
МОДЕЛИРОВАНИЕ В МЕДИЦИНСКИХ И ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ

MODELING IN MEDICAL AND TECHNICAL SYSTEMS

Оригинальная статья / Original article

<https://doi.org/10.21869/2223-1536-2025-15-2-169-189>



УДК 616-71:519.688

Мобильный многопараметрический программно-аппаратный комплекс мониторинга показателей здоровья человека

К. С. Харланова¹✉, М. О. Ревякина¹, А. В. Селихов¹,
В. М. Донцов¹, В. В. Мишин¹

¹ Орловский государственный университет имени И. С. Тургенева
ул. Комсомольская, д. 95, г. Орёл 302026, Российская Федерация

✉ e-mail: hks0312@mail.ru

Резюме

Цель исследования – разработка концепции программно-аппаратного комплекса мониторинга функционального состояния человека. Создаваемый комплекс должен быть многоцелевым и универсальным в части возраста пациентов и применимости комплекса в различных сценариях, в том числе для персонального применения пациентами, в условиях реабилитации, для оперативного мониторинга состояния спортсменов, пилотов, водителей и других категорий, включая работающих в экстремальных условиях.

Методы. Приведён сравнительный анализ неинвазивных методов и технических средств получения информации о значимых параметрах функционального состояния организма человека. Выполнено обобщение результатов анализа с целью формирования требований к аппаратным и программным средствам мониторинга функционального состояния человека. Проанализирована математическая модель, позволяющая получить интегральную оценку функционального состояния человека.

Результаты. Выявлены значимые параметры и характеристики организма человека, поддающиеся объективному инструментальному контролю, необходимые для создания программно-аппаратного комплекса, позволяющего в режиме реального времени отслеживать функциональное состояние человека. Определены требования к узлам комплекса, позволяющего оценивать функциональное состояние как с отвлечением, так и без отвлечения объекта контроля от профессиональной деятельности. Сформулирован состав и характеристики каналов измерения. Предложен способ формирования оценки функционального состояния человека, основанный на применении методов искусственного интеллекта.

Заключение. Предлагаемый программно-аппаратный комплекс удовлетворяет поставленным целям и задачам. Проведенное исследование позволяет рекомендовать разрабатываемый комплекс для использования медицинским персоналом с целью поддержки принятия врачебных решений. Разрабатываемый комплекс является многоцелевым и может быть полезен для персонального применения пациентами, в том числе в рамках домашней телемедицины, а также спортсменами, которым необходимо проводить непрерывный мониторинг состояния организма в ходе тренировочного процесса. Комплекс может быть использован людьми, чья профессиональная деятельность связана с рисками в случае снижения функциональных показателей организма.

© Харланова К. С., Ревякина М. О., Селихов А. В., Донцов В. М., Мишин В. В., 2025

Ключевые слова: функциональная диагностика; неинвазивные методы контроля; медицинское приборостроение; телемедицина.

Финансирование. Работа выполнена в ОГУ имени И.С. Тургенева в рамках государственного задания № 075-00196-24-02 на 2024 год и на плановый период 2025 и 2026 годов от 01.04.2024 г., проект № FSGN-2024-0007 (1023110800218-7-3.2.4;3.1.3;2.6.1).

Конфликт интересов: Авторы декларируют отсутствие конфликта интересов, связанных с публикацией данной статьи.

Для цитирования: Мобильный многопараметрический программно-аппаратный комплекс мониторинга показателей здоровья человека / К.С. Харланова, М. О. Ревякина, А. В. Селихов, В. М. Донцов, В. В. Мишин // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Управление, вычислительная техника, информатика. Медицинское приборостроение. 2025. Т. 15, № 2. С. 169-189. <https://doi.org/10.21869/2223-1536-2025-15-2-169-189>

Поступила в редакцию 11.04.2025

Подписана в печать 09.05.2025

Опубликована 30.06.2025

Mobile multiparameter hardware and software complex for monitoring human health indicators

Kristina S. Kharlanova ✉, Maria O. Revyakina, Alexey V. Selikhov, Venedikt M. Dontsov, Vladislav V. Mishin

¹ Orel State University named after I.S. Turgenev
95 Komsomolskaya Str., Oryol 302026, Russian Federation

✉ e-mail: hks0312@mail.ru

Abstract

The purpose of the research is to develop the concept of a software and hardware complex for monitoring the functional state of a person. The complex being created should be multi-purpose and universal in terms of the age of patients and the applicability of the complex in various scenarios, including for personal use by patients, in rehabilitation, for operational monitoring of the condition of athletes, pilots, drivers and other categories, including those working in extreme conditions.

Methods. A comparative analysis of noninvasive methods and technical means of obtaining information about significant parameters of the functional state of the human body is presented. The results of the analysis are summarized in order to form requirements for hardware and software tools for monitoring the functional state of a person. A mathematical model is analyzed allowed to obtain an integral estimation of the functional state of a person.

Results. Significant parameters and characteristics of the human body amenable to objective instrumental control have been identified. These parameters are necessary to create a software and hardware complex that allows real-time monitoring of the functional state of a person. The requirements for the nodes of the complex are defined. It makes possible to assess the functional state both with and without distraction of the object of control from professional activity. The composition and characteristics of measurement channels are formulated. A method of forming an assessment of a person's functional state based on the use of artificial intelligence methods is proposed.

Conclusion. The proposed hardware and software package satisfies the set goals and objectives. The completed research allows us to recommend the complex being developed for use by medical personnel in order to support medical decision-making. The complex under development is multi-purpose and can be useful for personal use by patients, including in home telemedicine, as well as athletes who need to continuously monitor the body's state during the training process. The complex can be used by people whose professional activity is associated with risks in the event of a decrease in the functional parameters of the body.

Financing: The work was performed at the I.S. Turgenev OSU within the framework of state assignment No. 075-00196-24-02 for 2024 and for the planning period of 2025 and 2026 dated 04/01/2024, project No. FSGN-2024-0007 (1023110800218-7-3.2.4;3.1.3;2.6.1).

Keywords: functional diagnostics; noninvasive control methods; medical instrumentation; telemedicine.

Conflict of interest: The authors declares no conflict of interest related to the publication of this article.

For citation: Kharlanova K.S., Revyakina M.O., Selikhov A.V., Dontsov V.M., Mishin V.V. Mobile multiparameter hardware and software complex for monitoring human health indicators. *Izvestiya Yugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta. Serija: Upravlenie, vychislitel'naja tekhnika, informatika. Meditsinskoe priborostroenie = Proceedings of the Southwest State University. Series: Control, Computer Engineering, Information Science. Medical Instruments Engineering*. 2025;15(2):169–189. (In Russ.) <https://doi.org/10.21869/2223-1536-2025-15-2-169-189>

Received 11.04.2025

Accepted 09.05.2025

Published 30.06.2025

Введение

Современное общество сталкивается с необходимостью эффективного мониторинга состояния здоровья человека в условиях как обычной жизни, так и при экстремальных физических или эмоциональных нагрузках. С увеличением темпа жизни и ростом числа людей, занимающихся спортом и другими активностями, возрастает потребность в технологиях, позволяющих в режиме реального времени отслеживать физиологические параметры организма. Это особенно актуально для спортсменов, сотрудников экстремальных профессий, а также для людей с хроническими заболеваниями, требующими постоянного наблюдения [1]. Также остро стоит проблема своевременного оказания медицинской помощи в условиях работы или проживания в местах, удаленных от медицинских центров: деревни, пункты метеорологического наблюдения, вахтовые поселки.

Современное направление телемедицинских исследований позволяет решить данные проблемы, однако, они требуют участие эксперта – врача, который должен вручную обработать результаты анализов. Использование интеллектуальной системы, которая будет автоматически обрабатывать данные,

генерировать рекомендации для назначения лечения врачу, выделяя возможные зоны риска, позволит сократить трудозатраты и повысить эффективность постановки диагноза, позволит отслеживать динамику изменения состояния здоровья [2].

Целью работы является разработка и представление концепции программно-аппаратного комплекса (ПАК) для проведения мониторинга функционального состояния человека.

Для достижения данной цели важным являются определение номенклатуры измеряемых параметров и разработка требований к ПАК.

Материалы и методы

Обязательным диагностическим сигналом при обследовании пациентов является сигнал ЭКГ, так как согласно статистике сердечно-сосудистая заболеваемость занимает лидирующее место среди заболеваний и первое место по смертности [3].

Также суммарно стандартизованный коэффициент смертности (СКС) от сердечно-сосудистых заболеваний и когнитивных нарушений увеличился с $551,4 \pm 84,9$ в 2019 г. до $622,6 \pm 98,5$ на 100 тыс. населения в 2020 г. и снизился в 2021 г. до $612,6 \pm 106$ на 100 тыс.

населения. Однако их доля в смертности от всех причин сократилась почти на 10% ($46,97 \pm 4,6$ в 2021 г. и $55,98 \pm 4,6\%$ в 2019 г.). Рост СКС от года к году отмечен в 30 регионах; в остальных регионах отмечена неустойчивая динамика. Доля кардиологических причин от всех причин составила $30,5 \pm 5,8\%$ в 2019 г., $29,1 \pm 5,7\%$ в 2020 г. и $25,95 \pm 5,56\%$ в 2021 г. [4]. Наибольшие СКС и их доли в структуре смертности приходятся на группу 1 (хроническая ишемическая болезнь сердца (ИБС) – в среднем за 3 года $17,8 \pm 5,8\%$) и группу 6 (причины с нечеткими критериями болезни, но связанные с КН – $13,9 \pm 5,9\%$). Вклад второй (острые формы ИБС – $4,6 \pm 2,8\%$), третьей (пороки, кардиопатии, эндо- и миокардиты – $4,8 \pm 2,7\%$) и пятой (острые нарушения мозгового кровообращения – $6,1 \pm 1,7\%$) групп причин значительно меньше¹. Шестое место по величине СКС и вкладу в смертность от всех причин занимают алкоголь-ассоциированные причины ($1,8 \pm 1,1\%$). Доля других причин (артериальная гипертензия, болезнь Альцгеймера, болезнь Паркинсона, другие психические нарушения) небольшая [5]. Таким образом, актуальным является совместное исследование ЭКГ- и ЭЭГ-сигналов. Данные сигналы являются полными и содержат значительный объем информации для постановки диагноза, однако необходимо применение вспомогательных параметров, дополняющих общую клиническую картину: артериальное давление, частота дыхания, уровень насыщения кислородом капиллярной крови, электрическое сопротивление тканей,

биоэлектрические потенциалы мышц, температура, частота и метод движения глазного яблока, температура [6].

Совокупность данных параметров позволит оценить не только физическое, но и психоэмоциональное состояние, что позволит более полно оценить здоровье человека.

Разработка многопараметрических программно-аппаратных комплексов стала ответом на вызовы современности. Такие системы способны одновременно отслеживать несколько жизненно важных показателей, что позволяет более глубоко анализировать функциональное состояние организма. Мониторинг таких параметров, как сердечный ритм, артериальное давление, температура тела и уровень кислорода в крови, дает возможность не только выявлять отклонения от нормы, но и предсказывать потенциальные риски для здоровья в условиях повышенной нагрузки. Программно-аппаратный комплекс должен соответствовать следующим требованиям:

– возможность автономной автоматической регистрации основных функционально-диагностических показателей человека;

– возможность обработки результатов измерения (мониторинга) параметров, характеризующих основные функционально-диагностические показатели человека;

– способность формирования оценок и результатов обработки сигналов и данных для поддержки принятия врачебных решений.

¹ Клинические рекомендации. Желудочковые нарушения ритма. Желудочковая тахикардия и внезапная сердечная смерть. URL:

http://disuria.ru/_ld/11/1115_kr20I46I47I49MZ.pdf
(дата обращения: 22.03.2025).

Многофункциональный программно-аппаратный комплекс

В данной статье рассматривается концепция многофункционального программно-аппаратного комплекса, предназначенного для мониторинга функционального состояния организма человека в различных условиях. Особое внимание уделяется адаптации системы к экстремальным ситуациям, таким как физические нагрузки, изменение окружающей среды и стрессовые факторы, описание архитектуры, функциональных возможностей и алгоритмов обработки сигналов и больших данных, основные направления исследования.

Программно-аппаратный комплекс автономной автоматической регистрации основных функционально-диагностических показателей человека состоит из девяти комплектов электродов по каналам измерения, измерительного модуля, устройства обработки измерительного сигнала, блока питания, а также периферийных устройств, таких как: телефон, персональный компьютер и т. д. Данные, полученные в результате обследования комплексом, обрабатываются с использованием специализированного программного обеспечения, обеспечивающего сбор, обработку и анализ получаемых данных в реальном времени [7]. Описанные алгоритмы обработки информации позволяют выявлять отклонения от нормы и генерировать рекомендации для пользователя, а также помогают медицинскому персоналу принимать решения при постановке диагноза. Рассмотрим структурную схему программно-аппаратного комплекса автономной автоматической регистрации основных функционально-диагностических показателей человека (рис. 1).

Согласно структурной схеме, комплекты электродов, предназначенные для непосредственного получения сигналов, характеризующих основные функционально-диагностические показатели человека, размещаются на теле пациента. Комплекты содержат электроды по каждому каналу измерения: ЭКГ, ЭЭГ, артериального давления, частоты дыхания и др., а также необходимые соединители и держатели на теле пациента. Входные сигналы с комплекта электродов попадают на модуль измерительный, который предназначен для аналогового преобразования входных сигналов, их фильтрации, дискретизации и квантования. На выходе измерительного модуля формируется цифровой код, который посредством интерфейса передается на последующие модули ПАК.

Модуль обработки измерительной информации предназначен для первичной обработки и хранения полученных сигналов. Взаимодействует с другими элементами аппаратно-программного комплекса посредством типовых интерфейсов. Также осуществляется связь с периферийными устройствами для мобильной или стационарной визуализации данных, связь с удаленным сервером для глубокой обработки сигналов и формирования оценок и результатов обработки с целью поддержки принятия врачебных решений.

Для сетевого питания всех составляющих ПАК используется импульсный блок питания, автономное питание осуществляется от специальных батарей. Периферийные устройства предназначены для предварительной визуализации результатов измерений параметров, характеризующих основные функционально-диагностические показатели человека.

Интерфейс взаимодействия с удаленным сервером предназначен для оперативной передачи данных на сервер, осуществляющий углубленную обработку сигналов и данных результатов измерения (мониторинга) параметров, характеризующих основные функционально-диагностические показатели человека по средствам обработки больших данных. Программное обеспечение для

АПК предназначено для общего управления процессом измерения параметров, обмена данными между элементами и удаленным сервером, обработкой измерительной информации и документирования процесса мониторинга.

Рассмотрим подробнее реализацию нескольких каналов измерения функционально-диагностических показателей человека (рис. 2).

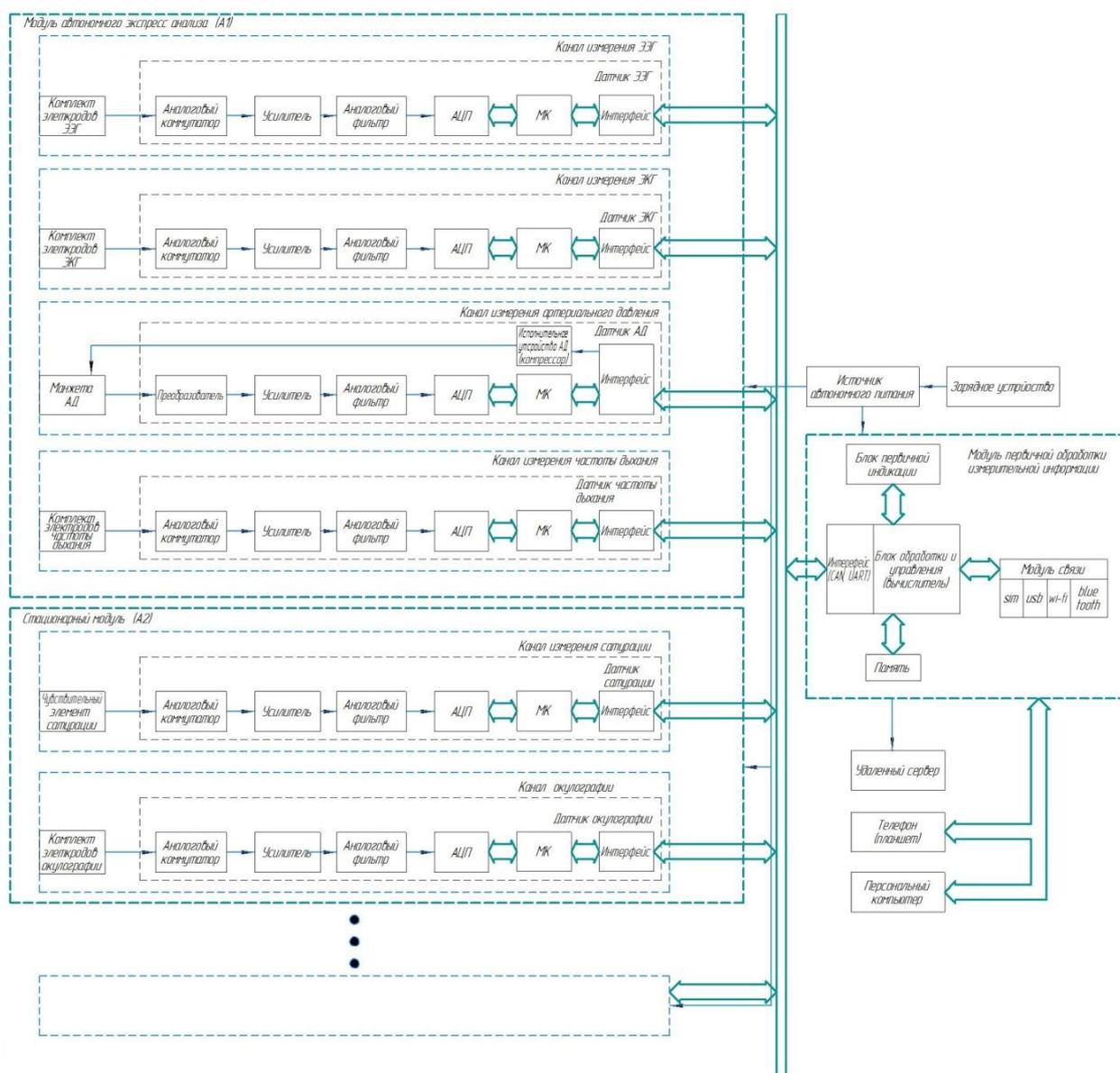


Рис. 2. Реализация каналов измерения показателей

Fig. 2. Implementation of channels for measuring parameters

Электрокардиография. ЭКГ формирует электрические сигналы, идентичные сократительной активности сердца [8]. Такие сигналы можно получить, прикрепив на конечности и грудную клетку человека от 3 до 12 электродов (отведений). С помощью ЭКГ можно определить частоту сердечных сокращений (уд./мин), и в зависимости от формы волн можно диагностировать сердечно-сосудистые заболевания и патологии. В сердечном цикле можно выделить 7 основных событий [9]. Первостепенно происходит возбуждение синоатриального узла, возникает электрическая активность (сокращается предсердие), которая формирует P-зубец, представляющий собой низкоамплитудную волну. Волна возбуждения сталкивается с задержкой в артриовентрикулярном узле, и формируется изоэлектрический PQ-сегмент. Стимулирующая волна быстро распространяется вверх, вызывая сокращение желудочков (деполяризация), который на кардиограмме можно увидеть в виде двух- или трехфазной волны QRS-комплекса. Мышечные клетки желудочков имеют большой потенциал действия [10]. Плато на таком сигнале формирует изоэлектрический ST-сегмент, который следует за QRS-комплексом. После чего происходит расслабление желудочков, обозначаемое на сигнале в виде T-зубца. Наглядно типичный сигнал ЭКГ можно увидеть ниже (рис. 3). Видоизмененные сегменты и рубцы будут соответствовать отклонениям в сердечно-сосудистой системе или наличию патологий [11].

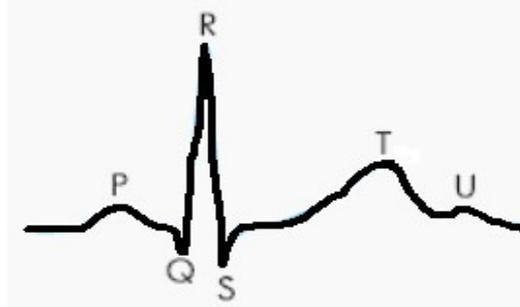


Рис. 3. Типичный сигнал ЭКГ

Fig. 3. Typical ECG signal

Получение сигнала ЭКГ производится по 12 каналам. Информация передается на аналоговый коммутатор, после чего сигнал усиливается и проводится аналоговая фильтрация. Полученный после фильтрации аналоговый сигнал попадает в АЦП, где преобразуется в цифровой сигнал, который можно хранить в электронном виде, обрабатывать с помощью микроконтроллеров, искусственного интеллекта и методов обработки больших данных.

Для избавления от высокочастотных и низкочастотных шумов и дребезга используется фильтр, параметры которого представлены ниже:

$$y(t) = y_l(t) + y_h(t), \quad (1)$$

где $y(t)$ – обработанный сигнал ЭКГ; $y_l(t)$ и $y_h(t)$ – сигналы низкочастотной и высокочастотной компонент соответственно.

$$\begin{aligned} y_l(t) &= x(t) * h_l(t), \\ y_h(t) &= x(t) * h(t), \end{aligned} \quad (2)$$

где $x(t)$ – исходный сигнал ЭКГ; $h_l(t)$ – импульсная характеристика низкочастотного фильтра; $h(t)$ – импульсная характеристика высокочастотного сигнала; * – операция свёртки.

Имеется сигнал для обнаружения QRS-комплекса:

$$x'(t) = \frac{dx(t)}{dt}. \quad (3)$$

Полученная производная сигнала по среднему значению отфильтровывается по уровню чувствительности. После этого выполняется обнаружение время пиков по формуле

$$t = \frac{t}{x'(t)}. \quad (4)$$

Полученный после обработки сигнал можно классифицировать по состоянию сердечной активности.

Рассмотрим технические требования к каналу электрокардиограммы (табл. 1).

Таблица 1. Канал электрокардиограммы

Table 1. Electrocardiogram channel

Показатели	Значения
1. Количество отведений	От 3 до 12
2. Частота дискретизации ЭКГ (частота квантования), Гц	1000
3. Диапазон регистрируемых входных напряжений (динамический диапазон входного сигнала), мВ	От 0,03 до 300
4. Диапазон измеряемых напряжений, мВ	От 0,1 до 10
5. Диапазон частот полосы пропускания (диапазон частот, в котором неравномерность амплитудно-частотной характеристики канала ЭКГ не превышает 3 дБ), Гц	От 0,05 до 250
6. Входной импеданс, МОм, не менее	20
7. Относительная погрешность установки скорости развёртки (необходимо для получения точных показателей ЭКГ), %	10
8. Диапазон измерения частоты сердечных сокращений (ЧСС), уд./мин	От 15 до 300
9. Время непрерывных измерений, с	от 5 до 60

Также в процессе измерения ЭКГ параллельно можно измерять артериальное давление.

Электроэнцефалография. Актуальность исследования ЭЭГ обусловлена тем, что необходимо [4]:

- следить за динамикой действия лекарственных препаратов;
- оценить степень нарушения работы мозга;
- исследовать функциональное состояние мозга у людей;

– при повторных исследованиях ЭЭГ помогает оценить скорость и полноту исчезновения признаков нарушения работы мозга.

Для получения достоверных данных ЭЭГ необходимо понимать строение головного мозга. Головной мозг разделен продольной бороздой на два полушария. Важными для ЭЭГ являются части мозга: кора головного мозга, мозжечок, ствол мозга и таламус, поэтому для сравнительного анализа активности

различных частей головного мозга используется одновременная запись каналов ЭЭГ [12]. Рассмотрим систему наложения электродов ЭЭГ (рис. 4).

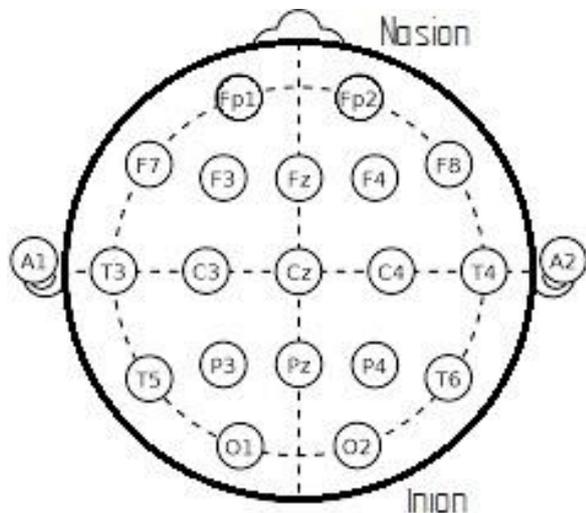


Рис. 4. Наложение электродов для ЭЭГ

Fig. 4. Application of electrodes for EEG

Сигнал ЭЭГ может быть получен несколькими способами: с использованием игольчатых электродов, носоглоточных электродов, интрацеребральных электродов и записи электрокортикограммы. Для точного результата ЭЭГ снимается при различных воздействиях на человека: состояние покоя, гипервентиляция, фото- и аудиостимуляция, сон. Процесс обработки сигнала с электрического канала подобен обработке ЭКГ. ЭЭГ-сигнал может быть использован для диагностики нервной системы, мониторинга фаз сна, диагностики эпилепсии и т. д. [13]

Рассмотрим технические требования к каналу электроэнцефалограммы (табл. 2).

Табл. 2. Канал электроэнцефалограммы

Table 2. Electroencephalogram channel

Показатели	Значения
1. Количество каналов ЭЭГ, шт.	От 4 до 8
2. Чувствительность, мкВ/мм	1; 2; 5; 7; 10; 20; 50; 70; 100; 200; 500; 1000
3. Диапазон измерения напряжения (от пика до пика), мкВ	от 5 до 12000
4. Частота среза фильтра верхних частот (ФВЧ), Гц	0,05; 0,5; 0,7; 1,5; 2; 5; 10
5. Частота среза фильтра нижних частот (ФНЧ), Гц	5; 10; 15; 35; 75; 100; 150; 200; 250; 500
6. Частота квантования ЭЭГ, Гц	100; 200; 500; 1000; 5000
7. Коэффициент подавления синфазной помехи, не менее, дБ	100
8. Подавление стационарной сетевой помехи сети отключаемым режекторным фильтром, дБ, не менее	40
9. Уровень внутренних шумов (от пика до пика), приведенных ко входу, мкВ, не более	2
10. Входной импеданс усилителей, МОм, не менее	400

Сатурация. Датчик сатурации используется для диагностики уровня кислорода в крови и частоты сердечных сокращений. Принцип работы данного устройства основан на фотоплетизмографии (ФПГ) и использовании двух различных световых волн. Данный датчик состоит из излучателя света – содержит два светодиода (LED), один из которых излучает красный свет (длина волны около 660 нм), а другой – инфракрасный (длина волны около 940 нм), и фотодетектора, который считывает количество света, проходящего через ткань.

Принцип работы датчика заключается в том, что он крепится на пальце, мочке уха или ином участке тела, где имеется доступ к капиллярам, и работает по принципу просвечивания или отражения. В зависимости от того, как

кислородосодержащий гемоглобин поглощает излучение, определяется уровень сатурации [14]. Сигнал от фотодетектора подвергается обработке в виде устранения фонового шума и артефактов, а также вычислению соотношения интенсивности света красного и инфракрасного, что определяет уровень кислорода в крови. На рисунке 5 представлена диаграмма сигнала, получаемого с прототипа датчика. На диаграмме просматриваются две временных области: с низким качеством сигнала (I) и с приемлемым качеством сигнала (II) [15]. Программное обеспечение должно выявлять временные участки, пригодные для анализа, и динамически формировать данные о сатурации и частоте пульсовых волн.

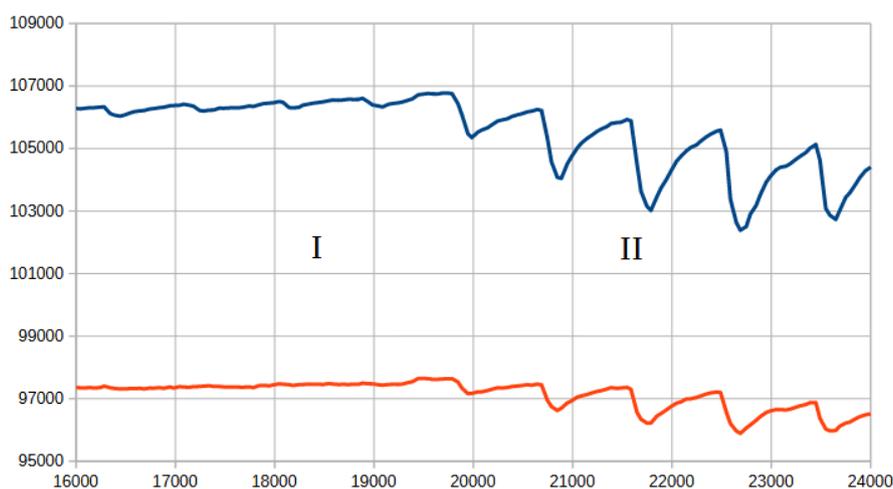


Рис. 5. Сигналы фотодетектора

Fig. 5. Photodetector signals

Окулография. Датчик окулографии позволяет получить информацию о движении человеческого глаза и его положении. Данный датчик активно

используется для диагностики различного рода заболеваний, а также для изучения реакции и поведения пациента в практических научных исследованиях.

Датчик позволяет учитывать угол поворота глаза, скорость движения и иные характеристики глаза. Реализация таких датчиков многообразна, однако самой распространенной считается электромиография глазных мышц.

Электроокулографический датчик подразумевает размещение электродов на коже вокруг глаза человека, которые позволяют регистрировать электрическую активность глазных мышц. Электроды в реализации метода могут быть поверхностными или инвазивными. Полученная с электродов информация анализируется специальными алгоритмами для понимания как функционирует глаз с последующим определением состояния нервной системы. Это позволяет обнаружить патологии, а также определить эффективность назначенного лечения.

Частота дыхания. Непрерывную дыхательную активность человека можно отследить с помощью датчика частоты дыхания. Такие датчики основываются на акселерометре, с помощью которого можно определить положение грудной клетки. Сигнал, полученный с датчика, проходит обработку и фильтрацию, после чего программно рассчитывается частота дыхания в минуту.

Электромиография. Датчик миографии измеряет электрическую активность мышц. Импульс, подаваемый от нервной системы, заставляет мышцы сокращаться, тем самым образуя разность потенциалов электрических сигналов в мышечных волокнах. Реализация датчика позволяет сделать неинвазивный

подход, т. е. крепление электродов к поверхности кожи. Полученные сигналы подвергаются обработке и анализу, программно можно вычислить: силу сокращения мышц, уровень расслабления и утомляемости человека, частоту и продолжительность мышечной активности. Результаты принято отображать графическим методом, что значительно упрощает медицинскому персоналу процесс анализа данных и принятия решения.

Реография. Датчик реографии позволяет неинвазивно измерять изменения в кровенаполнении тканей и органов. Данный метод позволяет оценить циркуляцию крови в организме с помощью исследования электрических свойств тканей человека. Активное применение реографические датчики нашли в кардиологии, неврологии и др. областях.

Температура тела. Датчик температуры состоит из полупроводниковых материалов, которые в зависимости от изменения температуры меняют свое напряжение. С помощью АЦП из напряжения формируется цифровой сигнал, который в дальнейшем отображается на дисплее АПК.

Программное обеспечение комплекса. При разработке программного обеспечения для АПК необходимо учитывать ряд требований, которые обеспечивают его функциональность, надежность и удобство его использования.

Функциональные требования:

– многопараметрический мониторинг: способность одновременно отслеживать несколько физиологических

параметров (например, сердечный ритм, артериальное давление, температура тела, уровень кислорода в крови и т. д.);

– сбор и хранение данных: эффективный сбор, обработка, хранение и архивирование данных о состоянии здоровья пользователя;

– обработка и анализ данных: наличие алгоритмов для анализа собранных данных, включая выявление отклонений от нормы и генерацию предупреждений;

– интерфейс пользователя (UI): удобный и интуитивно понятный интерфейс для отображения информации о состоянии пользователя, истории измерений и рекомендаций;

– настройки уведомлений: возможность настройки уведомлений о критических изменениях в состоянии пользователя как в виде визуальных, так и звуковых сигналов;

– кросс-платформенность: поддержка различных платформ (мобильные устройства, компьютеры) для доступа к информации.

Нефункциональные требования:

– производительность: возможность обработки и анализа данных в реальном времени без задержек;

– безопасность и конфиденциальность: защита данных пользователя, включающая шифрование передаваемой и хранимой информации, а также механизмы аутентификации доступа;

– надежность: высокая степень надежности и устойчивости к сбоям,

возможность восстановления системы после аварий;

– масштабируемость: возможность расширения функционала системы, добавления новых параметров мониторинга и интеграции с другими системами;

– совместимость: необходимость интеграции с различными сенсорными устройствами и медицинским оборудованием, а также совместимость с существующими медицинскими информационными системами.

Указанные требования необходимо учитывать на всех этапах разработки ПО. Соблюдение вышеперечисленных требований позволит реализовать надежное, безопасное и полезное устройство, которое позволит человеку не только контролировать свои показатели, но и дистанционно консультироваться с врачом, без посещения медицинских учреждений.

Комплексная оценка состояния здоровья человека

Для комплексной оценки состояния здоровья человека возможно применение интегрального критерия, учитывающего диагностируемые параметры. Структура и характеристика состояния и функциональных резервов организма [16]:

1. Здоров – уровень функциональных резервов высокий. Высокая работоспособность.

2. Практически здоров – высокий уровень функциональных резервов. Немного снижена работоспособность за счет психоэмоционального компонента.

3. Ослаблен – удовлетворительный уровень функциональных резервов и работоспособности. Ослабление регуляторных механизмов.

4. Преморбидное состояние – неудовлетворительный уровень функциональных резервов здоровья и работоспособности. Наличие ряда физиологических систем с низкими резервными возможностями.

5. Болен – низкий уровень резервов здоровья и работоспособности. Наличие функциональных отклонений являющихся причиной развития заболеваний.

6. Критическое состояние – крайне низкий (критический) уровень функциональных резервов и работоспособности.

В общем виде модель имеет вид:

$$a(x) = w_0 + w_1x_1 + w_2x_2 + \dots + w_dx_d, \quad (5)$$

где w_0 – постоянный коэффициент; w_1, w_2, \dots, w_d – весовые коэффициенты; x_1, x_2, \dots, x_d – входные признаки.

На основе результатов измерения сигналов ЭКГ, ЭЭГ, реографии и др. модель выдает результат оценки общего состояния человека. Обработка осуществляется с помощью методов машинного обучения. Тип модели выбирается на основе анализа качества модели.

Основным критерием качества является точность – доля верных ответов (ассигасы), однако в медицинской области ситуация, когда у больного человека не было обнаружено заболевание, является недопустимой, необходимо использование дополнительных параметров, учитывающих два вида правильных ответов: True positive (TP), True negative (TN). Два вида ложных срабатываний: False positive (FP), false negative (FN).

Точность (precision) – можно ли доверять классификатору, когда он относит объект к положительному классу:

$$precision(a, X) = \frac{TP}{TP + FP}$$

Полнота (recall) – доля выявленных положительных объектов:

$$recall(a, X) = \frac{TP}{TP + FN}$$

Результаты и их обсуждение

С целью разработки многофункционального программно-аппаратного комплекса мониторинга функционального состояния организма человека выявлены значимые параметры и характеристики, поддающиеся неинвазивному инструментальному контролю. Определены требования к узлам комплекса, позволяющего оценивать функциональное состояние как с отвлечением, так и без отвлечения объекта контроля от профессиональной деятельности. Рассмотрим состав и характеристики каналов измерения (табл. 3).

Таблица 3. Состав и характеристики каналов измерения**Table 3.** Composition and characteristics of measurement channels

Канал	Информативность для оценки динамики состояния	Возможность использования без отвлечения объекта контроля от профессиональной деятельности
Электрокардиография	Высокая	Возможно с ограничениями
Электроэнцефалография	Высокая	Затруднено
Сатурация	Низкая	Возможно
Окулография	Средняя	Возможно с ограничениями
Частота дыхания	Низкая	Возможно
Электромиография	Средняя	Возможно с ограничениями
Реография	Средняя	Затруднено
Температура тела	Средняя	Возможно
Артериальное давление	Низкая	Возможно с ограничениями

Из таблицы 3 видно, что программно-аппаратный комплекс должен иметь модульную структуру и оперативно комплектоваться разными каналами в зависимости от сценариев использования. Таким образом, должен быть разработан единый интерфейс, позволяющий предавать и обрабатывать данные от различного количества каналов с отличающимися характеристиками.

Применение программно-аппаратного комплекса требует создания «облачных» систем хранения и обработки данных [17]. Дальнейшие исследования будут направлены на разработку эффективных алгоритмов обработки исходной информации и формирования решений для поддержки медицинской диагностики [18]. При это особое внимание будет уделено вариабельности видов и объёмов первичных данных. Также будут разработаны технические решения,

позволяющие реализовать унифицированные программно-аппаратные интерфейсы, использующие широкую номенклатуру вычислительных средств (смартфоны, ноутбуки, планшеты и т. д.) [19; 20].

Выводы

Предлагаемый аппаратно-программный комплекс позволяет сделать значительный шаг вперед в сфере мониторинга физических параметров человека. Современные технологии позволяют без посещения врача провести комплексную оценку состояния организма, сравнить с показаниями, которые были ранее, проанализировать динамику, а также с помощью обработки данных и искусственного интеллекта помочь врачу в постановке диагноза и назначении лечения. Внедрение данного комплекса позволит сократить численность личных визитов пациентов к

медицинскому персоналу, что будет способствовать сокращению респираторных заболеваний и вирусных инфекций в период межсезонья [14]. Кроме

этого, человек получит возможность контролировать не только свое самочувствие, но и сможет самостоятельно найти причину недомогания.

Список литературы

1. Нгуен М. Т., Юлдашев З. М. Метод и аппаратно-программный комплекс для комплексной оценки физиологических резервов спортсмена во время тренировок // Биотехносфера. 2020. № 5 (65). С. 3–11.

2. Информационно-измерительная система для телемедицинского мониторинга состояния больного COVID-19 / В. А. Баранов, Е. А. Печерская, М. И. Сафронов, О. А. Тимохина // Измерение. Мониторинг. Управление. Контроль. 2021. Т. 1, № 35. С 85–92.

3. Глушенко В. А., Иркиенко Е. К. Сердечно-сосудистая заболеваемость – одна из важнейших проблем здравоохранения // Медицина и организация здравоохранения. 2019. № 1. С. 56–63.

4. Самородская И. В., Старинская М. А., Бойцов С. А. Динамика региональных показателей смертности от сердечно-сосудистых заболеваний и когнитивных нарушений в России 2019–2021 годах // Российский кардиологический журнал. 2023. № 28(4). С. 94–101. <https://doi.org/10.15829/1560-4071-2023-5256>

5. Цифровой электрокардиографический комплекс для риск-стратификации пароксизмов фибрилляции предсердий / А. В. Фролов, О. П. Мельникова, А. П. Воробьев, Т. Г. Вайханская // Современные технологии в медицине. 2024. Т. 16, № 3. С. 43–50. <https://doi.org/10.17691/stm2024.16.3.05>

6. Хайруллин А. А., Останина М. В., Погосян А. М. Возможности пульсоксиметрии в диагностике хронической артериальной недостаточности нижних конечностей // Смоленский медицинский альманах. 2015. № 1. С. 146–147.

7. Антонов А. А., Буров Н. Е. Системный аппаратный мониторинг (физиологические аспекты) // Вестник интенсивной терапии. 2010. № 3. С. 8–12.

8. Борисенко Т. Л., Снежицкий В. А. Клиническое значение нелинейных параметров вариабельности сердечного ритма у пациентов с сердечно-сосудистыми заболеваниями // Журнал Гродненского государственного медицинского университета. 2020. Т. 18, № 3. С. 223–229. <https://doi.org/10.25298/2221-8785-2020-18-3-223-229>

9. Успенский В. М. Информационная функция сердца. Теория и практика диагностики заболеваний внутренних органов методом информационного анализа электрокардиосигналов / под редакцией В. Б. Симоненко. М.: Центр ноосферного здоровья, 2023. 272 с.

10. Медико-биологическая теория и практика: монография / А. А. Хадарцев, В. М. Еськов, К. М. Козырев, С. Н. Гонтарев. Белгород: Белгородская областная типография, 2011. 231 с.

11. Yuldashev Z., Nemirko A., Manilo L., Mikhaylov E., Lebedev D., Anisimov A. Processing of Synchronous Recordings of Surface ECG and Intracardiac Potentials for Diagnostics of Dangerous Heart Rate Disturbances // Ural Symposium on Biomedical Engineering, Radioelectronics and Information Technology (USBREIT). Yekaterinburg, 25–26 April, 2019.

12. Амплитудно-частотное картирование для поддержки клинициста при визуальном анализе электроэнцефалограммы / Я. А. Фурман, В. В. Севастьянов, И. Д. Стулин, К. О. Иванов // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Серия: Радиотехнические и инфокоммуникационные системы. 2018. № 3 (39). С. 20–38. <https://doi.org/10.15350/2306-2819.2018.3.20>

13. Беляев О. В., Самыгин Д. В. Рекомендации экспертного совета по нейрофизиологии Российской Противозепилептической Лиги по проведению рутинной ЭЭГ // Эпилепсия и пароксизмальные состояния. 2016. Т. 8, № 4. С. 99–108.

14. Захаров С. М., Знайко Г. Г. Спектральный анализ электрокардиосигналов // Вопросы радиоэлектроники. 2017. № 3. С. 110–115.

15. Photoplethysmogram Analysis and Applications: An Integrative Review / J. Park, H. S. Seok, S.-S. Kim, H. Shin // Front. Physiol. 2022. N 12. P. 808451. <https://doi.org/10.3389/fphys.2021.808451>

16. Харланова К. С., Селихов А. В., Ревякина М. О. Канал оценки состояния сердечно-сосудистой системы человека на основе многопараметрического мониторинга сигналов с совместной обработкой сигналов // Наука молодых – будущее России: сборник научных статей IX Международной научной конференции перспективных разработок молодых ученых (12–13 декабря 2024 года): в 5 т. Курск: Университетская книга, 2024. Т. 3. С. 219–227.

17. Дембовский М. В., Писарева А. В. Разработка биотехнической системы магнитоплетизмографии для мониторинга частоты дыхания и частоты сердечных сокращений // Системный анализ и управление в биомедицинских системах. 2020. Т. 19, № 4. С. 119–126.

18. Юрченко Н. Ю., Соседов А. И. Оценка перспектив развития мобильной медицины // Инновации и инвестиции. 2019. № 5. С. 298–304.

19. Живолупова Ю. А. Информационное и методическое обеспечение системы удаленного кардиореспираторного мониторинга для диагностики нарушений дыхания во сне // Биотехносфера. 2019. № 6 (64). С. 41–46.

20. Разработка экспертной системы для диагностики заболеваний легких на основе нейросетевого моделирования / Е. И. Новикова, Е. А. Андрианова, Е. Е. Удодова [и др.] // Системный анализ и управление в биомедицинских системах. 2021. Т. 20, № 1. С. 155–159.

References

1. Nguyen M.T., Yuldashev Z.M. Method and hardware and software package for a comprehensive assessment of an athlete's physiological reserves during training. *Biotechnosphere = Biotekhnosfera*. 2020;(5):3–11. (In Russ.)

2. Baranov V.A., Pecherskaya E.A., Safronov M.I., Timokhina O.A. Information and measurement system for telemedicine monitoring of the patient's condition COVID-19. *Izmerenie. Monitoring. Upravlenie. Kontrol' = Measurement. Monitoring. Management. Control*. 2021;1(35):85–92. (In Russ.)

3. Glushchenko V.A., Irklienko E.K. Cardiovascular morbidity is one of the most important health problems. *Meditsina i organizatsiya zdravookhraneniya = Medicine and Healthcare Organization*. 2019;(1):56–63. (In Russ.)

4. Samorodskaya I.V., Starinskaya M.A., Boytsov S.A. Dynamics of regional mortality rates from cardiovascular diseases and cognitive impairments in Russia 2019–2021. *Rossiiskii kardiologicheskii zhurnal = Russian Journal of Cardiology*. 2023;(28):94–101. (In Russ.) <https://doi.org/10.15829/1560-4071-2023-5256>

5. Frolov A.V., Melnikova O.P., Vorobyov A.P., Vaikhanskaya T.G. Digital electrocardiographic complex for risk stratification of atrial fibrillation symptoms. *Sovremennyye tekhnologii v meditsine = Modern Technologies in Medicine*. 2024;16(3):43–50. (In Russ.) <https://doi.org/10.17691/stm2024.16.3.05>

6. Khairullin A.A., Ostanina M.V., Poghosyan A.M. Possibilities of pulse oximetry in the diagnosis of chronic arterial insufficiency of the lower extremities. *Smolenskiy meditsinskii al'manakh = Smolenskiy Medical Almanac*. 2015;(1):146–147. (In Russ.)

7. Antonov A.A., Burov N.E. System hardware monitoring (physiological aspects). *Vestnik Intensivnoi terapii = Bulletin of Intensive Care*. 2010;(3):8–12. (In Russ.)

8. Borisenko T.L., Snezhitsky V.A. The clinical significance of nonlinear parameters of heart rate variability in patients with cardiovascular diseases. *Zhurnal Grodnenskogo gosudarstvennogo meditsinskogo universiteta = Journal of the Grodno State Medical University*. 2020;18(3):223–229. (In Russ.) <https://doi.org/10.25298/2221-8785-2020-18-3-223-229>

9. Uspensky V.M. Informational function of the heart. Theory and practice of diagnostics of diseases of internal organs by the method of information analysis of electrocardiosignals. Moscow: Tsentr noosfernogo zdorov'ya; 2023. 272 p. (In Russ.)

10. Khadartsev A.A., Eskov V.M., Kozyrev K.M., Gontarev S.N. Medical and biological theory and practice. Belgorod: Belgorodskaya oblastnaya tipografiya; 2011. 231 p. (In Russ.)
11. Yuldashev Z., Nemirko A., Manilo L., Mikhaylov E., Lebedev D., Anisimov A. Processing of Synchronous Recordings of Surface ECG and Intracardiac Potentials for Diagnostics of Dangerous Heart Rate Disturbances. *Ural Symposium on Biomedical Engineering, Radioelectronics and Information Technology (USBREIT). Yekaterinburg, 25–26 April 2019.*
12. Furman Ya.A., Sevastyanov V.V., Stulin I.D., Ivanov K.O. Amplitude-frequency mapping to support a clinician in the visual analysis of an electroencephalogram. *Vestnik Povolzhskogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo universiteta. Seriya: Radiotekhnicheskie i infokommunikatsionnye sistemy = Bulletin of the Volga State Technological University. Series: Radio Engineering and Infocommunication Systems.* 2018;(3):20–38. <https://doi.org/10.15350/2306-2819.2018.3.20>
13. Belyaev O.V., Samygin D.V. Recommendations of the Expert Council on Neurophysiology of the Russian Antiepileptic League for routine EEG. *Epilepsiya i paroksizmal'nye sostoyaniya = Epilepsy and Paroxysmal States.* 2016;8(4):99–108.
14. Zakharov S.M., Znayko G.G. Spectral analysis of electrocardiosignals. *Voprosy radioelektroniki = Radio Electronics Issues.* 2017;(3):110–115. (In Russ.)
15. Park J., Seok H.S., Kim S.-S., Shin H. Photoplethysmogram Analysis and Applications: An Integrative Review. *Front. Physiol = Front. Physiol.* 2022;(12):808451. <https://doi.org/10.3389/fphys.2021.808451>
16. Kharlanova K.S., Selikhov A.V., Revyakina M.O. A channel for assessing the state of the human cardiovascular system based on multiparametric signal monitoring with joint signal processing. In: *Nauka molodykh – budushchee Rossii: sbornik nauchnykh statei IX Mezhdunarodnoi nauchnoi konferentsii perspektivnykh razrabotok molodykh uchenykh (12–13 dekabrya 2024 goda) = Science of the young – the future of Russia: Collection of scientific articles of the IX International Scientific Conference of promising developments of Young Scientists, 12–13 December 2024.* Vol. 3. Kursk: Universitetskaya kniga; 2024. P. 219–227. (In Russ.)
17. Dembovsky M.V., Pisareva A.V. Development of a biotechnical magnetoplethysmography system for monitoring respiratory rate and heart rate. *Sistemnyi analiz i upravlenie v biomeditsinskikh sistemakh = System Analysis and Management in Biomedical Systems.* 2020;19(4):119–126.
18. Yurchenko H.Yu., Neighbors A.I. Assessment of prospects for the development of mobile medicine. *Innovatsii i investitsii = Innovations and Investments.* 2019;(5):298–304. (In Russ.)

19. Zhivolupova Yu.A. Information and methodological support for a remote cardiorespiratory monitoring system for the diagnosis of sleep-breathing disorders. *Biotekhnosfera = Biotechnosphere*. 2019;(6):41–46. (In Russ.)

20. Novikova E.I., Andrianova E.A., Udodova E.E., et al. Development of an expert system for the diagnosis of lung diseases based on neural network modeling. *Sistemnyi analiz i upravlenie v biomeditsinskikh sistemakh = System Analysis and Management in Biomedical Systems*. 2021;20(1):155–159. (In Russ.)

Информация об авторах / Information about the Authors

Харланова Кристина Сергеевна, аспирант, научный сотрудник лаборатории молекулярной, трансляционной и цифровой кардиоиммунологии, Орловский государственный университет имени И. С. Тургенева, г. Орёл, Российская Федерация, e-mail: hks0312@mail.ru

Kristina S. Kharlanov, Post-Graduate Student, Research Fellow of the Laboratory of Molecular, Translational and Digital Cardioimmunology, Orel State University named after I.S. Turgenev, Oryol, Russian Federation, e-mail: hks0312@mail.ru

Ревякина Мария Олеговна, кандидат медицинских наук, ведущий научный сотрудник лаборатории молекулярной, трансляционной и цифровой кардиоиммунологии, Орловский государственный университет, имени И. С. Тургенева, г. Орёл, Российская Федерация, e-mail: moplotnikova@mail.ru, ORCID: 0000-0003-1593-5290, Author ID: 676230

Maria O. Revyakina, Candidate of Sciences (Medical), Leading Researcher of the Laboratory of Molecular, Translational and Digital Cardioimmunology, Orel State University named after I.S. Turgenev, Oryol, Russian Federation, e-mail: moplotnikova@mail.ru, ORCID: 0000-0003-1593-5290, Author ID: 676230

Селихов Алексей Владимирович, кандидат технических наук, старший научный сотрудник лаборатории молекулярной, трансляционной и цифровой кардиоиммунологии, Орловский государственный университет, имени И. С. Тургенева, г. Орёл, Российская Федерация, e-mail: selihov.ostu@yandex.ru, Author ID: 615912

Aleksey V. Selikhov, Candidate of Sciences (Engineering), Senior Researcher of the Laboratory of Molecular, Translational and Digital Cardioimmunology, Orel State University named after I.S. Turgenev, Oryol, Russian Federation, e-mail: selihov.ostu@yandex.ru, Author ID: 615912

Донцов Венедикт Михайлович, кандидат технических наук, Орловский государственный университет имени И. С. Тургенева, г. Орёл, Российская Федерация
e-mail: dwm257@yandex.ru

Venedikt M. Dontsov, Candidate of Sciences (Engineering), Orel State University named after I.S. Turgenev, Oryol, Russian Federation,
e-mail: dwm257@yandex.ru

Мишин Владислав Владимирович, кандидат технических наук, доцент кафедры электроники, радиотехники и систем связи, Орловский государственный университет имени И. С. Тургенева, г. Орёл, Российская Федерация,и
e-mail: zam_fdo@mail.ru

Vladislav V. Mishin, Candidate of Sciences (Engineering), Associate Professor of the Department of Electronics, Radio Engineering and Communication Systems, Orel State University named after I.S. Turgenev, Oryol, Russian Federation,
e-mail: zam_fdo@mail.ru