

## СПЕКТРАЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ДАННЫХ НАРУЧНОГО ТРЕХОСЕВОГО АКСЕЛЕРОМЕТРА ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ФИЗИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ

И. С. Карташов<sup>1</sup>, С. В. Привалова<sup>2</sup>, А. В. Кузьмин<sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup> Пензенский государственный университет, Пенза, Россия  
<sup>1</sup>promgodpn@gmail.com, <sup>2</sup>sofia.privalova@mail.ru, <sup>3</sup>a.v.kuzmin@pnzgu.ru

**Аннотация.** *Актуальность и цели.* Актуальность тематики определяется все более широким применением данных акселерометрии в области медицины, а также в повседневной жизни. В работе поднимается проблема автоматизированного определения типа физической активности человека по данным, собранным с помощью наручного трехосевого акселерометра. *Материалы и методы.* Для решения проблемы был использован метод анализа частотного спектра сигнала. В качестве источника исходных данных использовался акселерометр, встроенный в smart-часы. Для разработки программы анализа данных был использован пакет прикладных математических программ Scilab. *Результаты.* С целью анализа показателей физической активности человека была разработана программа, позволяющая обрабатывать и исследовать данные, полученные от трехосевого акселерометра. Для анализа данных реализована функция скользящего окна, смещающая графики по нажатию кнопки. *Выводы.* Сравнительный анализ графиков частотных спектров и разностей спектров показал, что наряду с типом физической активности на результаты влияют индивидуальные особенности, что может осложнять идентификацию активностей.

**Ключевые слова:** физическая активность, носимый акселерометр, частотный спектр, скользящее окно, Scilab

**Для цитирования:** Карташов И. С., Привалова С. В., Кузьмин А. В. Спектральный анализ данных наручного трехосевого акселерометра для определения физической активности // Измерение. Мониторинг. Управление. Контроль. 2024. № 1. С. 78–84. doi: 10.21685/2307-5538-2024-1-10

## SPECTRAL ANALYSIS OF DATA FROM A WRIST-WORN THREE-AXIS ACCELEROMETER TO DETERMINE PHYSICAL ACTIVITY

I.S. Kartashov<sup>1</sup>, S.V. Privalova<sup>2</sup>, A.V. Kuzmin<sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup> Penza State University, Penza, Russia  
<sup>1</sup>promgodpn@gmail.com, <sup>2</sup>sofia.privalova@mail.ru, <sup>3</sup>a.v.kuzmin@pnzgu.ru

**Abstract.** *Background.* The relevance of the topic is determined by the increasingly widespread use of accelerometry data in the field of medicine, as well as in everyday life. The work raises the problem of automated determination of the type of human physical activity based on data collected using a wrist three-axis accelerometer. *Materials and methods.* To solve the problem, the method of analyzing the frequency spectrum of the signal was used. The accelerometer built into the smart watch was used as a source of initial data. To develop the data analysis program, the Scilab package of applied mathematical programs was used. *Results.* In order to analyze indicators of human physical activity, a program was developed that allows one to process and study data obtained from a three-axis accelerometer. For data analysis, a sliding window function has been implemented that shifts graphs at the touch of a button. *Conclusions.* A comparative analysis of graphs of frequency spectra and spectral differences showed that, along with the type of physical activity, the results are influenced by individual characteristics, which can complicate the identification of activities.

**Keywords:** physical activity, wearable accelerometer, frequency spectrum, sliding window, Scilab

**For citation:** Kartashov I.S., Privalova S.V., Kuzmin A.V. Spectral analysis of data from a wrist-worn three-axis accelerometer to determine physical activity. *Izmerenie. Monitoring. Upravlenie. Kontrol' = Measuring. Monitoring. Management. Control.* 2024;(1):78–84. (In Russ.). doi: 10.21685/2307-5538-2024-1-10

### Введение

Мониторинг движения в режиме реального времени является актуальной задачей здравоохранения. Анализ показателей движения позволяет определить состояние здоровья человека и

выявить предпосылки развития заболеваний. Постоянные физические перегрузки создают риск появления сердечно-сосудистых, психоэмоциональных и сопутствующих заболеваний, что вынуждает повышать качество диагностики [1].

Так, мониторинг и анализ физической активности человека открывают широкие возможности в научных исследованиях, в медицинских приложениях и в повседневной жизни при мониторинге совместно с ЭКГ или автономно. Определение движения и оценка перемещений являются задачей актуальной также для различных технических систем [2]. Важным элементом для получения первичных данных является акселерометр. Для определения движения человека используется много разных средств, но здесь особое место занимают акселерометры. За счет своей портативности и легкости в использовании они все чаще начинают применяться как средства для отслеживания не только положения в пространстве, но и как средство для оценки движения человека в повседневной жизни [3].

Акселерометры широко используются в медицинских целях [4]. Так, они помогают в распознавании самоповреждающих действий [5], при обнаружении припадков [6], составлении количественной оценки особенностей тремора на основе нервно-мышечной усталости у здоровых и диабетических взрослых [7], при обнаружении ночных расчесывающих движений у пациентов с атопическим дерматитом [8]. Еще одним перспективным направлением применения носимых акселерометров является оценка движений человека в среде виртуальной реальности [9].

Акселерометр позволяет определить, чем в данный момент человек занят, а именно, к какому виду можно отнести текущую физическую активность, а также какова ее интенсивность. Поскольку акселерометры могут считывать данные ускорения по нескольким осям, то наиболее информативным является использование акселерометров, которые обрабатывают информацию об ускорении по трем координатным осям:  $X$ ,  $Y$ ,  $Z$ .

На текущий момент времени на рынке товаров присутствует большой выбор часов со встроенным акселерометром, и функции данных устройств очень обширны. Так, на основе анализа спектра товаров были выделены четыре экземпляра часов и фитнес-трекеров от разных производителей, а именно: MI Smart Band 6 от компании Xiaomi [10], HUAWEI Band 7 от компании HUAWEI [11], HONOR Watch ES от компании HONOR [12] и Apple Watch Series 7 от компании Apple [13]. Проанализировав данные девайсы, можно сказать, что технологии определения физической активности представлены в том или ином виде, пользователю доступны разные функции, которые помогают улучшить и облегчить процесс тренировок.

Информацию, получаемую с акселерометра, необходимо обрабатывать и хранить для того, чтобы использовать эти данные в дальнейшем, как пример можно использовать при анализе движения людей, подверженных разным заболеваниям, влияющим на координацию и физическую активность.

В настоящее время одной из больших проблем в сфере диагностики заболеваний является определение типов физической активности по данным акселерометрии. Основной задачей данной работы является сравнительный анализ частотных спектров сигналов трехосевого акселерометра и их разностей.

Анализ сигналов акселерометра дает возможность идентифицировать вид физической активности, однако индивидуальные особенности людей также оказывают сильное влияние. В ходе данной работы будет рассмотрена проблема автоматизированного определения типа физической активности методом анализа частотного спектра сигнала наручного акселерометра.

### ***Материалы и методы***

В исследовании используется разработанная программа для получения и хранения сигналов, посылаемых трехосевым акселерометром [14]. Данная программа помогает подключиться к акселерометру, преобразовать получаемые данные и сохранить их в файл. Данное программное обеспечение получает данные и сохраняет в формате CSV, что является удобным при работе с файлом.

Так, с помощью данной программы была собрана база данных, в которой хранятся данные о физической активности пользователей [15]. В базе находятся 144 уникальных сигнала, которые были получены с разных рук при разных видах физической активности. Время записи одного сигнала составляет примерно пять минут.

Были использованы значения физической активности десяти человек: пятерых мужчин и женщины в возрасте 20 лет, причем информация снималась как с левой, так и с правой руки. Все испытуемые являются правшами. В общей сложности было задействовано 40 записей. Данные были зафиксированы с помощью трехосевого акселерометра, встроенного в смарт-часы.

В рамках исследования сравнивались как показатели разных видов активностей, снятых с одного индивида, так и показатели одного вида активности, снятые с разных индивидов. Для анализа использовались графики частотных спектров и их разностей. Спектральный анализ сигнала позволяет сравнить частотный состав сигналов. Предполагается, что частотный спектр сигнала при различных видах активности будет отличаться. Для получения частотного спектра применялось быстрое преобразование Фурье.

Пример разности спектров приведен на рис. 1.

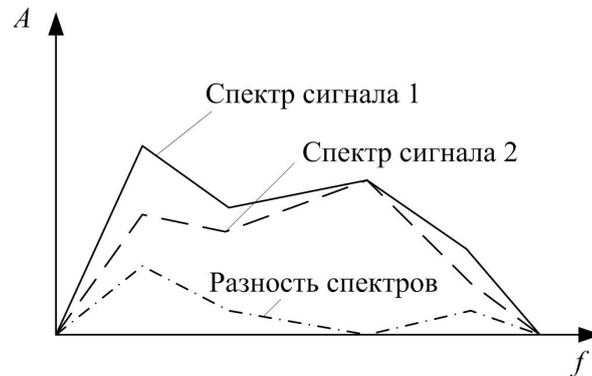


Рис. 1. Разность спектров

График разностей частотных спектров позволяет однозначно определить разницу между спектрами различных сигналов. Далее приведена формула вычисления дифференциального спектра:

$$\partial = \sum_{k=1}^n |x_{2,k} - x_{1,k}|, \quad (1)$$

где  $n$  – общее количество отсчетов;  $k$  – номер отсчета сигнала;  $x_1, x_2$  – частотные спектры сигналов 1 и 2 соответственно.

Для решения поставленной задачи использовалась одна из мощнейших и наиболее функциональных программ – Scilab. Она является аналогом Matlab и представляет собой интерпретируемый язык программирования и предоставляет необходимый набор инструментов для решения задач исследования: средства загрузки исходных данных, обработки сигналов, отображения графиков, работы с массивами и др.

Данные каждого испытуемого были собраны с двух рук при выполнении разных видов активности с использованием трехосевого акселерометра, встроенного в смарт-часы. Итого, для каждого вида активности было собрано по четыре набора данных.

Для выявления разницы между сигналами различных видов активности, полученными от одного человека, были построены графики частотного спектра бега легкой интенсивности, работы за ПК и их графики разностей спектров для мужчины и женщины.

Для выявления разницы между сигналами одного вида активности, полученными от разных людей, были построены графики частотных спектров бега легкой интенсивности, работы за ПК и графики разницы этих спектров. Общий алгоритм спектрального анализа приведен на рис. 2.

### Результаты

Алгоритм, приведенный на рис. 2, программно реализован в среде SciLab. Смещение скользящего окна при анализе выполняется по команде пользователя. В интерфейсе программы предусмотрена соответствующая кнопка. При ее нажатии диапазоны всех построенных графиков смещаются на заданное число отсчетов. В рамках примера использовалось смещение графиков на 50 отсчетов. Такое значение было выбрано для более детального анализа сигнала. Ширина окна задается в зависимости от особенностей исследуемых сигналов. В рамках данного исследования ширина окна была задана диапазоном значений от 0 до 20 Гц. При использовании скользящего окна появляется возможность детально проанализировать отдельные диапазоны графиков.

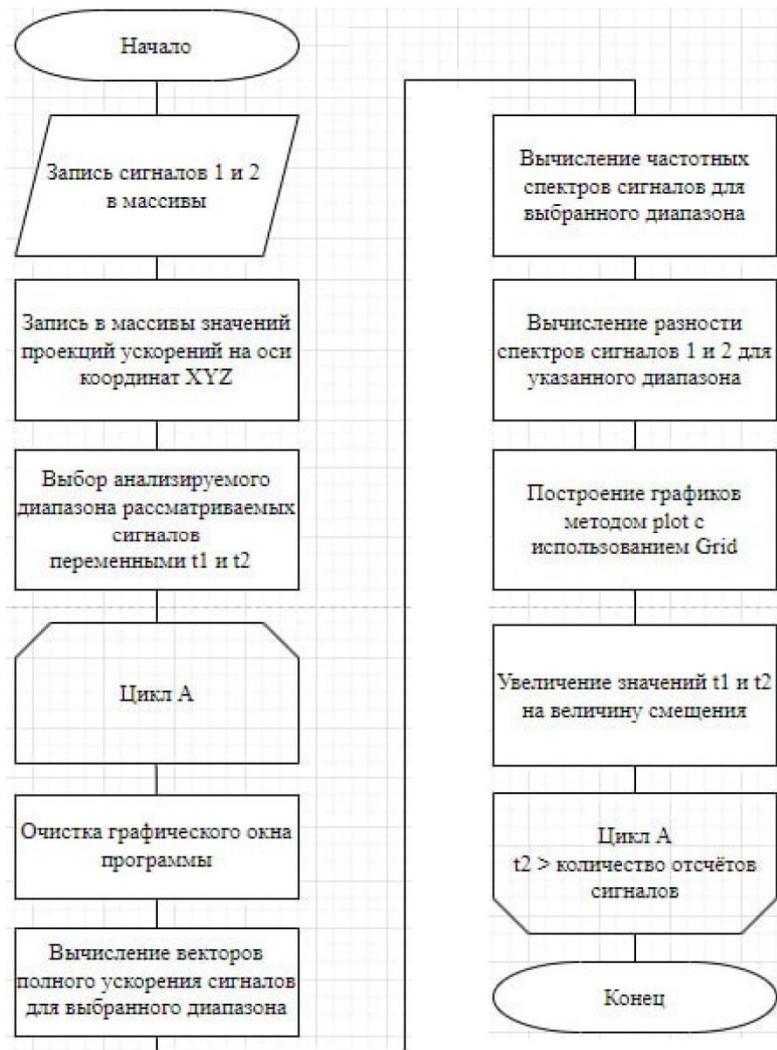


Рис. 2. Алгоритм анализа данных

В вышеописанном пакете прикладных математических программ были построены 2D-графики частотных спектров и их разностей. Графики частотного спектра бега легкой интенсивности, работы за ПК и их разницы для мужчины и женщины представлены на рис. 3.

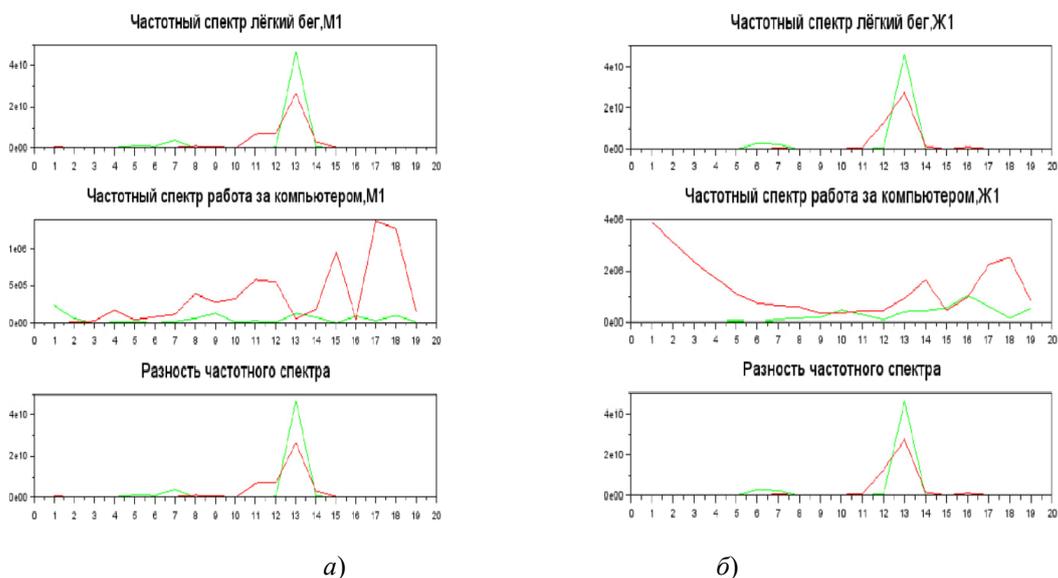


Рис. 3. Графики анализа сигналов легкого бега и работы за ПК:  
*a* – мужчины; *б* – женщины

На каждом рисунке представлены скриншоты с программы, которая отображает в столбик три графических окна. В верхнем ряду построены графики, соответствующие показаниям, снятым с левой (график зеленого цвета) и правой (график красного цвета) рук мужчины (рис. 3,а) и женщины (рис. 3,б) при беге легкой интенсивности. Во втором ряду построены графики, соответствующие показаниям, снятым с левой (график зеленого цвета) и правой (график красного цвета) рук мужчины (рис. 3,а) и женщины (рис. 3,б) при работе за персональным компьютером. В нижнем ряду расположены графики разностей этих спектров.

### *Обсуждение*

Из представленных выше графиков можно заметить, что графики частотных спектров и их разностей, построенных на основе данных, собранных у мужчины и женщины, имеют общий характер. Из графиков разности спектров можно сделать вывод, что сигналы разных активностей имеют различия. При анализе графиков частотных спектров было выявлено, что при беге легкой интенсивности и у мужчин и у женщин преобладают частоты в от 11 до 14 Гц. При работе на персональном компьютере разноименные руки выполняют разные функции, и соответственно, данные, снятые с разных рук, различны, поэтому анализ данных для разных рук был произведен независимо друг от друга. Наблюдается следующая закономерность при анализе данных, снятых с правой руки: преобладание частот в диапазоне от 14 до 17 Гц, для левой руки – преобладание частот равным 13–16 Гц.

Несмотря на то, что в сигналах определенных деятельности имеются закономерности, при анализе данных, полученных от разных испытуемых, было выявлено, что индивидуальные особенности людей сильно влияют на показатели активности. Следовательно, для точного анализа нужно учитывать дополнительные параметры. Исследовав другие методы анализа сигнала, также можно добиться более высоких результатов, что значительно упростит точную идентификацию различных видов активностей. В первую очередь следует исследовать такие методы анализа сигналов, как машинное обучение, вейвлет, разложение на эмпирические моды, сингулярное разложение и др.

### *Заключение*

В рамках этой статьи мы проанализировали частотные спектры сигналов и их разности двух испытуемых (женщины и мужчины). Произведено сравнение спектров при одинаковых активностях между мужчиной и женщиной, а также сравнение спектров при разных активностях между испытуемыми.

В ходе работы было выявлено, что способ анализа физической активности средствами анализа частотного спектра сигналов акселерометра имеет потенциал, так как позволяет выделить некоторые закономерности исходных данных. Однако индивидуальные особенности людей достаточно сильно влияют на показания, поэтому для успешного применения требуются дополнительные действия, такие как персонализация и настройка на параметры конкретного пользователя.

### *Список литературы*

1. Тычков А. Ю., Бутров Н. А., Алимуратов А. К., Назарычев А. П. Многоканальная система мониторинга основных показателей здоровья человека // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Технические науки. 2021. № 2. С. 3–14.
2. Трофимов А. А., Фокина Е. А., Марков Д. М., Смирнов И. Е. Многофункциональный растровый датчик перемещений // Измерение. Мониторинг. Управление. Контроль. 2023. № 1. С. 24–30. doi: 10.21685/2307-5538-2023-1-3
3. Weiss G. M., Yoneda K., Hayajneh T. Smartphone and Smartwatch-Based Biometrics Using Activities of Daily Living // IEEE Access. Vol. 7. 2019. P. 133190–133202. doi: 10.1109/ACCESS.2019.2940729
4. Kuzmin A. V., Ivashchenko A. V., Ryabova E. P. Biomedical applications of accelerometers: general directions and publication trends // Biomedical Engineering. 2023. № 57. P. 300–304. doi: 10.1007/s10527-023-10320-9
5. Bharti P., Panwar A., Gopalakrishna G., Chellappan S. Watch-Dog: Detecting Self-Harming Activities From Wrist Worn Accelerometers // IEEE Journal of Biomedical and Health Informatics. 2018. Vol. 22, № 3. P. 686–696. doi: 10.1109/JBHI.2017.2692179. URL: <https://ieeexplore.ieee.org/document/7894267>
6. Kusmakar S., Karmakar C. K., Yan B. [et al.]. Automated Detection of Convulsive Seizures Using a Wearable Accelerometer Device // IEEE Transactions on Biomedical Engineering. 2019. Vol. 66, № 2. P. 421–432. doi: 10.1109/TBME.2018.2845865

7. Moreau A., Anderer P., Ross M. [et al.]. Detection of Nocturnal Scratching Movements in Patients with Atopic Dermatitis Using Accelerometers and Recurrent Neural Networks // in *IEEE Journal of Biomedical and Health Informatics*. 2018. Vol. 22, № 4. P. 1011–1018. doi: 10.1109/JBHI.2017.2710798.
8. Zhu Y., Mehta R. K., Erraguntla M. [et al.]. Quantifying Accelerometer-Based Tremor Features of Neuromuscular Fatigue in Healthy and Diabetic Adults // *IEEE Sensors Journal*. 2020. Vol. 20, № 19. P. 11183–11190. doi: 10.1109/JSEN.2020.2996372. URL: <https://ieeexplore.ieee.org/document/9097885/>
9. Иванов А. Д., Тычков А. Ю., Чернышов Д. С. [и др.]. Интеллектуальная система программного управления многоосевой платформой для виртуальной реальности с имитацией воздействия внешней среды и обратной связью // *Измерение. Мониторинг. Управление. Контроль*. 2023. № 2. С. 97–103. doi: 10.21685/2307-5538-2023-2-12
10. Mi.com // Официальный сайт компании Xiaomi: <https://www.mi.com/ru/product/mi-smart-band-6/> (дата обращения: 06.01.2024).
11. Huawei.com // Официальный сайт компании Huawei: <https://consumer.huawei.com/ru/wearables/band7/> (дата обращения: 06.01.2024).
12. Honor.ru // Официальный сайт компании Honor: <https://www.honor.ru/wearables/honor-watch-es/> (дата обращения: 06.01.2024).
13. Apple.com // Официальный сайт компании Apple: <https://www.apple.com/ru/apple-watch-series-7/> (дата обращения: 06.01.2024).
14. Прусс Д. И., Рябова Е. П., Кузьмин А. В. Разработка мобильного приложения для приема и отображения данных от акселерометра смарт-часов в среде MITAppInventor // Проблемы информатики в образовании, управлении, экономике и технике : сб. ст. XXI Междунар. науч.-техн. конф. (2021, Пенза). Пенза : Приволжский Дом знаний, 2021. С. 217–221.
15. Прусс Д. И., Рябова Е. П., Сафронов М. И., Кузьмин А. В. База данных физической активности человека // *Методы, средства и технологии получения и обработки измерительной информации («Шлядинские чтения – 2022»)* : материалы XIV Междунар. науч.-техн. конф. с элементами науч. шк. и конкурсом науч.-исслед. работ для студентов, аспирантов и молодых ученых (г. Пенза, 24–26 октября 2022 г.) / под ред. д-ра техн. наук Е. А. Печерской. Пенза : Изд-во ПГУ, 2022. С. 237–240.

### References

1. Tychkov A.Yu., Butrov N.A., Alimuradov A.K., Nazarychev A.P. Multichannel monitoring system of basic human health indicators. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Povolzhskiy region. Tekhnicheskie nauki = News of higher educational institutions. The Volga region. Technical sciences*. 2021;(2):3–14. (In Russ.)
2. Trofimov A.A., Fokina E.A., Markov D.M., Smirnov I.E. Multifunctional raster displacement sensor. *Izmerenie. Monitoring. Upravlenie. Kontrol' = Measurement. Monitoring. Management. Control*. 2023;(1):24–30. (In Russ.). doi: 10.21685/2307-5538-2023-1-3
3. Weiss G.M., Yoneda K., Hayajneh T. Smartphone and Smartwatch-Based Biometrics Using Activities of Daily Living. *IEEE Access*. 2019;7:133190–133202. doi: 10.1109/ACCESS.2019.2940729
4. Kuzmin A.V., Ivashchenko A.V., Ryabova E.P. Biomedical applications of accelerometers: general directions and publication trends. *Biomedical Engineering*. 2023;(57):300–304. doi: 10.1007/s10527-023-10320-9
5. Bharti P., Panwar A., Gopalakrishna G., Chellappan S. Watch-Dog: Detecting Self-Harming Activities From Wrist Worn Accelerometers. *IEEE Journal of Biomedical and Health Informatics*. 2018;22(3):686–696. Available at: <https://ieeexplore.ieee.org/document/7894267> doi: 10.1109/JBHI.2017.2692179
6. Kusmakar S., Karmakar C.K., Yan B. et al. Automated Detection of Convulsive Seizures Using a Wearable Accelerometer Device. *IEEE Transactions on Biomedical Engineering*. 2019;66(2):421–432. doi: 10.1109/TBME.2018.2845865
7. Moreau A., Anderer P., Ross M. et al. Detection of Nocturnal Scratching Movements in Patients with Atopic Dermatitis Using Accelerometers and Recurrent Neural Networks. *IEEE Journal of Biomedical and Health Informatics*. 2018;22(4):1011–1018. doi: 10.1109/JBHI.2017.2710798
8. Zhu Y., Mehta R.K., Erraguntla M. et al. Quantifying Accelerometer-Based Tremor Features of Neuromuscular Fatigue in Healthy and Diabetic Adults. *IEEE Sensors Journal*. 2020;20(19):11183–11190. Available at: <https://ieeexplore.ieee.org/document/9097885/> doi: 10.1109/JSEN.2020.2996372
9. Ivanov A.D., Tychkov A.Yu., Chernyshov D.S. et al. Intelligent software control system for a multi-axis platform for virtual reality with simulated environmental effects and feedback. *Izmerenie. Monitoring. Upravlenie. Kontrol' = Measurement. Monitoring. Management. Control*. 2023;(2):97–103. (In Russ.). doi: 10.21685/2307-5538-2023-2-12
10. Mi.com. *Ofitsial'nyy sayt kompanii Xiaomi = Xiaomi's official website*. (In Russ.). Available at: <https://www.mi.com/ru/product/mi-smart-band-6/> (accessed 06.01.2024).
11. Huawei.com. *Ofitsial'nyy sayt kompanii Huawei = Huawei's official website*. (In Russ.). Available at: <https://consumer.huawei.com/ru/wearables/band7/> (accessed 06.01.2024).

12. Honor.ru. *Ofitsial'nyy sayt kompanii Honor = Honor's official website*. (In Russ.). Available at: <https://www.honor.ru/wearables/honor-watch-es/> (accessed 06.01.2024).
13. Apple.com. *Ofitsial'nyy sayt kompanii Apple = Apple's official website*. (In Russ.). Available at: <https://www.apple.com/ru/apple-watch-series-7/> (accessed 06.01.2024).
14. Pruss D.I., Ryabova E.P., Kuz'min A.V. Development of a mobile application for receiving and displaying data from accelerometer of smart watches in the MITAppInventor environment. *Problemy informatiki v obrazovanii, upravlenii, ekonomike i tekhnike: sb. st. XXI Mezhdunar. nauch.-tekh. konf. (2021, Penza) = Problems of computer science in education, management, economics and technology : collection of Articles XXI International Scientific and Technical conf. (2021, Penza)*. Penza: Privolzhskiy Dom znaniy, 2021:217–221. (In Russ.)
15. Pruss D.I., Ryabova E.P., Safronov M.I., Kuz'min A.V. Database of human physical activity. *Metody, sredstva i tekhnologii polucheniya i obrabotki izmeritel'noy informatsii («Shlyandinskie chteniya – 2022»): materialy XIV Mezhdunar. nauch.-tekh. konf. s elementami nauch. shk. i konkursom nauch.-issled. rabot dlya studentov, aspirantov i molodykh uchenykh (g. Penza, 24–26 oktyabrya 2022 g.) = Methods, tools and technologies for obtaining and processing measurement information ("Shlyandinsky Readings – 2022") : materials of the XIV International Scientific and Technical a conference with elements of a scientific school and a scientific research competition. works for students, postgraduates and young scientists (Penza, October 24-26, 2022)*. Ed. by E.A. Pecherskaya. Penza: Izd-vo PGU, 2022:237–240. (In Russ.)

#### **Информация об авторах / Information about the authors**

##### **Илья Сергеевич Карташов**

студент,  
Пензенский государственный университет  
(Россия, г. Пенза, ул. Красная, 40)  
E-mail: promgodpn@gmail.com

##### **Ilya S. Kartashov**

Student,  
Penza State University  
(40 Krasnaya street, Penza, Russia)

##### **Софья Владимировна Привалова**

студентка,  
Пензенский государственный университет  
(Россия, г. Пенза, ул. Красная, 40)  
E-mail: w8ohh@yandex.ru

##### **Sofya V. Privalova**

Student,  
Penza State University  
(40 Krasnaya street, Penza, Russia)

##### **Андрей Викторович Кузьмин**

доктор технических наук, доцент, заведующий  
кафедрой информационно-вычислительных  
систем  
Пензенский государственный университет  
(Россия, г. Пенза, ул. Красная, 40)  
E-mail: a.v.kuzmin@pnzgu.ru

##### **Andrey V. Kuzmin**

Doctor of technical sciences, associate professor,  
head of the sub-department  
of information and computing systems,  
Penza State University  
(40 Krasnaya street, Penza, Russia)

**Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов /**

**The authors declare no conflicts of interests.**

**Поступила в редакцию / Received 22.12.2023**

**Поступила после рецензирования / Revised 18.01.2024**

**Принята к публикации / Accepted 12.02.2024**