

Носимое устройство для мониторинга глубины дыхания на основе тензометрического датчика*

*Д. М. Ежов^{1,2}✉, В. В. Сказкина^{1,2}, А. Н. Храмов^{1,2}, Е. В. Навроцкая^{1,2},
В. И. Гриднев^{1,3}, М. Д. Прохоров¹*

¹Саратовский национальный исследовательский государственный университет имени Н.Г. Чернышевского

²Саратовский филиал Института радиотехники и электроники им. В. А. Котельникова РАН

³Саратовский государственный медицинский университет им. В. И. Разумовского

✉ ezhovdmitryi@yandex.ru

О важности изучения синхронизации систем вегетативной регуляции кровообращения в организме человека свидетельствует обширная дискуссия по данному вопросу, нашедшая отражение в работах [1, 2]. Было показано, что степень синхронизации контуров вегетативного контроля частоты сердечных сокращений и тонуса артериальных вазомоторов друг с другом является важным диагностическим показателем состояния здоровья при различных патологиях кровообращения. Значительное внимание привлекают работы, посвящённые изучению синхронизации этих контуров с процессом дыхания [3]. Имеются свидетельства важности изучения взаимодействия и синхронизации перечисленных процессов для диагностики социально-значимых заболеваний, включая патологии сердечно-сосудистой системы и других органов и систем, например, COVID-19, так как динамика системы кровообращения выступает маркером патологических изменений в организме человека.

В работе [4] был проведён активный эксперимент, в процессе которого контролировали частоту дыхания человека и оценивали синхронизацию системы дыхания и систем симпатической регуляции. Для развития данных исследований в данной работе было разработано устройство и соответствующее программное обеспечение, которое позволяет контролировать не только частоту, но и глубину дыхания в подобных экспериментах.

Система включает в себя следующие элементы: тензометрический датчик дыхания (серийный сертифицированный датчик ООО Медиком-МТД), аналоговая схема, включая усилительный тракт и активные по-

*Работа выполнена при поддержке Стипендии Президента РФ СП-2261.2021.4, РФФИ № 20-02-00702.

лосовые фильтры, выполненные на основе прецизионных операционных усилителей Analog Devices, управляющий микроконтроллер серии Microchip ATmega48, аналого-цифровой преобразователь (АЦП) которого использовался для оцифровки экспериментальных данных, а арифметико-логическое устройство для управления устройством, интерфейса с пользователем, передачи данных, телеметрический блок на основе bluetooth-модуля на базе чипа CSR BC417143 для передачи данных в персональный компьютер или смартфон для визуализации, обработки и анализа, схема автономного питания на базе Li-Pol аккумуляторных батарей и схема их зарядки.

В ходе проведенных исследований был создан опытный образец разработанного аппаратно-программного комплекса, имеющий следующие технические характеристики: габариты носимого блока: $120 \times 60 \times 35$ мм, масса: 0.130 кг, полоса пропускания аналогового тракта: 0.03–30 Гц, частота дискретизации АЦП: 100 Гц, разрядность квантования АЦП: 8 бит, пропускная способность беспроводного канала передачи данных: 1 Мбит/с.

Работоспособность устройства была продемонстрирована в ходе сопоставления сигналов, зарегистрированных разработанным устройством и серийным сертифицированным регистратором Энцефалан-131-03, использующим аналогичный датчик в ходе регистрации сигналов трех здоровых испытуемых.

Список литературы

1. Киселев А. Р., Караваев А. С., Гриднев В. И., Прохоров М. Д., Пономаренко В. И., Боровкова Е. И., Посненкова О. М., Шварц В. А., Безручко Б. П. Метод оценки степени синхронизации низкочастотных колебаний в вариабельности ритма сердца и фотоплетизмограмме // Кардио-ИТ. 2016 Т. 3, вып. 1. С. E0101.
2. Ponomarenko V. I., Prokhorov M. D., Karavaev A. S., Kiselev A. R., Gridnev V. I., Bezruchko B. P. Synchronization of low-frequency oscillations in the cardiovascular system: Application to medical diagnostics and treatment // The European Physical Journal Special Topics. 2013 Vol. 222. P. 2687–2696.
3. Караваев А. С., Ишбулатов Ю. М., Пономаренко В. И., Прохоров М. Д., Киселев А. Р., Безручко Б. П. Модель сердечно-сосудистой системы человека с автономным контуром регуляции среднего артериального давления // Физиология человека. 2017 Т. 43, № 1. С. 70–80.
4. Боровкова Е. И., Караваев А. С., Пономаренко В. И., Прохоров М. Д., Безручко Б. П. Диагностика частотного захвата в условиях воздействия сигналом переменной частоты // Известия РАН. Серия Физическая. 2011 Т. 75, № 12. С. 1704–1708.