервалом 0,125 мкс.

IV. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Целью исследования является прототипирование прибора для регистрации ФКГ и ЭКГ, способного улавливать низкоамплитудные и низкочастотные шумы сердца, возникающие при патологиях створок клапанов или сердечной недостаточности. Рабочий макет устройства подтвердил дееспособность теории и позволил осуществить запись кардиосигналов при низком уровне собственных шумов устройства и окружающей среды.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Федеральная служба государственной статистики / Заболеваемость / URL: <https://rosstat.gov.ru/folder/13721> (дата обращения: 27.02.2025).
- [2] Бичурин Д.Р. Сердечно-сосудистые заболевания. Региональный аспект / Д.Р. Бичурин, О.В. Атмайкина, О.А. Черепанова // Международный научно-исследовательский журнал. 2023. №8 (134). — URL: <https://research-journal.org/archive/8-134-2023-august/10.23670/IRJ.2023.134.103> (дата обращения: 27.02.2025). — DOI: 10.23670/IRJ.2023.134.103.
- [3] Магомедова Ш. М. и др. Аускультативные проявления пролапса митрального клапана у детей с дисплазией соединительной ткани //Казанский медицинский журнал. 2012. Т. 93. №. 4. С. 570-575.
- [4] Шарыкин А. С. Пролапс митрального клапана – новый взгляд на старую патологию //Российский вестник перинатологии и педиатрии. 2008. Т. 53. №. 6. С. 11-20.
- [5] Mehrabbeik M. et al. Phonocardiography-based mitral valve prolapse detection with using fractional fourier transform // Biomedical physics & engineering express. 2020. Т. 7. №. 1. С. 015003.