

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ

на разработку лабораторного прототипа (Proof of Concept) бесконтактной системы мониторинга витальных показателей

Шифр проекта: SleepAI-PoC-2026

Стадия разработки: Доказательство концепции (Proof of Concept)

Редакция: 1.0

1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

1.1. Наименование разработки

Лабораторный макет бесконтактной сенсорной системы мониторинга частоты сердечных сокращений (ЧСС), частоты дыхательных движений (ЧДД) и присутствия пользователя в постели.

1.2. Цель разработки

Экспериментальное подтверждение физического принципа регистрации баллистокardiографического (БКГ) сигнала через преграду (матрас, постельное белье) с использованием гибких пьезоэлектрических/тензорезистивных датчиков и последующей цифровой фильтрацией данных.

1.3. Сроки и этапы реализации

- Этап 1:** Подбор компонентов, проектирование и сборка аппаратной части (Hardware) — 7–10 дней.
- Этап 2:** Разработка микропрограммы (Firmware) и алгоритмов первичной фильтрации — 7 дней.
- Этап 3:** Разработка интерфейса визуализации (Software) и проведение испытаний — 5–7 дней.

2. ТЕХНИЧЕСКИЕ ТРЕБОВАНИЯ К СИСТЕМЕ

2.1. Архитектура и состав системы

Система должна состоять из трех основных узлов:

- Сенсорный модуль (Sensor Matrix):** Гибкая подложка с интегрированными датчиками физических величин.
- Модуль сбора и передачи данных (Контроллер):** Блок аналогового фронтенда (AFE) и микроконтроллер (MCU) в защитном корпусе.
- Модуль визуализации (ПО верхнего уровня):** Программное обеспечение для персонального компьютера (ПК) или мобильного устройства.

2.2. Требования к аппаратному обеспечению (Hardware)

2.2.1. Сенсорный модуль

- **Тип датчиков:** Коммерчески доступные гибкие пьезоэлектрические пленки (рекомендуется: *TE Connectivity/Measurement Specialties DT1-028K* или аналоги) или текстильные тензометрические датчики.
- **Количество каналов:** 2–4 независимых датчика.
- **Форм-фактор подложки:** Гибкое тканевое или полимерное основание габаритами не более $500 \times 400 \text{ мм}$. Толщина сенсорной зоны не должна превышать 2 мм .

2.2.2. Блок аналоговой обработки (AFE)

- **Усиление:** Инструментальный усилитель (например, класса *AD8221* или аналогичный дифференциальный каскад) с регулируемым коэффициентом усиления (Gain) до $60\text{--}80 \text{ дБ}$ для работы с сигналами микровольтового диапазона ($10\text{--}500 \text{ мВ}$).
- **Аппаратный фильтр верхних частот (ФВЧ):** Частота среза $f_c = 0.1 \text{ Гц}$ ($\pm 0.05 \text{ Гц}$) для компенсации медленного дрейфа изолинии, вызванного крупными перемещениями тела.
- **Аппаратный фильтр нижних частот (ФНЧ):** Частота среза $f_c = 25 \text{ Гц}$ ($\pm 2 \text{ Гц}$) для подавления высокочастотных наводок.
- **Режекторный (Notch) фильтр:** Аппаратное или программное подавление сетевой помехи 50 Гц (60 Гц для рынка США).

2.2.3. Микроконтроллер (MCU)

- **Базовая платформа:** Система на кристалле **ESP32** (модуль *ESP32-WROOM-32E*) или семейство *Nordic nRF52*.
- **Разрядность АЦП:** Внешний или встроенный АЦП с разрядностью не менее **16 бит** (рекомендуется внешний чип *ADS1115* через интерфейс I2C).
- **Частота дискретизации (Sampling Rate):** Фиксированная, не менее 200 Гц на канал.
- **Интерфейсы связи:** Bluetooth Low Energy (BLE) версии 4.2/5.0 для беспроводной трансляции потока данных.

3. ТРЕБОВАНИЯ К ПРОГРАММНОМУ ОБЕСПЕЧЕНИЮ (Firmware & Software)

3.1. Микропрограмма контроллера (Firmware)

- Обеспечение стабильного опроса АЦП по аппаратному таймеру с заданной частотой дискретизации.

- Упаковка отсчетов в бинарные пакеты с контролем целостности (CRC) и временными метками (Timestamp).
- Передача пакетов в режиме реального времени (streaming) по протоколу BLE в сопряженное устройство.

3.2. Алгоритмы первичной цифровой обработки (DSP)

ПО верхнего уровня должно выполнять разделение входного баллистокardiографического сигнала методом цифровой полосовой фильтрации (например, фильтры Баттерворта 4-го порядка):

- **Канал «Дыхание» (Respiratory Rate):** Выделение полосы частот $0.1\text{--}0.5 \text{ Гц}$.
- **Канал «Пульс» (Heart Rate):** Выделение полосы частот $1.0\text{--}10.0 \text{ Гц}$.
- **Алгоритм подсчета:** Применение адаптивного порога (Adaptive Thresholding) или скользящего окна для детекции локальных экстремумов (R-пики БКГ-сигнала) для расчета ЧСС и ЧДД в минуту.

3.3. Интерфейс визуализации (ПО верхнего уровня)

- **Язык разработки:** Python 3.x (с использованием библиотек *PyQtGraph*, *SciPy*, *NumPy*) или Node.js.
- **Функциональные элементы графического интерфейса (GUI):**
 1. Окно выбора COM-порта / BLE-устройства.
 2. График №1: Поток «сырых» данных с датчика (динамическая прокрутка).
 3. График №2: Отфильтрованная волна дыхания.
 4. График №3: Выделенные БКГ-пики сердечных сокращений.
 5. Цифровое табло: Текущий Пульс (BPM), Частота дыхания (BRPM), Индикатор присутствия («В постели» / «Пусто»).

4. ПОРЯДОК КОНТРОЛЯ И ПРИЕМКИ (Критерии успеха PoC)

Испытания макета проводятся в лабораторных условиях. Датчик помещается на жесткое основание под матрас (толщиной до 15 см) или под простыню. На матрас ложится испытуемый.

Критерии успешности тестирования:

1. **Детекция присутствия:** Время реакции системы на появление или уход пользователя из зоны мониторинга — не более 3 сек .
2. **Точность ЧДД (Дыхание):** Визуальное совпадение пиков на графике дыхания с физическим вдохом/выдохом испытуемого. Погрешность расчета ЧДД — не более 1 вдоха/мин .
3. **Точность ЧСС (Пульс):** Стабильный захват пульсовой волны в состоянии покоя испытуемого. Погрешность измерения ЧСС в сравнении с эталонным прибором (медицинский пульсоксиметр или нагрудный ремень *Polar*) — не более 5% .
4. **Стабильность связи:** Отсутствие потерь пакетов данных при непрерывной передаче по BLE в течение 30 минут на расстоянии до 5 метров.

5. СОСТАВ ОТЧЕТНЫХ МАТЕРИАЛОВ

По окончании работ Исполнитель передает Заказчику:

1. Действующий лабораторный макет устройства (сенсорная матрица + блок электроники).
2. Принципиальную электрическую схему блока электроники и перечень элементов (ВОМ).
3. Исходный код микропрограммы (Firmware) с комментариями.
4. Исходный код ПО визуализации (Python-скрипты/приложение).
5. Инструкцию по запуску и калибровке системы.

Составил: Таскын Жокеев

Дата: 13 июля 2026 г.